



## DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA: Nº 558R/17

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

**Área genérica / Uso previsto:**

**SISTEMA PORTANTE DE  
PANELES DE HORMIGÓN  
ARMADO CON NÚCLEO DE  
POLIESTIRENO EXPANDIDO  
(EPS)**

**Nombre comercial:**

**BAUPANEL**

**Beneficiario:**

BAUPANEL SYSTEM S.L.

**Sede Social:**

c/ Serrano, 93 5º D  
28006 MADRID. España  
Tlf. (+34) 951 70 14 14 - Fax: (+34) 951 70 00 01  
e-mail: info@baupanel.com  
http://www.baupanel.com

**Lugar de fabricación:**

Avda. del Poeta Muñoz Rojas 10 b  
Polígono Industrial de Antequera  
29200 ANTEQUERA (Málaga).

**Validez Desde:  
Hasta:**

15 de febrero de 2017  
15 de febrero de 2022  
(Condicionado a seguimiento anual)

**Este Documento consta de 31 páginas**



**MIEMBRO DE:**

**UNIÓN EUROPEA PARA LA EVALUACIÓN DE LA IDONEIDAD TÉCNICA**  
*UNION EUROPEENNE POUR L'AGREMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION*  
*EUROPEAN UNION OF AGREMENT*  
*EUROPÄISCHE UNION FÜR DAS AGREMENT IN BAUWESEN*

## 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 integro 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.*

**C.D.U.: 66.948**  
**Sistema Constructivo**  
**Systèmes de Construction**  
**Building System**

### DECISIÓN NÚM. 558R/17

LA DIRECTORA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA,

- en virtud del Decreto nº. 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 nº. 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 el artículo 5.2, apartado 5, del Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE) sobre conformidad con el CTE de los productos, equipos y sistemas innovadores, que establece que un sistema constructivo es conforme con el CTE si dispone de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto,
- considerando las especificaciones establecidas en el Reglamento para el Seguimiento del DIT del 28 de octubre de 1998,
- considerando la solicitud formulada por la Sociedad BAUPANEL SYSTEM S.L. para la renovación y ampliación del DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA Nº 558/10 del **Sistema portante BAUPANEL de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido (EPS)**,
- en virtud de los vigentes Estatutos de l'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 sesiones celebradas los días 6 de julio de 2006, 11 de junio de 2010 y 31 de enero de 2017,

#### DECIDE:

Conceder el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA número 558R/17, al **Sistema portante BAUPANEL de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido (EPS)**, considerando que,

La evaluación técnica realizada permite concluir que el Sistema es **CONFORME CON EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN**, siempre que se respete el contenido completo del presente documento y en particular las siguientes condiciones:

#### CONDICIONES GENERALES

El presente DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA evalúa exclusivamente el Sistema constructivo propuesto por el peticionario debiendo para cada caso, de acuerdo con la Normativa vigente, acompañarse del preceptivo proyecto de edificación y llevarse a término mediante la dirección de obra correspondiente. Será el proyecto de edificación el que contemple en cada caso, las acciones que el Sistema trasmite a la estructura general del edificio, asegurando que éstas son admisibles.

El proyecto técnico del Sistema portante BAUPANEL de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido (EPS), vendrá suscrito, en cada caso, por BAUPANEL SYSTEM S.L., que justificará el cumplimiento de la normativa en vigor, aportando la correspondiente 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. Dicho proyecto técnico será aprobado por el autor del proyecto y/o la Dirección Facultativa, según proceda.

### **CONDICIONES DE CÁLCULO**

En cada caso se 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 límite último y de servicio, en las condiciones establecidas por la Normativa en vigor y para la situación geográfica concreta.

### **CONDICIONES DE FABRICACIÓN Y CONTROL**

El fabricante deberá mantener el autocontrol que en la actualidad realiza sobre las materias primas, el proceso de fabricación y el producto acabado, conforme a las indicaciones que se dan en el apartado 8 del presente documento.

### **CONDICIONES DE UTILIZACIÓN Y PUESTA EN OBRA**

El Sistema BAUPANEL evaluado en el presente documento está previsto para la ejecución de estructuras por medio de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido (EPS).

La puesta en obra del Sistema debe ser realizada por BAUPANEL SYSTEM S.L., o por empresas especializadas y cualificadas, reconocidas por el beneficiario, bajo su control y asistencia técnica. Dichas empresas asegurarán que la puesta en obra del Sistema se efectúa en las condiciones y campos de aplicación cubiertos por el presente Documento respetando las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos.

De acuerdo con lo anterior, el presente documento ampara exclusivamente aquellas obras que hayan sido realizadas por BAUPANEL SYSTEM S.L. o por empresas cualificadas, reconocidas por ésta.

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 las normativas vigentes de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como lo especificado en el Plan de Seguridad y Salud de la obra.

### **VALIDEZ**

El presente Documento de Idoneidad Técnica número 558R/17, 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 obras realizadas.

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 15 de febrero de 2022.

Madrid, 15 de febrero de 2017

LA DIRECTORA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS  
DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA

Marta María Castellote Armero

## INFORME TÉCNICO

### 1. OBJETO

El Sistema constructivo estructural BAUPANEL está basado en un conjunto de paneles de poliestireno expandido de ondulación curva o recta, con una armadura básica adosada en sus caras constituida por mallazos de acero de alta resistencia, vinculados entre sí por conectores de acero electro-soldados. Las mallas de acero de algunos tipos de paneles pueden incorporar barras de acero corrugado según necesidad.

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

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) o Código que la sustituya.

Estos paneles 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.

### 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El Sistema portante de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido BAUPANEL es de junta húmeda, puesto que la unión entre los diferentes elementos que integran el sistema es continua. No existe, por lo tanto, ninguna clase de juntas horizontales ni verticales una vez aplicado el hormigón.

BAUPANEL es un sistema que permite combinarse con otros sistemas constructivos tradicionales y no tradicionales, como forjados unidireccionales o reticulares, de viguetas prefabricadas, losas alveolares, losas in situ, viguetas metálicas, muros, vigas y pilares de hormigón armado o muros portantes de fábrica.

Los elementos que componen el sistema BAUPANEL son:

- a) Paneles portantes verticales BPR y BSR;
- b) Paneles para forjados BPF y BSF.

El presente documento estudia y evalúa únicamente el sistema estructural de paneles

portantes y para forjados descritos hasta el momento, aunque el fabricante dispone de otros elementos que, utilizados simultáneamente con los anteriores, completan el sistema con cerramientos y particiones interiores.

c) Paneles no portantes verticales BPN y BPS

d) Paneles no portantes verticales BPC y BSC

### 3. COMPONENTES DEL SISTEMA

#### 3.1 Paneles

El panel de cerramiento estructural está constituido por una placa ondulada regular de poliestireno expandido, densidad  $15 \text{ kg/m}^3$  o superior, de un ancho estándar de 1125 mm, que lleva adosadas en sus caras sendas mallas de acero vinculadas entre sí por conectores de acero electro-soldados cuya cuantía mínima será de 40 unidades por cada metro cuadrado de superficie.

El espesor del poliestireno expandido puede variar desde 3 cm hasta 30 cm, en función de las necesidades del proyecto arquitectónico pues este, más el espesor medio del hormigón que es de 3,5 cm como mínimo por cada cara, conforman el espesor total del muro.

En el panel con núcleo de EPS con sección de onda rectilínea (panel tipo **BSx**), la profundidad de la onda es de 25 mm y la separación de las mismas es de 180 mm (ver figura 1), resultando longitudinalmente, por cada placa de ancho nominal 1125 mm, la sección que se muestra en la figura 2.

En el caso de geometría ondular de la sección de EPS (panel tipo **BPx**), la profundidad de la onda es de 12,4 mm y la separación de las mismas es de 70,30 mm (ver figura 3), resultando longitudinalmente 13 ondas curvas más 3 ondas con curvatura invertida (para identificación del panel), por cada placa de ancho nominal 1125 mm según se muestra en la figura 4.

Los mallazos de acero están constituidos por 20 barras longitudinales en cada cara, 6 de las cuales son de acero corrugado de diámetro 5 mm 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 2,5 mm cada 6,5 cm (ver figuras 5 y 6).

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

Estos mallazos se encuentran unidos entre sí a través de un mínimo de 40 barras de diámetro 3 mm por cada metro cuadrado de superficie de panel, dispuestos en grupos de 12 conectores cada 26 cm (en caso de 40 conectores); cada 13 cm (en caso de 80 conectores por metro cuadrado), por cada placa de 1125 mm de ancho.

### 3.1.1 Paneles portantes verticales BPR y BSR

Los paneles, una vez instalados en vertical y tras su hormigonado constituyen el muro portante del edificio. Estos elementos trabajan verticalmente y resisten los esfuerzos horizontales que se transmiten en su alineación o los producidos por empujes horizontales de viento o sismo. Pueden también trabajar a flexión como jácenas de gran canto, colocados verticalmente.

Se fabrican para espesores terminados de 100 hasta 370 mm en paneles tipo BPR y desde 105 hasta 375 mm en paneles tipo BSR, con longitud variable según necesidad (ver figuras 5 y 6).

### 3.1.2 Paneles para forjados BPF y BSF

Los paneles colocados en horizontal constituyen los forjados con luces entre apoyos de hasta 5 metros, con capacidad para resistir a flexión y cortante. 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.

Se fabrican para espesores terminados de 120 hasta 390 mm en paneles tipo BPF y desde 135 hasta 405 mm en paneles tipo BSF, con longitud variable según necesidad (ver figuras 7 a 10).

Estas placas pueden colocarse también inclinadas y planas o curvas para adaptarse a distintas soluciones de la cubierta.

El espesor de recubrimiento del acero será como mínimo de 30 mm en cada cara. En los forjados el espesor mínimo de hormigón de la capa de compresión es de 50 mm. Estos recubrimientos refieren a la distancia desde la parte externa de la onda del poliestireno expandido hasta la superficie.

## 3.2 Uniones y refuerzos

### 3.2.1 Unión con la cimentación

La unión de los paneles con la cimentación se realiza con armadura de acero corrugado de diámetro mínimo 6 mm con disposición al tresbolillo, es decir, alternándose en las caras del panel. Esta armadura básica de montaje y el resto del anclaje necesario se definirá por cálculo y según lo requerido en el punto 11.1 del presente Informe Técnico (ver figura 11).

### 3.2.2 Unión vertical entre paneles

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

### 3.2.3 Mallazos de unión

Para la unión o refuerzo de otros puntos auxiliares, se utilizan los siguientes mallazos de unión.

Para el encuentro de cerramientos que forman ángulo entre sí (ver figuras 13 y 14), la continuidad se resuelve mediante las mallas angulares (**MA**) de 0,2275 + 0,2275 m de anchura por 1,16 m de longitud, fabricadas en el mismo acero que los mallazos de los paneles (acero liso galvanizado de diámetro 2,5 mm cada 6,5 cm).

Para asegurar la continuidad en los lados del panel sin solape y para reforzar las esquinas de huecos en los muros, se utilizan las mallas planas (**MP**) fabricadas con el mismo acero que los mallazos de los paneles con dimensiones 0,26 m por 1,16 m.

Las mallas en forma de U (**MU**) tienen como finalidad permitir la adherencia del hormigón al EPS en los bordes de panel expuestos: huecos de ventanas/puertas, aleros, etc. (ver figura 15). Sus dimensiones en función de la anchura del panel sobre el que se coloquen son:

TIPO MALLA	ALA Nº 1	ANCHO	ALA Nº 2
MU-50	160	70	160
MU-60	188	80	188
MU-80	178	100	178
MU-100	168	120	168
MU-120	158	140	158
MU-140	180	160	180
MU-160	170	180	170
MU-180	160	200	160
MU-200	150	220	150

Nota: Medidas en mm

Se citan las medidas más usuales.

Alternativamente, en sustitución de las mallas tipo (**MU**), pueden utilizarse mallas de triple torsión, mallas de fibra de vidrio o similar (ver figura 16).

### 3.2.4 Unión de panel con forjado

Las uniones de los muros con los forjados pueden resolverse como se muestra en las figuras 17 a 19. 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 diámetro 5 mm de los mallazos del panel BAUPANEL 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 figuras 9 y 10).

En estos casos, la luz máxima de los forjados podrá ser de 6 metros verificándose los momentos flectores de servicio y las flechas máximas admisibles en estado elástico, según lo estipulado en la EHE o Código que la sustituya.

### 3.2.5 Unión con panel superior

La continuidad de un panel con el superior se resuelve mediante mallas planas (MP) y angulares (MA) siempre según los detalles facilitados por el fabricante que se muestran en las figuras 17 y 18.

## 4. MATERIALES

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

### 4.1 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.

El poliestireno expandido estará en posesión del marcado CE, con las siguientes características certificadas según UNE-EN 13163:2013<sup>(1)</sup>.

- Densidad nominal:  
 $\geq 15 \text{ kg/m}^3$
- Conductividad térmica:  
 $0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Clase de reacción al fuego según UNE - EN 13501-1:2007+A1:2010<sup>(2)</sup>:  
E
- Estabilidad dimensional:  
 $\pm 5 \%$
- Tensión de compresión al 10 % de deformación:  
 $\sigma_{10} \geq 60 \text{ kPa}$
- Resistencia a la flexión:  
 $\sigma_B \geq 100 \text{ kPa}$
- Código de designación:  
EPS EN 13163 L1 W1 T1 S1 P3 DS(N)5

El espesor del núcleo de poliestireno expandido de los paneles BAUPANEL deberá ser tal que el aislamiento térmico correspondiente al cerramiento obtenido, cumpla los requisitos exigidos por el CTE DB-HE Ahorro de Energía, según corresponda.

Considerando la conductividad térmica del aislante certificada según UNE-EN 13163:2013<sup>(1)</sup> para la densidad  $15 \text{ kg/m}^3$ , resultan los siguientes valores de transmitancia U en  $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , calculado según las directrices del CTE-DB-HE relativo a Ahorro

<sup>(1)</sup> Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificación.

<sup>(2)</sup> Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

Energético (calculado como muro vertical en contacto con aire exterior y sin tener en cuenta el efecto de los conectores), habiéndose considerado que para el espesor del hormigón su transmitancia U sea igual a  $1,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

CERRAMIENTO VERTICAL	
FLUJO HORIZONTAL	
PANEL TIPO	U ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )
BPR-40	0,810
BPR-50	0,671
BPR-60	0,572
BPR-70	0,499
BPR-80	0,442
BPR-90	0,397
BPR-100	0,361
BPR-110	0,330
BPR-120	0,304
BPR-130	0,282
BPR-140	0,263
BPR-150	0,247
BPR-160	0,232
BPR-170	0,219
BPR-180	0,207
BPR-190	0,197
BPR-200	0,187

### 4.2 Aceros

#### 4.2.1 Barras de acero corrugado

Las barras corrugadas son de calidad B-500 S con límite elástico mayor de 500 MPa, alargamiento en rotura superior al 8 % y resistencia a tracción mayor de 550 MPa según UNE 36099:1996<sup>(3)</sup>.

#### 4.2.2 Barras de acero galvanizado

Las mallas se componen de barras lisas de acero galvanizado, con resistencia a tracción de 700 MPa y composición química según UNE-EN ISO 16120-2:2012<sup>(4)</sup>.

La capa mínima del galvanizado será de  $45 \text{ g/m}^2$  para el diámetro de 2,4 mm y de  $50 \text{ g/m}^2$  para el diámetro de 3 mm, según UNE-EN 10244-2:2010<sup>(5)</sup>.

## 5. 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.

<sup>(3)</sup> Alambres corrugados de acero para armaduras de hormigón armado.

<sup>(4)</sup> Alambres de acero no aleado para la fabricación de alambre. Parte 2: Requisitos específicos del alambre de uso general.

<sup>(5)</sup> Alambre de acero y productos de alambre. Recubrimientos metálicos no ferrosos sobre alambre de acero. Parte 2: Recubrimientos de cinc o de aleaciones de cinc.

Los componentes del hormigón para proyectar cumplirán los requisitos recogidos en UNE-EN 14487-1:2008<sup>(6)</sup>.

Los cementos empleados serán CEM I o CEM II según UNE-EN 197-1:2011<sup>(7)</sup>, de clase resistente 32,5 N/mm<sup>2</sup> o 42,5 N/mm<sup>2</sup>, debiendo cumplir las especificaciones fijadas en la «Instrucción de Hormigón Estructural» (EHE) o Código que la sustituya.

Los áridos podrán ser naturales o de machaqueo y deberán cumplir las prescripciones fijadas en la EHE, con la única limitación de que, para favorecer la impulsión neumática, el tamaño máximo del árido sea 6 mm. La mezcla con que se realice la proyección neumática del hormigón estructural BAUPANEL deberá cumplimentar los requisitos que se enumeran a continuación:

- Consistencia: debe poder ser aplicado en capas de unos 2 cm sin que se produzcan desprendimientos.
- Resistencia: a los fines de cálculo se considerará una resistencia a la compresión de 25 MPa.
- Baja retracción de fraguado: para evitar la fisuración provocada por la evaporación del exceso de agua de amasado se emplearán en la dosificación fibras de polipropileno de 12 mm de longitud, con marcado CE según UNE-EN 14889-2:2008<sup>(8)</sup>, de modo que la retracción sea inferior a 0,4 mm/m.

La dosificación del hormigón proyectado, con la posible incorporación de aditivos, se realizará conforme a la «Instrucción del Hormigón Estructural» (EHE) y de tal forma que se obtengan los requisitos antes descritos.

Cuando se utilicen encofrados para el hormigonado de las láminas externas de los paneles, la consistencia será muy fluida, con un mínimo escurrimiento de 200 mm según UNE-EN 1015-3:2000/A2:2007<sup>(9)</sup>. La dosificación del hormigón vertido con la posible incorporación de aditivos, se realizará conforme a la EHE y de tal forma que se obtengan los requisitos descritos anteriormente.

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

<sup>(6)</sup> Hormigón proyectado. Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad.

<sup>(7)</sup> Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

<sup>(8)</sup> Fibras para hormigón. Parte 2: Fibras poliméricas. Definiciones, especificaciones y conformidad.

<sup>(9)</sup> Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).

requerimientos antes expuestos además de lo dispuesto en la norma UNE-EN 998-1:2010<sup>(10)</sup>.

## 6. FABRICACIÓN DE LAS PLACAS

### 6.1 Lugar de fabricación

El sistema BAUPANEL es fabricado por la empresa BAUPANEL SYSTEM S.L., en la planta industrial ubicada en el Polígono Industrial de Antequera - Avenida Poeta Muñoz Rojas nº. 10 b, 29200 Antequera (Málaga) y cuenta con un sistema interno de aseguramiento de la calidad para la fabricación de sus productos.

### 6.2 Documentos para la fabricación

La orden de trabajo es el documento específico que recoge los paneles a fabricar (tipo, número dimensiones, materiales requeridos, etc.) junto con un estadillo control de procesos que recoge las verificaciones que se realizan para cada actividad del proceso de fabricación: corte de bloques del pantógrafo, producción de mallazo básico y mallas de unión y refuerzo, ensamblaje de paneles en la paneladora, controles dimensionales, acabados y conformidad final.

### 6.3 Proceso de fabricación

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

#### 6.3.1 Corte de los bloques de EPS

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 las figuras 1 y 3.

#### 6.3.2 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 electrosoldada que está compuesta por 15 barras longitudinales espaciadas 7,50 cm (paneles tipo BSR/BSF) o 20 barras longitudinales, espaciadas en promedio 6,25 cm (paneles tipo BPR/BPF) con barras transversales espaciadas 6,50 cm.

Esta máquina soldadora automática posee control total de la calidad de soldadura con actuadores

<sup>(10)</sup> Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido.

regulables de 0 a 100 que operan sobre cada uno de los siguientes puntos:

- Precompresión de las barras a soldar por las pinzas de soldadura.
- 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.

### 6.3.3 *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 6 (paneles tipo BSR/BSF) o 7 (paneles tipo BPR/BPF) cilindros verticales que son abastecidos por bobinas de alambre de acero.

Estos cilindros enderezan, trasladan y cortan los separadores, mientras que un conjunto formado por 12 pinzas –6 superiores y 6 inferiores– (paneles tipo BSR/BSF) o 14 pinzas –7 superiores y 7 inferiores– (paneles tipo BPR/BPF) de soldadura 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. Puede realizar hasta 160 puntos de soldadura por cada metro cuadrado de panel.

### 6.3.4 *Producción de mallazos de unión*

Para obtener las mallas planas de continuidad en los lados del panel sin solape (tipo MP) y de refuerzo angular (tipo MA), descritas en el punto 3.2.3, se utiliza una máquina controlada por microprocesador que produce el corte simple o el corte y el plegado a 90° (o según el ángulo requerido) de tramos de malla entera, produciendo piezas planas (MP) de 0,26 m por 1,16 m, y angulares (MA) de 0,2275 + 0,2275 m de anchura por 1,16 m de longitud.

## 7. IDENTIFICACIÓN Y ETIQUETADO

Los paneles producidos por BAUPANEL se rotulan

en el lateral de la placa de EPS con el siguiente código:

- Código de la obra
- Tipología de panel y espesor de EPS
- Longitud del panel en metros
- Planta de instalación (si procede).

Además, se hará un etiquetado por pila de paneles que incluya:

- Marca comercial e identificación del fabricante
- Logotipo y número de DIT
- Código de identificación de los paneles: lote, fecha de fabricación, etc,...
- Identificación de la obra de destino: proyecto, albarán, fecha de salida,...

## 8. CONTROL DE CALIDAD

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

### 8.1 **Controles de recepción en fábrica**

La trazabilidad de estos materiales queda registrada en el documento Hoja de control y verificación de EPS y bobinas de acero, junto con los certificados de proveedor y la documentación del suministro.

#### 8.1.1 *Poliestireno expandido*

El poliestireno expandido estará en posesión del marcado CE, cumplimentando las características certificadas según UNE-EN 13163:2013<sup>(11)</sup>.

La recepción es controlada 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 CE de cada bloque.

#### 2) *Dimensional*

De cada 5 bloques que se reciben en Planta se efectúa un control dimensional con cinta métrica y se verifica que cumple con las dimensiones del pedido con una tolerancia dimensional de + 2 cm.

#### 3) *Densidad*

Una vez medidos, son pesados con balanza

<sup>(11)</sup> Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificación.



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.

### 8.1.2 *Aceros*

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

Los aceros deberán cumplir con las normas:

- UNE 10080:2006<sup>(12)</sup>
- UNE-EN ISO 16120-2:2012<sup>(13)</sup>
- UNE-EN 10244-2:2010<sup>(14)</sup>.

Y estar 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.

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 BAUPANEL efectúa un control de la presencia del certificado de origen y de la conformidad de los requisitos de calidad solicitados.

El acero, que 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) *Peso*

Se controla 1 bobina de acero de cada 5 recibidas, verificándose el peso total con balanza Clase I.

<sup>(12)</sup> Acero para el armado del hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Generalidades.

<sup>(13)</sup> Alambroón de acero no aleado para la fabricación de alambre. Parte 2: Requisitos específicos del alambroón de uso general.

<sup>(14)</sup> Alambre de acero y productos de alambre. Recubrimientos metálicos no ferrosos sobre alambre de acero. Parte 2: Recubrimientos de cinc o de aleaciones de cinc.

## 8.2 **Proceso de fabricación**

### 8.2.1 *Corte de los bloques de poliestireno expandido*

Como se ha dicho, este proceso se realiza en un pantógrafo, controlado por microprocesador, que combina el movimiento de translación horizontal del bloque con el movimiento vertical de un conjunto de alambres separados según el espesor del panel que se desea fabricar. El control de calidad consiste en:

- la comprobación del estado de los alambres de corte;
- la correcta separación de los mismos de acuerdo al parte de producción;
- la comprobación de los espesores seleccionados mediante cinta métrica una vez realizados los cortes;
- la verificación visual de los cortes ondulados en el interior del núcleo del bloque de EPS.

### 8.2.2 *Producción del mallazo de acero básico*

La conformación de mallazos se realiza también de forma mecanizada en un equipo automático controlado por microprocesador. El principal control tiene que ver con la soldadura de las barras longitudinales y transversales; este control en los nudos se realiza de acuerdo a la norma UNE 36092:2014<sup>(15)</sup> para lo que se realiza:

- Control visual de nudos despegados.
- Ensayos de tracción: diariamente, tanto al comenzar como al terminar la producción, se toman muestras de nudos de la malla de acero para efectuar el ensayo de tracción de nudo soldado. Tales pruebas son realizadas internamente en Planta de producción sobre todos los tipos de malla de acero que se producen. El registro de los resultados se efectúa en el Diario de Producción.

### 8.2.3 *Panel terminado*

Sobre el panel terminado se efectúan los siguientes controles:

#### 1) *Dimensional*

Se verifica con cinta métrica las dimensiones de los paneles producidos con una tolerancia dimensional igual a L/500.

#### 2) *Visual*

Se verifica la integridad del conjunto comprobando que no ha habido pérdida de material EPS por arrancamiento durante el mecanizado o combustión durante la soldadura.

<sup>(15)</sup> Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con alambres de acero B 500 T.

### 3) 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.

Se toman muestras de malla de acero para efectuar pruebas de tracción y de separación de nudo soldado, tanto en mallazo básico como en la unión mallazo-conector. Tales pruebas son realizadas por laboratorio externo con una frecuencia de una campaña de ensayos por cada 20 000 m<sup>2</sup> de panel fabricado, con un mínimo de dos veces al año.

El registro de estos controles internos de fabricación se realiza en las correspondientes fichas de pantógrafo, mallas y paneladora así como en las correspondientes actas de ensayo de laboratorio externo.

#### 8.3 Control de calidad en obra

El fabricante aportará un Plan de Control de Obra, en cumplimiento de la «Instrucción del Hormigón Estructural» (EHE), que deberá ser aprobado por la Dirección Facultativa.

Este Plan de Control incluirá los registros de los procesos de ejecución recogidos en el punto 11 y las tolerancias de los paneles montados y proyectados: desviaciones de replanteo, desplazamiento de alineaciones, diferencia de cotas, desplome del panel, etc. También incluirá un control de recepción de materiales.

##### 8.3.1 Hormigones

Para la fabricación del hormigón existe un control de calidad en la recepción de los materiales que se suministran que asegura que se cumplen los requisitos de sus componentes recogidos en UNE-EN 14487-1:2008<sup>(16)</sup> y los recogidos en la EHE.

- Los áridos cumplirán las prescripciones fijadas en la «Instrucción de Hormigón Estructural» (EHE) y estarán en posesión del Mercado CE.
- Los cementos seguirán la «Instrucción para la Recepción de Cementos» (RC) en vigor, estarán en posesión del Mercado CE y cumplirán lo especificado en la norma UNE-EN 197-1:2011<sup>(17)</sup>.
- El agua de amasado deberá cumplir las prescripciones fijadas en la «Instrucción del Hormigón Estructural» (EHE).
- Los aditivos dispondrán de Mercado CE, se encontrarán en proporción no superior al 5 %

<sup>(16)</sup> Hormigón proyectado. Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad.

<sup>(17)</sup> Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

en peso del cemento y cumplirán con lo especificado en la norma UNE-EN 934-2:2010+A1:2012<sup>(18)</sup>.

- Las adiciones deben cumplir, además de lo marcado en la EHE, los requisitos especificados en la norma EN 206-1:2008<sup>(19)</sup>.

Cuando el hormigón o en su caso el mortero industrial sea suministrado desde una planta que esté en posesión de Sello de Calidad oficialmente reconocido, no será necesario realizar el control de recepción en obra de sus materiales componentes.

Los hormigones, tanto los realizados en obra como los suministrados a obra desde una central de hormigón preparado que deberá estar en posesión de un sello o marca de calidad, se controlarán según los criterios de la «Instrucción del Hormigón Estructural» (EHE) para el control estadístico, con la realización de los ensayos por un laboratorio externo acreditado en el número y cantidad que haya fijado la Dirección facultativa.

##### 8.3.2 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:

- Los aceros para armar cumplirán la norma UNE-36068:2011<sup>(20)</sup> y estarán certificados por sello de calidad AENOR.
- Los mallazos cumplirán la norma UNE 36092:1996<sup>(21)</sup> y deberán estar certificados por el sello de calidad AENOR.

En la recepción del acero se solicitarán los correspondientes certificados y se realizarán los ensayos por un Laboratorio externo acreditado. Para la realización del control se establecen los siguientes parámetros:

###### 1) Partida

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

###### 2) Lote

Extensión del lote: 20 toneladas.

En cada lote se realizarán los siguientes ensayos:

- Dos comprobaciones de sección equivalente.
- Dos comparaciones de características geométricas se encuentran dentro de los límites establecidos en el certificado de

<sup>(18)</sup> Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.

<sup>(19)</sup> Hormigón. Parte 1: Especificaciones, prestaciones, producción y conformidad.

<sup>(20)</sup> Barras corrugadas de acero soldable para uso estructural en armaduras de hormigón armado.

<sup>(21)</sup> Mallas electrosoldadas de acero para armaduras de hormigón armado.

adherencias o cumplen el correspondiente índice de corruga.

- Dos comprobaciones de doblado-desdoblado.
- Para cada uno de los diámetros empleados, comprobación de: tipo de acero, fabricante, límite elástico y carga de rotura y su relación, alargamiento de rotura y alargamiento bajo carga mínima.

## 9. ALMACENAMIENTO

El acopio de paneles BAUPANEL se realizará en pilas en horizontal, sobre tirantes de madera o EPS apoyados directamente sobre el terreno natural. Los tirantes o tablas de madera o EPS 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 4 metros.

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

No se mantendrán las piezas expuestas de forma prolongada a la acción solar.

## 10. TRANSPORTE Y RECEPCIÓN EN OBRA

El transporte de los paneles se hará en pilas horizontales apoyadas sobre tirantes distanciados un máximo de 2 metros. La altura de cada pila podrá ser como máximo de 4 metros.

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

## 11. PUESTA EN OBRA

### 11.1 Replanteo y colocación de esperas

Los paneles se colocan apoyándolos simplemente sobre una cimentación continua armada según cálculo convencional, dimensionada en función de la resistencia admisible del terreno.

Esta cimentación presentará una armadura básica de montaje, consistente en barras de acero corrugadas de diámetro 6 mm, en números que surjan del cálculo estructural correspondiente de cada obra, con disposición al 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; 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 11).

Las esperas también podrán colocarse perforando el hormigón de la cimentación con taladro rotopercutor y fijando las barras al hormigón con un adhesivo epoxi cuando el cálculo estructural así lo requiera.

Otra posible solución es colocar, antes de hormigonar la cimentación, las esperas en el eje del panel, con barras de diámetro igual o superior a 8 mm y una separación máxima de 1,125 m (una por panel); completándose con la armadura básica de montaje de diámetro 6 mm con el número y separación definidas en el párrafo anterior, que se anclarán a la cimentación en una longitud de 5 cm. En este caso, se eliminará completamente el núcleo de EPS alrededor de la espera de diámetro 8 mm o superior, en un ancho igual al espesor de EPS y como mínimo de 5 cm. La espera será recubierta completamente por el hormigón proyectado (ver figura 12). Esta solución sólo está indicada para zonas no sísmicas y empujes horizontales de viento inferiores al 20 % de la carga vertical. Las esperas de diámetro 8 mm o mayor se colocarán preferentemente antes del hormigonado de la cimentación, salvo indicación de la Dirección Facultativa.

### 11.2 Colocación de paneles

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 13, 14 y 17 a 19).

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 o automáticas. Las aristas horizontales y verticales del encuentro entre paneles deberán ser reforzadas mediante mallas angulares (MA) dispuestas a lo largo de las mismas y en cada una de sus caras (ver figuras 13 y 14).

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

Los huecos abiertos en paramentos horizontales o verticales en sistema BAUPANEL deben reforzarse mediante mallas de tipo MU, de anchura correspondiente a la del paramento, recercando los bordes de todo el hueco (ver figuras 15 y 16). Asimismo se reforzarán con este tipo de malla todos los bordes libres de paramentos, como por ejemplo voladizos (ver figura 19).

Las aberturas deberán tener refuerzos a 45° 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 BAUPANEL, para estos fines (ver figuras 15 y 16).

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 las mallas tipo MP 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 BAUPANEL.

La unión entre muros y forjados se resuelve según lo indicado en el punto 3.2.4 y las figuras 17 y 18 del presente Informe Técnico, 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 según indique el cálculo.

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.

### 11.3 Vertido o proyección del hormigón

Una vez realizadas las operaciones descritas, se procede a la puesta en obra del hormigón, para lo que se tendrá en cuenta la EHE y lo establecido en UNE-EN 14487-2:2008<sup>(22)</sup>.

La aplicación del hormigón puede realizarse con dispositivos de proyección neumática tipo *hopper-gun* conectados a un compresor de aire de potencia adecuada o con máquinas de proyección continua del tipo Turbosol Mini Avant 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 máquinas 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 aplicación 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 o 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, como mínimo, 3 cm. Para ello se podrán utilizar guías, a modo de maestras, que pueden ser simplemente tubos de acero de sección redonda o cuadrada de 25 mm o más, en función del recubrimiento deseado; 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.).

Para la realización de los planos horizontales o inclinados se debe disponer un encofrado de sopandas y puntales empleándose cualquiera de los siguientes procedimientos:

Procedimiento 1: se colocan los paneles de forjado (BPF/BSF) sobre el apuntalamiento uniéndolos entre sí por medio del solape de 50 mm que presentan sus mallas. Esta unión se materializa por medio de ataduras de alambre o grapadoras automáticas o manuales. Durante este proceso deben colocarse los refuerzos y esperas de las plantas superiores según se describe en las figuras 17 y 18.

El proyectado de microhormigón se realiza en tres fases. En primer lugar se hormigona la cara inferior en un espesor de 0,5 cm de tal forma que no cubra por completo las armaduras de acero inferiores.

A continuación se procede al hormigonado de la capa de compresión de 5 cm. La disposición de sopandas y puntales debe ser tal que evite una excesiva deformación de los paneles ante el peso del hormigón fresco.

<sup>(22)</sup> Hormigón proyectado. Parte 2: Ejecución.

Tras esperar a que el hormigón haya alcanzado la resistencia estimada, se coloca un nuevo sistema de sopandas y puntales y se retira el primer encofrado, de este modo los huecos dejados tras el primer hormigonado quedan a la vista. Se procede a hormigonar de nuevo la capa inferior hasta cubrir el espesor mínimo inferior, cubriendo además los huecos dejados por el primer sistema de sopandas. Pasados dos días se retira el encofrado y se rellenan los huecos dejados por las sopandas en el microhormigón de la cara inferior del forjado.

Procedimiento 2: se realiza un encofrado horizontal o inclinado con tableros fenólicos sobre el que se irá aplicando una capa de hormigón fluido e inmediatamente el panel apoyado en unos dados separadores que mantengan el espesor de 3 cm de recubrimiento mínimo inferior; la cara inferior del panel se irá sumergiendo en la masa vertida. La tarea se continúa hasta completar toda la superficie de forjado. Deberá asegurarse la correcta compactación de la capa inferior.

Una vez terminada ésta tarea se procederá al vertido de la capa de compresión de 5 cm de espesor.

Los períodos de desencofrado y descimbrado se realizarán siguiendo la instrucción EHE y lo dispuesto por la Dirección Facultativa.

#### 11.4 Comprobaciones finales

Las desviaciones admisibles de montaje serán las establecidas en el Anejo 11 de la EHE y en la Norma UNE-EN 13670:2013<sup>(23)</sup>.

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

## 12. MEMORIA DE CÁLCULO

Los edificios construidos con el Sistema Constructivo BAUPANEL 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 conectores de acero de 3 mm de diámetro que vinculan los mallazos de manera tal que las dos capas de hormigón proyectadas trabajan de manera solidaria como sección compuesta.

### 12.1 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 obtendrá mediante cálculo, en función de los espesores a considerar.

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 las cargas horizontales a través del forjado o de los posibles arriostramientos.

El análisis de solicitaciones de la estructura se realizará utilizando las acciones definidas en el Documento Básico «Seguridad estructural. Acciones en la edificación» del CTE (DB-SE-AE) según corresponda y se dimensionarán las secciones con los resultados obtenidos según la «Instrucción de Hormigón Estructural» (EHE) o Código que la sustituya.

### 12.2 Elementos horizontales

En cuanto a los paneles 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, obtenido según lo indicado en el punto anterior y se calcularán dentro de la zona de comportamiento elástico.

Las secciones serán dimensionadas según la «Instrucción de Hormigón Estructural» (EHE) o Código que la sustituya.

Los paneles portantes verticales y para forjados presentan una armadura de 6 barras corrugadas de diámetro 5 mm en cada cara. Se incrementarán las barras corrugadas cuando los esfuerzos determinen la necesidad de incrementar la capacidad mecánica de la sección.

En cuanto a los forjados bidireccionales, el criterio de adición de barras perpendiculares vendrá determinado por el cálculo, no disponiéndose unas armaduras superiores a las que traen de origen los paneles.

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

<sup>(23)</sup> Ejecución de estructuras de hormigón.

## 13. REFERENCIAS DE UTILIZACIÓN

El fabricante suministra, como referencia, la siguiente lista de obras:

OBRA	Nº plantas	AÑO
Vivienda unifamiliar aislada. Mijas (Málaga). 410 m <sup>2</sup>	2	2015
Vivienda unifamiliar aislada. Torrelodones (Madrid)	2	2015
Hotel en Villaviciosa de Córdoba (Córdoba). 1.000 m <sup>2</sup>	3	2014
Edificio Universitario en Granada (CETIC). 4.000 m <sup>2</sup>	4	2014
Villa en Montelavar (Portugal). 200 m <sup>2</sup>	Sótano + 2	2013
Edificio de viviendas en Bangalore (India). 150 m <sup>2</sup>	2	2012
Vivienda unifamiliar aislada. Guadalix de la Sierra (Madrid). 250 m <sup>2</sup>	2	2011
Vivienda unifamiliar aislada. Los Ángeles de S. Rafael (Segovia) 400 m <sup>2</sup> (en construcción)	Sótano + 2	2010
Vivienda unifamiliar aislada. Úcar (Navarra) 183 m <sup>2</sup>	2	2009
70 viviendas protegidas en Gines (Sevilla)	2	2008
Cerramiento de piscina municipal en Santa Margarida de Montbui (Barcelona)	2	2007
4.200 viviendas protegidas en Mártil (Marruecos)	4	2006
4 viviendas adosadas en Benalmádena (Málaga) 715 m <sup>2</sup> .	2	2005
Vivienda unifamiliar aislada. El Carpio (Córdoba) 150 m <sup>2</sup>	1	2004

El IETcc ha realizado diversas visitas a obras, así como encuestas a los usuarios, todo ello con resultado satisfactorio.

## 14. ENSAYOS

Parte de los ensayos se realizaron en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) (Informes nº. 18.718-1 y 18.718-2) y otra parte de los ensayos fueron aportados por BAUPANEL SYSTEM S.L. y realizados en otros laboratorios, junto con los ensayos realizados para la evaluación del DIT 431/A (informes nº. 18.167-1 y 18.167-2).

Los ensayos para la ampliación de este DIT están contenidos en el informe 20.602-I del IETcc.

### 14.1 Ensayos de identificación al poliestireno expandido

#### 14.1.1 Densidad aparente

Ensayo realizado según UNE-EN 1602:1997 a cinco probetas, obteniéndose como valor medio:

$$d = 13,58 \text{ kg/m}^3$$

#### 14.1.2 Absorción de agua

Método de ensayo A según UNE-EN 1609:1997.

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

#### 14.1.3 Resistencia a compresión

Ensayo realizado según UNE-EN 826 :1996 al 10 % de deformación, obteniendo el valor de:

$$\delta_m = 56,95 \text{ kPa}$$

#### 14.1.4 Resistencia a flexión

Ensayo realizado según UNE-EN 12089:1997, método B. Las dimensiones de las probetas han sido de 200 x 90 x 30 mm, obteniendo el valor medio de:

$$\delta_m = 127 \text{ kPa}$$

## 14.2 Características mecánicas del panel hormigonado tipo BPR y BPF

Las características de los materiales, armadura, disposición y número de las mismas en los paneles ensayados, corresponden a lo definido en el punto 3.1 de este Informe para este tipo de paneles, es decir, núcleo de EPS con ondulación curva y 80 conectores por metro cuadrado.

### 14.2.1 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 siguientes paneles: un panel BPF-100, un panel BPF-140 y dos paneles BPF-200 con una capa de compresión de 5 cm y la inferior con un espesor de 3 cm. Las dimensiones en planta de los paneles eran de 3,00 x 0,60 m; 3,60 x 0,60 m; y 4,00 x 0,60 m, respectivamente.

Se realizaron cuatro ensayos con las siguientes luces de cálculo: 2,80 m para el panel BPF-100; 3,40 m para el panel BPF-160 y 3,80 m para los dos paneles BPF-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 carga-deformación, se deduce que las secciones de los paneles trabajan como una sección compuesta formada por dos losas de 5,0 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.

### 14.2.2 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 BPR-50 (con recubrimientos mínimos de 3 cm a cada lado) y BPR-80 (con recubrimientos mínimos de 2 cm a cada lado) frente a las cargas verticales de los elementos superiores. Los paneles tenían una altura de 2,5 m y 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 centrada repartida a todo lo ancho del panel, mediante un perfil metálico, que se fue incrementando hasta la rotura.

La prensa fue accionada por dinamómetro AMSLER PM-103 que 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 BPR-50 rompió por pandeo con una carga de 380 kN.

El panel BPR-80 rompió con una carga de 360 kN, produciéndose el fallo por rotura localizada en cabeza.

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

### 14.2.3 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 comporta como una losa apoyada en sus cuatro lados.

#### b) Disposición del ensayo

Se dispuso de una losa de paneles de BPF-120 con un espesor total de 20 cm y de unas dimensiones de cálculo en planta de 3,9 x 3,9 m, apoyada sobre un bastidor metálico, con cuatro apoyos y arriostrados transversalmente (ver figura 17). 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 la carga en escalones de 100 kp/m<sup>2</sup> hasta los 715 kp/m<sup>2</sup>. Esta carga se mantuvo 15 minutos 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 los 15 minutos de haberse cargado la placa, eran similares a las verificadas en el momento de haberse producido el último escalón de carga.

### 14.2.4 Comportamiento a cortante <sup>(24)</sup>

#### a) Objeto del ensayo

Verificar que en la unión de los paneles horizontales que actúan como forjados, con los paneles estructurales verticales se realiza la transmisión de las cargas del piso a los paneles verticales, comprobándose el orden de magnitud que resisten a cortante.

#### b) Disposición del ensayo

Construido un pórtico en forma de H, formado por dos paneles verticales PR-40, con dos capas de hormigón de 3 cm, siendo los paneles de 1,125 m de ancho con 1,10 m de alto, unidos en su altura

<sup>(24)</sup> Ensayo realizado para la evaluación del DIT 431/A. Los paneles PR, correspondientes al DIT 431/A, son equivalentes a los paneles BPR (muros) y BPF (forjados) del presente documento.

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 18).

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 adecuadamente los esfuerzos cortantes a sus paneles de apoyo.

#### 14.2.5 Comportamiento mecánico del panel vertical a esfuerzos horizontales<sup>(25)</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, es decir, aproximadamente 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.

#### 14.2.6 Deformabilidad del panel-losa<sup>(25)</sup>

##### a) Objeto del ensayo

Estudiar si las flechas o deformaciones que se producen en un panel-losa, 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.

##### 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 3 kN/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.

<sup>(25)</sup> Ensayo realizado para la evaluación del DIT 431/A.



### 14.3 Características mecánicas del panel hormigonado tipo BSR y BSF (nueva geometría)

Las características de los materiales, armadura, disposición y número de las mismas en los paneles ensayados, corresponden a lo definido en el punto 3.1 de este Informe para este tipo de paneles, excepto la existencia de las 6 barras corrugadas, por lo que la situación es más desfavorable al realizarse los ensayos únicamente con el mallazo galvanizado. Por lo demás, el panel ensayado cuenta con sección de EPS de ondulación rectilínea y 40 conectores por metro cuadrado.

#### 14.3.1 Comportamiento a flexotracción unidireccional

##### a) Objeto del ensayo

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

##### b) Disposición de los ensayos

Se hormigonaron los paneles con una capa de compresión de 5 cm y la inferior con un espesor de 3 cm. Las dimensiones en planta eran de 3,00 x 0,91 m. Se realizaron los cuatro ensayos con 2,9 m de luz de cálculo.

Cada panel se situó bajo un pórtico de carga, con objeto de ser ensayado a flexión, aplicando las cargas puntuales hasta la rotura.

Para la lectura de la flecha se utilizó un captador de desplazamiento, situado en el centro de la cara superior del panel. Durante el ensayo, un sistema de adquisición de datos registraba los valores de carga y desplazamiento.

Los tipos de paneles y las cargas respectivas aplicadas se muestran a continuación:

- Panel BSF-100: cuatro cargas lineales iguales situadas a 0,1·L, 0,3·L, 0,2·L y 0,3·L respecto de la luz de la viga, partiendo del apoyo.
- Paneles BSF-160: carga lineal centrada en la luz y dos cargas lineales a L/3 de la luz.
- Panel BSF-200: dos cargas lineales a L/3 de la luz.

##### c) Resultados obtenidos

En la siguiente tabla se muestra la carga y el momento flector resultante para diferentes flechas características, así como la carga máxima alcanzada al producirse la rotura con la flecha en ese instante.

Los datos que se muestran son la carga total del actuador hidráulico normalizada para un ancho de panel de 1 m.

Cargas y momentos para las flechas		BSF 100	BSF 160-1	BSF 160-2	BSF 200
L/500	Carga (kN)	3,50	6,80	7,80	6,80
	Mto.(kN·m)	1,27	4,93	3,77	3,29
L/400	Carga (kN)	4,40	8,20	9,50	7,70
	Mto.(kN·m)	1,60	5,95	4,59	3,72
L/300	Carga (kN)	5,90	10,30	12,20	10,30
	Mto.(kN·m)	2,14	7,47	5,90	4,98
L/200	Carga (kN)	8,30	14,30	17,20	14,40
	Mto.(kN·m)	3,01	10,37	8,31	6,96
Carga MÁXIMA (kN)		19,90	20,40	23,40	23,40
Flecha bajo carga máxima (mm)		101,00	24,50	62,50	62,50
Modo de rotura		Flexión	Flexión	Flexión	Cortante

#### 14.3.2 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 cuatro ensayos a compresión con el fin de estudiar el comportamiento mecánico de los paneles prefabricados BSR-40 y BSR-300 de 2,7 m de altura frente a las cargas verticales de los elementos superiores.

Cada panel objeto del ensayo se colocó perfectamente aplomado entre los platos de una prensa, y se le aplicó una carga centrada repartida a todo lo ancho del panel, mediante un perfil metálico, que se fue incrementando hasta la rotura.

##### c) Resultados obtenidos

En ambos casos la carga se incrementó a velocidad constante hasta que se produjo el fallo del panel.

Los paneles BSR-40 fallaron por rotura en el tercio inferior, con una carga media de 717,5 kN/m.

Los paneles BSR-300 rompieron con una carga media de 638,8 kN/m, produciéndose el fallo por rotura localizada en cabeza.

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

### 14.4 Trasmittancia térmica<sup>(26)</sup>

Obtenida a través del ensayo realizado de acuerdo con las normas UNE 92202:1989, DIN 52612 y ASTM-C-518, a un panel de PR-80, con espesores

<sup>(26)</sup> Ensayo realizado para la evaluación del DIT 431/A.

de hormigón de 30 mm, de dimensiones de 60 x 60 cm, en estado seco.

$$U = 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 14.5 Ensayos de aptitud de empleo

##### 14.5.1 Resistencia al cuerpo blando <sup>(27)</sup>

Formado un muro con dos paneles y empotrados en una zapata, de formas y dimensiones los paneles y zapatas definidos en el apartado 12.2.4 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.

##### 14.5.2 Ensayo de estanquidad a las uniones de paneles <sup>(27)</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.

##### 14.5.3 Ensayo a flexión de dos paneles de forjados <sup>(27)</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 cm 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 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.

##### 14.5.4 Ensayo de aptitud de empleo mecánico del Sistema <sup>(27)</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 en sendas zapatas. El panel de forjado es un PR-80, con

<sup>(27)</sup> Ensayo realizado para la evaluación del DIT 431/A.

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.

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 atravesaban 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 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/m estando, por tanto, con un coeficiente de mayoración de carga del orden de 3,6 veces, y con la pared superior no arriostrada.

#### 14.5.5 Aislamiento acústico

Ensayos efectuados por EUROCONSULT, con número de informe 06020108, de acuerdo a la norma UNE-EN-ISO 140-4:1999, realizados en obras construidas de acuerdo con el Sistema.

Para unas particiones interiores formadas por un panel BPR-50 y capas de microhormigón HA-25 de 30 mm en ambas caras, revestidos con pintura, el valor obtenido de aislamiento acústico es de 35,1 dBA.

Para unos forjados constituidos por un panel BPF-100, sobre éste una capa de compresión de microhormigón HA-25 de 55 mm de espesor, 50 mm de mortero autonivelante y solería de gres; y capa inferior del panel de 35 mm de microhormigón HA-25, revestida con pintura, el aislamiento acústico al ruido aéreo es de 45,0 dBA.

## 15. EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE EMPLEO

### 15.1 Cumplimiento de la reglamentación nacional

#### 15.1.1 SE - Seguridad estructural

Los muros y forjados construidos con el Sistema BAUPANEL constituyen parte del cerramiento, los forjados y la estructura o parte de la estructura del edificio.

La presente evaluación técnica, con los ensayos realizados, ha permitido comprobar que el comportamiento estructural del Sistema es acorde con las hipótesis de cálculo del fabricante, según se describen en el punto 12.

El proyecto del edificio deberá contar con su correspondiente anejo de cálculo de estructuras, donde se especifiquen los criterios de cálculo adoptados, que deberán ser conformes a lo establecido en el presente documento y justificar el cumplimiento de los requisitos básicos de resistencia y estabilidad (SE 1) y de aptitud al servicio (SE 2) del CTE.

La estructura, y en particular los paneles de forjado, ha de dimensionarse, además de por

Estado Límite Último, por el estado Límite de Servicio, dentro de la zona de comportamiento elástico. Se prestará especial atención a una verificación de las deformaciones previstas en la estructura, que deberán ser tales que no comprometan la integridad de los elementos constructivos previstos (en particular cerramientos, particiones y acabados).

Para dar estabilidad al edificio es necesario que se dispongan alineaciones de paneles en las dos direcciones para resistir los empujes de viento o sismo si los hubiere, o bien recurrir a otro sistema de estabilización.

#### 15.1.2 *SI - Seguridad en caso de incendio*

Debe justificarse el cumplimiento del requisito básico de resistencia al fuego de la estructura (SI 6) en función del tipo de construcción prevista, debiendo establecerse los recubrimientos de los paneles que garanticen la estabilidad y resistencia al fuego exigida (SI 6, Anejo F). El número de plantas sobre rasante estará limitado por la justificación (mediante cálculo o ensayos según EN 13501-2<sup>(28)</sup>) de la resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales en relación con la altura de evacuación del edificio (SI 6).

Igualmente deberán disponerse los revestimientos necesarios para dar cumplimiento a la resistencia al fuego de paredes y techos que delimiten sectores de incendio (SI 1) y en relación con la propagación exterior (SI 2).

#### 15.1.3 *SUA - Seguridad de utilización y accesibilidad*

Se tendrán en cuenta las exigencias básicas del CTE-DB-SUA, relativo a Seguridad de utilización y accesibilidad; en particular en lo relativo a la aplicación de acabados (SUA 1).

#### 15.1.4 *HS - Salubridad*

Los ensayos de estanquidad al agua de los paneles y juntas permitieron verificar el correcto comportamiento del sistema ante esta solicitud, debiendo realizarse la ejecución de juntas conforme a lo descrito en el informe técnico.

En cualquier caso, deberá prestarse especial atención, en el diseño de las fachadas, a la incorporación de las ventanas y de los elementos de iluminación, así como la correcta solución de los puntos singulares, fijaciones exteriores, etc.

La comprobación de la limitación de humedades de condensación superficiales e intersticiales debe realizarse según lo establecido en la parte 2

<sup>(28)</sup> Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 2: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación.

del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE 1 del Código Técnico de la Edificación (DA/2 DB-HE1, CTE), parte 2, en su epígrafe 4.

Los componentes del sistema, según declara el fabricante del mismo, no contienen ni liberan sustancias peligrosas de acuerdo a la legislación nacional y europea.

#### 15.1.5 *HR - Protección frente al ruido*

El Sistema permite la incorporación posterior de aislamiento acústico.

La solución completa de los elementos constructivos (cerramiento exterior, particiones interiores, forjados y cubierta) debe ser conforme con las exigencias del CTE-DB-HR, relativo a Protección frente al ruido.

#### 15.1.6 *HE - Ahorro de energía*

El Sistema permite el trasdosado interior o exterior de los paneles, dando lugar a distintas soluciones de cerramiento.

La solución completa de cerramiento debe satisfacer las exigencias del CTE-DB-HE, relativo a Ahorro Energético, en cuanto a comportamiento higrotérmico; debiendo quedar justificado el cumplimiento del requisito básico de limitación de la demanda energética (HE 1) para la zona climática correspondiente en función de cada tipo de cerramiento.

### 15.2 **Utilización del producto. Puesta en obra y limitaciones de uso**

#### 15.2.1 *Puesta en obra*

La idoneidad de este Sistema depende fundamentalmente de que la puesta en obra sea realizada por empresas cualificadas, reconocidas por el fabricante, con experiencia demostrable en la instalación del Sistema.

Dichas empresas garantizarán que la utilización del Sistema se efectúa en las condiciones y campos de aplicación cubiertos por el presente Documento respetando las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos, emitiendo un certificado de conformidad al final de la obra.

#### 15.2.2 *Limitaciones de uso*

La aplicación de este sistema constructivo estaba limitada a una altura máxima por planta de 4 m con hasta cuatro plantas, o seis plantas si en las plantas baja y primera se empleaba un panel mínimo con núcleo de EPS de 80 mm y un recubrimiento medio de hormigón proyectado de 40 mm en cada cara, además de que los forjados en toda la altura del edificio se dispusieran apoyados en sus cuatro bordes, trabajando bidireccionalmente, y con una luz máxima de

5,0 m. Todo ello justificado en la correspondiente memoria de cálculo.

Para edificaciones de mayor altura, ante los posibles problemas de inestabilidad local y pandeo que pudieran producirse, deberá hacerse un análisis local con las diversas opciones de arriostramiento lateral y un análisis global de deformaciones de segundo orden. Igualmente el nivel de control de ejecución en obra deberá ser adecuado a la solución que se proyecte.

Se prestará especial atención a la limitación de altura impuesta por la resistencia a fuego de la estructura, según lo indicado en 15.1.2.

La solución de unión con la cimentación con esperas en el eje del panel descrita en el punto 11.1 es de aplicación únicamente en zonas no sísmicas y con empujes horizontales de viento menores de 20 % de la carga vertical.

Se seguirá, para su aplicación, lo descrito en el apartado 11 de puesta en obra.

En cualquier caso, la solución constructiva global adoptada deberá quedar justificada por el cálculo recogido en el proyecto técnico a que aluden las condiciones generales de concesión del DIT.

### 15.3 Gestión de residuos

Para los residuos producidos durante los procesos de fabricación y puesta en obra del sistema, en particular de las masillas de sellado, se seguirán las instrucciones dadas por el fabricante de los mismos.

Se seguirán las especificaciones del Real Decreto 105/2008 por el que se regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición, así como las reglamentaciones autonómicas y locales que sean de aplicación.

## 16. CONCLUSIONES

Considerando que BAUPANEL SYSTEM S.L. realiza un control de calidad de fabricación que comprende un sistema de autocontrol por el cual el fabricante comprueba la idoneidad de las materias primas, del proceso de fabricación y del producto final.

Considerando que los métodos de desarrollo del proyecto, fabricación de paneles y puesta en obra está suficientemente contrastado por la práctica, por los resultados obtenidos en los ensayos y por las visitas a obras realizadas.

Se estima favorablemente, con las observaciones de la Comisión de Expertos en este DIT, la idoneidad de empleo del Sistema propuesto por el fabricante.

## 17. OBSERVACIONES DE LA COMISIÓN DE EXPERTOS<sup>(29)</sup>

Las principales observaciones de la Comisión de Expertos<sup>(30)</sup> 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 estados 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 de forjado a los paneles verticales en las dos alineaciones o direcciones, para garantizar la transmisión de los empujes horizontales que se produjeran sobre el edificio, a ambas alineaciones.

<sup>(29)</sup> La Comisión de Expertos de acuerdo con el Reglamento de concesión del DIT (O.M. de 23/12/1988), tiene como función, asesorar sobre el plan de ensayos y el procedimiento a seguir para la evaluación técnica propuestos por el IETcc.

Los comentarios y observaciones realizadas por los miembros de la Comisión, no suponen en sí mismos aval técnico o recomendación de uso preferente del sistema evaluado.

La responsabilidad de la Comisión de Expertos no alcanza los siguientes aspectos:

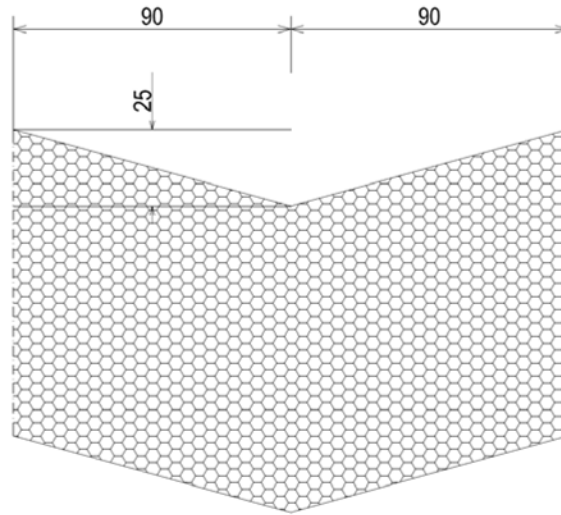
- a) Propiedad intelectual o derechos de patente del producto o sistema.
- b) Derechos de comercialización del producto o sistema.
- c) Obras ejecutadas o en ejecución en las cuales el producto o sistema se haya instalado, utilizado o mantenido, ni tampoco sobre su diseño, métodos de construcción ni capacitación de operarios intervinientes.

<sup>(30)</sup> La Comisión de Expertos estuvo integrada por representantes de los siguientes Organismos y Entidades:

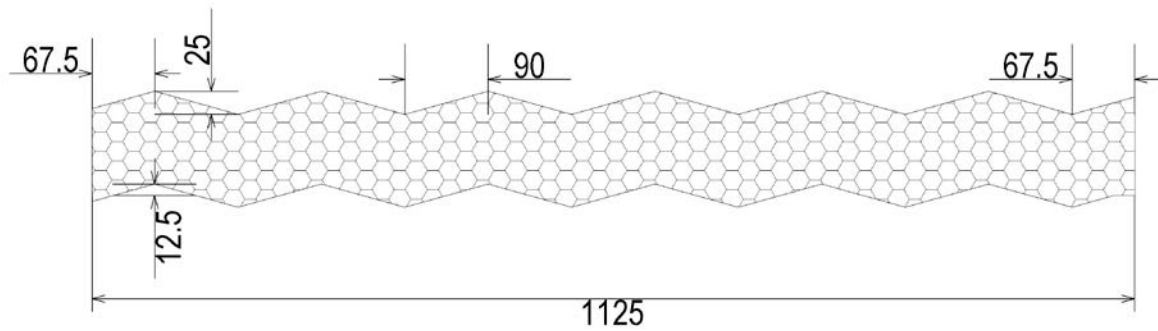
- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS.
- Asociación Nacional de Empresas de Rehabilitación y Reforma (ANEER).
- Consejo General de la Arquitectura Técnica (CGATE).
- Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE).
- DRAGADOS, S.A.
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil (UPM).
- Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica (EUATM).
- FCC Construcción, S.A.
- Laboratorio de Ingenieros del Ejército (INTA – MINISDEF).
- Ministerio de la Vivienda.
- Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM).
- QUALIBÉRICA.
- Sociedad Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc).

- Identificar a la entrada en la obra los paneles según sean BPR/BSR, BPN, BPC o BPF/BSF y almacenarlos en lugares claramente identificados para que en la puesta en obra no se produzcan errores.
- Es fundamental verificar que los conectores estén soldados a las mallas para garantizar que las secciones están trabajando conjuntamente.
- El riesgo de condensaciones (conforme al CTE - DB – HE) deberá ser evitado por el conjunto del cerramiento.
- Los recubrimientos mínimos de las armaduras se estudiarán y justificarán en cada caso, y, especialmente, en situaciones ambientales agresivas o cuando sea necesaria una resistencia al fuego determinada. Se considerarán las protecciones complementarias (revestimientos, trasdosados, etc...) que sean necesarias para cumplir la resistencia al fuego necesaria de acuerdo a la normativa vigente.
- Para las solicitaciones horizontales, téngase 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.
- No es recomendable la aplicación de cargas localizadas sobre los paneles. No es aconsejable que los paneles estén trabajando en ménsula, salvo para pequeños aleros y remates.
- En el caso de que las armaduras de espera de las cimentaciones no correspondan con las capas de hormigón de los paneles, se replantearán nuevas esperas en concordancia con dichas capas.
- Cuando sea necesario incrementar el aislamiento acústico, se aumentará el espesor de la capa de mortero y/o se recurrirá a trasdosados, hasta alcanzar el valor de aislamiento acústico exigido por la normativa vigente.
- Se recomienda que las instalaciones estén previstas con sistemas ajenos a los paneles de modo que en obra no se retire aislamiento para este fin. En caso de tener que deprimir el EPS puntualmente en alguna zona (como está previsto en el punto 11.2), se vigilará que la pérdida de aislante sea la menor posible.
- Con respecto a la forma de puesta en obra de los forjados desarrollada como Procedimiento 2 en el punto 11.3, será necesario comprobar durante la ejecución y tras desencofrar que la capa inferior está correctamente hormigonada, habiéndose evitado la aparición de coqueas por una compactación inadecuada.
- En el Libro del Edificio deberá quedar claramente definido qué paneles son portantes (BPR/BSR) y cuáles no portantes (BPN). En el Libro del Edificio se deberá indicar, además, que para la modificación de cualquier elemento portante (paneles BPR/BSR), incluida la apertura de huecos, se deberá aportar un proyecto que justifique el cálculo estructural de la nueva disposición, así como los detalles constructivos necesarios.
- Se recomienda que una copia del presente Documento de Idoneidad Técnica se incorpore al Libro del Edificio.

**Figura 1. Geometría de la onda rectilínea de EPS (cotas en mm)**



**Figura 2. Sección transversal del panel con onda rectilínea.**



(Cotas en mm)

**Figura 3. Geometría de la onda curva de EPS (cotas en mm)**

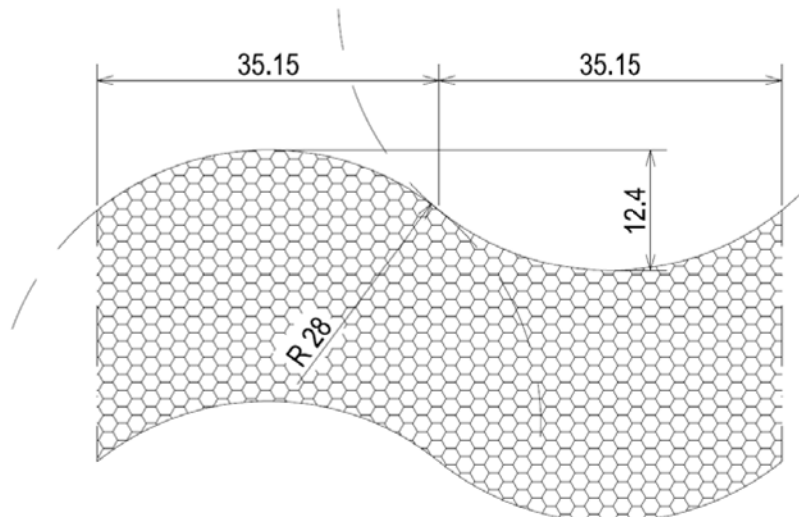
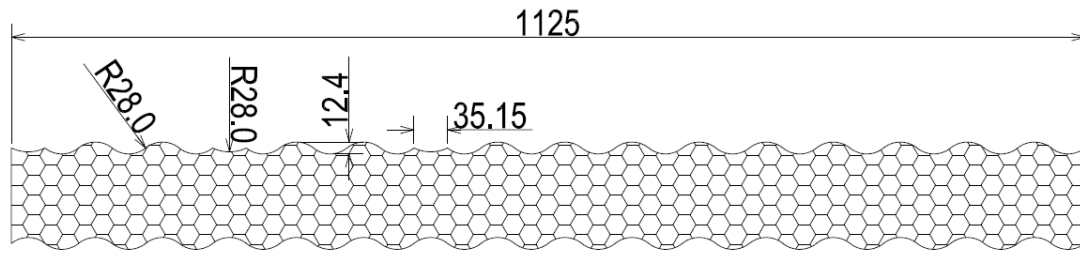


Figura 4. Sección transversal del panel con onda curva.



(Cotas en mm)

Figura 5. Panel de muro: BSR.

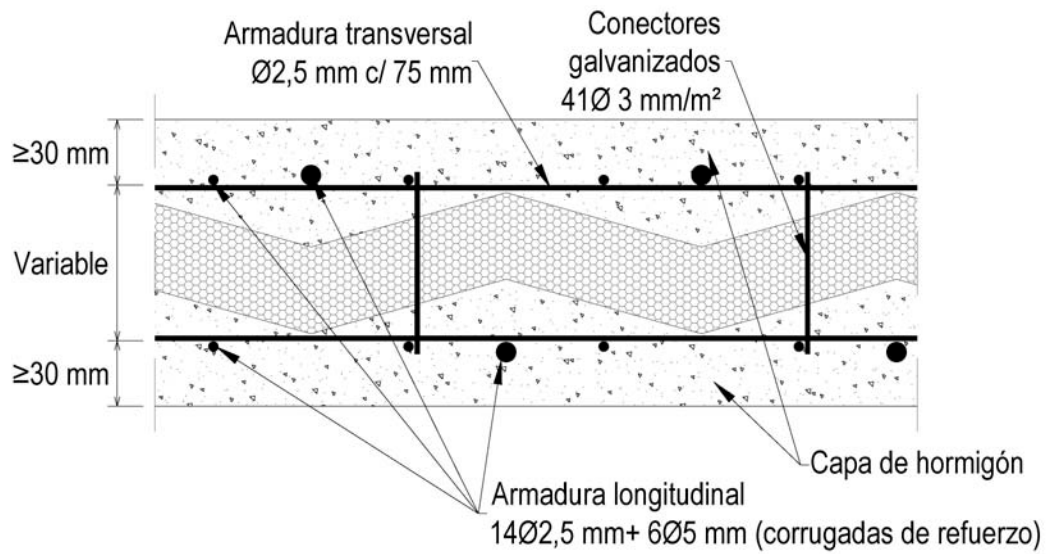


Figura 6. Panel de muro: BPR, BPN.

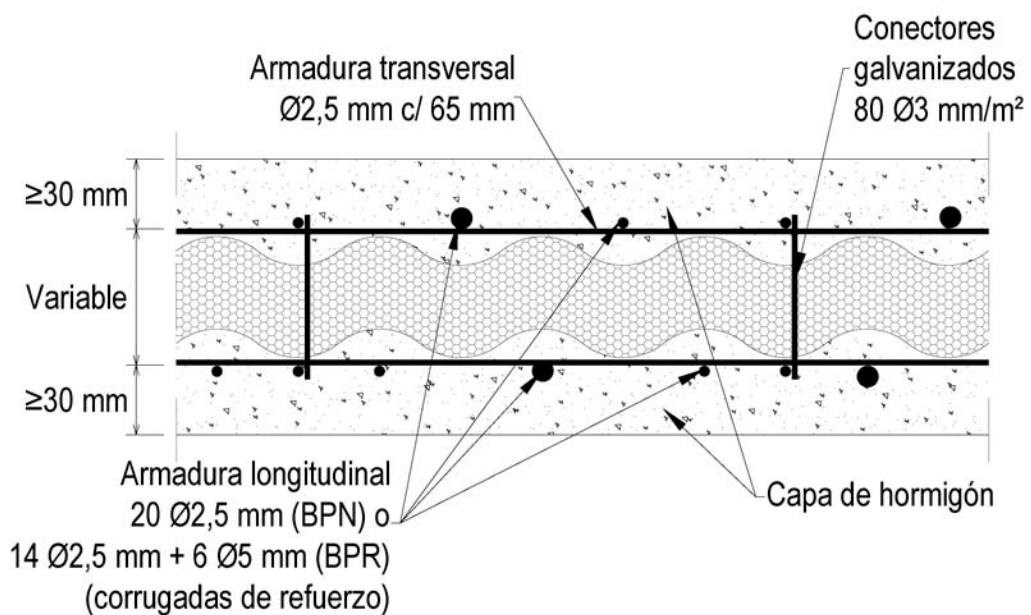




Figura 7. Panel de forjado BSF

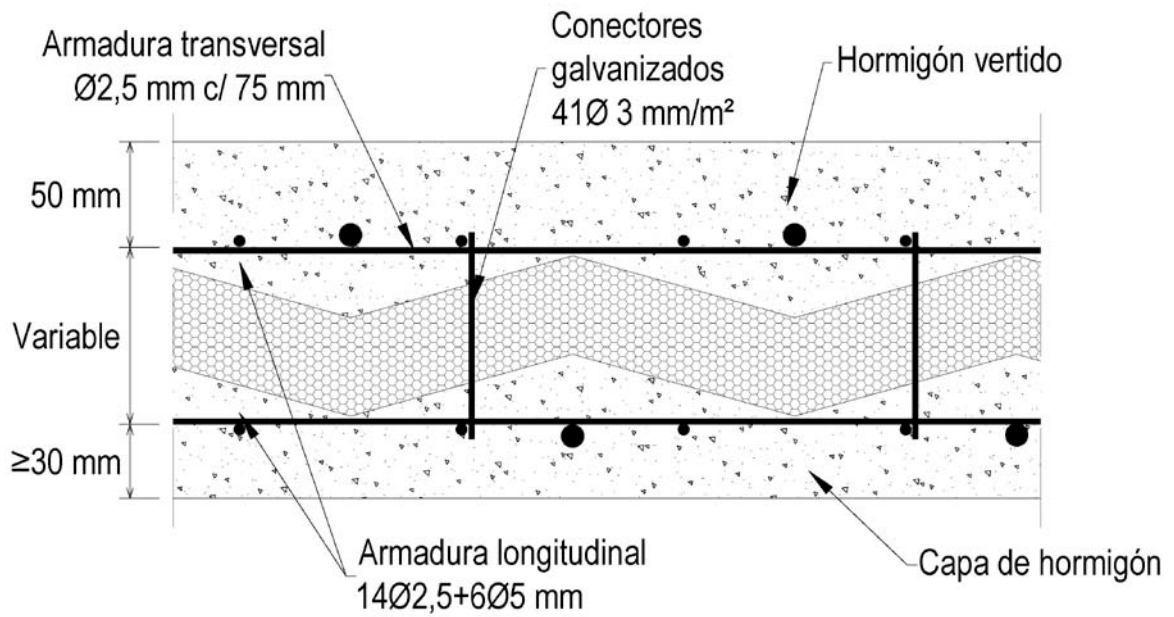


Figura 8. Panel de forjado BPF

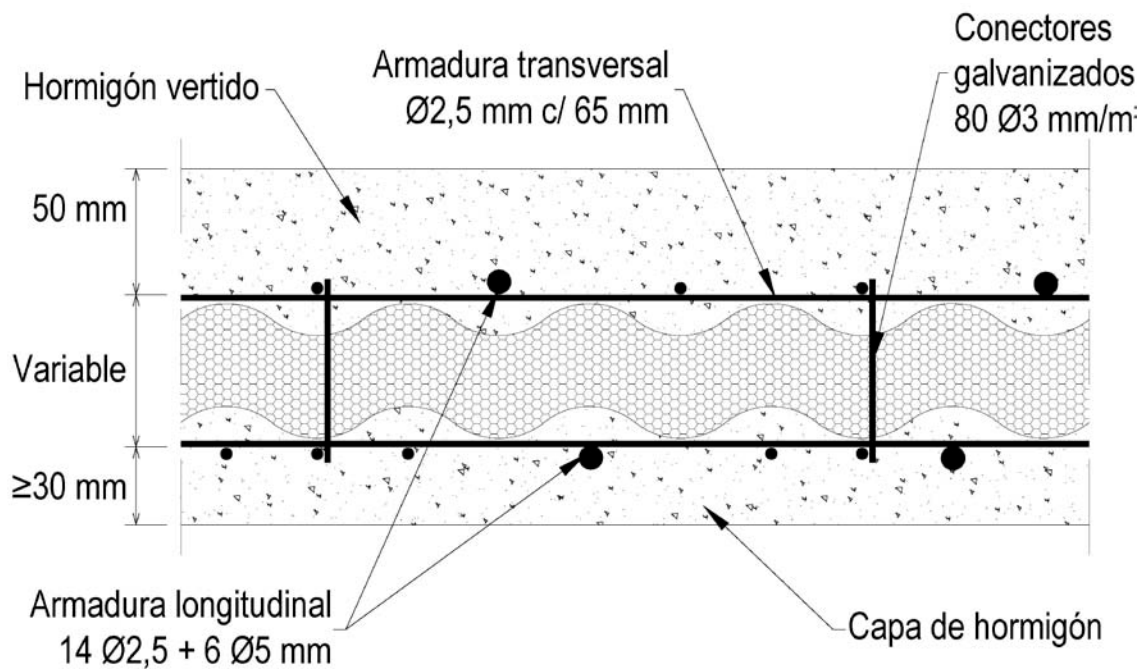


Figura 9. Panel de forjado bidireccional BSF

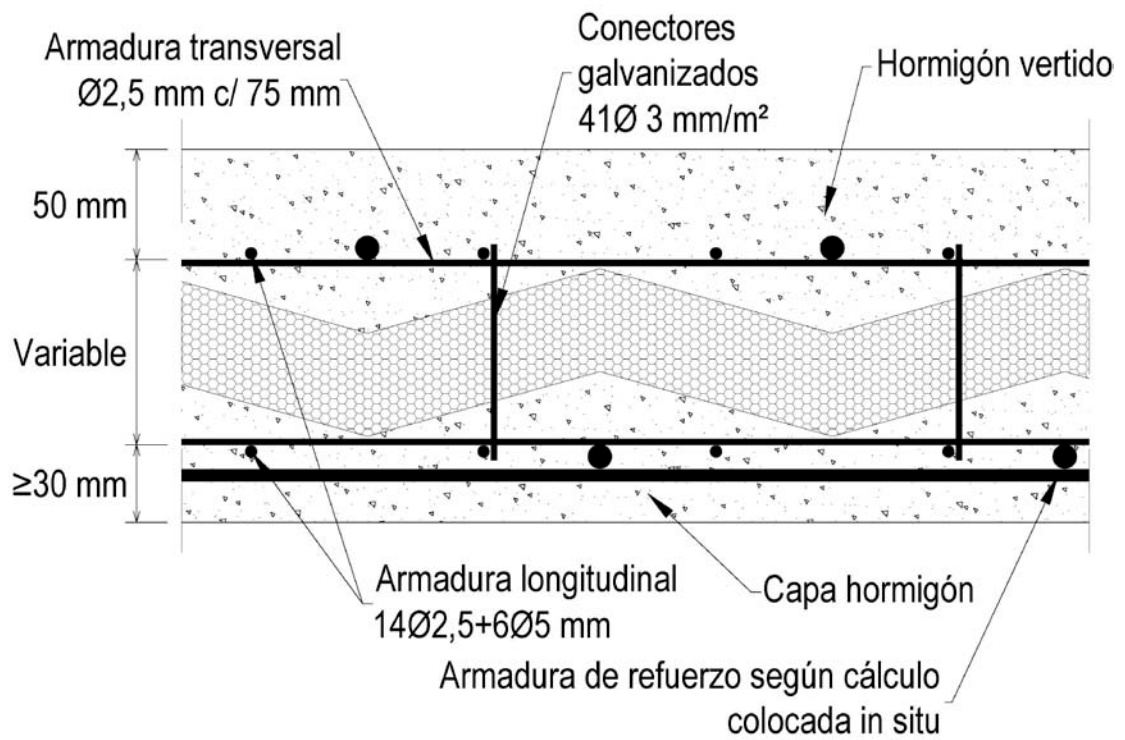
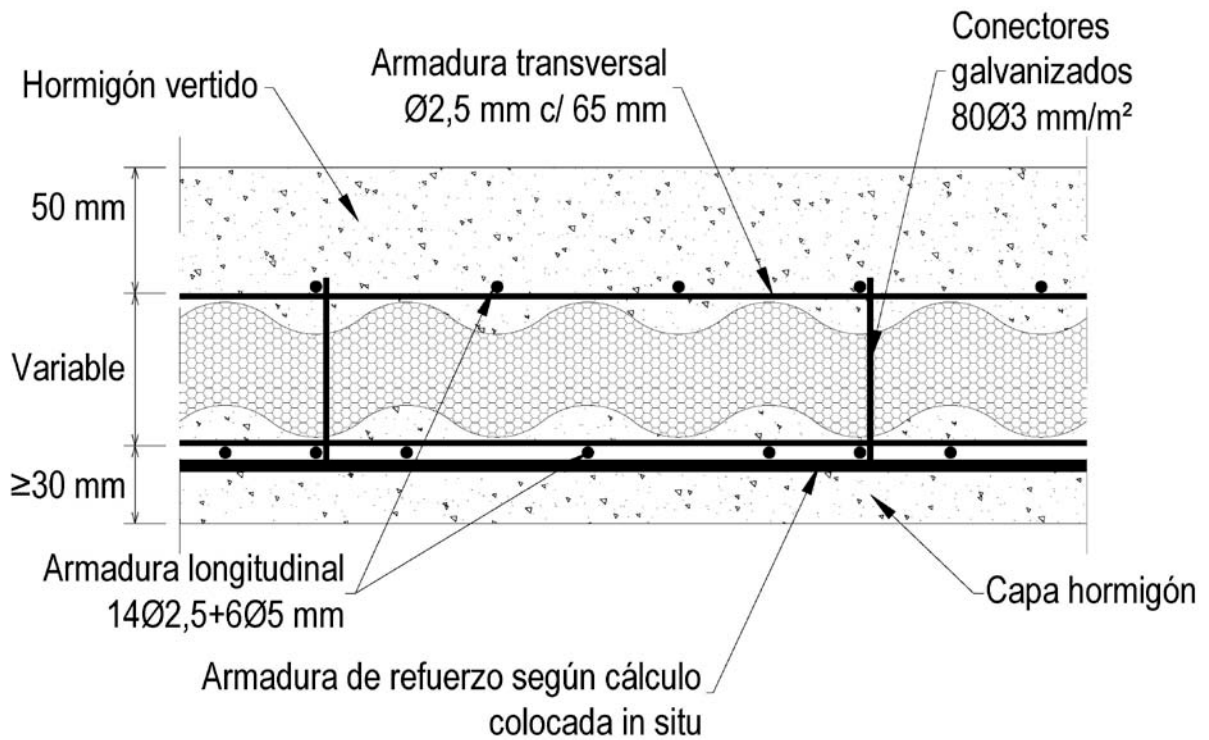
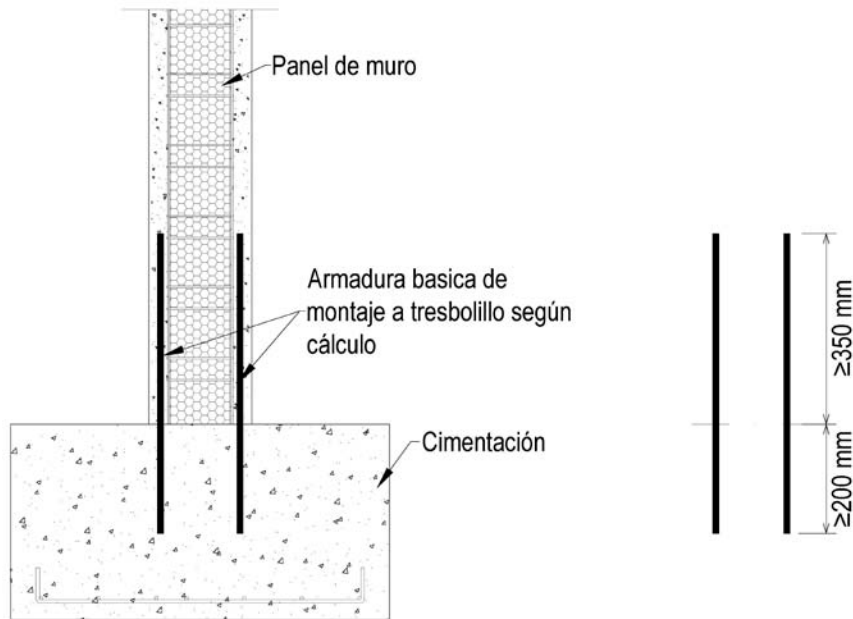


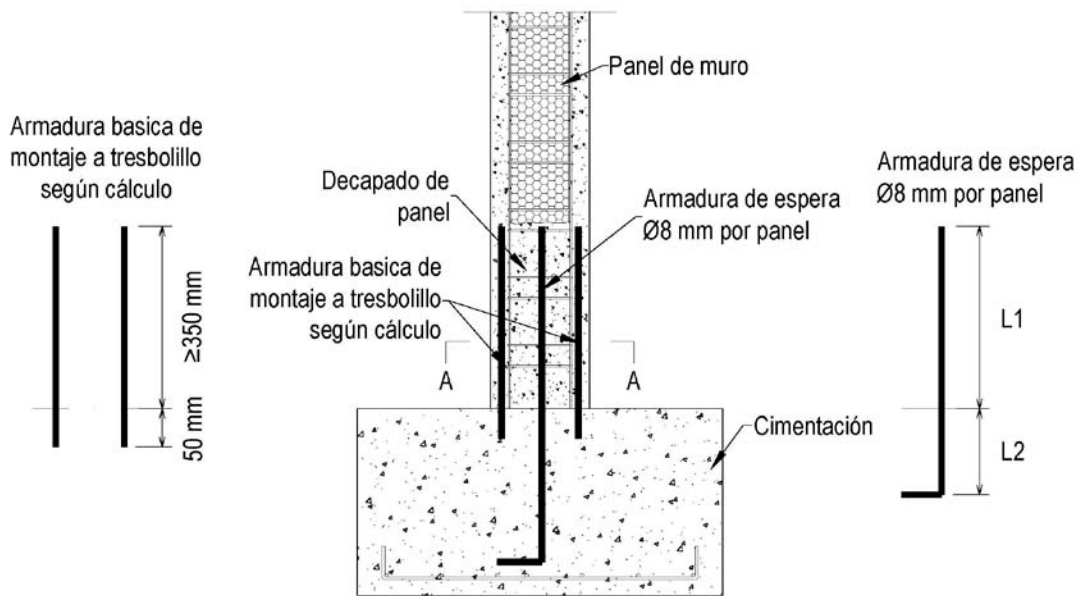
Figura 10. Panel de forjado bidireccional BPF



**Figura 11. Detalle de unión de paneles a cimentación**



**Figura 12. Detalle de unión de paneles a cimentación**



Nota: Longitudes de anclaje y solape L1 y L2 según cálculo

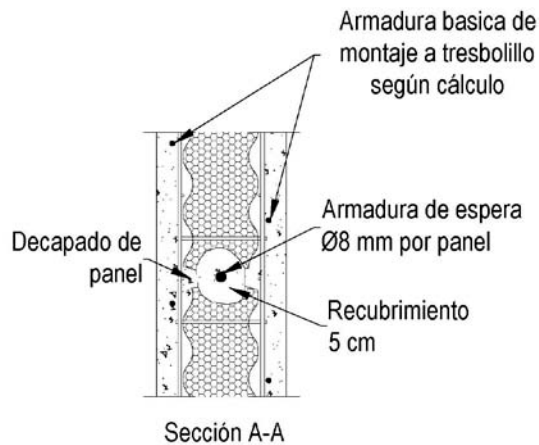


Figura 13. Detalle de unión entre muros con onda rectilínea (planta)

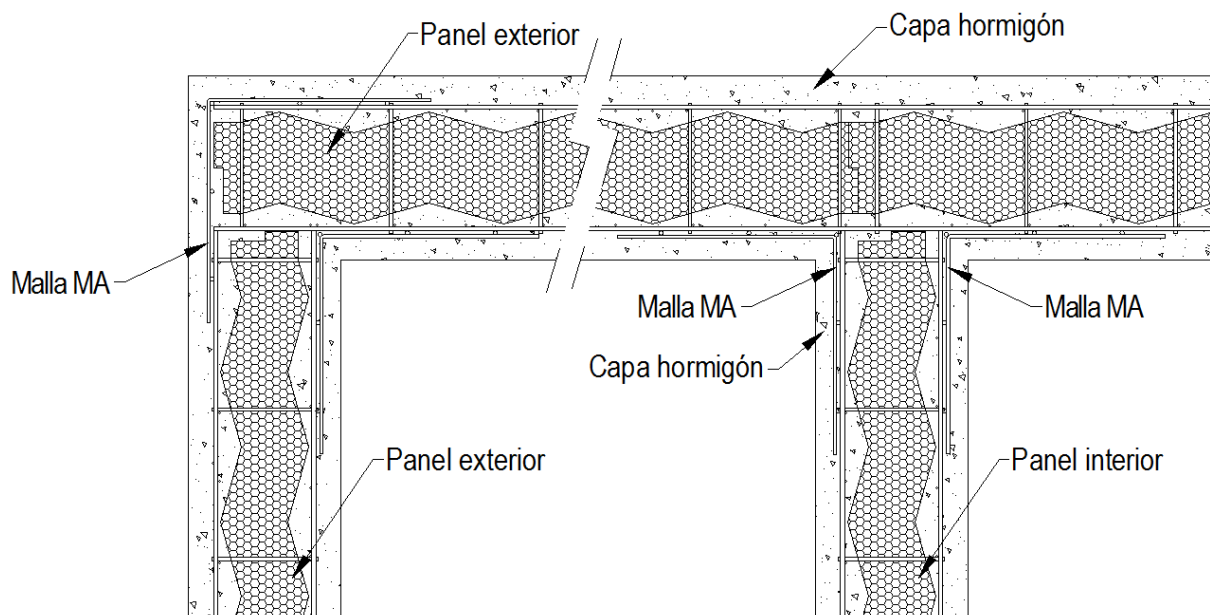


Figura 14. Detalle de unión entre muros con onda curva (planta)

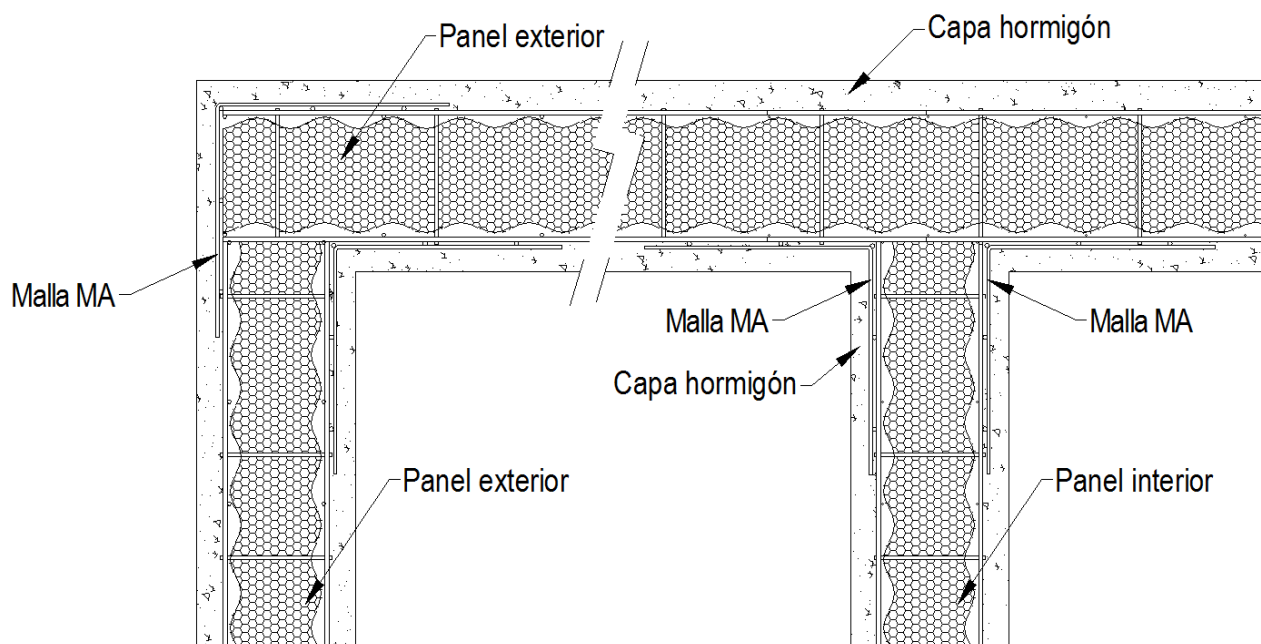
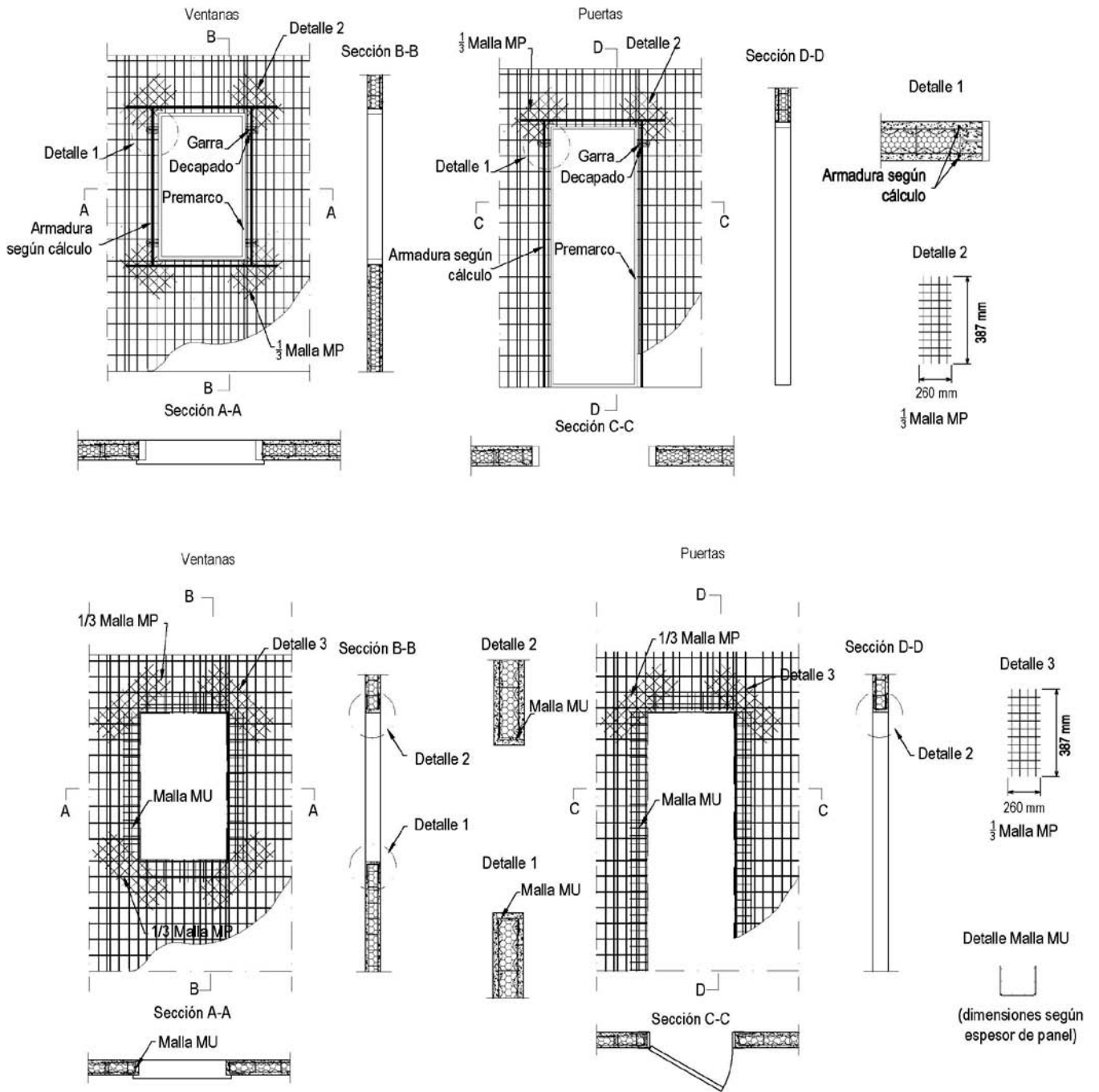
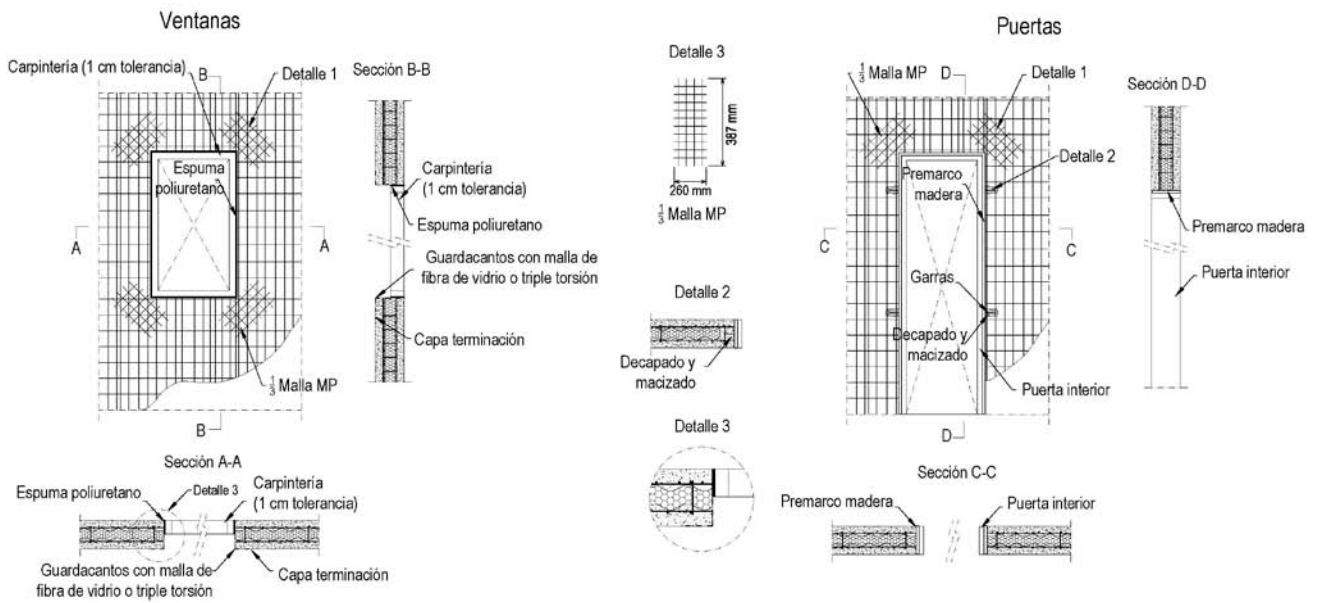


Figura 15. Soluciones de huecos de puerta y ventana.



**Figura 16. Detalle genérico de huecos con solución alternativa a la malla MU**



**Figura 17. Detalle de unión entre muros y forjados (sección)**

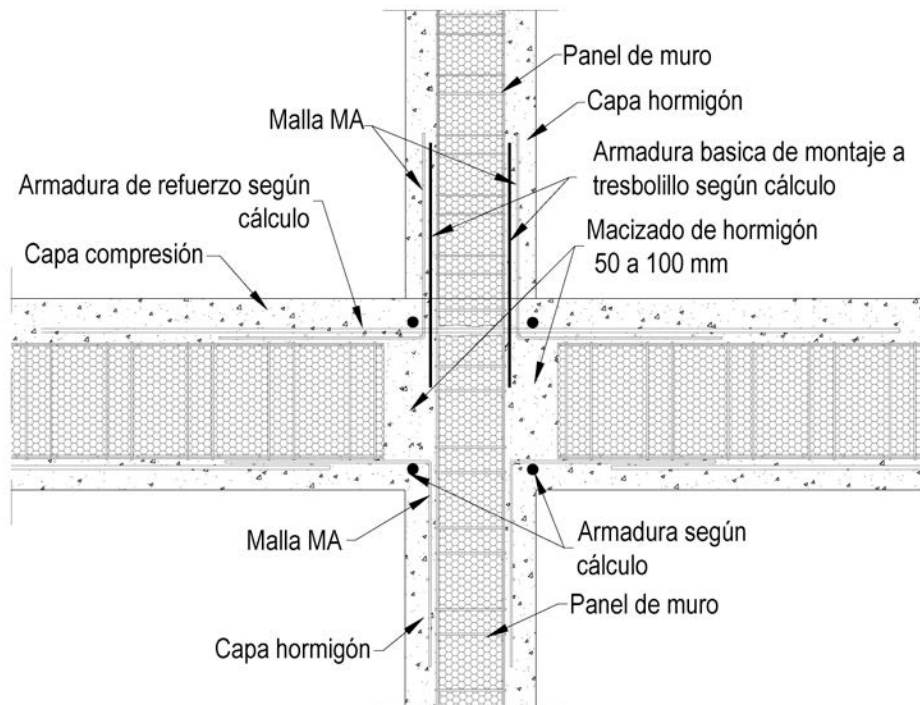


Figura 18. Detalle de unión entre muros y forjados (sección)

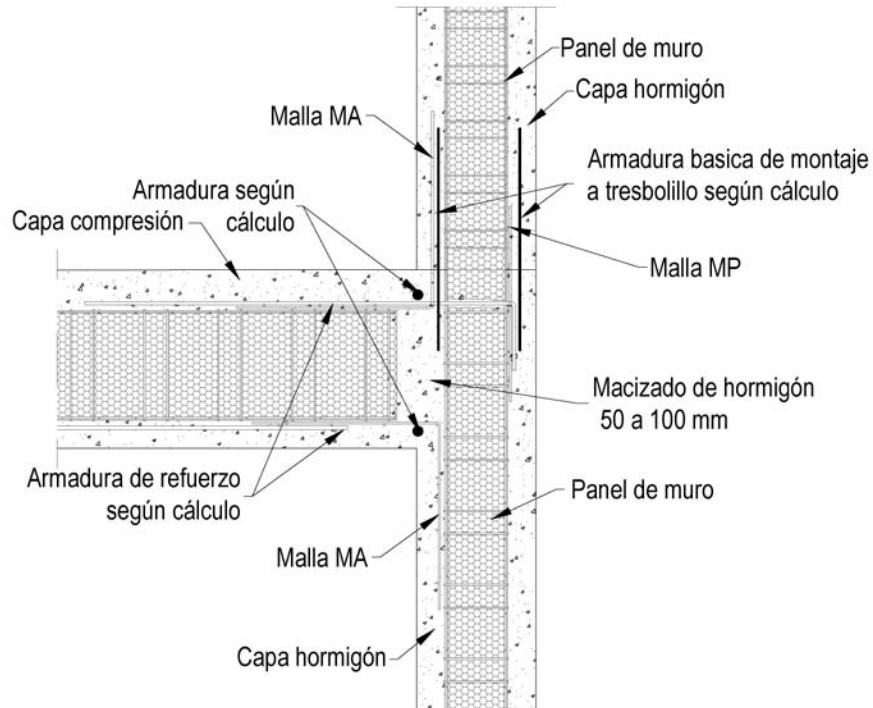


Figura 19. Detalle de unión entre muros y cubierta inclinada (sección).

