

GRADO EN INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN

# CONSTRUCCIÓN CON PANELES ESTRUCTURALES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

18 de Septiembre de 2012

Alumno: NURIA MARTÍNEZ MARTÍNEZ  
Dtores. Académicos: JOSEFA ROS TORRES  
JULIÁN PÉREZ NAVARRO

---

Universidad Politécnica de Cartagena  
Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena





## TABLA DE CONTENIDO

---

1. Objeto del Trabajo, Metodología y Recursos Disponibles.....	6
1.1. Objeto de Trabajo .....	6
1.2. Metodología.....	6
1.3. Recursos Disponibles .....	7
2. Poliestireno Expandido.....	8
2.1. Definiciones .....	8
2.2. Obtención Materia Prima .....	8
2.3. Proceso de Transformación del EPS .....	10
1ª Etapa: Preexpansión .....	10
2ª Etapa: Reposo Intermedio y Estabilización.....	10
3ª Etapa: Proceso de Transformación .....	11
4ª Etapa: Corte Mecanizado .....	11
2.4. Características Generales del EPS .....	12
Propiedades Físicas .....	12
Propiedades Químicas .....	17
Propiedades Biológicas.....	18
Comportamiento Frente al Fuego .....	18
2.5. Factores Medioambientales.....	20
Reciclado Mecánico .....	21
Recuperación Energética .....	22
Vertido.....	23
2.6. Aplicaciones Principales del EPS.....	23
Obra Civil.....	23

Industria .....	25
Edificación .....	25
3. Construcción con Paneles de EPS .....	27
3.1. Definición Técnica .....	27
3.2. Elementos .....	27
Paneles Estructurales .....	27
Mallas Auxiliares .....	30
Microhormigón .....	34
3.3. Proceso Constructivo .....	36
Cimentación .....	36
Paneles de Estructura .....	38
Paneles de Divisiones Interiores .....	52
Paneles de Cubierta .....	53
Pasos de Instalaciones .....	55
Aplicación del Microhormigón .....	57
4. Sistema Constructivo con Paneles de EPS vs. Sistema Constructivo Tradicional .....	60
4.1. Definición del Proyecto .....	60
Datos Generales .....	60
Solución Adoptada .....	61
Cuadro de Superficies .....	61
Sistema Constructivo .....	62
Planos .....	62
4.2. Características Técnicas .....	67
Resistencia Estructural .....	67
Materiales .....	70

Aislamiento Térmico y Condensaciones.....	72
Aislamiento acústico .....	80
Resistencia frente al fuego .....	83
Criterios Medioambientales .....	85
4.3. Estudio Económico .....	92
Mediciones y Presupuesto .....	92
4.4. Estudio del Plazo de Ejecución .....	97
Planning de Obra.....	97
4.5. Estudio de los Detalles Constructivos de la Ejecución de Obra .....	102
5. Conclusiones.....	109
6. Bibliografía .....	113
6.1. Libros .....	113
6.2. Normativa.....	113
6.3. Catálogos .....	113
6.4. Páginas web.....	114

## 1. OBJETO DEL TRABAJO, METODOLOGÍA Y RECURSOS DISPONIBLES

---

### 1.1. OBJETO DE TRABAJO

El objeto del Proyecto Final de Grado es estudiar un sistema constructivo diferente al tradicionalmente ejecutado en nuestro país. El sistema a analizar se compone de paneles estructurales de Poliestireno Expandido (EPS) y mallazos de acero en ambas caras recubiertos de microhormigón proyectado.

El propósito es conocer si este sistema constructivo es factible o no, qué condiciones presenta y si es rentable utilizarlo en España.

La elección de este Proyecto Final de Grado se basa en buscar otra solución alternativa a la edificación que se realiza en el país, puesto que los sistemas tradicionales, tales como obra de fábrica y construcciones con hormigón armado, abarcan la mayoría de las construcciones realizadas en España. A diferencia de otros países como Holanda, Francia o Alemania que han sufrido una evolución en la construcción y trabajan con nuevos sistemas de prefabricados y semiprefabricados.

Puesto que el poliestireno expandido tiene múltiples aplicaciones en el ámbito de la construcción, este proyecto se basará en la construcción de paneles simples aplicados a toda la estructura de una vivienda.

### 1.2. METODOLOGÍA

El proyecto se dividirá en dos partes; la primera podría decirse parte teórica y la segunda práctica. El primer bloque será la información previa del material base del sistema (poliestireno expandido) y de análisis del sistema constructivo, y el segundo bloque del estudio comparativo entre el sistema tradicional y el sistema de estudio del proyecto.

El primer bloque se dividirá en dos partes. La primera parte se centrará en el material principal del sistema constructivo, el poliestireno expandido, describiendo aspectos generales de su procedencia y elaboración, características técnicas del material, aplicaciones principales, términos de medioambiente y contaminación del material.

En la segunda parte de este primer bloque se analizará el sistema constructivo de paneles de EPS: se estudiará las distintas partes del sistema, las tipologías constructivas que constituyen una vivienda y las pautas de aplicación del microhormigón.

En el segundo bloque se analizarán las características del sistema constructivo. Para comprender los resultados será necesario compararlos con los datos de un sistema conocido, para ello se comparará una vivienda unifamiliar aislada entre los dos sistemas constructivos: el sistema tradicional de construcción (muro de carga de ladrillo macizo más forjado unidireccional con semiviguetas prefabricada y bovedilla cerámica) y el sistema de construcción con paneles estructurales de poliestireno expandido con proyectado de microhormigón. La comparativa se centrará en los siguientes puntos:

1. Características técnicas
  - 1.1. Resistencia estructural
  - 1.2. Materiales
  - 1.3. Aislamiento térmico y condensaciones
  - 1.4. Aislamiento acústico
  - 1.5. Resistencia frente al fuego
  - 1.6. Características medioambientales
2. Estudio económico
3. Estudio del plazo de ejecución
4. Estudio de los Detalles Constructivos de la Ejecución de Obra

Una vez realizado el estudio comparativo entre los dos sistemas constructivos, se valorarán los resultados para cumplir los objetivos y llegar a unas conclusiones objetivas para la aplicación del sistema de paneles estructurales de EPS.

### 1.3. RECURSOS DISPONIBLES

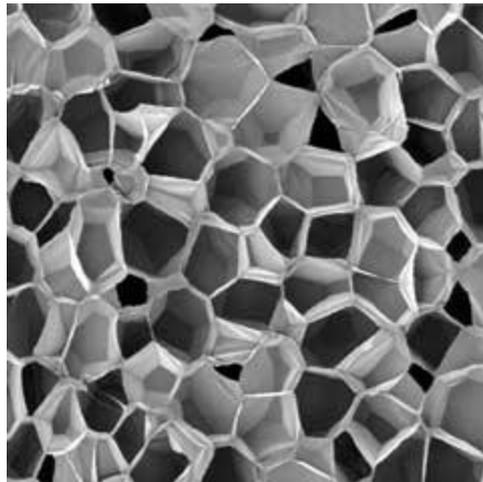
Los recursos que se disponen para la ejecución de este proyecto son varias casas especializadas en la fabricación y montaje del sistema de paneles de EPS con las cuales se ha tenido contacto y se han obtenido informes y catálogos de este sistema. También se ha accedido a varias obras en ejecución para ver el montaje. Y, finalmente, a la normativa que regula la construcción en España.

## 2. POLIESTIRENO EXPANDIDO

---

### 2.1. DEFINICIONES

El Poliestireno Expandido, o de forma abreviada EPS, es una espuma plástica, rígida y ligera fabricada a partir de perlas de poliestireno que contienen una pequeña cantidad de un agente expandente, el pentano. Cuando estas perlas se someten a alta temperatura mediante vapor de agua, el pentano se evapora expandiendo las perlas en una primera fase hasta 50 veces su volumen inicial. Tras un almacenaje o maduración de las perlas pre-expandidas, se someten nuevamente a inyección de vapor confinadas en moldes cerrados, expandiéndose nuevamente hasta soldarse entre sí para formar bloques o formas adaptadas a aplicaciones específicas, quedando así el EPS listo para su incorporación en el mercado.



Fotografía 1. Sección del EPS

El EPS se utiliza en el sector de la construcción principalmente como aislamiento térmico y acústico; en el campo del envase y embalaje para diferentes sectores de actividad y en una serie de aplicaciones diversas.

### 2.2. OBTENCIÓN MATERIA PRIMA

El poliestireno expandido se obtiene a partir de la transformación del poliestireno expandible. Esta materia prima, es un polímero del estireno (plástico celular y rígido) que contiene un agente expansor: el pentano.

Como todos los materiales plásticos, el poliestireno expandido deriva en último término del petróleo.

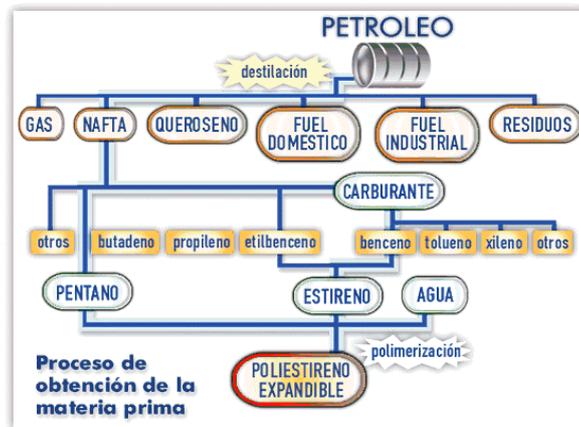


Ilustración 1. Obtención polímero expandible

A partir del procesado del gas natural y el del petróleo se obtienen, mayoritariamente como subproductos, el etileno y diversos compuestos aromáticos. De los cuales obtenemos el estireno.



Ilustración 2. Obtención estireno

Este estireno monómero junto con el agente expansor (pentano) sufre un proceso de polimerización en un reactor con agua dando lugar al poliestireno expandible, la materia prima de partida para la fabricación del poliestireno expandido.

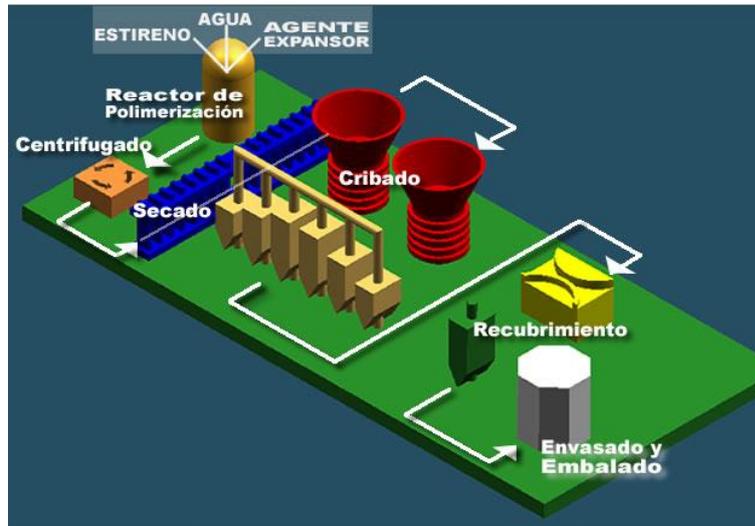


Ilustración 3. Proceso de obtención del poliestireno expandible

### 2.3. PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL EPS

Una vez obtenido el poliestireno expandible, materia prima del poliestireno expandido, utilizaremos métodos puramente físicos para obtener el EPS. Estos métodos constan en cuatro etapas que a continuación se explicarán:

#### 1ª ETAPA: PREEXPANSIÓN

La materia prima se calienta en unas máquinas especiales denominadas preexpansores, con vapor de agua a temperaturas situadas entre aproximadamente 80 – 100 °C. En función de la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m<sup>3</sup> a densidades que oscilan entre los 10 – 30 kg/m<sup>3</sup>.

En el proceso de preexpansión, las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior.

#### 2ª ETAPA: REPOSO INTERMEDIO Y ESTABILIZACIÓN

Cuando las partículas recién expandidas se enfrían, se crea un vacío en su interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. Para ello, el material se deja reposar en silos ventilados durante un mínimo de 12 horas.

De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación.

Dependiendo de la densidad aparente del poliestireno expandido a transformar, puede someterse la materia prima preexpandida a una segunda preexpansión, o bien, directamente pasar al proceso de transformación propiamente dicho.

### 3º ETAPA: PROCESO DE TRANSFORMACIÓN

#### BLOQUE

La perla expandida entra en un bloque en el que se ve sometida a un proceso de soldadura, que se consigue mediante su sometimiento a una aportación de vapor de agua durante un periodo que varía según el tipo de densidad aparente de la pieza a obtener, proceso realizado en una autoclave, después de un proceso de estabilización sale de la máquina un bloque.

#### MOLDEADO

El moldeado es un proceso similar al del bloque, solo que éste se realiza en una máquina en la cual hay un molde con la forma concreta de la pieza que se va a fabricar. En este proceso el material se introduce en el molde y es soldado mediante aporte de calor.

### 4º ETAPA: CORTE MECANIZADO

#### CORTE EN RECTO

Los bloques de poliestireno expandido obtenidos pueden ser cortados en planchas como último paso del proceso de fabricación para dejar el material preparado para servir al consumidor. Dicho proceso se lleva a cabo mediante la utilización de una mesa de corte en tres dimensiones en la que hay dispuesto un sistema de hilos calientes que nos permiten hacer del bloque tantas planchas como sea posible de las medidas requeridas. El tamaño final de cada plancha puede ser ajustado para satisfacer las necesidades de los clientes.

#### CORTE EN FORMAS

Cuando es necesario obtener formas más complicadas, el bloque es mecanizado en pantógrafos de control numérico, que permite realizar cortes en dos dimensiones.

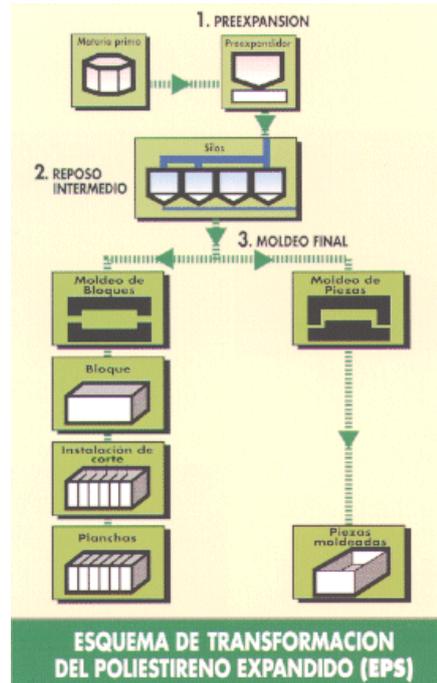


Ilustración 4. Esquema de transformación del EPS

## 2.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EPS

Las propiedades del poliestireno expandido se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Propiedades físicas;
- Propiedades químicas;
- Propiedades biológicas;
- Propiedades frente al fuego.

### PROPIEDADES FÍSICAS

#### DENSIDAD

Los productos y materiales de poliestireno expandido se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros y a la vez resistentes.

En función de la aplicación el EPS se clasifica según su densidad, éstas se sitúan en el intervalo que va desde los 10 kg/m<sup>3</sup> hasta los 35 kg/m<sup>3</sup>. La norma UNE 92.110 establece una serie de tipos normalizados en función de la densidad. Los números romanos establecen la clasificación del EPS dependiendo de su tipo, son equivalentes las franjas verde, azul,

amarilla y negra; igualmente los números inferiores permiten identificarlo según su densidad. La franja roja situada al lado derecho, significa que el EPS se clasifica como M1 auto-extinguible, ensayo de reacción al fuego según la norma UNE 23727.

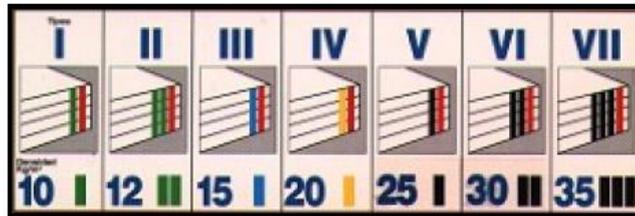


Ilustración 5. Clasificación poliestireno expandido según su densidad

## COLOR

El color natural de poliestireno expandido es blanco, esto se debe a la refracción de la luz. Familiarmente el poliestireno expandido es conocido como corcho blanco.



Fotografía 2. Color EPS

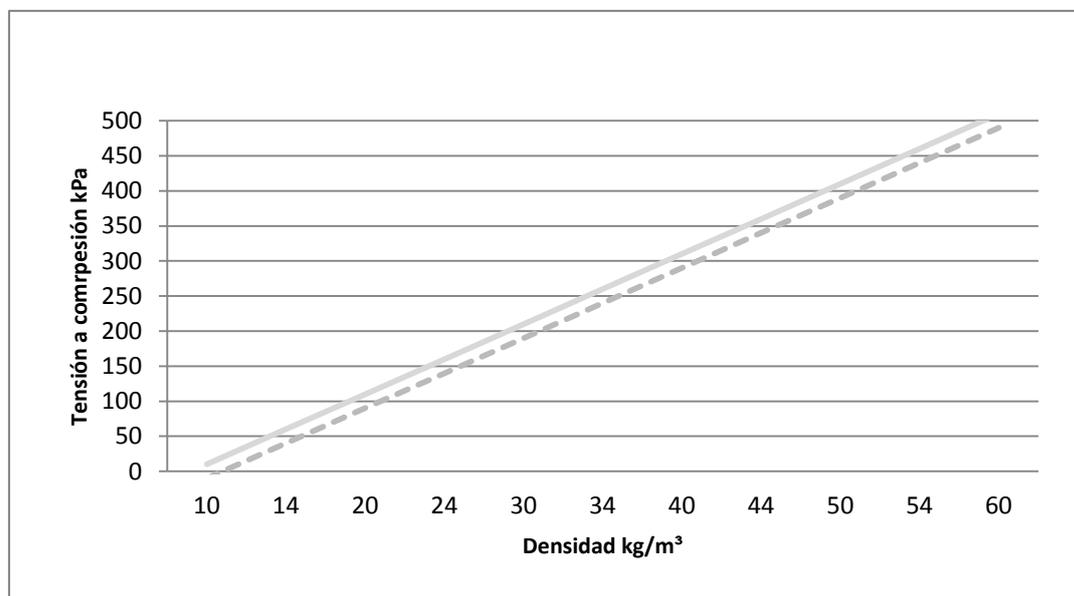
## RESISTENCIA MECÁNICA

La resistencia a los esfuerzos mecánicos de los productos de poliestireno expandido se estudia generalmente a través de las propiedades siguientes:

- Resistencia a compresión para una deformación del 10%;
- Resistencia a flexión;
- Resistencia a tracción;
- Resistencia a la cizalladura o esfuerzo cortante.

Estas propiedades son exigidas en los productos de EPS sometidos a cargas (suelos, cubiertas, aislamiento perimetral muros...). En la práctica, la deformación del EPS en estas aplicaciones es menor al 10 % marcado. Este parámetro se escogió para tener repetitividad en los resultados ya que los productos de EPS tienen una deformación por fluencia de compresión inferior al 2 % o menos, después de 50 años, mientras estén sometidos a una tensión permanente de compresión de 0,30 Kpa.

Para cada tipo de materia prima, la densidad del material guarda una estrecha correlación con las propiedades mecánicas. A continuación se muestra una gráfica con los valores alcanzados por la resistencia a compresión en función de la densidad aparente de los materiales de EPS.



Gráfica 1. Resistencia a compresión del EPS en función de la densidad

#### COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA Y AL VAPOR DE AGUA

El poliestireno expandido no es un material higroscópico, es decir, no tiene capacidad de absorber agua. Incluso sumergiendo el material durante 28 días en su totalidad en agua, la absorción del material oscila entre 1 % y 3 % de su volumen. Estos niveles se pueden reducir considerablemente con las nuevas tecnologías aplicables en la elaboración de la materia prima.

En cambio, cuando entre los dos laterales del material se establece una diferencia de presiones y temperaturas el vapor de agua penetra en el interior de la estructura celular del EPS.

Para determinar la resistencia de difusión del vapor de agua, se utiliza el factor a dimensional  $f_t$  que indica cuantas veces es mayor la resistencia a la difusión del vapor de agua de un material con respecto a una capa de aire de igual espesor (para aire  $f_t = 1$ ).

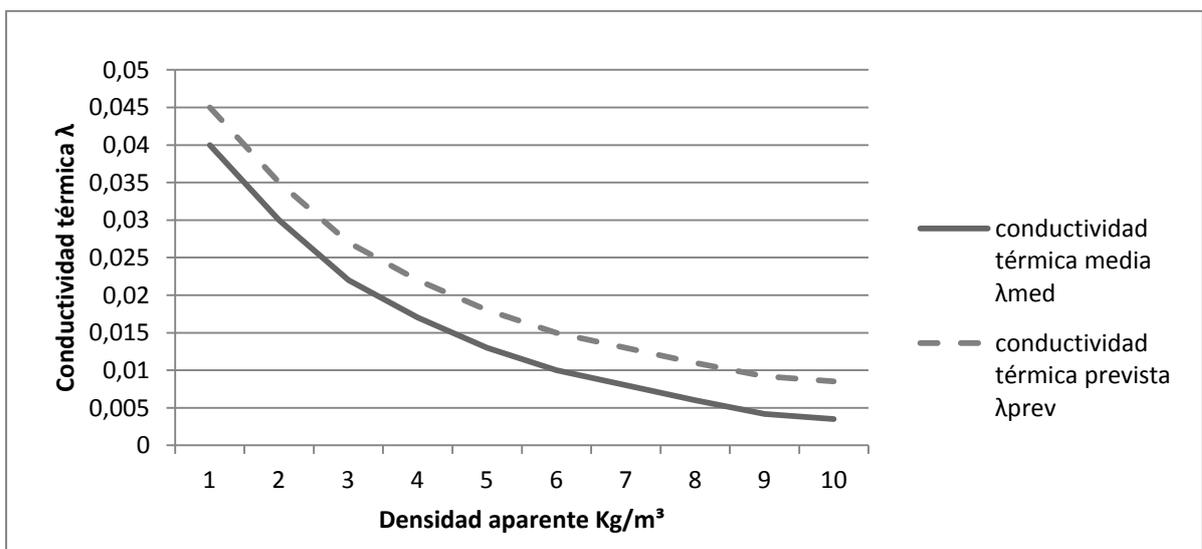
Para los productos de poliestireno expandido el factor  $f_t$ , en función de la densidad, oscila entre el intervalo  $f_t = 20$  a  $f_t = 100$ . Como referencia, la fibra de vidrio tiene un valor  $f_t = 1$  y el poliestireno extruido  $f_t = 150$ .

### AISLAMIENTO TÉRMICO

El poliestireno expandido es un material con excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío.

Se debe a la propia estructura del material, que esencialmente consiste en aire oculto dentro de una estructura celular conformada por el poliestireno. Aproximadamente el 98 % del volumen del material es aire (el aire en reposo es un excelente aislante térmico) y únicamente el 2% es poliestireno (materia sólida).

La capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su coeficiente de conductividad térmica  $\lambda$  que en el caso de los productos de EPS varía (al igual que las propiedades mecánicas) con la densidad aparente.



Gráfica 2. Capacidad aislamiento térmico poliestireno expandido

Existen nuevos desarrollos tecnológicos de la materia prima que aportan a los productos de poliestireno expandido coeficientes de conductividad térmica considerablemente inferiores obtenidos por las materias primas estándares.

#### COMPORTAMIENTO FRENTE A FACTORES ATMOSFÉRICOS

La radiación ultravioleta es prácticamente la única que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del EPS amarillea y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento pueden lograr a erosionarla. Dichos efectos pueden evitarse con medidas sencillas, en las aplicaciones de construcción con pinturas, revestimientos y recubrimientos.

Debido a que estos efectos sólo se muestran tras la exposición prolongada a la radiación UV, en el caso de las aplicaciones de envase y embalaje no es objeto de consideración.

#### ESTABILIDAD DIMENSIONAL

Los productos de poliestireno expandido, como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debido a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de la dilatación térmica que, para los productos de EPS, es independiente de la densidad y se sitúa en valores que oscilan en el intervalo de  $5-7 \times 10^{-5}$  K, es decir entre 0,05 y 0,07 mm por metro de longitud y grado Kelvin.

Un caso práctico de lo explicado anteriormente es por ejemplo, una plancha de aislamiento térmico de poliestireno expandido de 2 m de longitud y sometida a un salto térmico de 20°C experimentará una variación en su longitud de 2 a 2,8 mm.

#### ESTABILIDAD FRENTE A LA TEMPERATURA

El poliestireno expandido puede sufrir variaciones o alteraciones por efecto de la acción térmica. El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad, sin que sus propiedades se vean afectadas, no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción). Respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100 °C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80 °C para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 Kpa.

PROPIEDADES QUÍMICAS

El poliestireno expandido es estable frente a muchos productos químicos. Si se utilizan adhesivos, pinturas disolventes y vapores concentrados de estos productos, hay que esperar un ataque de estas sustancias. En la siguiente tabla se detalla más información acerca de la estabilidad química del EPS.

Sustancia		Sustancia		Sustancia	
Agua	+	Ácidos débiles:		Acrilonitrilo	-
Agua del mar	+	Ácido carbónico	+	Cetonas	-
Lejías:		Ácido crítico	+	Diluyentes para lacas	-
Agua amonacal	+	Ácido húmico	+	Dimetilformamida	-
Agua de cal	+	Ácido láctico	+	Ester	-
Lejías blanqueantes	+	Ácido tartárico	+	Eter	-
Potasa cáustica	+	Gases:		Hidrocarburos	-
Soluciones jabonosas	+	a)Inorgánicos:		Halógenos	-
Sosa cáustica	+	Amoniaco	-	Tetrahidrofurano	-
Ácido diluidos:		Bromo	-	Mat.Const.Inorgánicos:	
Ácido acético,50%	+	Cloro	-	Anhidrita	+
Ácido clorhídrico,7%	+	Dióxido de azufre	-	Arena	+
Ácido clorhídrico,18%	+	b)Orgánicos		Cal	+
Ácido fluorhídrico,4%	+	Butadieno	-	Cemento	+
Ácido fluorhídrico,40%	+	Butano	-	Yeso	+
Ácido fórmico,50%	+	Buteno	-	Mat.Const.Órganicos:	
Ácido fosfórico,7%	+	Etano	+	Bitumen	+
Ácido fosfórico,50%	+	Eteno	+	Bitumen frio	+
Ácido nítrico,13%	+	Etino	+	Masilla base acuosa	+
Ácido nítrico,50%	+	Gas natural	+	Masilla base disolvente	-
Ácido sulfúrico,10%	+	Metano	+	Hidrocar. aromáticos:	
Ácido sulfúrico,50%	+	Óxido de propileno	-	Benceno	-
Ácidos concentrados:		Propano	+	Cumeno	-
Ácido acético,96%	-	Propeno	+	Estireno	-
Ácido clorhídrico,36%	+	Gases licuados:		Etibenceno	-
Ácidos fórmico,99%	+	a)Inorgánicos:		Fenol,sol.Acu 1%	+

Ácido nítrico,65%	+	Amoniaco	+	Fenol, sol.Acu 33%	+
Ácido propiónico,99%	-	Dióxido de azufre	-	Tolueno	-
Ácido sulfúrico,98%	+	Gases nobles	+	Xileno	-
Ácido fumantes:		Hidrógeno	+	Vapores de:	
Ácido nítrico	-	Nitrógeno	+	Alcanfor	-
Ácido sulfúrico	-	Oxígeno	+	Naftalina	-
Anhídridos:		b)Orgánicos:			
Anhídrico acético	-	Butano	-		
Dióxido de carbono	+	Buteno	-		
Trióxido de azufre	-	Butadieno	-		
		Etano	+		

+ Sin variación

- Fuerte variación

Tabla 1. Estabilidad química del poliestireno expandido frente a sustancias químicas

### PROPIEDADES BIOLÓGICAS

El poliestireno expandido es imputrescible, no enmohece y no se descompone, debido a que no constituye substrato nutritivo alguno para los microorganismos.

Aunque el EPS no sea un material biológicamente atacable, en presencia de mucha suciedad el poliestireno expandido puede hacer de portador de microorganismos, sin participar en el proceso biológico. Tampoco se ve atacado por las bacterias del suelo. Los productos EPS cumplen con las exigencias sanitarias y de seguridad e higiene establecida, cualidad por la que pueden utilizarse con total seguridad en la fabricación de artículos de embalaje destinados al contacto alimenticio.

En cuanto al efecto a consecuencia de las temperaturas, mantiene las dimensiones estables hasta los 85 °C y no produce descomposición ni formación de gases nocivos.

### COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO

Las materias primas que componen el poliestireno expandido, son polímeros y copolímeros del estireno, que contienen una mezcla de hidrocarburos de bajo punto de ebullición como agente de expansión. Todo ellos, en principio, son materiales combustibles. El agente de expansión, los hidrocarburos, se volatilizan progresivamente durante el proceso de

transformación. El 10 % residual, requiere de una fase de almacenamiento durante un tiempo determinado, en función de las especificaciones del producto final: dimensiones, densidad, resistencia, etc. En el caso de tener que hacer uso de estos productos antes de cumplir esta fase de almacenamiento, se tendrán que tomar medidas de prevención contra incendios.

Al ser expuestos a temperaturas superiores a 100°C, los productos de poliestireno expandido, se reblandecen lentamente y se contraen, si la temperatura sigue aumentando, se funden. Si la exposición a estas temperaturas persiste, el material fundido emite unos productos de descomposición de tipo gaseoso e inflamable.

En ausencia de un foco de ignición, los productos de descomposición térmica no se inflaman hasta alcanzar temperaturas del orden de los 400 - 500 °C.

Existen diferentes tipos de materia prima utilizadas en la fabricación de poliestireno expandido, con sus propiedades específicas, que son las que determinan el desarrollo, la amplitud, la intensidad y duración del incendio. Todo esto determina que el EPS se pueda clasificar según dos grupos: el de tipo estándar (M4) y el autoextinguible (M1).

Un material de tipo M1 autoextinguible, si hablamos del poliestireno expandido, es aquel que está tratando con productos ignífugos, y que si se expone a una llama, en principio se contrae. Solamente arderá si la exposición a la llama se prolonga y la forma de propagación de la llama se produce a una velocidad muy baja y sólo en la superficie del material.

Un material M4 hablamos de materiales combustibles y fácilmente inflamables, donde el material experimenta un alto índice de combustibilidad y emite gases que, con una alta probabilidad, causan que el material arda.

Para calibrar las diferentes situaciones de riesgo ante los incendios que comporta el uso del poliestireno expandido, deben tenerse en cuenta factores derivados de sus contenido, forma y entorno. Así, se puede alterar este comportamiento y hacerlo más favorable aplicando recubrimientos y revestimientos. Esto en el caso de aplicaciones en el mundo de la construcción, es un hecho.

## 2.5. FACTORES MEDIOAMBIENTALES

Hoy en día se está imponiendo el concepto de desarrollo sostenible en el que se tienen en cuenta los factores medioambientales ligados a un determinado producto, en este caso el poliestireno expandido.

El 50% del EPS se utiliza para aplicaciones duraderas como el aislamiento térmico de los edificios, o como material de aligeramiento en diferentes construcciones. El hecho de que cada vez se recicle una mayor cantidad de embalajes de EPS implica que la cantidad de residuos de este material que finalizan en la corriente de residuos sólidos urbanos sea cada vez más reducida.

A continuación se muestra el Decálogo Medioambiental del EPS:

- El EPS es 100% reciclable y existen numerosas aplicaciones para los materiales recuperados;
- La fabricación y utilización del EPS no supone ningún riesgo para la salud de las personas ni para el medio ambiente;
- El EPS no daña la capa de ozono al no utilizar, ni haber utilizado nunca, en sus procesos de fabricación gases de la familia de los CFCs, HCFCs, ni ningún otro compuesto organoclorado;
- La utilización del EPS como aislamiento térmico en la construcción supone un ahorro importantísimo de energía en la climatización de edificios y una drástica disminución de emisiones contaminantes (CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>), contribuyendo de esta forma a paliar el "Efecto Invernadero" y la "Lluvia Ácida".
- Los envases/embalajes de EPS, dadas sus prestaciones, además de proporcionar una protección integral a los productos envasados ahorran combustible en el transporte porque es un material muy ligero;
- Los envases/embalajes de EPS pueden estar en contacto directo con los alimentos puesto que cumplen todas las normativas sanitarias vigentes a nivel nacional e internacional. Además, el EPS no actúa como soporte de cultivos de hongos y bacterias;

- El EPS representa un 0,1% de los Residuos Sólidos Urbanos que se producen en España. La incidencia del EPS en el conjunto de los residuos que genera nuestra sociedad es mínima;
- Los productos de EPS encierran un alto potencial calorífico (1 Kg de EPS equivale a 1,3 litros de combustible líquido), lo que le convierte en un material idóneo para la recuperación energética;
- Por ser insoluble en agua, el EPS no emite sustancias hidrosolubles que puedan contaminar las aguas subterráneas.

Existen, principalmente, tres opciones para el aprovechamiento del EPS una vez acabada su función para la que fue creado:

#### RECICLADO MECÁNICO

El poliestireno expandido puede reciclarse mecánicamente a través de diferentes formas y para diversas aplicaciones. A continuación se explicarán las cuatro maneras de reciclado mecánico del EPS:

#### FABRICACIÓN DE NUEVAS PIEZAS DE EPS

Los envases y embalajes post-consumo pueden triturarse y destinarse a la fabricación de nuevas piezas en Poliestireno Expandido. De esta forma se fabrican nuevos embalajes con contenido reciclado o planchas para la construcción.

#### MEJORA DE SUELOS

Los residuos de EPS una vez triturados y molidos se emplean para ser mezclados con la tierra y de esta forma mejorar su drenaje y aireación. También pueden destinarse a la aireación de los residuos orgánicos constituyendo una valiosa ayuda para la elaboración del compost (tipo de abono).

#### INCORPORACIÓN A OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los residuos de EPS tras su molido a diferentes granulometrías, se mezclan con otros materiales de construcción para fabricar ladrillos ligeros y porosos, morteros y enlucidos aislantes, hormigones ligeros, etc.

### PRODUCCIÓN DE GRANZA DE PS

Los embalajes de EPS usados se transforman fácilmente mediante simples procesos de fusión o sinterizado obteniéndose nuevamente el material de partida: el poliestireno compacto-PS en forma de granza. La granza así obtenida puede utilizarse para fabricar piezas sencillas mediante moldeo por inyección, como perchas, bolígrafos, carcasas, material de oficina, etc. o extrusión en placas u otras formas para utilizarse como sustituto de la madera (bancos, postes, celosías...).

### RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

La recuperación energética es la obtención de energía, normalmente en forma de calor, a partir de la combustión de los residuos. Este proceso es una opción de gestión de los residuos muy adecuada para aquellos productos y materiales que por diversos motivos no pueden ser reciclados fácilmente.

Para los residuos "sucios" como las cajas de pescado o los semilleros, la recuperación energética es una opción de gestión de residuos seguros y adecuados con la que se puede obtener un beneficio medioambiental de los mismos a través del aprovechamiento de su energía intrínseca.

La combustión del EPS en instalaciones de recuperación energética no produce gases dañinos ya que las emisiones se controlan y filtran cuidadosamente.

En las modernas plantas de combustión el EPS libera la mayor parte de su contenido energético en forma de calor ayudando a la combustión de otros residuos y emitiendo únicamente dióxido de carbono, vapor de agua y trazas de cenizas no tóxicas. Es importante destacar que el EPS no contiene ningún gas de la familia de los CFCs.

Los plásticos, como el EPS, de hecho "toman prestada" la energía contenida en el petróleo que se utiliza para su fabricación y más tarde la "devuelven" tras su utilización cuando se utilizan como combustible en los procesos de recuperación energética.

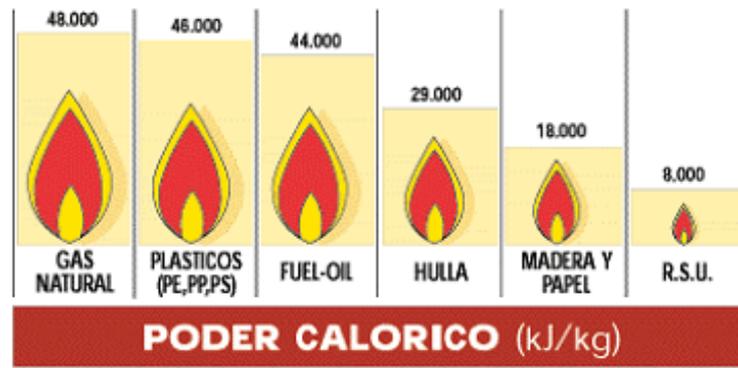


Ilustración 6. Poder calórica poliestireno expandido

### VERTIDO

El vertido de los residuos de embalajes de EPS es el método de gestión de residuos menos aceptable porque implica perder una oportunidad de recuperar recursos valiosos.

Pero cuando no haya otro método de recuperación alternativo y viable, los residuos de EPS pueden destinarse al vertido con total seguridad ya que el material es biológicamente inerte, no tóxico y estable. El EPS no contribuye a la formación de gas metano (con su correspondiente potencial de efecto invernadero), ni tampoco supone ningún riesgo, por su carácter inerte y estable, para las aguas subterráneas.

### 2.6. APLICACIONES PRINCIPALES DEL EPS

El poliestireno expandido se utiliza en multitud de materiales diversos según su funcionalidad. Para poder clasificar todas sus aplicaciones dividiremos este apartado en tres grupos de aplicaciones:

- Obra civil;
- Industria;
- Edificación.

### OBRA CIVIL

El EPS es muy adecuado para su uso en el sector de ingeniería civil, debido a su efecto aislante, que evita que se congele el subsuelo eliminando los problemas correspondientes

del deshielo, y debido a su resistencia mecánica y a su cohesión, permiten la construcción de estructuras con una enorme resistencia vertical y horizontal.

El EPS tiene diversas aplicaciones posibles en el sector de ingeniería civil que proceden de las ventajas que ofrece como material de cimentación ligero debido a sus especiales propiedades. A continuación hay una serie de ejemplos de aplicaciones del EPS en la obra civil:

- Construcción de carreteras libres de asentamiento;
- Elevación y drenaje de campos de deportes, parques y zonas con césped;
- Elevación libre de asentamiento de espacios y terrenos para aparcamiento;
- Reducción de carga mediante relleno para reforzar pasos elevados y alcantarillas y mediante elevación de rampas de entrada y salida;
- Elevaciones encima de gasoductos enterrados preexistentes;
- Reducción de las cargas laterales reforzando cimentaciones de pilotes en restauración de zonas urbana;
- Elevaciones para barreras de ruido;
- Cimentaciones para cobertizos y edificios ligeros;
- Reparación de asentamientos en carreteras existentes;
- Rampas para diques o edificios existentes;
- Pavimentos de patios y parcelas;
- Terreros y pisos industriales.



Ilustración 7. Uso EPS en obra civil

### INDUSTRIA

El poliestireno expandido es un material que se utiliza ampliamente en el campo del envasado y embalado debido principalmente a su excelentes cualidades para la protección contra impactos y sus propiedades de aislamiento térmico, así como por su ligereza y facilidad de conformado que le permiten adaptarse a las necesidades de cada producto a proteger.

Además, el EPS es un material 100% reciclable y existen numerosos campos de aplicación para el material reciclado.



Ilustración 8. Aplicaciones industriales del poliestireno expandido

### EDIFICACIÓN

Las cualidades del poliestireno expandido tanto en su amplia gama de prestaciones así como los formatos en que se puede presentar le convierten en un material con amplias posibilidades de aplicación dentro del ámbito de la edificación. Las aplicaciones en esta área se centran, fundamentalmente:

- Soluciones constructivas para el aislamiento termo-acústico de los diferentes cerramientos;
- Soluciones de aligeramiento y conformado de diversas estructuras de la edificación;
- Aplicaciones como moldes de encofrado y juntas de dilatación;
- Material aligerante y conformador de estructuras.

El proceso de transformación del poliestireno expandido posibilita la amplia variación en la densidad de los materiales y de sus propiedades. La construcción actual y futura se caracteriza por las exigencias de ahorro energético, la protección contra el ruido y el medio ambiente.

En condiciones climáticas tanto rigurosas como moderadas, el aislamiento térmico de todo tipo de edificación juega un papel muy importante. El coste energético para la climatización en verano es superior al necesario para calefactar en invierno.

El poliestireno expandido posee múltiples soluciones en los sistemas constructivos, tales como aislamiento de fachadas, cubiertas, suelos calefactados, etc. Dichas soluciones aportan ventajas en la relación coste/efectividad y reducen el riesgo de error en la ejecución.

A continuación se muestra una imagen con las diversas aplicaciones en la edificación del EPS:



Ilustración 9. Aplicaciones EPS en edificación

### 3. CONSTRUCCIÓN CON PANELES DE EPS

---

#### 3.1. DEFINICIÓN TÉCNICA

La definición técnica del sistema constructivo con paneles de poliestireno expandido es la siguiente:

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

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

#### 3.2. ELEMENTOS

##### PANELES ESTRUCTURALES

Los paneles estructurales de poliestireno expandido están formados por poliestireno expandido ondulado, mallazos de acero galvanizado, barras corrugadas y conectores de acero.



Fotografía 3. Paneles estructurales

El poliestireno expandido ondulado es un material termoplástico obtenido por la polimerización del estireno. El EPS como material está constituido por la unión de perlas expandidas de poliestireno, producidas durante un proceso de moldeo con aporte de calor en forma de vapor de agua. Las características que se obtienen son las siguientes:

- Densidad nominal: 15 a 35 kg/m<sup>3</sup>;
- Conductividad térmica: 0,039 W/m·K;
- Resistividad al vapor: 0,15 mm·Hg· día/g· cm;
- Clasificación: Euroclase E;
- Tensión a compresión al 10 % de deformación:  $\sigma^{10}$  ) 50 kPa;
- Resistencia a la flexión:  $\sigma^B$  ) 100 kPa

Los paneles de EPS se fabrican con forma de onda para que el proyectado del hormigón se acople sin ningún problema.

Las dimensiones de los paneles vienen dimensionadas en altura según la definición del proyecto y un ancho nominal de 1.125 mm. El grosor puede variar de 4 a 20 cm según los requerimientos de aislamiento térmico y acústico de la edificación.

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

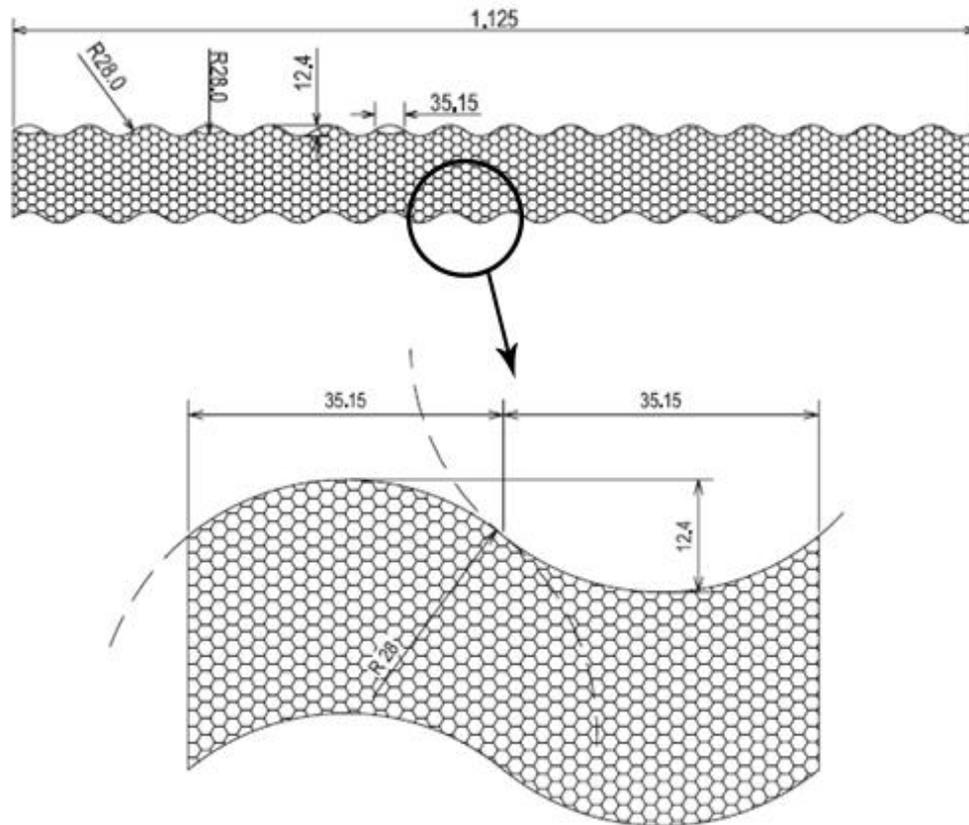
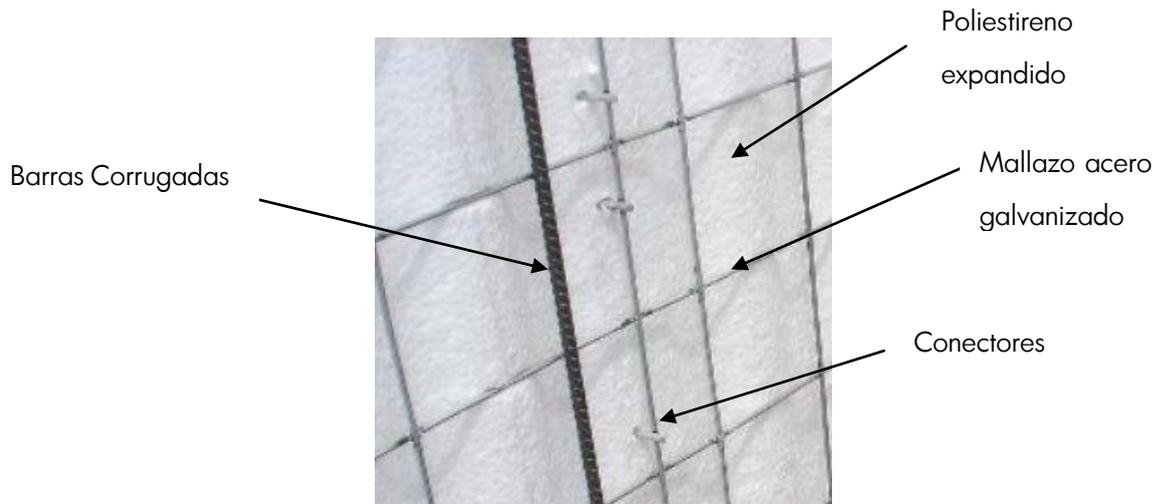


Ilustración 10. Sección y detalle del panel EPS

Los mallazos de acero galvanizado sobresalen 50 mm en caras opuestas, de tal modo que al solaparse entre sí aseguran la continuidad por yuxtaposición de las armaduras, sin necesidad de colocar elementos adicionales de empalme.

Estos mallazos se encuentran unidos entre sí a través de 80 barras corrugadas de diámetro 3mm por cada metro cuadrado de superficie de panel, dispuestos en grupos de 12 conectores cada 13 cm, por cada placa de 1.125 mm de ancho.

Los mallazos vienen dimensionados según si el panel de EPS ha de ser portante (soporta cargas estructurales) o no portante. La cuadrícula de armaduras resultante es entonces de 6,25 x 6,50 cm.



Fotografía 4. Panel estructural EPS

Las características que tienen que tener los aceros utilizados son:

- Las barras corrugadas son de calidad B500 S con límite elástico  $F_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ;
- Las barras de acero liso son galvanizadas, con límite elástico  $F_{yk} = 620 \text{ MPa}$ , y tensión de rotura de  $700 \text{ MPa}$ ;
- Alargamiento mínimo  $> 5 \%$ ;
- Peso del galvanizado mínimo:  $40 - 50 \text{ gr/m}^2$ .

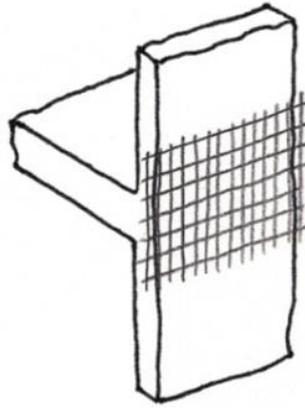
### MALLAS AUXILIARES

Es importante tener en cuenta que para el buen funcionamiento del sistema todas las uniones entre paneles y los recercados de huecos deben estar correctamente reforzados con las mallas adicionales que integran el sistema. Las mallas auxiliares son tramos de superficies de mallazos, construidas en el mismo acero que los mallazos de los paneles, con un diámetro de barras de  $2,5 \text{ mm}$ .

Estas piezas son utilizadas para conseguir la necesaria continuidad de la armadura envolvente del EPS, donde la misma se encuentre interrumpida por corte o cambio de dirección.

Podemos dividir estas mallas auxiliares en tres grupos:

- *MALLAS PLANAS (MP)*: Son mallas galvanizadas de tipo plano que poseen unas medidas de  $0,26 \times 1,16$ . Utilizadas sobre todo para empalmes rectos entre paneles;



Detalle 1. Malla plana

- *MALLAS ANGULARES (MA)*: Se trata de mallas galvanizadas suministradas con ángulo de 90 ° y empleadas sobre todo en uniones perpendiculares entre paneles verticales y uniones forjado - muro;



Mallas angulares

Fotografía 5. Mallas angulares

- *MALLAS EN U (MU)*: Son mallas galvanizadas con sección en “U”, utilizadas sobre todo para el recercado de huecos y el refuerzo de secciones de forjados en ménsula o cantos libres en la edificación.



Fotografía 6. Malla en U

Las mallas auxiliares se elaboran con acero trefilado y galvanizado de alta resistencia:

- Límite de fluencia > 600 MPa
- Tensión de rotura > 680 MPa

Una vez alineados y aplomados todos los muros, se podrán colocar las mallas de continuidad angular abarcando todas las aristas horizontales y verticales de los diedros formados. Es importante tener en cuenta que una vez colocadas las mallas de refuerzo angular ya no podrán corregirse las alineaciones y los aplomados de los muros, dada la rigidez que los paneles transversales aportan al sistema, aún en la etapa previa de montaje.

#### ATADO DE MALLAS

Existen muchos métodos para atar los paneles entre sí. Es muy importante que el proceso de atado se realice de forma correcta para asegurar un correcto solape entre armaduras que garantice su funcionamiento una vez hormigonada la edificación.

Los mallazos sobresalen 50 mm en caras opuestas, de tal modo que las mismas se solapan entre sí asegurando la continuidad por yuxtaposición, sin necesidad de colocar elementos adicionales de empalme. La falta de atado entre paneles puede ocasionar fisuraciones una vez aplicado el hormigón, ya que al quedar la malla suelta no se asegura su correcto recubrimiento.

No es necesario atar todos y cada uno de los recuadros de las mallas, basta con realizar 4 o 5 ataduras a lo largo de la vertical de un panel para muro estándar, de unos 3 m de altura.

A continuación, se muestran los diferentes métodos para la ejecución de los puntos de atado en las mallas de refuerzo y en los solapes del mallazo de los diferentes paneles:

- *TENAZA CON SIMPLE ALAMBRE*: El método más sencillo para obras pequeñas. Consiste en la utilización de alambre para ferrallar, aplicándose éste en el nudo y torsionándolo mediante el giro de unas tenazas, al tiempo que se realiza el corte del alambre sobrante accionando la herramienta;



Fotografía 7. Tenaza con simple alambre

- *GRAPADORAS MANUALES O AUTOMÁTICAS*: Suelen estar preparadas para el solape de armaduras en paralelo. Presentan problemas de falta de rigidez de los atados, aparte del coste;



Fotografía 8. Grapas para armaduras

- *TORNILLOS SIN FIN MÁS PRESILLAS METÁLICAS*: Es un ingenioso sistema manual de gran sencillez basado en unas presillas metálicas con dos aberturas en los extremos, por las que se introduce un gancho que posee la herramienta. Tirando de la misma hacia el cuerpo del operario, el tornillo sin fin se encarga de enrollar la presilla hasta que rompe el extremo, quedando el nudo ejecutado.



Fotografía 9. Tornillos sin fin más presillas metálicas

- *MÁQUINA AUTOMÁTICA CON CARRETE DE ALAMBRE*: Dispositivo muy rápido y versátil de tipo automático. Posee un carrete de alambre continuo que él mismo se encarga de dosificar y cortar. Gran rapidez y comodidad en obras de cierto tamaño.



Fotografía 10. Máquina automática con carrete de alambre

### MICROHORMIGÓN

La mezcla con que se realice la proyección neumática del microhormigón estructural deberá cumplimentar los requisitos que se nombran a continuación:

- *CONSISTENCIA*: Debe poder ser aplicado en capas de alrededor 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 (0,80 mm/m).

Para satisfacer las condiciones descritas es necesario contar con una mezcla de bajo contenido en agua y con una relación cemento/arena comprendida entre 3,5 y 4,5.

El contenido unitario de cemento Portland normal variará en función de la resistencia de cálculo exigida, de la granulometría de la arena y de la relación árido-aglomerante elegida resultando en general un valor comprendido entre 350 kg/m<sup>3</sup> y 400 Kg/m<sup>3</sup>.

Es recomendable que la relación agua/cemento en peso no supere 0,65 incluyendo la humedad libre de la arena.

En cuanto a los aditivos resulta necesario, en virtud de la baja trabajabilidad de las mezclas obtenidas con estas dosificaciones, agregar un reductor de amasado de agua, en las proporciones que recomiende su fabricante.

Cuando el microhormigón se elabora en la obra, resulta conveniente adicionar fibra de polipropileno de 12, 5 mm a razón de 0,90 Kg por cada m<sup>3</sup> de mezcla. Su finalidad es proveer una red anti-retracción de fraguado aumentando al mismo tiempo la tenacidad.

El curado resulta de fundamental importancia, como en todos los hormigones de gran superficie y poco volumen debido a la acción de agentes atmosféricos.

Un correcto curado consiste en permitir que tenga lugar el proceso de hidratación del cemento, evitando la evaporación prematura del agua libre, para lo cual es necesario mantener la humedad superficial (rociado frecuente con agua), cuidando especialmente la exposición directa a la radiación solar y el viento durante las primeras 24 horas.



Fotografía 11. Microhormigón proyectado

Una de las excelentes virtudes de este sistema constructivo, es que, una vez colocado todos los paneles que conforman la vivienda y proyectado el microhormigón, las diferentes partes del edificio trabajan como un monobloque. Esto es debido a que las partes del sistema constructivo van atadas entre sí y llevan una colocación de mallas de refuerzo para la homogenización.

### 3.3. PROCESO CONSTRUCTIVO

A continuación se estudiarán las diferentes fases para la construcción de una vivienda con paneles de poliestireno expandido. Se seguirá el orden real de construcción: cimentación, estructura, divisorias interiores y cubierta.

#### CIMENTACIÓN

La cimentación es igual a la que se emplea en cualquier proceso constructivo, es decir, no es particular en el caso del empleo de paneles de poliestireno expandido.

Por lo tanto, se tiene que realizar siguiendo los parámetros de cualquier tipo de obra y según el estudio geotécnico y el cálculo del estructurista. Al basarnos en una estructura por muros de carga, emplearemos losas de cimentación.

Cuando se construye la losa, se tiene que hacer un replanteo previo de los muros de cargas para dejar en la losa unas jácenas para que la pared de carga apoye en ellas. A continuación se muestra una imagen del proceso:



Fotografía 12. Proceso de cimentación

A la hora de realizar la cimentación de la vivienda, la parte superior donde va a ir apoyado el EPS tiene que estar lo más nivelada posible para que tenga un asentamiento en toda su superficie.

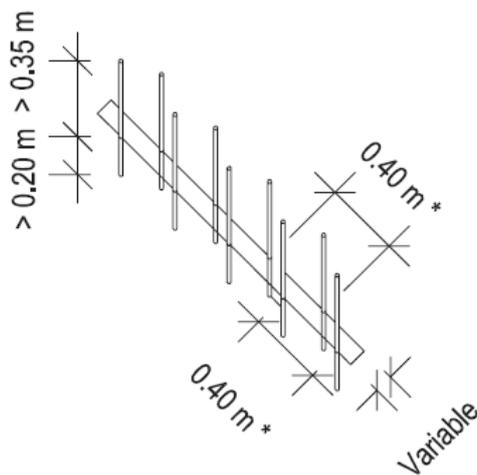
Otro criterio a tener en cuenta para una buena ejecución de este sistema constructivo es favorecer al máximo la unión entre la cimentación y las paredes de carga. Para lograr la perfecta unión entre los dos elementos constructivos, se colocarán unas esperas verticales. El empotramiento de las esperas ha de ser como mínimo de 20 cm y de la cara superior de la cimentación ha de sobresalir como mínimo 35 cm, las cuales ataremos al armado de los paneles de EPS. La separación entre esperas tiene de 40 cm. Las esperas consisten en redondos corrugados de 6 mm de diámetro. Las esperas se unirán a las mallas del panel mediante simple atadura.

Existen dos formas de colocar las esperas:

1. POSTERIOR HORMIGONADO: Es el sistema más cómodo, ya que permite replantear una vez hormigonada la cimentación, con toda la superficie plana. Han de realizarse taladros en la cimentación, se tienen que limpiar las perforaciones y aplicar resinas epoxi;
2. PREVIO HORMIGONADO: Con este método las esperas quedan totalmente empotradas en la cimentación sin necesidad de resinas, pero posee el inconveniente de que precisa un replanteo extremadamente preciso y el buen apuntalamiento de las esperas para evitar movimientos en el vertido del hormigón.



Fotografía 13. Colocación de las esperas en el hormigón



Detalle 2. Esperas

### PANELES DE ESTRUCTURA

A continuación se analizarán las siguientes fases de la estructura en una construcción con paneles EPS: Muros de carga; Forjados; Escaleras.

#### MUROS DE CARGA

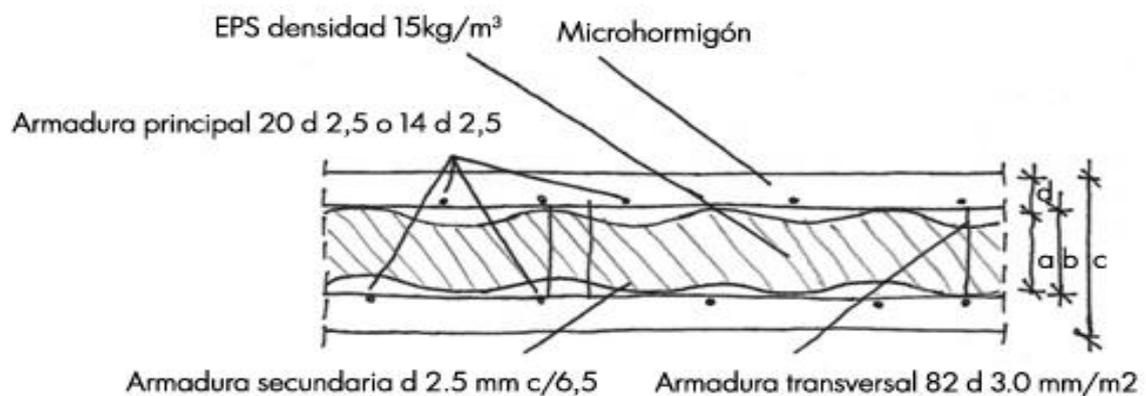
El panel de cerramiento estructural está constituido por una placa ondulada regular de poliestireno expandido de densidad  $15 \text{ Kg/m}^3$ , de un ancho estándar de 1.125 mm.

Los mallazos están constituidos por 20 barras de acero longitudinal, 6 de las cuales son de acero corrugado de diámetro 5 mm y las 14 restantes son lisas galvanizadas de diámetro de

2,5 mm. En la dirección secundaria se dispone de acero liso galvanizado de diámetro de 2,5 mm cada 6,5 cm. La cuadrícula resultante de las armaduras es de 6,25 x 6,50 cm.

Estos mallazos se encuentran unidos entre sí a través de 80 barras de diámetro de 3 mm por metro cuadrado, dispuestos en grupos de 12 conectores cada 13 cm, por cada placa de 1.125 mm de ancho.

El recubrimiento del microhormigón tiene que ser como mínimo de 3 cm por cada lado. El espesor del poliestireno, dependiendo de las necesidades de aislamiento térmico y acústico del proyecto, puede variar desde 4 cm a 20 cm. A continuación se muestra una tabla con un croquis para ver la relación de grosores y la ubicación del armado:



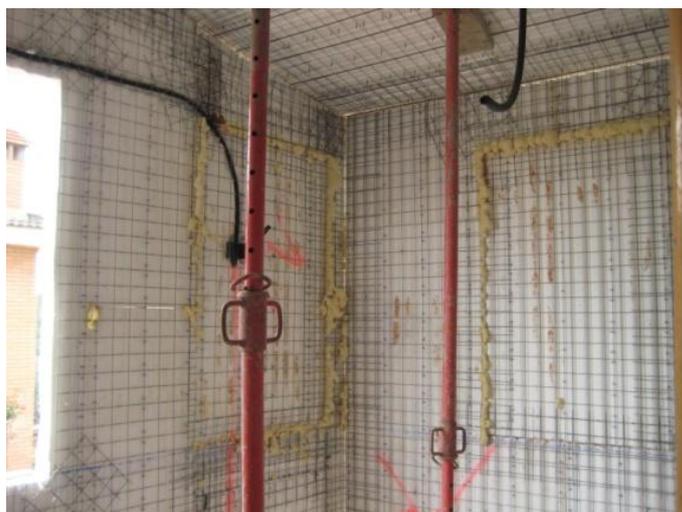
Detalle 3. Sección muro de carga

GROSOR EPS	a	b
EPS 40	40	55
EPS 50	50	65
EPS 60	60	75
EPS 70	70	85
EPS 80	80	95
EPS 90	90	105
EPS 100	100	115
EPS 110	110	125
EPS 120	120	135
EPS 130	130	145
EPS 140	140	155
EPS 150	150	165
EPS 160	160	175

EPS 170	170	185
EPS 180	180	195
EPS 190	190	205
EPS 200	200	215
EPS 40	40	55
EPS 50	50	65
EPS 60	60	75
EPS 70	70	85
EPS 80	80	95

Tabla 2. Grososores del armado y ubicación

Las piezas de poliestireno expandido vienen dimensionadas desde fábrica a falta de abrir los huecos pertinentes a ventana y puertas. Previamente al montaje se tienen que abrir un poco las armaduras de espera para facilitar la introducción de los paneles verticales. Mediante el corte del panel, se abren las aberturas (ventanas, puertas), 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. Es importante tener en cuenta, que al hacer las aberturas a pie de obra y al ser un material de dureza blanda (antes de microhormigonar), se puede corregir un error en el replanteo de aberturas en la estructura, simplemente volviendo a reponer el EPS extraído colocándolo con poliuretano proyectado, y colocando el mallazo cortado.

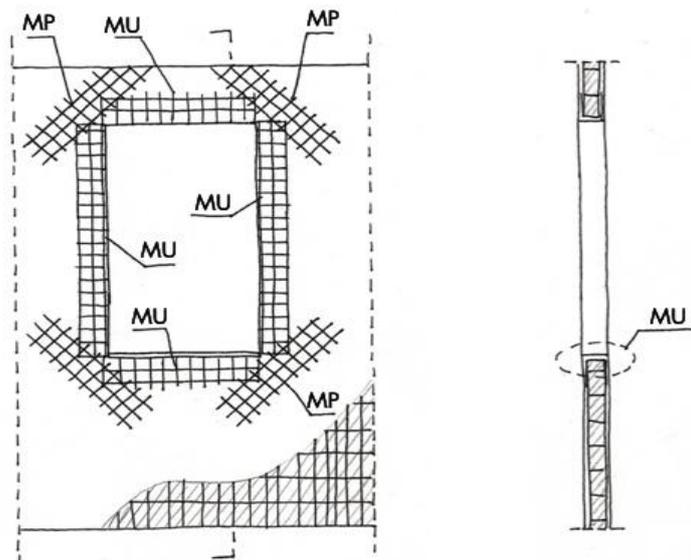


Fotografía 14. Error en el diseño de las aberturas



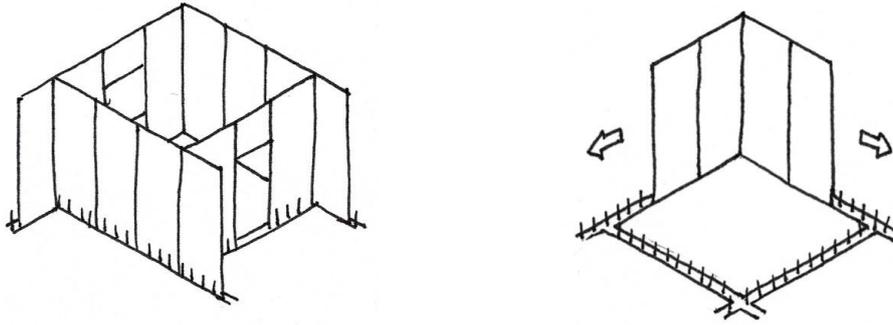
Fotografía 15. Detalle premarcos carpintería de aluminio

Para reforzar estas aberturas, se tienen que reforzar mediante mallas planas (MP) en las esquinas de éstas, y con mallas en “U” en los cantos abiertos de las aberturas.



Detalle 4. Refuerzo de las aberturas

Se debe comenzar el montaje siempre por una esquina de la edificación. Los paneles de muros, una vez en su posición serán apuntalados con una escuadra de madera o metálica perfectamente aplomada y sujeta a la solera cada 2 paneles aproximadamente (2,50 m). A la hora de apuntalar, se tiene que tener una cierta lógica constructiva y tener cuidado de que estos dispositivos no interfieran con la colocación de las mallas de refuerzo angulares y planas. Siempre, como norma general, se irán formando núcleos rígidos tales como habitaciones de la vivienda. Así, es muy difícil que el viento pueda desplazar los paneles una vez colocados.



Detalle 5. Montaje de paneles



Detalle 6. Escudras de madera

Es importante ir atando los paneles entre sí mediante sus machihembrados verticales y también a las esperas de la cimentación para que el viento no pueda moverlos durante el montaje. Con la colocación de las mallas angulares MA damos rigidez a las uniones entre diferentes paños de EPS.



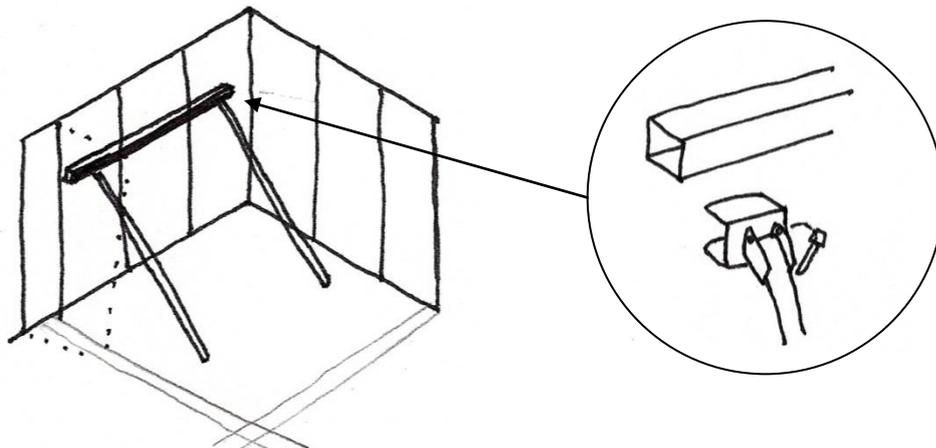
Fotografía 16. Atado de paneles

En caso de existir paños muy largos en edificaciones diáfanas, se debe de ir poniendo durmientes y puntales en ambas caras a fin de mantener su aplomo y evitar que se puedan desplazar con el viento.

Una vez colocados los paneles verticales de cerramiento y antes de atarlos completamente, es necesario realizar el aplomado de los mismos mediante puntales colocados individualmente de manera provisional hasta colocar los forjados que aportarán rigidez al conjunto.



Fotografía 17. Detalle aplomado mediante puntales metálicos



Detalle 7. Durmientes metálicos

## FORJADOS

En primer lugar, se tiene que replantear y colocar las mallas angulares de refuerzo para que los paneles del forjado descansen sobre ellas y realizar los amarres pertinentes. Emplearemos los tres tipos de mallas (MA, MU, MP) para una correcta conexión entre los

muros de carga y el propio forjado. El sentido del forjado viene determinado por la dirección de las armaduras corrugadas integradas en el panel.

Como norma general, los paneles se suministran 5 cm más cortos que la longitud real del vano, con el objetivo de no interrumpir la continuidad vertical del cordón portante de hormigón en los paneles verticales. Dejando estos 5-10 cm también conseguimos un solapamiento adecuado para las mallas de refuerzo.



Fotografía 18. Detalle entre muro y forjado

El armado base del forjado es igual que el de los muros de carga de los paneles. Constaría de un mallazo constituido por 20 barras de acero longitudinal, 6 de las cuales son de acero corrugado de diámetro 5 mm y las 14 restantes son lisas galvanizadas de diámetro de 2,5 mm. En la dirección secundaria se dispone de acero liso galvanizado de diámetro de 2,5 mm cada 6,5 cm. La cuadrícula resultante de las armaduras es de 6,25 x 6,50 cm. Las barras lisas solo trabajan como armadura básica y no se las considera como cálculo estructural.

Estos mallazos se encuentran unidos entre sí a través de 80 barras de diámetro de 3 mm por metro cuadrado, dispuestos en grupos de 12 conectores cada 13 cm, por cada placa de 1.125 mm de ancho.

El grosor del proyectado, una vez colocados y vinculados los paneles entre sí, en la capa de compresión será como mínimo de 50 mm y en la cara inferior del forjado será de 30 mm como mínimo.

Cuando los forjados se encuentran apoyados en sus cuatro bordes, podrán disponerse armaduras suplementarias corrugadas perpendiculares a las barras corrugadas de diámetro 5 mm, para conformar forjados bidireccionales. El refuerzo perpendicular como máximo podrá tener la capacidad mecánica de las armaduras principales de los paneles. En estos casos, la luz máxima de los mismos podrá ser de 6 m (en caso de ser unidireccional son 5 m de luz), siempre y cuando se verifiquen los momentos flectores admisibles y las flechas máximas.

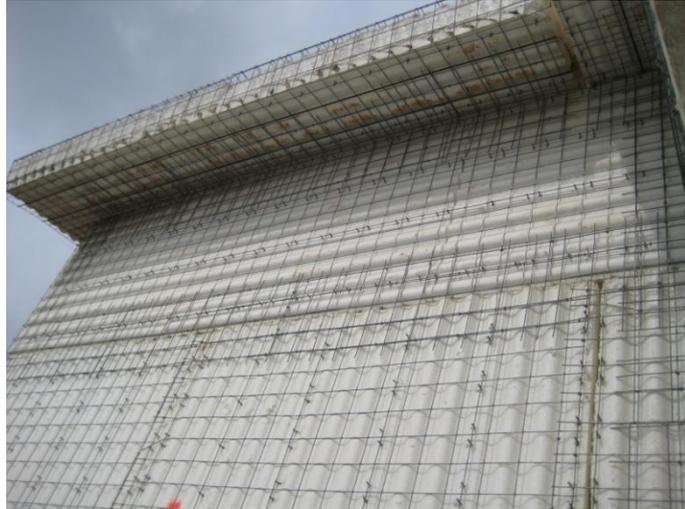
Otra posible aplicación de los paneles de poliestireno expandido es la construcción de forjados con ménsula. La luz permitida máxima es de 2 m aproximadamente. Se tiene que calcular la armadura de refuerzo con los parámetros de la luz, carga y tipo de grosor del panel. Dichos refuerzos se colocan siempre en la cara superior del panel, al emplearse para resistir momentos negativos con valor en el extremo no libre del voladizo.



Fotografía 19. Ménsula

La fase constructiva del voladizo sigue el mismo proceso que la elaboración del forjado, con el añadido de unas mallas MU de refuerzo en los bordes libres.

En el canto de los bordes libres del voladizo, es necesario colocar unas mallas angulares (MU) para asegurar que no existe descuelgo a la hora de proyectar el hormigón.



Fotografía 20. Detalla del canto del forjado

Una vez que se han montado los paneles que conforman el forjado, se comprueba el atado entre las mallas angulares situadas en los muros y los paneles de forjado que se han apoyado sobre ellas. El atado de las mallas, como en anteriores apartados, también se realizarán a tresbolillo.

Se colocarán las mallas de refuerzo necesarias para conectar la cara superior del forjado con los muros de carga de la siguiente planta. Una vez realizada esta operación, se procederá a colocar la armadura de refuerzo a momentos negativos si fuera necesaria por cálculo.



Fotografía 21. Forjado

Cuando se proyecta la primera capa de los muros, se apuntalará el forjado, colocando durmientes metálicos o de madera de forma que la sección de contacto con el forjado sea la menor posible. Se colocarán separados de 1 m a 1,40 m, en función de las cargas y la luz del forjado. Se ubicarán en sentido perpendicular al sentido de la armadura corrugada integradas en el panel. En los durmientes, ya sean de madera o de metal, se apoyarán en puntales cada metro.

Antes de aplicar la primera capa del hormigón, se ha de aplicar una contraflecha en el centro del vano, para contrarrestar el peso del hormigón y así permitir a la estructura su correcto funcionamiento. Se siguen el criterio de 0,5 cm por cada metro de luz; por ejemplo, si tuviéramos un vano de 4 m, se tendría que aplicar una contraflecha de 2 cm.



Fotografía 22. Aplicación contraflecha en el centro del forjado

## ESCALERAS

Las escaleras se fabrican a medida y según las exigencias de cada proyecto, con las medidas específicas de huella, tabica y números de escalones.

Generalmente las escaleras están formadas por dos tipos de paneles diferentes:

- Un panel específico para realizar la formación de las zanjas de los escalones de la escalera. Posee cuatro perforaciones en el interior del panel, a modo de vigueta, que tienen que armarse y hormigonarse para dar flexión a la escalera.



Fotografía 23. Paneles EPS formación zanjas escalones de la escalera

- El otro tipo de panel se emplea para la formación de la meseta de la escalera. Aparentemente, se trata de un panel que permite la ejecución de un forjado reticular con nervios en dos direcciones perpendiculares, que han de ferrallarse y empotrarse en los muros perimetrales para resolver el apoyo y que se realiza derritiendo el poliestireno y empotrando la armadura hasta llegar a la cara exterior del panel.



Fotografía 24. Paneles EPS formación meseta de la escalera

Tanto el poliestireno expandido que conforma los escalones como el EPS que forma las mesetas va forrado con una malla galvanizada electrosoldada  $f_y = 600 \text{ Kg/cm}^2$  para un correcto adosado del microhormigón. El proyectado tiene que tener como mínimo un grosor de 3 cm por todo el perímetro de la escalera.

La escalera tiene que ir fijada a los muros adyacentes mediante mallas angulares (MA).



Fotografía 25. Detalle MA escalera

Las perforaciones del interior del poliestireno expandido que conforma los escalones van armadas con tres barras corrugadas de diámetro 8 con estribos de diámetro 6 cada 20 cm, como armadura mínima. La meseta va armada con la continuación de la armadura de los

escalones formando unos nervios anclados en las paredes laterales. Estos nervios llevan una armadura transversal que conectan entre si las armaduras de los escalones.



Fotografía 26. Conexión armadura escalones con muro

Si se van a colocar barandillas metálicas en la escalera, antes de proyectar se tiene que fijar unas placas de anclaje a las mallas de modo que queden embebidas en el hormigón y se puedan soldar dichos elementos de cerrajería posteriormente.



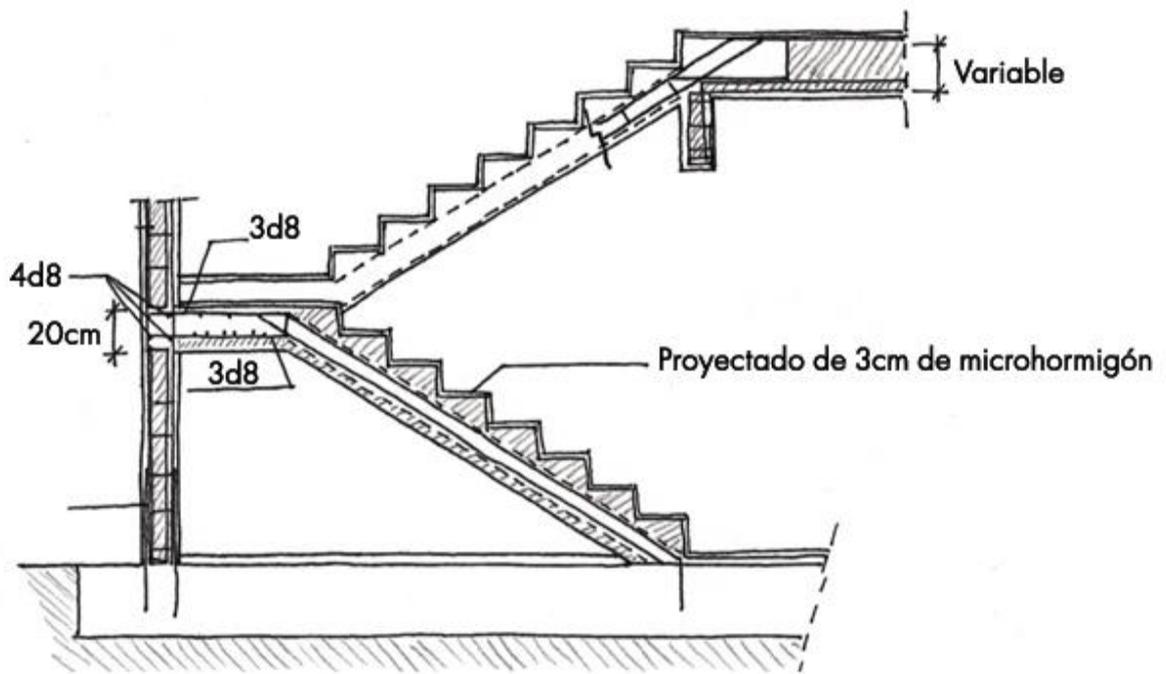
Fotografía 27. Detalle del anclaje

La armadura de los nervios de la escalera se debe anclar en la capa de compresión del forjado previo al hormigonado de éste. A continuación, se muestra una imagen con las esperas ancladas en la capa de compresión. La longitud del anclaje tiene que ser dos veces la huella del escalón.

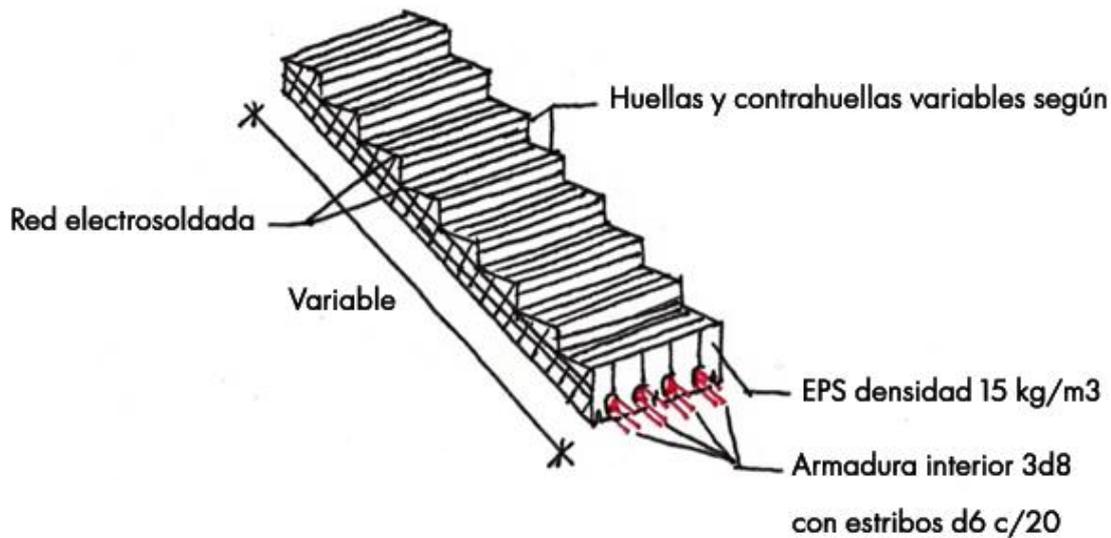


Fotografía 28. Detalle del armado del anclado en forjado

A continuación, se mostrará una sección de una escalera de obra tradicional y un tramo de zanja de escalera:



Detalle 8. Sección transversal escalera de obra



Detalle 9. Secciones escalones EPS

### PANELES DE DIVISIONES INTERIORES

Los paneles de poliestireno expandido para cerramientos interiores no están preparados para recibir cargas estructurales. Éstos se denominan paneles EPS no portantes y constan de un alma ondulada de poliestireno expandido al que se adosan un mallazo por cada lado, solidarizadas con 40 conectores galvanizados por m<sup>2</sup> de panel.

La diferencia esencial de los paneles de EPS portantes es que no se emplea barras corrugadas, simplemente utiliza un mallazo de acero galvanizado con 20 barras en sentido longitudinal lisas de 2,5 mm de diámetro. En la dirección transversal del panel se dispone una armadura galvanizada lisa de 2,5 mm de diámetro cada 13 cm, obteniendo una abertura de 6,25 x 13 cm.

Los grosores del EPS dependen de las exigencias técnicas que requieran las divisorias interiores. Varían de 4 a 20 cm.

El recubrimiento del microhormigón es como mínimo de 3 cm por cada lado. El espesor del poliestireno, dependiendo de las necesidades de aislamiento térmico y acústico del proyecto, puede variar de 4 cm a 20 cm.



Fotografía 29. Cerramiento interior

Los paneles EPS no portantes, aparte de emplearse para las divisiones interiores de una vivienda construida con el sistema constructivo que objeto del presente estudio, también se utilizan para cerramientos de grandes dimensiones como naves industriales o fábricas. Los paneles EPS no portantes debido a su gran resistencia al viento, su gran aislamiento térmico y acústico, y que se puede combinar con todo tipo de construcción (hormigón armado, estructura metálica...), resultan muy prácticos para realizar grandes superficies.



Fotografía 30. Paneles EPS portantes en nave industrial

### PANELES DE CUBIERTA

La solución para la ejecución de las cubiertas es muy similar a la empleada para la ejecución de los forjados.

Uno de los puntos a los que se debe prestar especial atención es a la resolución de cumbreras, limahoyas y limatesas en cubiertas inclinadas, ya que son puntos de concentración de tensiones, debiendo asegurarnos de que estas uniones están correctamente solapadas con mallas angulares y planas.

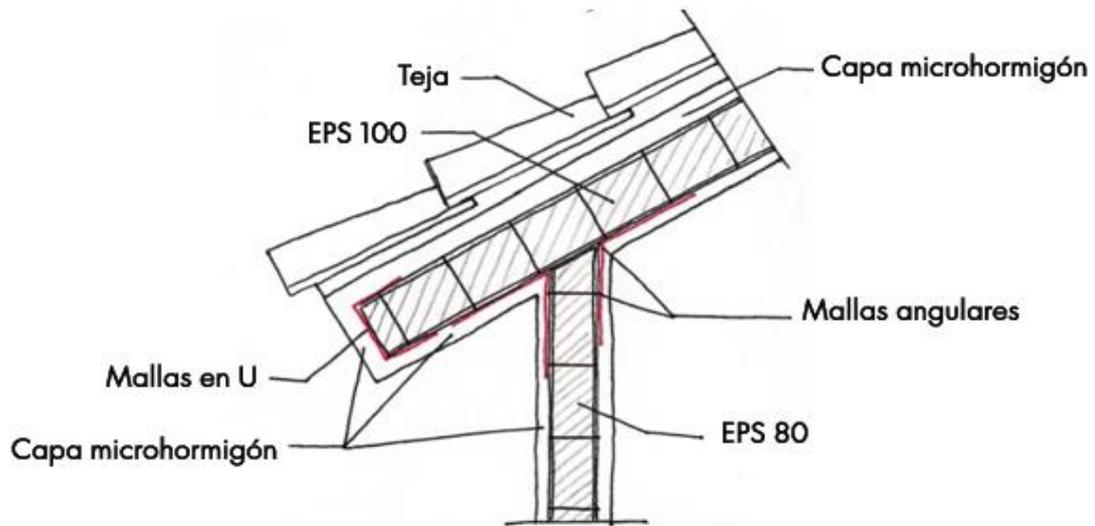


Fotografía 31. Encuentro cumbrera

Es necesario tener en cuenta que el hormigón al proyectarlo en pendiente tiene tendencia a tener un cierto descuelgue del hormigón, por lo que se tendrá que dosificar la mezcla adecuada para salvar este problema.

El armado básico de los paneles será el mismo al correspondiente de un forjado, siempre y cuando los datos del calculista no sobrepasen los requisitos del armado estándar.

Es necesario colocar mallas angulares (MA) en las uniones entre los voladizos y los muros estructurales y colocar mallas en U (MU) en los cantos de los voladizos.



Detalle 10. Sección cubierta inclinada



Fotografía 32. Voladizo cubierta

### PASOS DE INSTALACIONES

Es uno de los capítulos más peculiares del sistema constructivo a estudiar. Las instalaciones van embebidas en la capa del panel de EPS. Para realizar el paso de las instalaciones simplemente hace falta una pistola de aire caliente o, en su ausencia, se puede utilizar un soplete de butano a muy baja intensidad. Esta fuente de aire caliente deprime el EPS sin generar residuo alguno.



Fotografía 33. Instalaciones en capa panel EPS

Para colocar cajas de empalme o cuadro de diferenciales se corta el mallazo galvanizado para su correcta colocación. Cuando introducimos canalizaciones rígidas y quedan embutidas en el panel, se repone el mallazo substraído con mallas de refuerzos planas.

Se debe tener en cuenta que todas estas operaciones son previas al hormigonado de los paneles.

Las instalaciones eléctricas serán como las de la construcción tradicional, es decir, con tubos corrugados de tubo reticulado y las conducciones de agua sanitaria serán de polipropileno o polibutileno, más conocido como tubo Wirsbo. En ningún caso se debe utilizar cobre, ya que se produce un ataque por par galvánico al ponerlo en contacto con las mallas de acero galvanizado.



Fotografía 34. Paso de instalaciones

Las cajas de registro y de empalme se fijan con mortero, espuma de poliuretano o simple alambre hasta recibir la primera capa del proyectado de microhormigón.

#### APLICACIÓN DEL MICROHORMIGÓN

Antes de proceder a la aplicación del microhormigón estructural, se tendrá que realizar un chequeo final que compruebe la correcta colocación de todos y cada uno de los paneles, verificando la alineación y aplomado de los mismos y la completa colocación de todos los refuerzos de mallas planas, angulares y varillas de acero corrugadas de refuerzo.

Asimismo, hay que asegurarse que las instalaciones ya hayan sido colocadas de manera que no necesiten aperturas de rasas posteriores a la aplicación.

Para garantizar el recubrimiento de las armaduras, se procede a colocar en obra unas maestras metálicas o de PVC de medidas acordes al recubrimiento necesario a aplicar.



Fotografía 35. Maestras metálicas

Se debe realizar un reconocimiento previo de la superficie a proyectar puesto que el proyectado se tiene que hacer con las interrupciones mínimas posibles.

En primer lugar se proyecta los elementos verticales y se procede a aplicar una primera capa de regulación de unos 2 cm de espesor, con la que debe cubrirse la armadura del panel prácticamente en su totalidad. La primera capa tendrá un acabado rugoso para facilitar la adherencia con la segunda capa de microhormigón.



Fotografía 36. Aplicación microhormigón en paredes verticales

Para trabajar correctamente se proyecta la vivienda por núcleos. Se tiene que respetar los recubrimientos marcados en la documentación de la ejecución del proyecto. Lo habitual es tener 3 cm de microhormigón en elementos interiores y 3,5 cm en elementos exteriores, llegando a 4 cm en la proximidad a la costa.

El tiempo de transcurso entre la primera aplicación y la segunda capa de proyectado no ha de sobrepasar los 3 días de diferencia. Si pasan más de 3 días se ha de aplicar un producto químico a modo de puente de adherencia.

Es de gran importancia, como en todos los hormigones, el proceso de curado al que deben de ser sometidas las superficies de los muros. Es necesario mantener la humedad superficial mediante regado con agua, especialmente las primeras 24 horas después de aplicar la segunda capa de microhormigón.

La aplicación de los muros se puede hacer indistintamente por caras opuestas, así puedes proyectar una pared entera, con sus dos capas de microhormigón, sin que la cara opuesta del muro no se haya proyectado todavía.

El hormigonado de los forjados se realizará, lógicamente, una vez apuntalados como se explica en el apartado “Forjado”. Primero se aplicará una 1ª capa de microhormigón en la cara inferior. El espesor medio de esta capa es de 20 - 25 mm, suficiente para cubrir las armaduras.



Fotografía 37. Hormigonado de forjados

Una vez realizada esta tarea se hormigonará la capa de compresión. Esta capa, mínimo de 5 cm, se realizará de una tongada y deberá curarse como cualquier forjado normal, con sus riegos complementarios. Para garantizar el espesor se colocarán guías de esta medida durante el proceso de hormigonado.



Fotografía 38. Hormigonado de capa de compresión

En función de la curva de endurecimiento del microhormigón aplicado, y previa verificación estructural, se desapuntará los forjados para la 2ª capa de recubrimiento inferior del forjado. Como tiempo estándar se desapuntará a los 14 días.

## 4. SISTEMA CONSTRUCTIVO CON PANELES DE EPS VS. SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL

---

### 4.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

#### DATOS GENERALES

Proyecto: Vivienda unifamiliar aislada

Condiciones del solar: La parcela tiene una superficie escriturada de 750,24 m<sup>2</sup>. Es de geometría regular y presenta una forma rectangular. Los límites del terreno son:

Lado Noroeste: 34,68 m de linde

Costado Sureste: 26,14 m de linde

Costado Noreste: 16,92 m de frente

Costado Suroeste: 36,98 m de linde



Fotografía 39. Vivienda unifamiliar aislada

SOLUCIÓN ADOPTADA

El edificio se compone de dos plantas y está compuesto por un cuerpo de geometría regular, el cual contiene determinadas dependencias con jerarquías distintas.

El garaje, la sala de estar/comedor, la cocina, el lavadero, dos dormitorios, un baño y un despacho están ubicados en la planta baja. En la planta primera quedará la habitación suite y el segundo baño de la vivienda.

CUADRO DE SUPERFICIES

En el siguiente cuadro se explican las diferentes superficies útiles y construidas que abarcan la vivienda.

	SUP.ÚTIL	SUP.CONST
GARAJE	40,01 m <sup>2</sup>	44,80 m <sup>2</sup>
Garaje	40,01 m <sup>2</sup>	
PLANTA BAJA	88,09 m <sup>2</sup>	96,37 m <sup>2</sup>
Estar/Comedor	26,37 m <sup>2</sup>	
Cocina	8,45 m <sup>2</sup>	
Lavadero	2,76 m <sup>2</sup>	
Escalera	7,32 m <sup>2</sup>	
Pasillo	4,30 m <sup>2</sup>	
Dormitorio 1	10,44 m <sup>2</sup>	
Despacho	7,67 m <sup>2</sup>	
Dormitorio 2	11,89 m <sup>2</sup>	
Baño 1	4,57 m <sup>2</sup>	
Porche PB	4,32 m <sup>2</sup>	(50 %) 2,16 m <sup>2</sup>
PLANTA PISO	24,96 m <sup>2</sup>	36,77 m <sup>2</sup>
Vestíbulo	1,10 m <sup>2</sup>	
Dormitorio Principal	13,01 m <sup>2</sup>	
Baño 2	6,56 m <sup>2</sup>	
Vestidor	4,29 m <sup>2</sup>	

TOTAL		180,10 m <sup>2</sup>
Superficie útil total Vivienda:	(sin garaje)	113,05 m <sup>2</sup>
Superficie construida total:		180,10 m <sup>2</sup>
Superficie ocupación:		173,33 m <sup>2</sup>
Superficie parcela		750,24 m <sup>2</sup>

Tabla 3. Cuadro de superficies

### SISTEMA CONSTRUCTIVO

La construcción del edificio se lleva a cabo mediante la aplicación de un sistema constructivo semi-prefabricado a partir de los paneles portantes, formados por un núcleo de poliestireno expandido (EPS) asociado a una armadura electrosoldada ligera, sobre los que se proyecta un recubrimiento de microhormigón armado con hierros de montaje y armaduras de refuerzo complementarias.

El sistema se utiliza tanto para muros exteriores como para las divisorias y tabiquerías interiores, así como para los forjados de planta y cubiertas, losas de escaleras, balcones, vuelos y otros elementos constructivos que lo requieran.

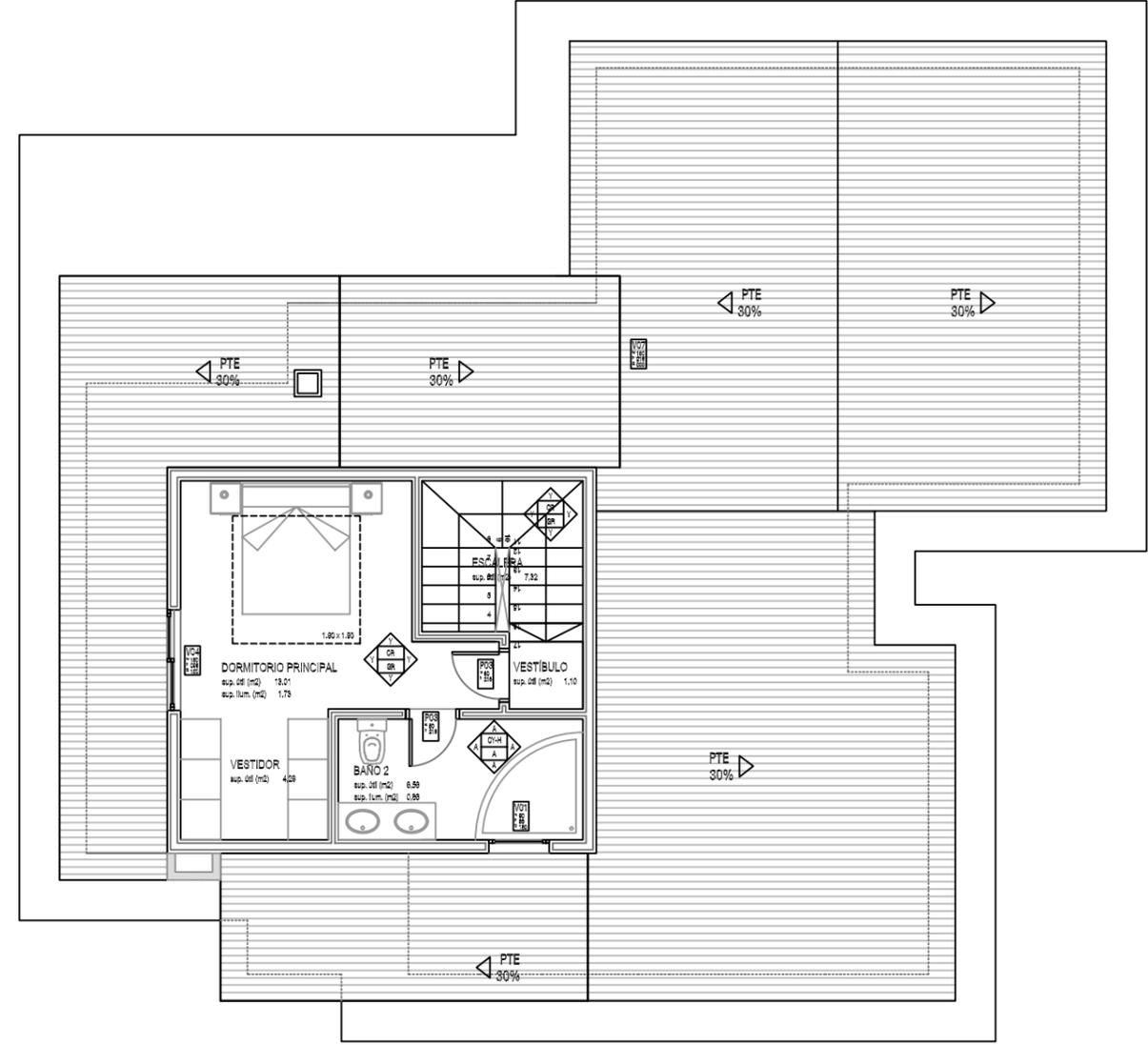
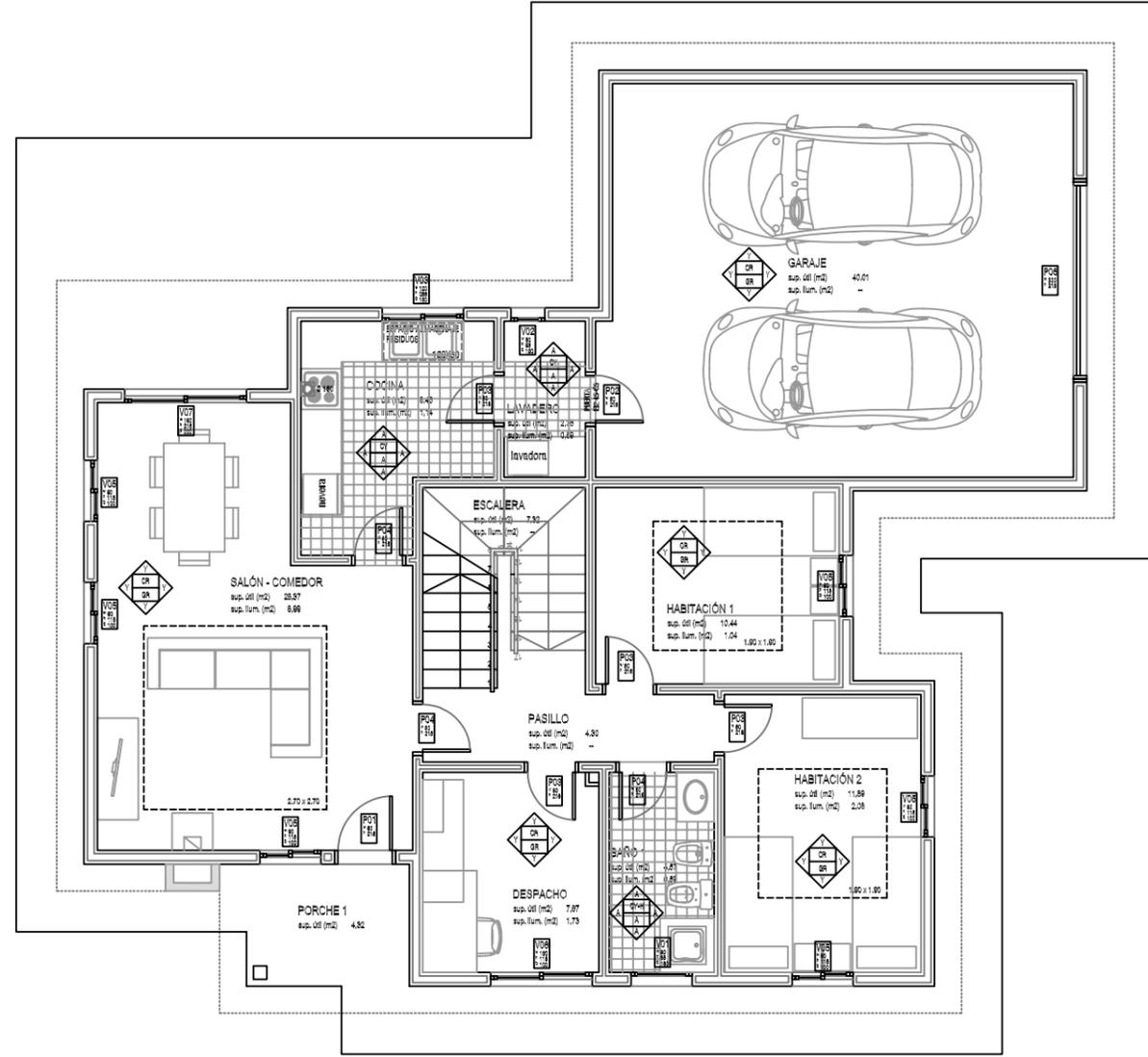
La cimentación se realizará por medio de una losa de hormigón armado a las que se conectarán mediante armaduras todos los paneles portantes (muros y tabiques). Esta losa quedará protegida frente a la acción del agua mediante un filtro invertido base, formado por gravas.

El acabado exterior de los paneles se definirá durante la ejecución de las obra y se basará en revestimiento monocapa. El acabado interior ha de garantizar una superficie totalmente lisa que pueda ser acabada con pintura plástica.

### PLANOS

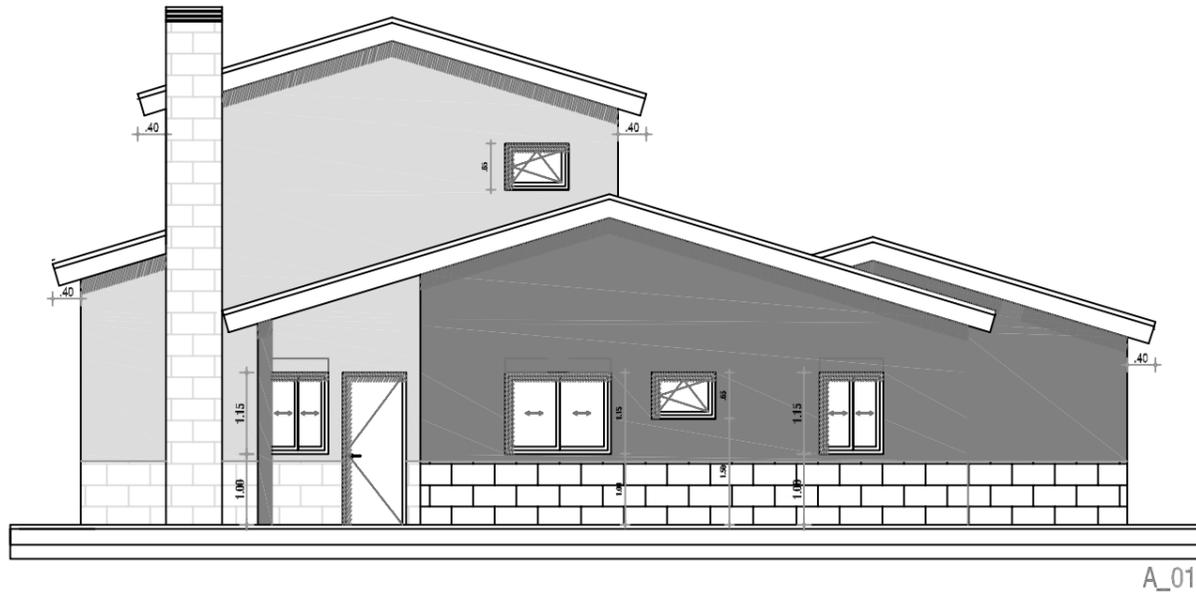
A continuación se adjuntan los siguientes planos:

- Plantas baja y primera
- Alzados 01/02 y secciones 01/02
- Alzados 03/04
- Detalle paneles

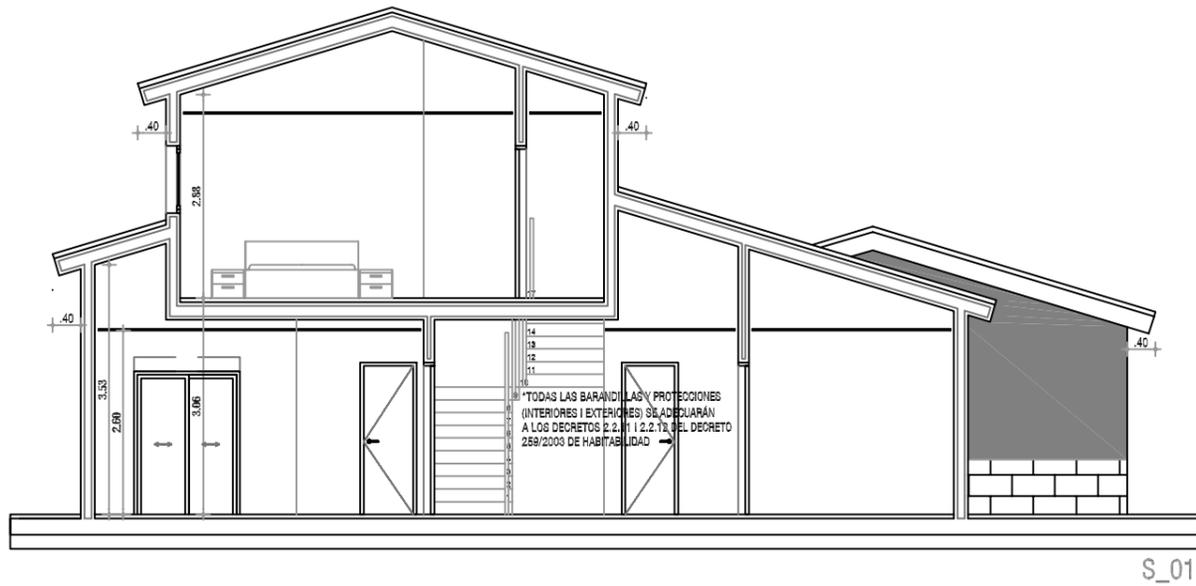


PAR = PARAMENTO

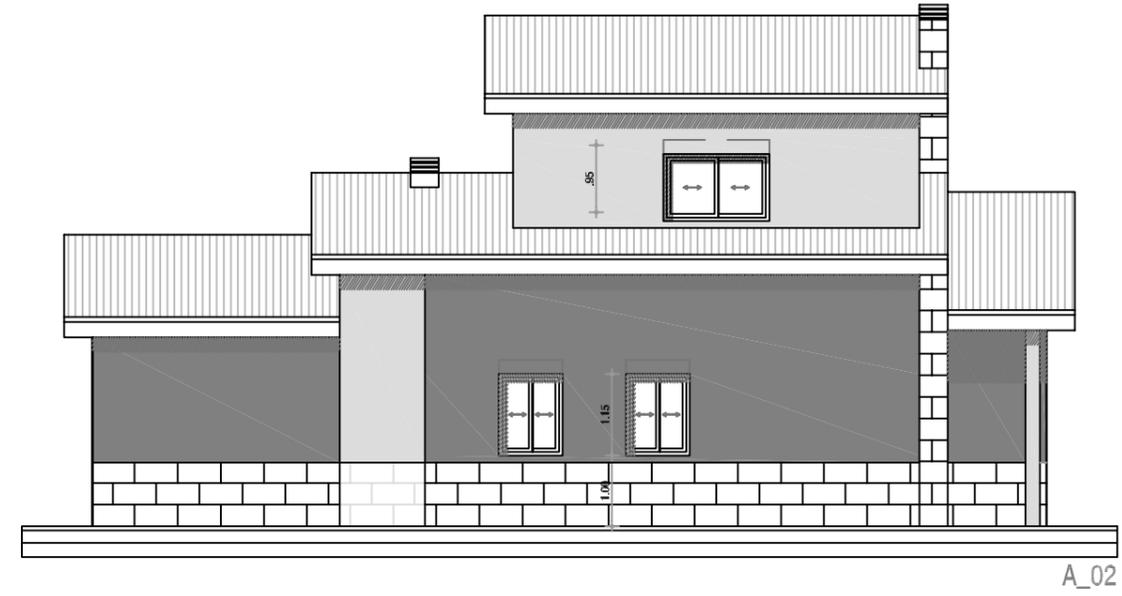
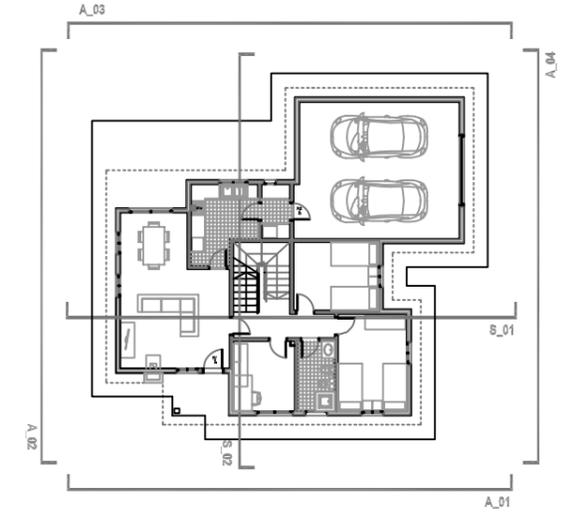
- GR gres
- Y entucido yeso
- A silicatado
- CY-H cartón yeso para cuartos húmedos
- A-Y silicatado frente cocina yeso en el resto del paramento
- MC mortero monocapa



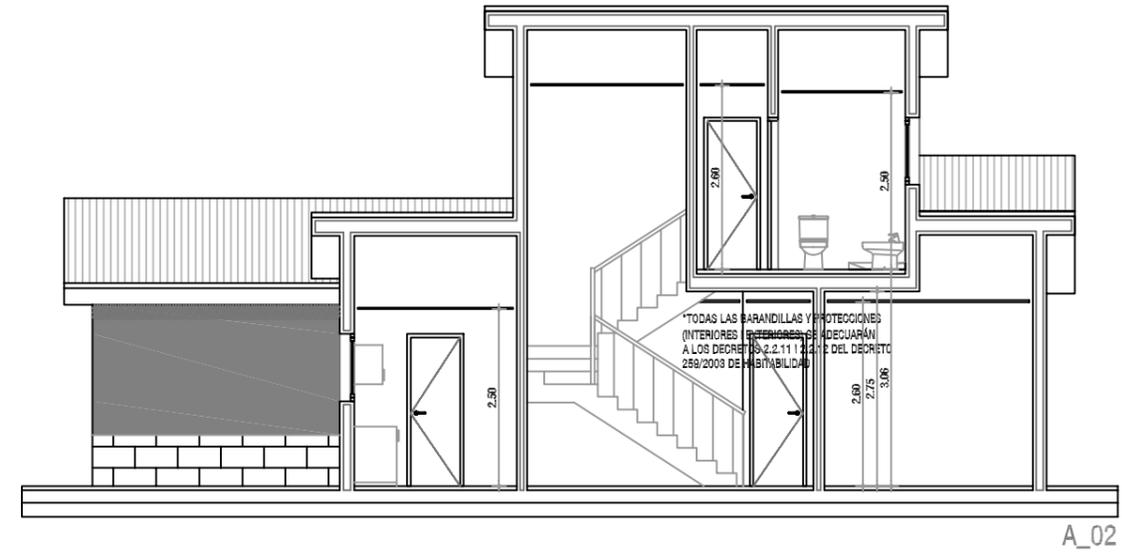
A\_01



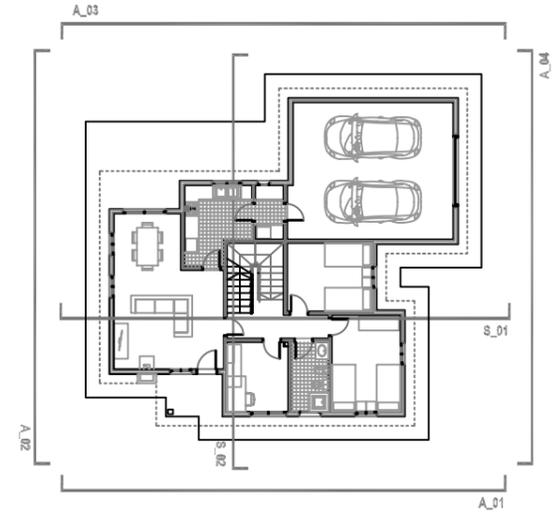
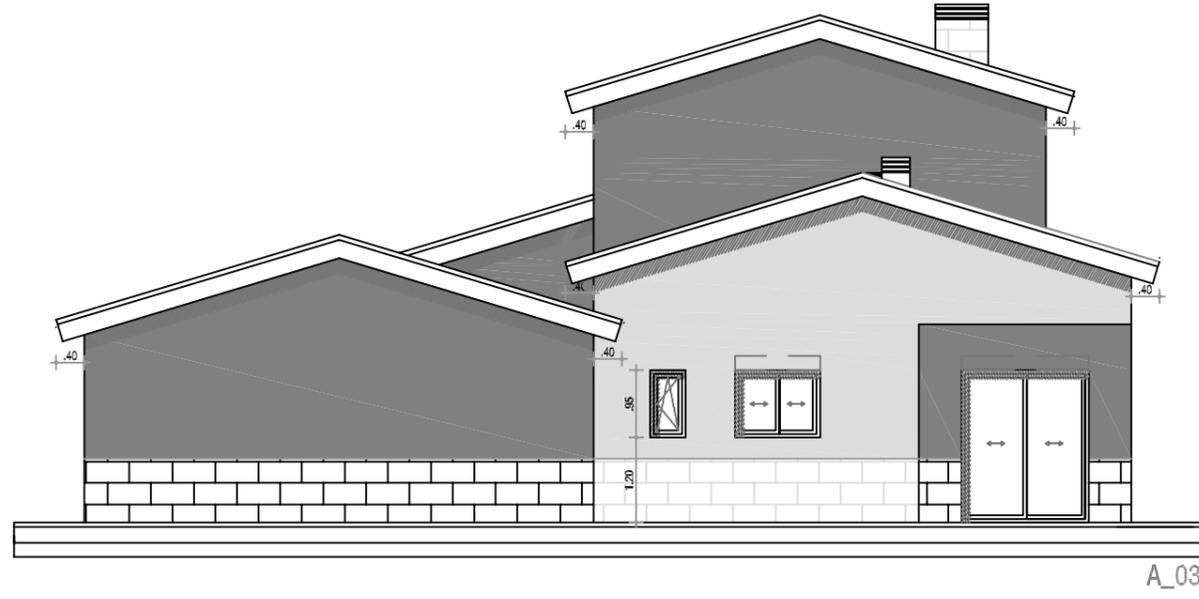
S\_01



A\_02



A\_02





#### 4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

A continuación se compararán las características técnicas de los muros estructurales entre el sistema constructivo con paneles EPS y el tradicional. Para ello se estudiarán los criterios básicos para el correcto funcionamiento de cualquier tipología constructiva:

- Resistencia estructural;
- Materiales;
- Aislamiento térmico;
- Acústico;
- Comportamiento frente al fuego.

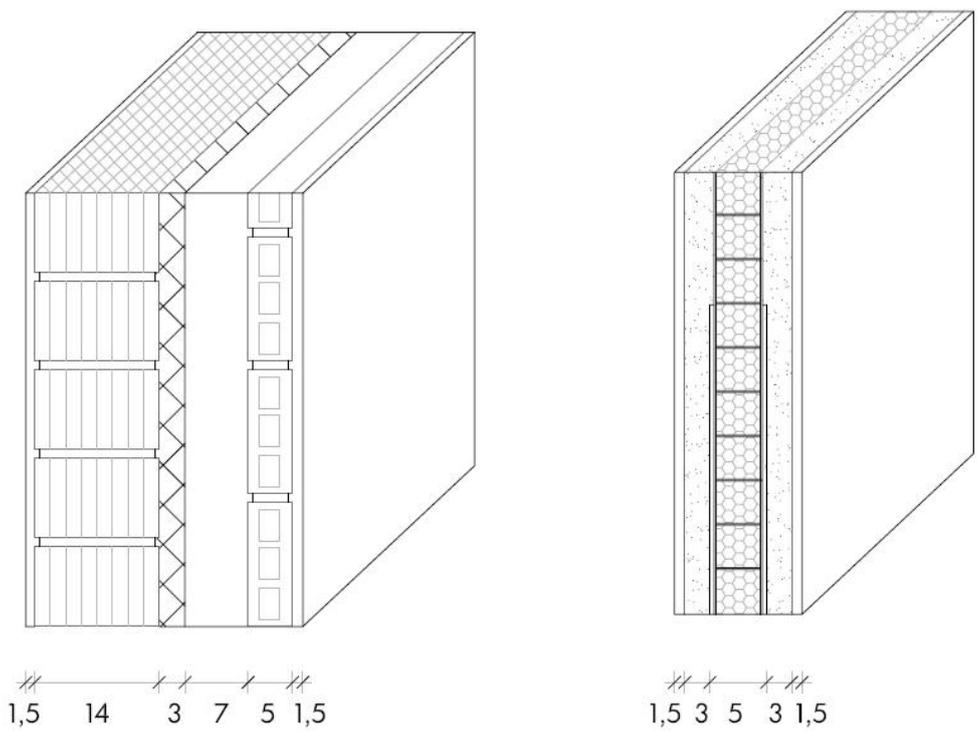
##### RESISTENCIA ESTRUCTURAL

El peso es una de las variables a comparar entre el sistema constructivo con paneles estructurales de EPS y el tradicional, para la tipología constructiva objeto de este estudio.

A continuación, se calculará el peso de las paredes de carga y de la cubierta para ambos sistemas constructivos, siguiendo los criterios del *Código Técnico de la Edificación DB-SE AE: Acciones en la Edificación*. Tan sólo se tendrán en cuenta los criterios estructurales, tanto para una tipología como para otra, ya que en ambas estructuras se pueden aplicar los mismos acabados.

Para comparar el peso propio de los elementos entre los dos sistemas, tomamos 1 m<sup>2</sup> de cada una de las soluciones y aplicamos los pesos de los materiales tanto para la fachada como para los forjados.

Para calcular el peso del forjado he consultado la tabla C.1 y C.4 “Peso propio de elementos constructivos” en el anexo C de la *C.T.E DB-SE AE: Acciones en la Edificación*. A continuación se calcula el peso de los elementos de la fachada:



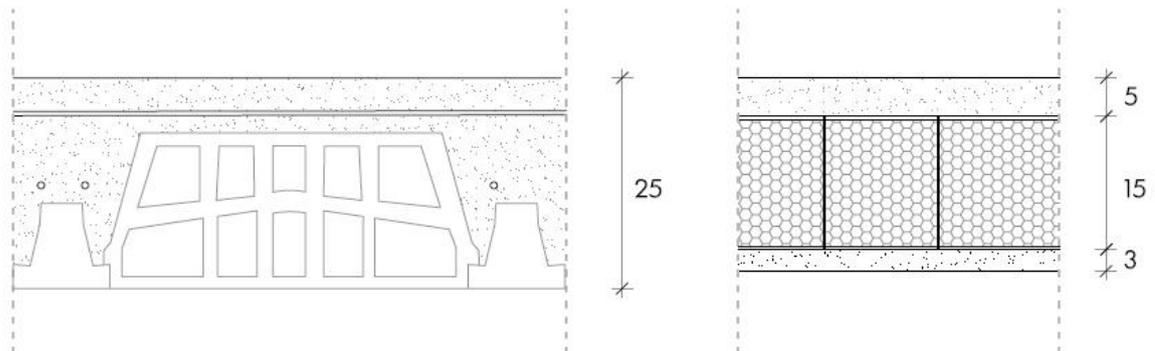
FACHADA DE OBRA HÚMEDA		FACHADA DE PANEL EPS	
1 m <sup>2</sup> de ladrillo perforado 0,14 x 1500 kg/m <sup>2</sup>	210,00 kg	1 m <sup>2</sup> de EPS 50	4,00 kg
1 m <sup>2</sup> de hueco 0,04 x 1200 kg/m <sup>2</sup>	48,00 kg	1 m <sup>3</sup> de microhormigón armado 0,06 m <sup>3</sup> x 2400 kg/m <sup>3</sup>	144,00 kg
1 m <sup>2</sup> de mortero 20 kg/m <sup>2</sup> cm 20 x 1,5 cm	30,00 kg	1 m <sup>2</sup> de mortero 20 kg/m <sup>2</sup> cm 20 x 1,5 cm	30,00 kg
1 m <sup>2</sup> de lana de roca 15 kg/ m <sup>2</sup> 0,03 x 15	0,45 kg	1 m <sup>2</sup> de cartón-yeso 15 mm	11,94 kg
1 m <sup>2</sup> yeso 10 kg/m <sup>2</sup> cm 10x 1,5 cm	15,00 kg		
<b>PESO TOTAL</b>	<b>303,45 kg</b>	<b>PESO TOTAL</b>	<b>189,94 kg</b>

Diferencia de peso en %:

$$303,45 - 189,94 = 113,51 \text{ kg} \rightarrow \frac{113,51}{303,90} \cdot 100 = 37,35 \%$$

De los resultados obtenidos se puede concluir que poseyendo las mismas características estructurales, el sistema constructivo de paneles de EPS pesa un 37,35 % menos que el sistema tradicional.

Para calcular el peso del forjado se ha consultado la Tabla C.5 “Peso propio de elementos constructivos” en el anexo C de la C.T.E DB-SE AE: Acciones en la Edificación. En este comparativo se obviarán los acabados finales.



FORJADO UNIDIRECCIONAL		FORJADO DE PANEL EPS	
1 m <sup>2</sup> Forjado unidireccional, luces de hasta 5 m; grueso total < 0,28 m	300,00 kg	1 m <sup>2</sup> de EPS 150	9,00 kg
		1 m <sup>3</sup> de hormigón armado 0,08 m <sup>3</sup> x 2400 kg/m <sup>3</sup>	192,00 kg
PESO TOTAL	300,00 kg	PESO TOTAL	201,00 kg

Diferencia de peso en %:

$$300,00 - 201,00 = 99,00 \text{ kg} \rightarrow \frac{99,00}{300,00} \cdot 100 = \mathbf{33,00 \%}$$

De los resultados obtenidos se puede decir que hay una reducción del 33 % del peso entre un sistema y otro.

Una vez comparado los diferentes pesos de los muros portantes y los forjados de ambas tipologías constructivas, se llegan a diferentes conclusiones. Una de ellas es la reducción del peso de la estructura entre un sistema u otro. El peso de un muro portante se reduce un 37,50 % respecto a la obra tradicional y el peso de un forjado se reduce en un 33 %.

Mediante una serie de cálculos podemos deducir la diferencia de peso entre una estructura y otra:

CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL		CONSTRUCCIÓN DE PANELES EPS	
Muros	303,45 kg	Muros	189,94 kg
Forjados	300,00 kg	Forjados	201,00 kg
PESO TOTAL	603,45 kg	PESO TOTAL	390,94 kg

Diferencia de peso total en %:

$$603,45 - 390,94 = 212,51 \text{ kg} \rightarrow \frac{212,51}{603,45} \cdot 100 = \mathbf{35,22 \%}$$

La diferencia es de un 35,22 %, es decir, si en el supuesto de que la vivienda construida con el sistema tradicional pesara 100 Kg, empleando el nuevo sistema se reduciría hasta los 64,78 Kg. Esto conlleva a un ahorro en el dimensionado de la cimentación, dado que las cargas que ha de soportar son inferiores.

Otro aspecto a destacar es que, aparte de conseguir una reducción del peso estructural, también se reduce considerablemente los grosores de los muros de carga sin variar su capacidad portante, al pasar de los 31 cm del sistema tradicional a los 14 cm del nuevo sistema. Este parámetro conlleva a tener más metros cuadrados útiles en la construcción con paneles portantes de EPS.

Un aspecto negativo a considerar con el sistema constructivo de paneles estructurales de EPS es que, hasta que no se proyecta el microhormigón estructural, la vivienda es vulnerable a cualquier movimiento o desplome de la estructura por condicionantes climatológicos, y esto puede conllevar a errores estructurales una vez terminada la construcción.

### MATERIALES

La comparación entre el microhormigón, utilizado en el sistema constructivo con EPS, y el ladrillo cerámico, utilizado en el sistema constructivo tradicional, es muy compleja dado que se rigen por diferentes normativas: por un lado el microhormigón está regido por la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) y el ladrillo cerámico por la C.T.E DB-SE F:

Fábrica. Para poder comparar dichas normativas, se ha considerado una serie de criterios que se tienen que seguir por obligación para una correcta ejecución en obra.

Ambas normativas proporcionan los mínimos a respetar en las bases de cálculo del proyecto. Los proyectistas deben conocer la normativa y a partir de aquí no están sujetos a cumplir estrictamente los sistemas de cálculo y las soluciones aportadas, siempre que los cambios se justifiquen documentalmente. En esta primera fase del proyecto, se considera que el cálculo para el predimensionado de la cerámica maciza es más sencillo. Se parte de una resistencia a compresión, que es la manera de trabajar de ladrillo, y es el dato más importante de cálculo. En el momento que actúan otras acciones, como por ejemplo flexiones en dinteles, hay que ayudarse de otros sistemas. El microhormigón, material usado en el sistema de paneles estructurales, se tiene que tener en cuenta no sólo el tipo de microhormigón a utilizar, sino también el predimensionado de las armaduras de acero y su colocación. El microhormigón armado puede trabajar a compresión y a flexión.

En la obra de fábrica de ladrillo se tendrá en cuenta: la resistencia a compresión del ladrillo, la calidad de cementos, cales, morteros, arenas, aguas del amasado, granulometría y en general todo lo que hace referencia a la ejecución en obra de muros de fábrica. A la hora de ejecutar los muros de microhormigón, la EHE regula todos los materiales principales y secundarios incluidos los aditivos que son necesarios para este tipo de obras dependiendo incluso del lugar donde estará emplazada la obra, analizando el tipo de ambiente al que va a estar sometido el microhormigón.

Respecto a la fábrica de ladrillo, la Dirección Facultativa (D.F.) de la obra debe preocuparse de que se cumplan los requisitos marcados en las normas, tanto de control de calidad como la correcta ejecución. La D.F. tiene que exigir los ensayos previos que proporcionará el proveedor al principio de suministro. Sin embargo, los ladrillos al ser un elemento realizado en fábrica con un proceso de elaboración muy protocolizado, si la fábrica dispone del sello INCE de calidad el control se puede reducir, si la D.F. lo requiere, a la exigencia de este sello y a un control visual del estado de las partidas.

En el caso de los hormigones lo regula la misma EHE. Ésta es más estricta por tratarse de un material que se acaba de elaborar en la obra cuando acaba la fase de fraguado y el posterior endurecido. Por eso, en el caso del microhormigón, el control de calidad va más

lejos y exige unos ensayos de laboratorio para corroborar que la resistencia del material y su consistencia puesta en obra, coinciden con los que marca el proyecto.

La mayor diferencia entre los dos sistemas se da en la puesta en obra: el microhormigón resulta mucho más sencillo que la fábrica de ladrillo, puesto que el condicionante del factor error humano se reduce considerablemente. Su colocación en este caso, al ser proyectado, la ejecución es más rápida y fácil. El mayor problema del microhormigón es conseguir una mezcla correcta y las proporciones exactas de los elementos.

La fábrica de ladrillo es más laboriosa: depende de un operario, con lo cual el factor error humano está más presente, ya que su colocación es pieza a pieza. También tenemos que tener en cuenta el mortero entre pieza y pieza. No podemos olvidar que, aunque es el ladrillo el que más carga aguanta, el mortero se encarga de transmitir estas cargas de una pieza a la otra, con lo cual también tiene una función estructural, y no solo de sujeción o unión entre piezas.

Del resultado de la comparativa se puede decir, en primer lugar, que la aplicación del microhormigón es más rápida que la fábrica de ladrillo, ya que éste viene preparado de la central y su aplicación es más rápida y sencilla, mientras que la fábrica de ladrillo se coloca pieza a pieza y su ejecución depende de la velocidad del operario.

Otro aspecto es la calidad del material. El microhormigón, al venir desde la central cumple unas normativas y una serie de calidades. La obra cerámica también cumple estos requisitos de normativa y calidades pero, al ser aplicado en obra junto la argamasa de agarre (hecha a pie de obra), y realizada normalmente por el ayudante del albañil, la obra cerámica puede variar sus características según la dosificación o en el ambiente atmosférico en que se encuentre.

Como última conclusión es la capacidad de cada material. El microhormigón, como se explica en el anterior capítulo, trabaja a compresión y a tracción, mientras que el ladrillo macizo solo lo hace a compresión.

#### AISLAMIENTO TÉRMICO Y CONDENSACIONES

El aislamiento del núcleo del poliestireno expandido deberá cumplir con los requisitos exigidos por el *Código Técnico de la Edificación DB-HE: Ahorro de energía, sección HE 1*.

Hay que tener en cuenta dos parámetros esenciales para el bienestar interior de una vivienda:

- El primero, es la transmisión del calor entre los diferentes materiales del cerramiento. Con la diferencia de temperaturas entre las dos caras del cerramiento, se consigue una penetración de frío/calor hacia el interior de la zona, siendo incómoda la estancia en ésta y se consume más energía para adecuar el uso ambiental de la zona de la vivienda. Por ello es tan importante que la transmisión de temperatura de los materiales sea la menor posible.
- El segundo punto a tener en cuenta es que la resistencia térmica y disposición de los materiales de los elementos de cerramiento de la vivienda deben de ser tales que, en las condiciones ambientales consideradas por la norma, los cerramientos no presenten humedades de condensación en su superficie inferior ni dentro de la masa del cerramiento que degraden sus condiciones.

Los cerramientos que poseen una resistencia térmica baja, presentan una importante caída de la temperatura del aire interior en contacto con los mismos. Según los parámetros exigidos en la C.T.E. se han estandarizado estos parámetros para la ciudad de Cartagena (zona climática B3), para vivienda de uso residencial y para condiciones higrométricas de clase 3 o inferior.

Condiciones de cálculo según parámetros generales de la C.T.E.:

	Temperatura (°C)	Humedad relativa Hr (%)	Resistencia superficial $R_s$ ( $m^2 K/W$ )
Interior	10,6	72,0	0,13
Exterior	20,0	55,0	0,04

Se calculará la zona maciza del cerramiento con y sin acabados, con los mismos acabados en cada caso. Así se verán los parámetros del cerramiento en sí y del cerramiento con un ejemplo de acabado.

En cada caso se analizarán las siguientes variables:

- Resistencia térmica total del componente constructivo ( $R_T$ ): Es el sumatorio de todas las resistencias de cada material que forma el paramento. Cuanto mayor sea el resultado, más resistencia tendrá la pared.
- Transmitancia térmica ( $U$ ): Es la inversa a la resistencia. Cuanto más resistencia, menos transmitancia. Así que interesa que la transmitancia sea lo más pequeña posible.
- Factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) y factor de temperatura de la superficie interior mínimo ( $f_{Rsi,min}$ ): Estos parámetros sirven para saber si se producen condensaciones tanto superficiales e intersticiales.

OBRA TRADICIONAL SIN ACABADOS:

Datos:

n	Material	e Espesor (m)	$\lambda$ Conductividad térmica (W/m K)	$R = e / \lambda$ Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	$\mu$ Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (adimensional)
0	Ladrillo macizo	0,140	0,993	0,141	10
1	Aislante lana mineral	0,030	0,040	0,741	1
2	Cámara de aire	0,070	0,778	0,090	1
3	Ladrillo gran formato	0,050	0,228	0,219	10
		0,290		1,191	

Resultados:

Resistencia térmica total del componente constructivo ( $R_T$ ):

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,13 + 1,191 + 0,04 = 1,361 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Transmitancia térmica ( $U$ ):

$$U = 1/R_T = 1/1,361 = 0,735 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ):

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25 = 1 - 0,735 \cdot 0,25 = 0,82$$

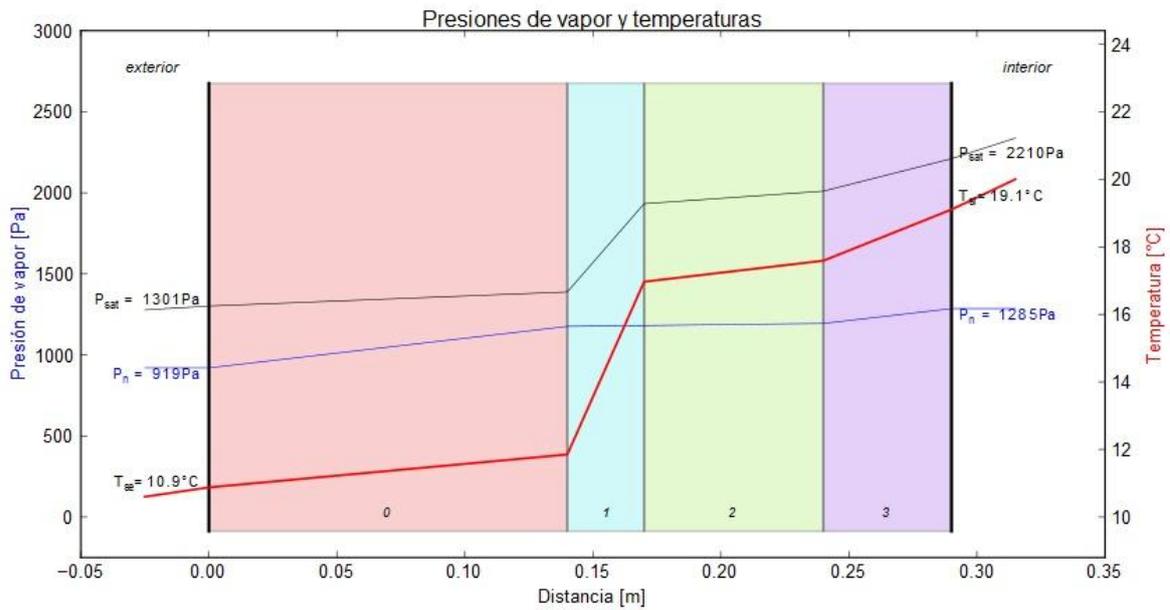
Factor de temperatura de la superficie interior mínimo ( $f_{Rsi,min}$ ):

$$f_{Rsi,min} = 0,37$$

Por lo que:  $f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$

¿Existen condensaciones superficiales? NO

¿Existen condensaciones intersticiales? NO



PANELES EPS SIN ACABADOS:

Datos:

n	Material	e Espesor (m)	$\lambda$ Conductividad térmica (W/m K)	$R = e/\lambda$ Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	$\mu$ Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (adimensional)
0	Microhormigón con mallazo	0,030	2,300	0,013	80
1	Panel EPS	0,050	0,039	1,282	20
2	Microhormigón con mallazo	0,030	2,300	0,013	80
		0,110		1,308	

Resultados:

Resistencia térmica total del componente constructivo ( $R_T$ ):

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,13 + 1,308 + 0,04 = 1,478 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Transmitancia térmica ( $U$ ):

$$U = 1/R_T = 1/1,478 = 0,677 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{R_{si}}$ ):

$$f_{R_{si}} = 1 - U \cdot 0,25 = 1 - 0,677 \cdot 0,25 = 0,83$$

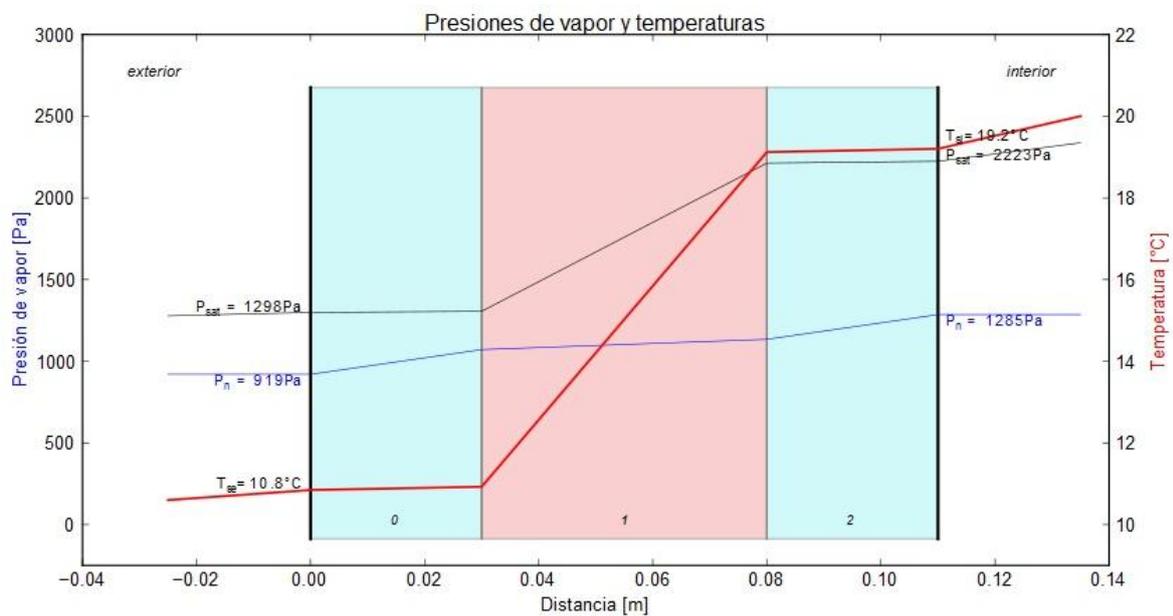
Factor de temperatura de la superficie interior mínimo ( $f_{R_{si,min}}$ ):

$$f_{R_{si,min}} = 0,37$$

Por lo que:  $f_{R_{si}} > f_{R_{si,min}}$

¿Existen condensaciones superficiales? NO

¿Existen condensaciones intersticiales? NO



OBRA TRADICIONAL CON ACABADOS:

Datos:

n	Material	e Espesor (m)	$\lambda$ Conductividad t�mica (W/m K)	$R = e/\lambda$ Resistencia t�mica (m <sup>2</sup> K/W)	$\mu$ Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (adimensional)
0	Monocapa	0,020	1,300	0,015	10
1	Ladrillo macizo	0,140	0,993	0,141	10
2	Aislante lana mineral	0,030	0,040	0,741	1
3	Cámara de aire	0,070	0,778	0,090	1
4	Ladrillo gran formato	0,050	0,228	0,219	10
5	Trasdosado de yeso laminado	0,015	0,250	0,060	4
		0,325		1,266	

Resultados:Resistencia t mica total del componente constructivo ( $R_T$ ):

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,13 + 1,266 + 0,04 = 1,436 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Transmitancia t mica (U):

$$U = 1/R_T = 1/1,436 = 0,696 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{R_{si}}$ ):

$$f_{R_{si}} = 1 - U \cdot 0,25 = 1 - 0,696 \cdot 0,25 = 0,83$$

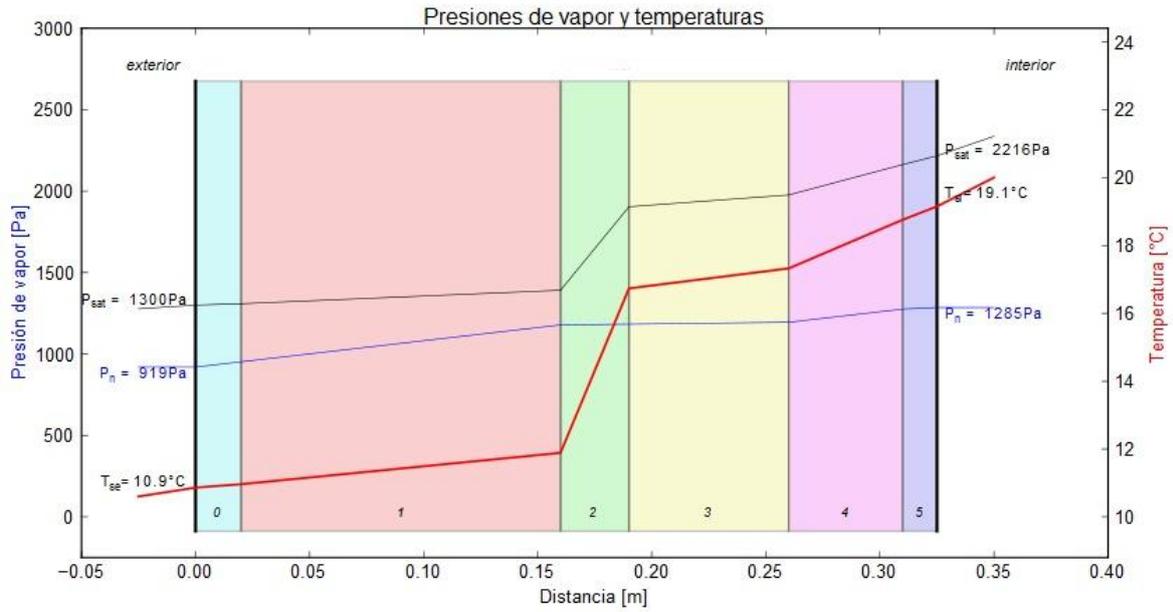
Factor de temperatura de la superficie interior mínimo ( $f_{R_{si,min}}$ ):

$$f_{R_{si,min}} = 0,37$$

Por lo que:  $f_{R_{si}} > f_{R_{si,min}}$ 

 Existen condensaciones superficiales? NO

 Existen condensaciones intersticiales? NO



PANELES EPS SIN ACABADOS:

Datos:

n	Material	e Espesor (m)	$\lambda$ Conductividad térmica (W/m K)	$R = e / \lambda$ Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	$\mu$ Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (adimensional)
0	Monocapa	0,020	1,300	0,015	10
1	Microhormigón con mallazo	0,030	2,300	0,013	80
2	Panel EPS	0,050	0,039	1,282	20
3	Microhormigón con mallazo	0,030	2,300	0,013	80
4	Trasdosado de yeso laminado	0,015	0,250	0,060	4
		0,145		1,383	

Resultados:

Resistencia térmica total del componente constructivo ( $R_T$ ):

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,13 + 1,383 + 0,04 = 1,553 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Transmitancia térmica (U):

$$U = 1/R_T = 1/1,553 = 0,644 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ):

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25 = 1 - 0,644 \cdot 0,25 = 0,84$$

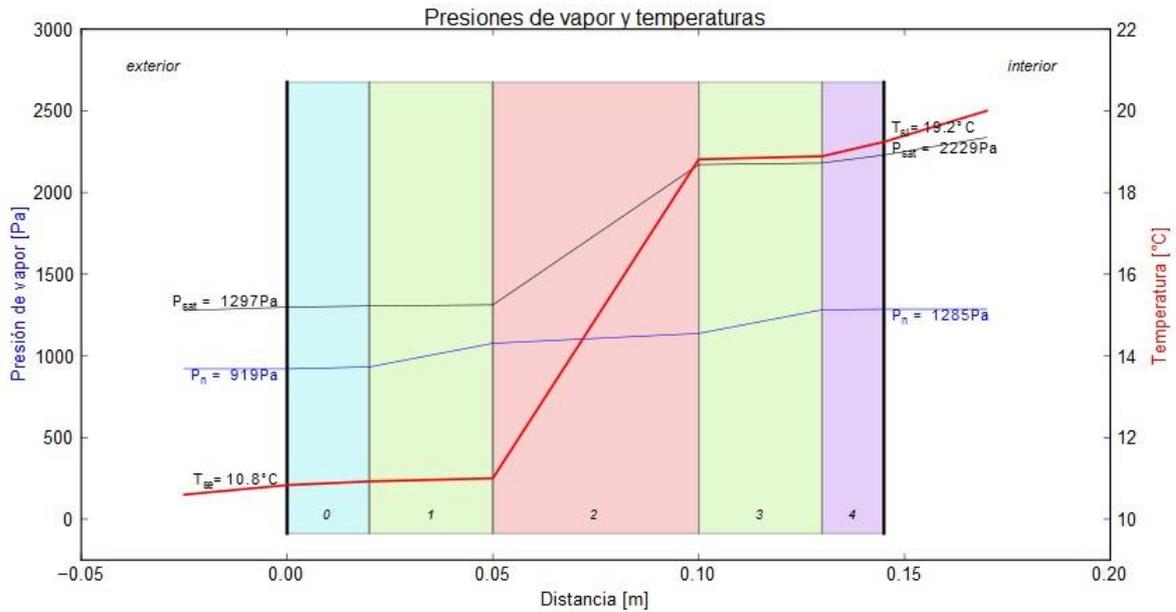
Factor de temperatura de la superficie interior mínimo ( $f_{Rsi,min}$ ):

$$f_{Rsi,min} = 0,37$$

Por lo que:  $f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$

¿Existen condensaciones superficiales? NO

¿Existen condensaciones intersticiales? NO



RESULTADOS

	R <sub>T</sub> Resistencia térmica total del componente constructivo (m <sup>2</sup> K/W)	U Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Condensaciones	
			Superficiales	Intersticiales
Sin acabados				
Obra tradicional	1,361	0,735	No	No
Paneles EPS	1,478	0,677	No	No

Con acabados				
Obra tradicional	1,436	0,696	No	No
Paneles EPS	1,553	0,644	No	No

Diferencia de la resistencia térmica total en %:

$$\text{Sin acabados} \quad 1,478 - 1,361 = 0,117 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \rightarrow \frac{0,117}{1,478} \cdot 100 = \mathbf{7,92 \%}$$

$$\text{Con acabados} \quad 1,553 - 1,436 = 0,117 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \rightarrow \frac{0,117}{1,553} \cdot 100 = \mathbf{7,53 \%}$$

Diferencia de transmitancia térmica en %:

$$\text{Sin acabados} \quad 0,735 - 0,667 = 0,068 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \rightarrow \frac{0,068}{0,735} \cdot 100 = \mathbf{9,25 \%}$$

$$\text{Con acabados} \quad 0,696 - 0,644 = 0,052 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \rightarrow \frac{0,052}{0,696} \cdot 100 = \mathbf{7,47 \%}$$

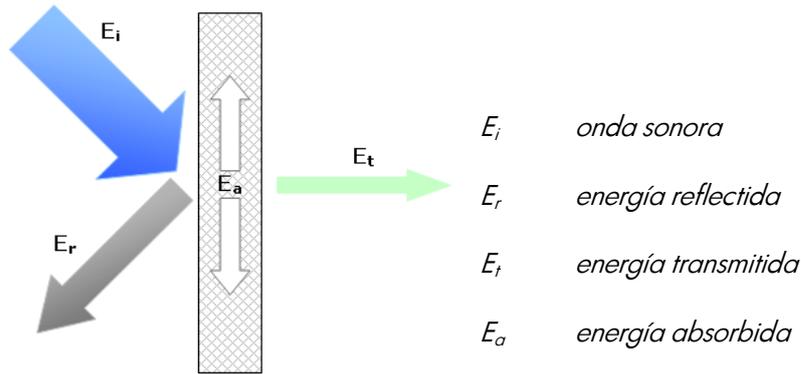
Los cerramientos analizados se han seleccionado basándose en que no se creen condensaciones y en que el factor de temperatura de la superficie interior sea igual o similar entre ellos, así se analizan cerramientos también iguales o similares.

Las diferencias de los resultados están en torno entre el 7 y 9 por ciento siendo el panel EPS el de mejor características teniendo más resistencia térmica y menos transmitancia. Puesto que el cerramiento de panel EPS tiene menos espesor que el de obra tradicional esta diferencia se ve incrementada exponencialmente ya que en menos espesor tiene mejores resultados. Esto conlleva a un ahorro del espacio constructivo, teniendo más metros cuadrados útiles en la construcción con paneles portantes de EPS.

### AISLAMIENTO ACÚSTICO

El aislante acústico tiene que cumplir diferentes parámetros recogidos en la normativa *C.T.E DB-HR: Protección frente al ruido*.

La idea fundamental de aislar es que los materiales que conforman el cerramiento tengan la suficiente capacidad para absorber las ondas producidas por una alteración de las ondas del ambiente. A continuación, se muestra un esquema de lo que sucede al encontrarse una onda sonora con un elemento sólido:



Estos tipos de ondas sonoras ( $E_i$ ), más vulgarmente nombradas ruidos, están formadas básicamente por dos tipos:

- Los ruidos aéreos son aquellos que se propagan directamente por el aire;
- Los ruidos de impacto son producidos por un choque entre sólidos y posteriormente se propagan por el aire y a través de los sólidos.

Para el análisis del aislamiento acústico se centrará en las ondas sonoras aéreas.

Una manera de medir el aislamiento es mediante el índice de aislamiento del sonido. Se trata de la diferencia de los decibelios para una frecuencia determinada, entre los niveles sonoros a un lado y a otro del cerramiento. La unidad más utilizada es el decibelio A (dBA).

Según el *C.T.E DB-HR: Protección frente al ruido*, tomando como parámetros generales una pared de fachada en una estancia habitable no protegida, el valor de aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto y el exterior en función del índice de ruido día,  $L_d$ . (igual a 60 dBA en zona de uso residencial),  $D_{nT,A}$ , tiene que ser igual o superior a 30 dBA.

Según datos obtenidos en el documento de Idoneidad Técnica de los paneles estructurales de EPS existen dos ejemplos:

- Para una pared exterior formada por el núcleo de EPS 100, y con unas capas de microhormigón de 40 mm y 50 mm, y revestido con 10 mm de yeso se ha obtenido un valor de aislamiento acústico de 48 dBA.
- Para unas particiones interiores formadas por un núcleo de EPS 40 y capas de microhormigón de 30 mm en cada cara, revestidos con 10 mm de yeso, el valor obtenido de aislamiento acústico es de 38 dBA.

Para comparar un sistema con el otro se escogen dos supuestos:

- EPS 40 y capas de microhormigón de 30 mm en cada cara: 36 dBA.
- Tabique de ladrillo cerámico perforado, de 11,5cm de espesor: 44 dBA.

Para ambos casos, se cumple con el aislamiento acústico mínimo exigido (para el supuesto que hemos escogido) de 30 dBA.

Como el decibelio no es una unidad de cálculo puesto que la relación es logarítmica, pasaremos los decibelios a hercios Hz.

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right); L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right)$$

$$\text{EPS:} \quad L = 36 \text{ dBA} \quad I = 10^{-8,4} \text{ Hz} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ Hz}$$

$$\text{Ladrillo cerámico:} \quad L = 44 \text{ dBA} \quad I = 10^{-7,6} \text{ Hz} = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ Hz}$$

Diferencia del aislamiento acústico total en %:

$$2,5 \cdot 10^{-8} - 4 \cdot 10^{-9} = 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ Hz} \rightarrow \frac{2,1 \cdot 10^{-8}}{2,5 \cdot 10^{-8}} \cdot 100 = \mathbf{84 \%}$$

La diferencia entre los dos paramentos es que el cerramiento de fábrica de ladrillo es un 84% más aislante que el cerramiento de paneles de EPS. Aunque la relación no es exacta ya que el espeso total del cerramiento de panel de EPS es de 10cm y el de la fábrica de ladrillo es de 11,5. Si reducimos linealmente el valor del aislamiento hasta conseguir el espesor de 10cm el resultado es el siguiente:

$$\frac{10}{11,5} \cdot 2,5 \cdot 10^{-8} = 2,2 \cdot 10^{-8}$$

Volvemos a calcular la diferencia en % de los nuevos valores:

$$2,2 \cdot 10^{-8} - 4 \cdot 10^{-9} = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ Hz} \rightarrow \frac{1,8 \cdot 10^{-8}}{2,5 \cdot 10^{-8}} \cdot 100 = \mathbf{72 \%}$$

El resultado obtenido es inferior puesto que se ha reducido el espesor para ser igual, pero sigue siendo muy elevada la diferencia entre el aislamiento acústico entre ambos sistemas constructivos. Siendo más favorable el cerramiento tradicional.

RESISTENCIA FRENTE AL FUEGO

Las exigencias de comportamiento al fuego de un elemento constructivo se definen por los tiempos durante los cuales dicho elemento debe mantener las condiciones siguientes:

- Estabilidad o capacidad portante;
- Ausencia de emisiones de gases inflamables por la cara no expuesta;
- Estanqueidad al paso de llamas o gases calientes;
- Resistencia térmica suficiente para impedir que se produzca en la cara no expuesta temperaturas superiores.

La normativa que determina la estabilidad a la estructura portante de un edificio la rige *C.T.E DB-SI: Seguridad en caso de incendio*. Los requisitos mínimos que marca la ley para la estabilidad de un cerramiento portante de una vivienda es de 60 minutos (EI 60). Si tuviéramos sótano, que en nuestro caso no procede, la resistencia y estabilidad de la estructura tiene que ser de 120 minutos (EI 120).

Según el *Documento de Idoneidad Técnica*, aprobado por el Instituto Eduardo Torroja, con un panel de grosor de 50 mm y tiene un recubrimiento de 30 mm de microhormigón armado en ambas caras y 3,37 de anchura por una altura de 3,50 sometido a una carga progresiva de 10t a 30t, el sistema mantuvo al cabo de 120 minutos (EI120) la estabilidad mecánica, la estanqueidad a las llamas y la no emisión de gases inflamables.

El problema del EPS, puesto que se forma con materias primas de bajo punto ebullición, es que empieza a reblandecerse a partir de los 100 °C y se contrae. Si sigue aumentando la temperatura empieza a fundirse, pero en ausencia de fuego, los productos de descomposición térmica no se inflaman hasta alcanzar temperaturas del orden de 400 a 500 °C. Para reducir el riesgo de incendio voluntario, todos los productos de EPS usados en construcción tienen un retardante de llama que se incorpora en el proceso de fabricación (Euroclase E).

El tema de los gases tóxicos tampoco es un gran problema. Todos los materiales orgánicos, incluyendo plásticos, madera, papel, lana y algodón, emiten una variedad de gases tóxicos, incluyendo monóxido de carbono (CO). Este es uno de los gases más tóxicos en una situación de incendio. Cuando en un incendio se queman los materiales orgánicos mencionados anteriormente, también contribuyen a una deficiencia de oxígeno. Las

emisiones de monóxido de carbono que se producen en la combustión de poliestireno expandido no llegan a ser peligrosos hasta pasados los 600 °C de temperatura de incendio.

Otros gases preocupantes en un incendio son los producidos por materiales que contienen halógenos, no solo por su toxicidad, sino también por sus agentes causantes de la degradación de la capa de ozono. En este caso tampoco hay que preocuparse, puesto que el poliestireno expandido no contiene ni CFC<sub>s</sub> (Clorofluorcarbonados) ni HCFC<sub>s</sub> (Hidroclorofluorcarbonados).

En cambio, el ladrillo macizo es un material que resiste al fuego durante 180 minutos sin variar su capacidad portante ni emitir humos contaminantes (EI 180). Los materiales cerámicos de construcción se consideran de clase MO, es decir, no tienen aporte de energía calorífica, ni desprendimientos de gases ni humos en contacto con la llama.

A continuación se muestra una tabla con la diferente resistencia al fuego del ladrillo cerámico según sus espesores:

Espesores de la fábrica		Con ladrillo hueco			Con ladrillo macizo y perforado	
		4-6	8-10	11-12	10-14	20-24
Sin revestir		No es usual	No es usual	No es usual	180	240
enfoscado	Por la cara expuesta al fuego	15	60	90	180	240
	Por las dos caras	30	90	120	180	240
Guarnecido	Por la cara expuesta al fuego	60	120	180	240	240
	Por las dos caras	90	180	240	240	240

Tabla 4. Resistencia al fuego del ladrillo cerámico según sus espesores

Si tomamos como ejemplo una pared de panel de EPS de grosor de 50 mm con un recubrimiento de 30 mm de microhormigón armado en ambas caras y una pared de ladrillo perforado enfoscado por ambas caras de grosor 10cm, los resultados son los siguientes:

Pared	EI
Panel de EPS	EI 120
Pared de obra de fábrica	EI 180

Calcular la diferencia en % de los resultados:

$$180 - 120 = 60 \rightarrow \frac{60}{180} \cdot 100 = \mathbf{33,33 \%}$$

Una vez comparado ambos sistemas constructivos, se puede decir que el sistema tradicional es más estable frente a la acción del fuego que el sistema constructivo objeto de este estudio, así como tiene una nula emisión de gases tóxicos.

#### CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES

Los impactos medioambientales analizados a lo largo del ciclo de vida de los materiales empleados en construcción son: el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la fabricación de los materiales y en el transporte al lugar de la obra. Se emplearán estos dos indicadores del impacto global asociados a la construcción ya que son los más relevantes, puesto que son indicadores del calentamiento global y de la incidencia en la capa de ozono.

La contabilización de los impactos medioambientales asociados al uso de la energía primaria empleada en la fabricación de los materiales y en la puesta en obra de los mismos, representa un indicador global del impacto medioambiental ya que la energía requerida en estos procesos generan cantidades de residuos tóxicos importantes, así como alteraciones físicas al medio natural en el que se produce la energía. El gasto energético se expresa en MegaJoules (MJ), o en su equivalente en Kilo Wat hora (kWh) (1 kWh = 3,6 MJ).

La cuantificación de los distintos gases emitidos a la atmosfera, medidos en kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes producidas, nos informa del potencial de calentamiento global (GWP, siglas en inglés de *Global Warming Potential*) a causa de los diversos gases emitidos durante la producción y puesta en obra de los materiales de construcción. Generadores del Efecto Invernadero (GEI): Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Clorofluorocarburos (CFC).

## FABRICACIÓN DE LOS MATERIALES

A continuación, se mostrarán los costes energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> para los distintos materiales que se emplean en la construcción. Se han cogido los valores publicados en el libro “Guía de la edificación sostenible” por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).

Dichos datos arrojan que los materiales cuya fabricación y puesta en obra supone un mayor consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de masa son los metálicos que necesitan grandes aportes de energía en su manufacturación. Existe una gran diferencia entre el acero y el aluminio y, sin embargo, este último es el más utilizado en la partida de carpintería metálica.

Material	Coste energético MJ/kg	Emisiones CO <sub>2</sub> /kg
Acero	35	2,8
Cobre	90	7,2
Aluminio	215	17,2

Tabla 5. Índices impacto ambiental materiales metálicos

Para producir poliestireno expandido se usan recursos naturales no renovables ya que es un plástico derivado del petróleo. Éste es un material de gran consumo energético y de emisiones en CO<sub>2</sub>.

Material	Coste energético MJ/kg	Emisiones CO <sub>2</sub> /kg
Poliestireno expandido	120	9,6
Poliestireno extruido	100	8
Poliuretano	70	5,6
Tela asfáltica	10	0,8

Tabla 6. Índices impacto ambiental materiales plásticos

El resto de materiales que se usa en la construcción, y que se denominan como materiales tradicionales, son los que menor consumo energético y emisión de CO<sub>2</sub> presentan por unidad de masa. No obstante su uso masivo supone una proporción considerable con respecto al gasto energético total.

Material	Coste energético MJ/kg	Emisiones CO <sub>2</sub> /kg
Hormigón	1,1	0,09
Yeso	3,3	0,26
Cemento	7	0,56
Madera	3	0,24
Ladrillo	2,9	0,23
Piedra	0,8	0,06
Arena	0,1	0,01
Grava	0,1	0,01

Tabla 7. Índices impacto ambiental materiales tradicionales

Se puede apreciar el bajo coste energético de los materiales naturales como, por ejemplo, la arena frente a materiales de elaboración industrial como el cemento.

Material	Coste energético MJ/kg	Emisión CO <sub>2</sub> /kg
Acero 100 % reciclado (teórico)	17	1,36
Acero comercial (20% reciclado)	35	2,8
Aluminio 100% reciclado (teórico)	23	1,84
Aluminio comercial (30% reciclado)	215	17,2
Aluminio primario	160	12,80
Arcilla cocida, ladrillos y tejas	4,5	0,36
Arcilla cocida, materiales cerámicos vitrificados	10	0,8
Arcilla cocida. Sanitarios	27,5	2,2
Arena	0,1	0,01
Asfalto, en tela	10	0,8
Cemento	7	0,56
Cobre comercial	90	7,2
Cobre primario	90	7,2
Fábrica de ladrillo hueco	2,96	0,24
Fábrica de ladrillo macizo	2,85	0,23
Fábrica de ladrillo perforado	2,86	0,23
Fibra de vidrio	30	2,4
Fibrocemento (de fibras sintéticas de madera)	9	0,72

Fibrocemento (de amianto)	6	0,48
Grava	0,1	0,01
Hormigón H-150	0,99	0,08
Hormigón H-200	1,1	0,09
Hormigón H-175	1,03	0,08
Madera de clima templado	3	0,24
Madera tropical	3	0,24
Madera, tablero aglomerado con formaldehidos	14	1,12
Madera, tablero aglomerado sin formaldehidos	14	1,12
Madera, tablero contraplacado contrachapado	5	0,4
Mortero M-40	1	0,08
Mortero M-80	1,34	0,11
P.V.C. Primario	80	6,4
Pintura plástica	20	1,6
Pintura y barnices sintéticos	100	8
Poliestireno Expandido (EPS)	120	9,6
Poliestireno extruido (XPS) con agente hinchante tipo CO <sub>2</sub>	100	8
Poliestireno extruido (XPS) con agente hinchante tipo HCFC	100	8
Polipropileno	80	6,4
Polietileno reciclado (más del 70%)	77	6,16
Poliuretano (PUR) con agente hinchante tipo HCFC	70	5,6
Vidrio plano	19	1,52
Yeso	3,3	0,26

Tabla 8. Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> de los materiales de construcción

Si realizamos es comparativo de la diferencia de coste energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> entre el EPS y el ladrillo cerámico, los resultados son los siguientes:

Material	Coste energético MJ/kg	Emisiones CO <sub>2</sub> /kg
Poliestireno expandido	120	9,6
Ladrillo	2,9	0,23

$$\text{Coste energético} \quad 120 - 2,9 = 117,1 \rightarrow \frac{117,1}{120} \cdot 100 = \mathbf{97,58\%}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \quad 9,6 - 0,23 = 9,37 \rightarrow \frac{9,37}{9,6} \cdot 100 = \mathbf{97,6\%}$$

#### DEMANDA ENERGÉTICA

Una vez comparado las emisiones de CO<sub>2</sub> en la fabricación del poliestireno expandido y los materiales tradicionales de la construcción, se pasará a realizar el comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> para una demanda energética (calefacción y refrigeración) para el caso de una vivienda unifamiliar aislada, edificada con paneles de EPS y obra tradicional.

A continuación, se muestra la demanda anual de calefacción y refrigeración en diversas zonas climáticas:

#### Vivienda Tradicional

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda calefacción (KWh/m <sup>2</sup> )	-81,77	-98,75	-168,23	-218,9	-318,14
Demanda refrigeración (KWh/m <sup>2</sup> )	50,7	45,51	21,09	31,61	8,31

Tabla 9. Demanda energética, datos extraídos del IDAE

#### *Lectura del cuadro:*

Para una vivienda de 100 m<sup>2</sup>, si estuviera ubicada en la zona de Alicante, la demanda de calefacción anual sería de  $100 \times 98,75 = 9.875$  kWh/año y la demanda de refrigeración de  $100 \times 45,51 = 4.551$  kWh/año.

#### *Valoración medioambiental (emisiones CO<sub>2</sub>):*

Para una demanda energética 100% eléctrica:

$$\text{Emisiones CO}_2 = 0,486 \times (9.875 + 4.551) = 7.011 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 7,0 \text{ T CO}_2/\text{kg}$$

Valor conversión 0,486 kg CO<sub>2</sub>/kWh;

Para una demanda energética 100% gas natural:

$$\text{Emisiones CO}_2 = 0,2 \times (9.875 + 4.551) = 2.885,2 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 2,9 \text{ T CO}_2/\text{kg}$$

Valor conversión 0,2 kg CO<sub>2</sub>/kWh;

*Valoración económica:*

Para una demanda energética 100% eléctrica:

Valor económico demanda energética =  $0,1 \times (9.875 + 4.551) = 1.442,6 \text{ €/año}$

Precio = 0,1 €/kWh;

Para una demanda energética 100% gas natural:

Valor económico demanda energética =  $0,035 \times (9.875 + 4.551) = 504,9 \text{ €/año}$

Precio = 0,035 €/kWh;

#### Vivienda con EPS

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda calefacción (KWh/m <sup>2</sup> )	-29,58	-37,9	-74,36	-110,13	-170,68
Demanda refrigeración (KWh/m <sup>2</sup> )	46,22	42,46	23,89	31,87	11,81

Tabla 10. Demanda energética, datos extraídos del IDAE

*Lectura del cuadro:*

Para una vivienda de 100 m<sup>2</sup>, si estuviera ubicada en Barcelona, la demanda de calefacción anual sería de  $100 \times 37,9 = 3.790 \text{ kWh/año}$  y la demanda de refrigeración de  $100 \times 42,46 = 4.246 \text{ kWh/año}$ .

*Valoración medioambiental (emisiones CO<sub>2</sub>):*

Para una demanda energética 100% eléctrica:

$$\text{Emisiones CO}_2 = 0,486 \times (3.790 + 4.246) = 4.391,5 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 4,4 \text{ T CO}_2/\text{kg}$$

Valor conversión 0,486 kg CO<sub>2</sub>/kWh.

Para una demanda energética 100% gas natural:

$$\text{Emisiones CO}_2 = 0,2 \times (3.790 + 4.246) = 1.807,2 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 1,8 \text{ T CO}_2/\text{kg}$$

Valor conversión 0,2 kg CO<sub>2</sub>/kWh;

*Valoración económica:*

Para una demanda energética 100% eléctrica:

$$\text{Valor económico demanda energética} = 0,1 \times (3.790 + 4.246) = 903,6 \text{ €/año}$$

Precio = 0,1 €/kWh;

Para una demanda energética 100% gas natural:

$$\text{Valor económico demanda energética} = 0,035 \times (3.790 + 4.246) = 316,3 \text{ €/año}$$

Precio = 0,035 €/kWh;

*Análisis de los Resultados*

	100% electricidad		100% gas natural	
	Emisiones CO <sub>2</sub> (T CO <sub>2</sub> / año)	Coste (€/año)	Emisiones CO <sub>2</sub> (T CO <sub>2</sub> / año)	Coste (€/año)
Sistema tradicional	7,0	1.442,6	2,9	504,9
Sistema paneles EPS	4,4	903,6	1,8	316,3

Diferencia de Emisiones CO<sub>2</sub> en %:

$$100\% \text{ electricidad} \quad 7,0 - 4,4 = 2,6 \rightarrow \frac{2,6}{7,0} \cdot 100 = \mathbf{37,14 \%}$$

$$100\% \text{ gas natural} \quad 2,9 - 1,8 = 1,1 \rightarrow \frac{1,1}{42,9} \cdot 100 = \mathbf{37,93 \%}$$

Diferencia de coste en %:

$$100\% \text{ electricidad} \quad 1.442,6 - 903,6 = 539,0 \rightarrow \frac{539,0}{1.442,6} \cdot 100 = \mathbf{37,36 \%}$$

$$100\% \text{ gas natural} \quad 504,9 - 316,3 = 188,6 \rightarrow \frac{188,6}{504,9} \cdot 100 = 37,35 \%$$

## CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos se pueden hacer dos observaciones; La primera es que la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la fabricación de los materiales son muy distantes. El sobre coste y las emisiones son del orden de un 97,5% superior al del EPS respecto al ladrillo cerámico. La segunda observación es que una vivienda construida con EPS supone un ahorro de entre un 37- 38% en emisiones en CO<sub>2</sub> al año respecto a una vivienda tradicional. De la misma manera, supone una disminución del coste alrededor del 37,35%.

Finalmente, podemos concluir que el sobrecoste de la obtención del material, en este caso el EPS, se ve disminuido gracias a su vida útil, puesto que reduce considerablemente la demanda energética que necesita una vivienda y, en consecuencia, las emisiones de CO<sub>2</sub> necesarias.

### 4.3. ESTUDIO ECONÓMICO

Otro criterio comparativo en los dos sistemas constructivos es el coste económico de la estructura. Para ello, se harán las mediciones oportunas para la construcción de la estructura de la vivienda del ejemplo que hemos escogido, las analizaremos y las substituiremos por las partidas necesarias para definir una estructura u otra. Una vez analizada las mediciones, calcularemos los costes directos. Estos costes han sido realizados a partir de un estudio económico evaluando los materiales y la mano de obra necesaria para cada partida.

#### MEDICIONES Y PRESUPUESTO

Al estudiar la estructura de ambas tipologías constructivas, primeramente se analizarán las mediciones necesarias para cada tipo de tipología constructiva, ya que se utilizan materiales y tareas distintas, por lo que es necesario desglosar cada presupuesto según los requisitos necesarios.

La comparativa económica de los dos sistemas constructivos se centrará en la cimentación y en la estructura, dado que son las partidas que varían de un sistema a otro.

Los criterios económicos que se utilizarán para realizar el presupuesto se basarán en los precios de la base de datos del ITEC. De esta manera se tomarán unos precios estándar homogeneizados del sector de la construcción.

Como el sistema constructivo de paneles de EPS no es un sistema estandarizado, se ha contactado con una empresa comercial especializada (ProvicSA) en este tipo de construcción que ha realizado un presupuesto orientativo como base al estudio especificado.

#### PRESUPUESTO SISTEMA TRADICIONAL

A continuación, se mostrará el presupuesto de la cimentación y la estructura con el sistema tradicional:

##### *CONSTRUCCIÓN CON OBRA TRADICIONAL*

REF.	UD.	PARTIDA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
01.		<b>CIMENTACIÓN</b>			
01.01	m <sup>2</sup>	Losa de cimentación de hormigón HA-25/P/20/ I, de 15 cm de espesor, armada con barras corrugadas de acero B500S de con una cuantía según proyecto. Incluye todos los elementos necesarios para su correcta elaboración y un correcto curado del hormigón.	286,87	47,10	13.511,58
02.		<b>ESTRUCTURA</b>			
02.01	m <sup>2</sup>	Pared estructural de fachada compuesta de ladrillo cerámico macizo más cámara de aire con aislamiento de lana mineral y una pared interior de supermahón. Ladrillo cerámico macizo de elaboración mecánica de 14 cm de espesor, HD, R10 de 290x140x50 mm, para revestir y de categoría I, según norma UNE-EN 771-1, colocado con mortero de cemento CEM I, de dosificación 1:6, (5 N/mm <sup>2</sup> ), con aditivo inductor aire/plastificante, elaborado en obra y con una resistencia a compresión de 4 N/mm <sup>2</sup> . Aislamiento con fieltros de lana de roca de densidad 36 a 40 kg/m <sup>3</sup> , de 30 mm de espesor con lámina de aluminio en dirección perpendicular a las fibras. Supermahón de 50x25x5cm pR revestir colocado con mortero de cemento CEM I. Incluye parte proporcional de testeros y petos perimetrales de cubiertas, colocación de premarcos, limpieza y retirada de escombros. Unidad totalmente terminada según proyecto	308,95	71,26	22.015,78
02.02	m <sup>2</sup>	Pared estructural compuesta de ladrillo cerámico macizo de 14 cm de espesor, HD, R10 de 290x140x50 mm, para para revestir y de categoría I, según norma UNE-EN 771-1, colocado con mortero de cemento CEM I, de dosificación 1:6, (5 N/mm <sup>2</sup> ), con aditivo inductor aire/plastificante, elaborado en obra y con una resistencia a compresión de 4 N/mm <sup>2</sup> . Incluye parte proporcional de testeros y petos perimetrales de cubiertas, colocación de premarcos, limpieza y retirada de escombros. Unidad totalmente terminada según proyecto	190,43	53,81	10.247,04
02.03	m <sup>2</sup>	Forjado nervado unidireccional de 20+5 cm, de casetones cerámicos con una cuantía de 0,82 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> de forjado, interejos 0,7 m, con una cuantía de 15 kg/m <sup>2</sup> de armadura B500 S de acero en barras corrugadas, armadura AP500 T en mallas electrosoldadas 15x30 cm, 6 y 6 mm de D, y una cuantía 0,08 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> de hormigón HA-25/P/20/I vertido con cubilote	47,75	61,84	2.952,86

02.04	m <sup>2</sup>	Forjado inclinado unidireccional de 20+5 cm, de casetones cerámicos con una cuantía de 0,82 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> de forjado, interjes 0,7 m, con una cuantía de 15 kg/m <sup>2</sup> de armadura B500 S de acero en barras corrugadas, armadura AP500 T en mallas electrosoldadas 15x30 cm, 6 y 6 mm de D, y una cuantía 0,08 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> de hormigón HA-25/P/20/I vertido con cubilote	239,11	85,65	20.479,77
02.05	m <sup>2</sup>	Losa de hormigón inclinada para escaleras de espesor 15 cm. Ejecutada con hormigón HA- 25/B/10/IIa y una cuantía de barras corrugadas de acero B500S de 35 kg/m <sup>2</sup> . Incluye encofrado y desencofrado de la losa y parte proporcional del escalonado según proyecto	10,25	50,00	512,50
Total					69.719,52

En este presupuesto observamos las diferentes partidas que conforman las mediciones de la estructura de la vivienda unifamiliar aislada. Los costes directos de la ejecución divididos en capítulos serían:

Cimentación	13.511,58 €
Estructura	56.207,95 €
Total	69.719,51 €

#### PRESUPUESTO SISTEMA DE PANELES EPS

A continuación, se muestran los costes directos para realizar la misma ejecución constructiva substituyendo el sistema tradicional por el sistema de paneles de EPS:

#### CONSTRUCCIÓN CON PANELES ESTRUCTURALES DE EPS

REF.	UD.	PARTIDA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
01.		<b>CIMENTACIÓN</b>			
01.01	m <sup>2</sup>	Losa de cimentación de hormigón HA-25/P/20/ I, de 15 cm de espesor, armada con barras corrugadas de acero B500S de con una cuantía según proyecto. Incluye todos los elementos necesarios para su correcta elaboración y un correcto curado del hormigón.	286,87	47,10	13.511,58
02.02	ud	Colocación de esperas a tresbolillo disposición cada 40 cm mediante resina epoxi. La armadura tiene que penetrar un mínimo de 20 cm y tiene que sobresalir un mínimo de 0,35 cm. Incluye el replanteo de éstas y los taladros necesarios para su ejecución.	251,00	15,00	3.765,00

02. ESTRUCTURA					
02.01	m <sup>2</sup>	Panel estructural de EPS de grosor 80 con armadura básica en las dos caras compuesta por una malla de acero de alta resistencia y por barras corrugadas vinculadas por medio de conectores de acero electrosoldados. Estos paneles se emplearán para la formación de la fachada perimetral de la vivienda, tanto en la Planta Baja como en la Planta Primera. Incluye el atado de los paneles entre sí y el proyectado de microhormigón.	308,95	44,40	13.717,38
02.02	m <sup>2</sup>	Panel estructural de EPS de grosor 40 con armadura básica en las dos caras compuesta por una malla de acero de alta resistencia y por barras corrugadas vinculadas por medio de conectores de acero electrosoldados. Estos paneles se emplearán para la divisoria interior de la vivienda, tanto en la Planta Baja como en la Planta Primera. Incluye el atado de los paneles entre sí y el proyectado de microhormigón.	190,43	34,60	6.588,88
02.03	m <sup>2</sup>	Panel estructural de EPS de grosor 150 con armadura básica en las dos caras compuesta por una malla de acero de alta resistencia y por barras corrugadas vinculadas por medio de conectores de acero electrosoldados. Estos paneles se emplearán para la formación del forjado plano de la Planta Primera. Incluye atado de los paneles entre sí y el proyectado del microhormigón.	47,75	52,30	2.497,33
02.04	m <sup>2</sup>	Panel estructural inclinado de EPS de grosor 150 con armadura básica en las dos caras compuesta por una malla de acero de alta resistencia y por barras corrugadas vinculadas por medio de conectores de acero electrosoldados. Estos paneles se emplearán para la formación del forjado plano de la Planta Primera. Incluye atado de los paneles entre sí y el proyectado del microhormigón.	239,11	52,30	12.505,45
02.04	ud	Panel estructural inclinado de EPS para la formación de los peldaños de la escalera. Unidad de 8 peldaños. Incluye el armado de cada canal de la escalera y el proyectado del microhormigón.	1,00	48,00	48,00
02.05	ud	Panel estructural inclinado de EPS para la formación de los peldaños de la escalera. Unidad de 6 peldaños. Incluye el armado de cada canal de la escalera y el proyectado del microhormigón.	1,00	45,00	45,00
02.06	m <sup>2</sup>	Panel estructural de EPS 40 para la formación de la meseta de las escaleras. Incluye el armado y el proyectado del microhormigón	5,13	33,66	172,68
Total					52.851,29

Un resumen por partidas del presupuesto que conforman las mediciones de la obra sería:

Cimentación	17.276,58 €
Estructura	35.574,71 €
Total	52.851,29 €

## COMPARATIVA DE LOS PRESUPUESTOS

Para poder comparar las diferencias económicas entre los dos sistemas, se calcularán los porcentajes de los diferentes resultados obtenidos.

En el capítulo de cimentación, la diferencia económica sería:

$$17.276,58 - 13.511,58 = 3.765,00 \text{ €} \rightarrow \frac{3.765,00}{17.276,58} \cdot 100 = \mathbf{21,79 \%}$$

En la ejecución de la cimentación, al emplear el sistema de paneles de EPS, se encarece un 21,79 % respecto al sistema tradicional, dado que se tiene que poner las esperas necesarias para conectar los paneles portantes.

En el capítulo de estructura, la diferencia económica sería:

$$56.207,95 - 35.574,71 = 20.633,24 \text{ €} \rightarrow \frac{20.633,24}{56.207,95} \cdot 100 = \mathbf{36,71 \%}$$

En cambio, al ejecutar la estructura con el sistema de paneles de EPS, se abarata en un 36,71 % los costes directos.

Si calculamos el total de las mediciones para ambos sistemas constructivos, la diferencia económica entre ellos sería:

$$69.719,51 - 52.851,29 = 16.868,22 \text{ €} \rightarrow \frac{16.868,22}{69.719,51} \cdot 100 = \mathbf{24,19 \%}$$

Las conclusiones que se obtienen después analizar las diferencias entre los dos sistemas son:

- En el capítulo de Cimentaciones, el incremento de la obra con paneles de EPS se encarece en un 21,79 % (a causa de la partida de esperas);
- En el capítulo de Estructura, el ahorro es de 36,71 % respecto la obra tradicional.

En el cómputo de los sumatorios de estas dos partidas, el ahorro de emplear el sistema constructivo de paneles portantes de poliestireno expandido sería de un 24,19 % (16.868,22 €) respecto al sistema tradicional.

#### 4.4. ESTUDIO DEL PLAZO DE EJECUCIÓN

El estudio del plazo de ejecución se realizará con un comparativo desde el punto de vista de la planificación temporal. Para el comparativo de los dos sistemas constructivos, se hará una planificación real de la obra ejecutada.

Respecto al sistema constructivo de paneles de EPS se tiene que considerar que estos vienen dimensionados desde fábrica por lo que los tiempos de fabricación y transporte pueden tener repercusión en el tiempo de la duración de la obra.

Al ser un producto específico solo los realizar algunas empresas y fábricas especializadas, no está implantado como lo está la cerámica, que en cualquier casa de materiales se puede conseguir abastecimiento. Una de las cuestiones es saber con qué previsión se tiene que realizar el pedido de la obra, y si era un condicionante que la obra se paralizase a mitad de la ejecución por falta de material. La fábrica central encargada de toda la distribución del material en España está ubicada en Madrid, en el Polígono Industrial “Los Frailes”.

Una de las dudas que se originan para este sistema, son los tiempos de entrega de los pedidos y los requisitos marcados por la fábrica. Según información proporcionada por la Gerente del Dpto. Comercial de Provicisa, nunca se ha producido ninguna incidencia con la fábrica hasta el momento, por lo que no suelen producirse retrasos en la entrega de productos. Asimismo, la fabricación nunca ha sido un punto conflictivo, ya que siempre tienen una cantidad de producto almacenado. El periodo de entrega del material es de 24 - 48 horas desde la realización del pedido.

#### PLANNING DE OBRA

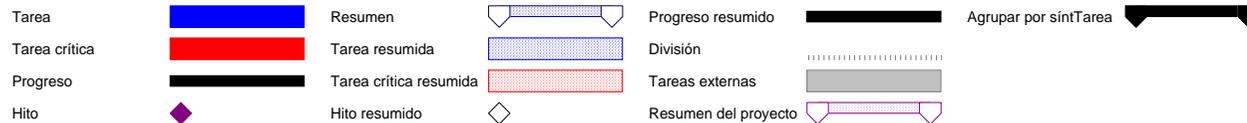
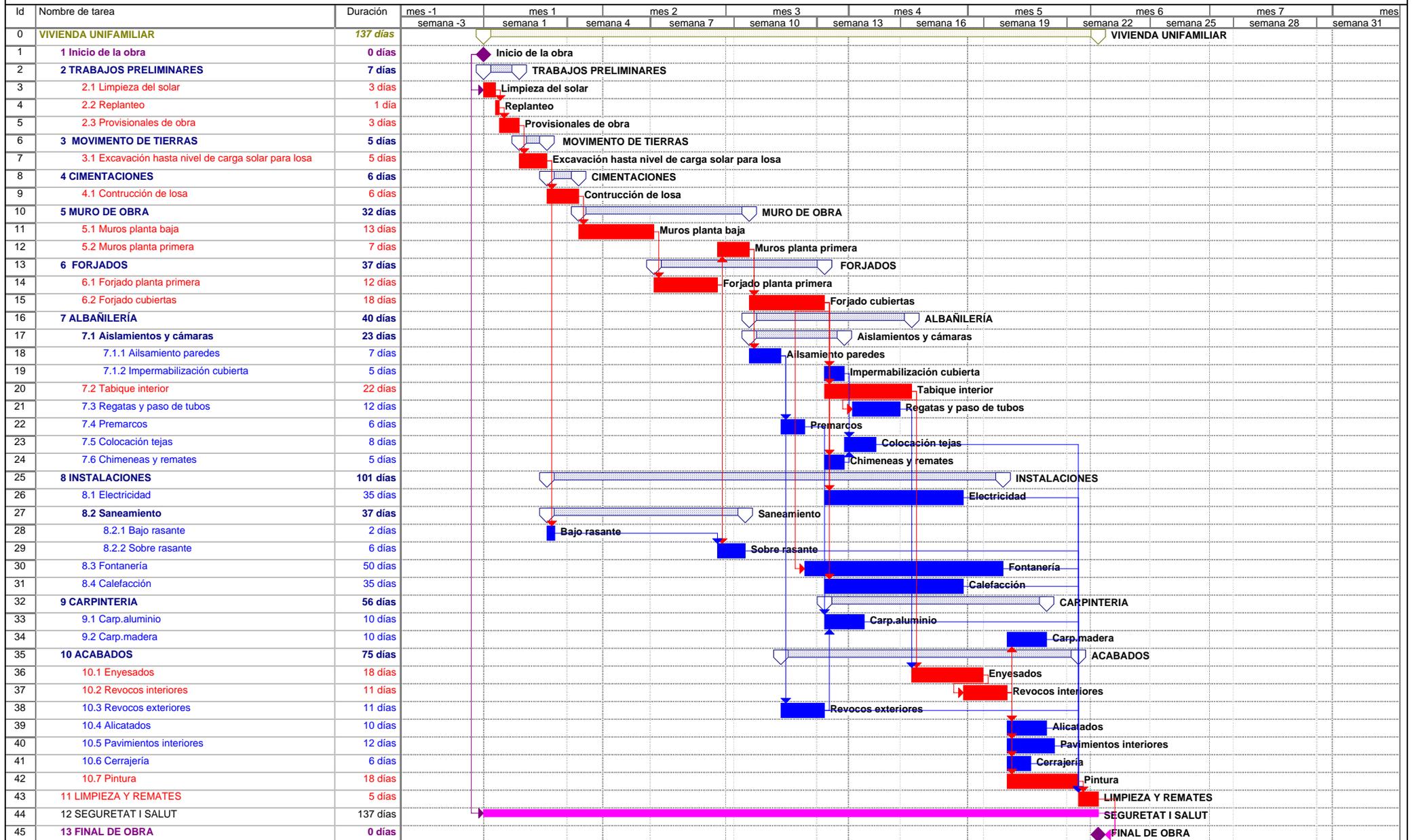
A continuación se elaborará el Planning de la obra de cada sistema constructivo para poder comparar los tiempos de ejecución entre un sistema y otro.

Para determinar los tiempos de ejecución del sistema de paneles portantes de EPS se ha tenido acceso a la planificación real de una obra. Con el director del proyecto se han comprobado los tiempos de ejecución que se consiguieron y las dependencias entre partidas.

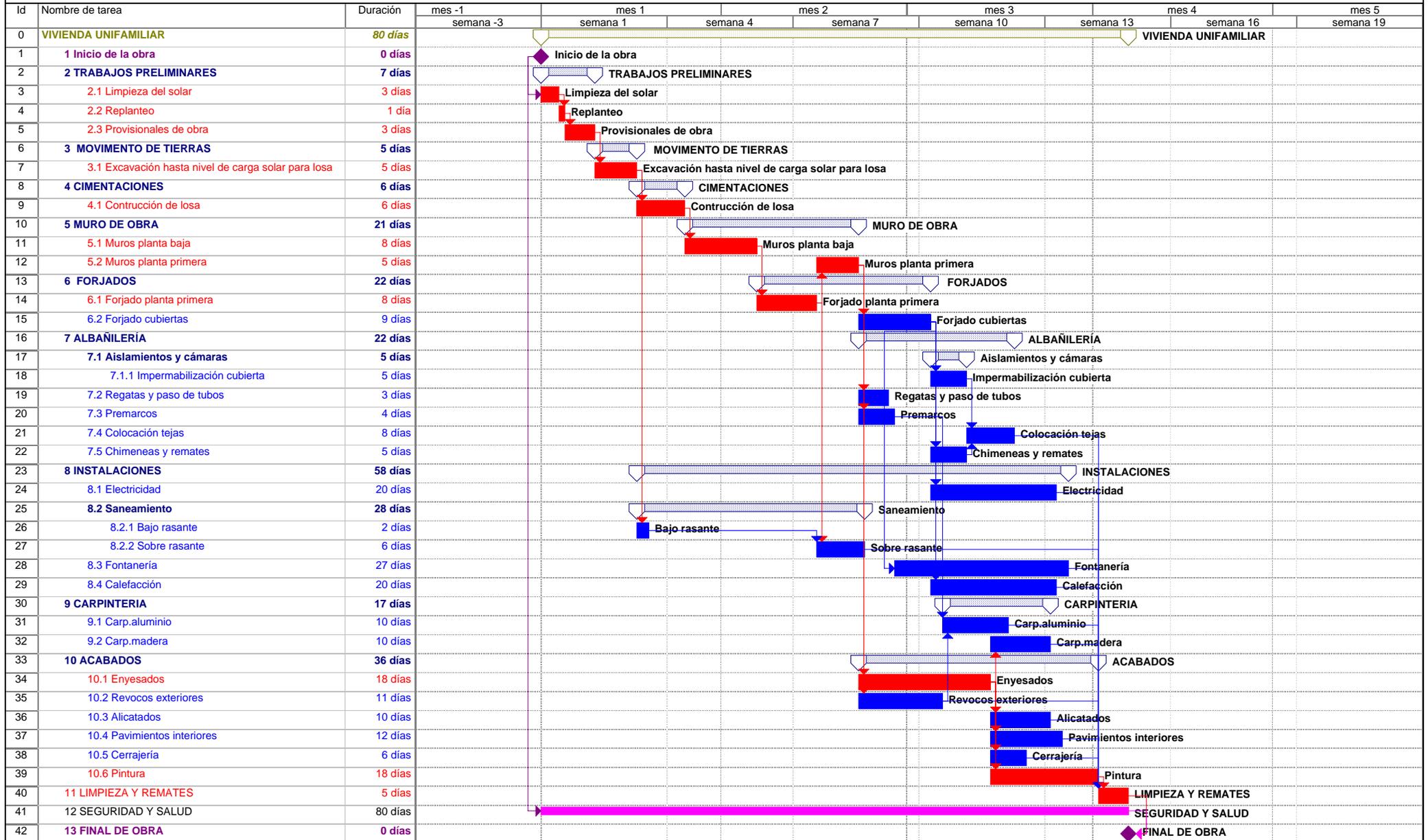
A continuación se muestran los Plannings de la obra a estudio según los sistemas constructivos analizados:



# SISTEMA TRADICIONAL



# PANELES DE EPS



Tarea		Resumen		Progreso resumido		Agrupar por sintTarea	
Tarea crítica		Tarea resumida		División			
Progreso		Tarea crítica resumida		Tareas externas			
Hito		Hito resumido		Resumen del proyecto			

La diferencia esencial es el tiempo de ejecución, donde la construcción tradicional construye la vivienda en 137 días (6 meses aproximadamente) mientras que si se emplea los paneles de EPS como material base para la construcción, la duración de la obra se reduce a 80 días (4 meses aproximadamente).

Si calculamos la diferencia temporal entre ellos sería:

$$137 - 80 = 57 \text{ días} \rightarrow \frac{57}{137} \cdot 100 = \mathbf{41,61\%}$$

Este ahorro temporal del 41,61% es debido a la rápida ejecución de la parte esencial del sistema que son la estructura y los cerramientos. El factor más destacado son los paneles estructurales de EPS que al ser de gran formato y fácil montaje son de rápida ejecución. Estas etapas son de incidencia directa en el proceso de ejecución.

A continuación, se observa el cambio de tiempos de la fase de estructura:



Ilustración 11. Sistema tradicional

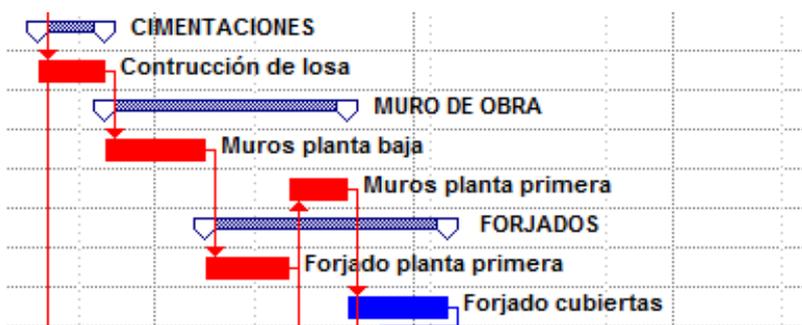


Ilustración 12. Obra con paneles EPS

Otros aspectos a considerar en el ahorro del tiempo de ejecución con el sistema constructivo de EPS son:

El hecho de que los paneles vengan dimensionados desde fábrica (elemento semi-prefabricado) disminuye el tiempo de ejecución de los muros de carga. Otro punto a tener en cuenta es que el sistema constructivo con paneles de EPS contienen un núcleo de poliestireno expandido (material aislante), por lo que no es necesario aplicar ninguna capa adicional de aislante térmico, como en el caso de la fachada tradicional con fábrica de ladrillo.

El sistema constructivo de paneles estructurales de EPS también supone un ahorro de tiempo el paso de las instalaciones. Las instalaciones son incidencias indirectas en la obra, ya que vienen determinadas por la evolución de la obra, así que si el conjunto de tareas se ejecuta a mayor velocidad, las instalaciones sufren el mismo avance. En el sistema constructivo tradicional el tiempo de ejecución de las instalaciones se incrementa a causa de tener que realizar rasas para los pasos de las éstas, así como los residuos generados a consecuencias de las regatas. Como los paneles van acabados con proyectado de microhormigón, éste efectúa la función de revoco interior y no es necesario volver a revestir las superficies.

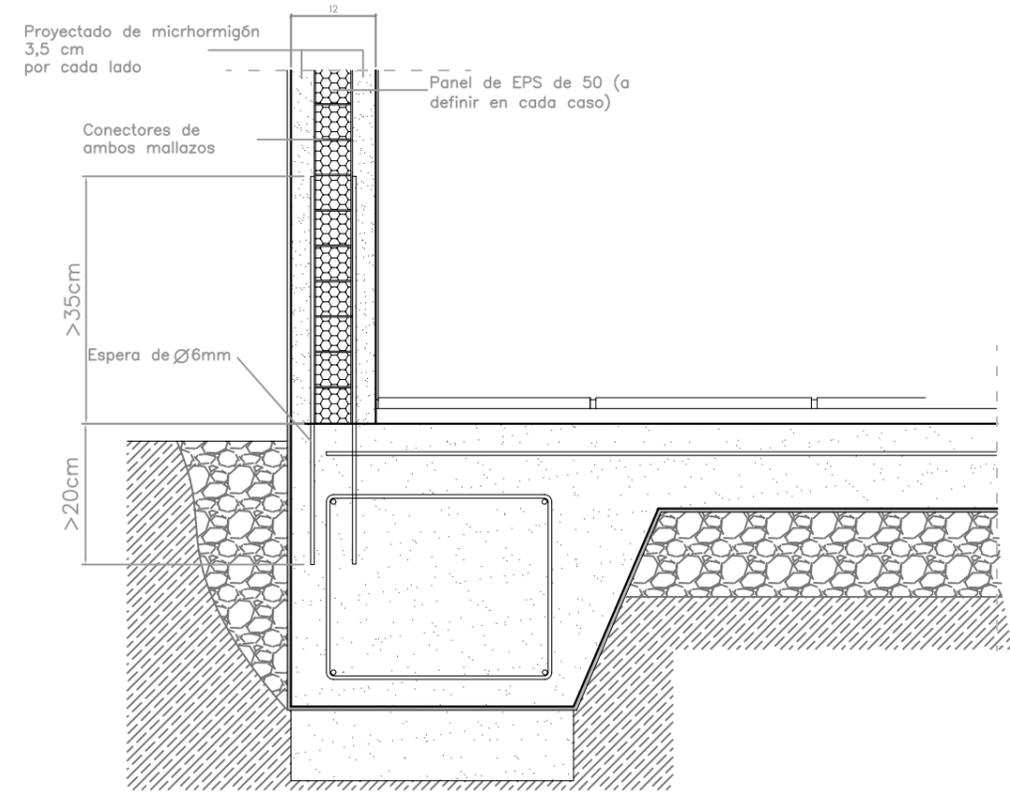
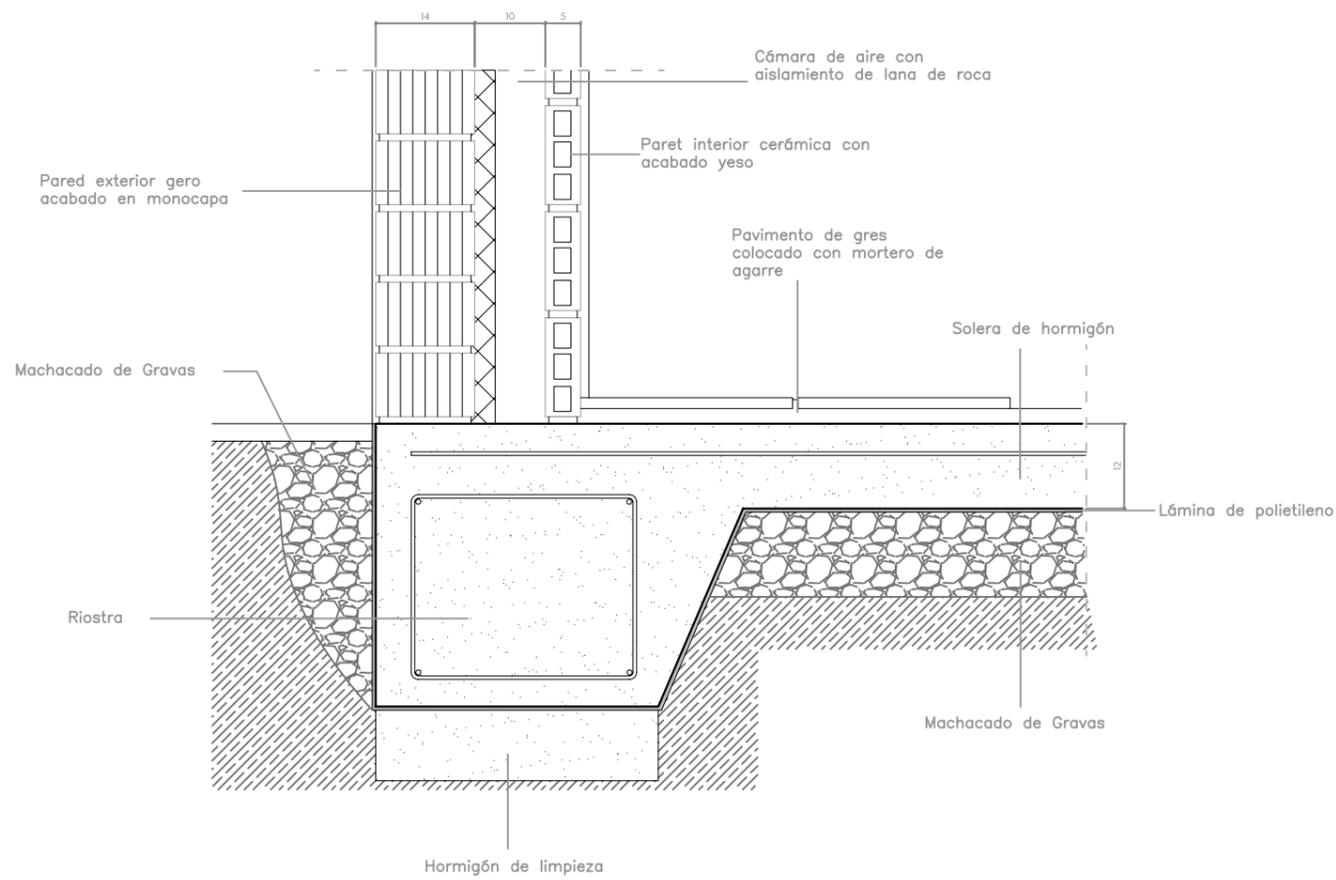
Todos estos puntos son determinantes para el ahorro de tiempo empleando los paneles portantes de EPS.

#### 4.5. ESTUDIO DE LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LA EJECUCIÓN DE OBRA

A continuación se estudiará la ejecución entre ambos sistemas constructivos para intentar comprender las diferencias expuestas en la parte teórica. Para ello se hará una comparativa del mismo detalle constructivo dos veces, según la tipología de cada elemento. Ubicaremos los detalles en un plano de la planta de la vivienda elegida para hacer el seguimiento de obra.

Los detalles seleccionados para hacer la comparativa son:

- Detalle unión de la estructura con la cimentación
- Detalle forjado con estructura vertical
- Detalle cubierta inclinada
- Detalle cubierta plana
- Detalle carpintería exterior de aluminio
- Detalle carpintería con caja de persiana

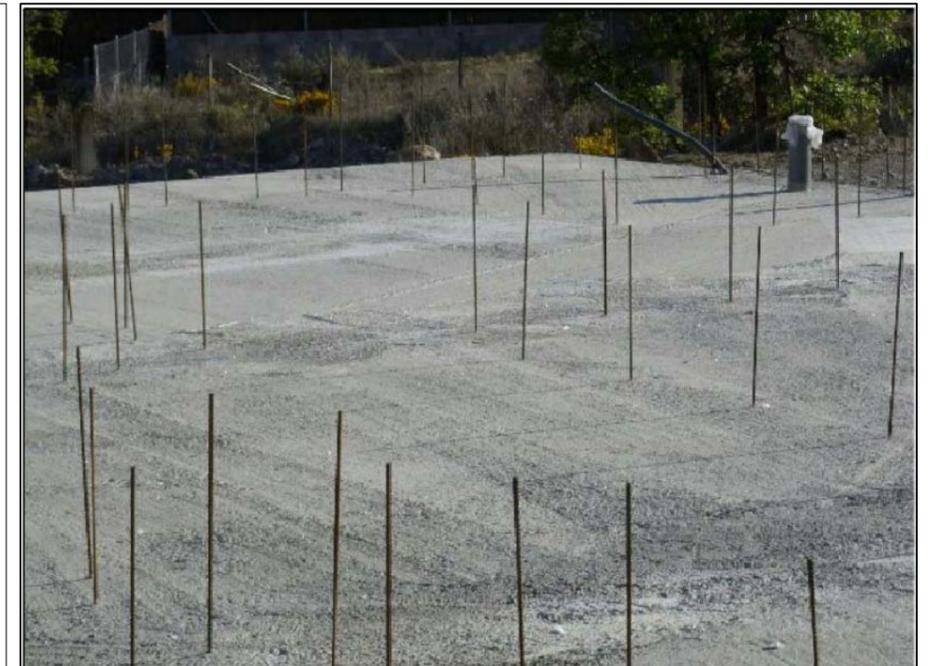


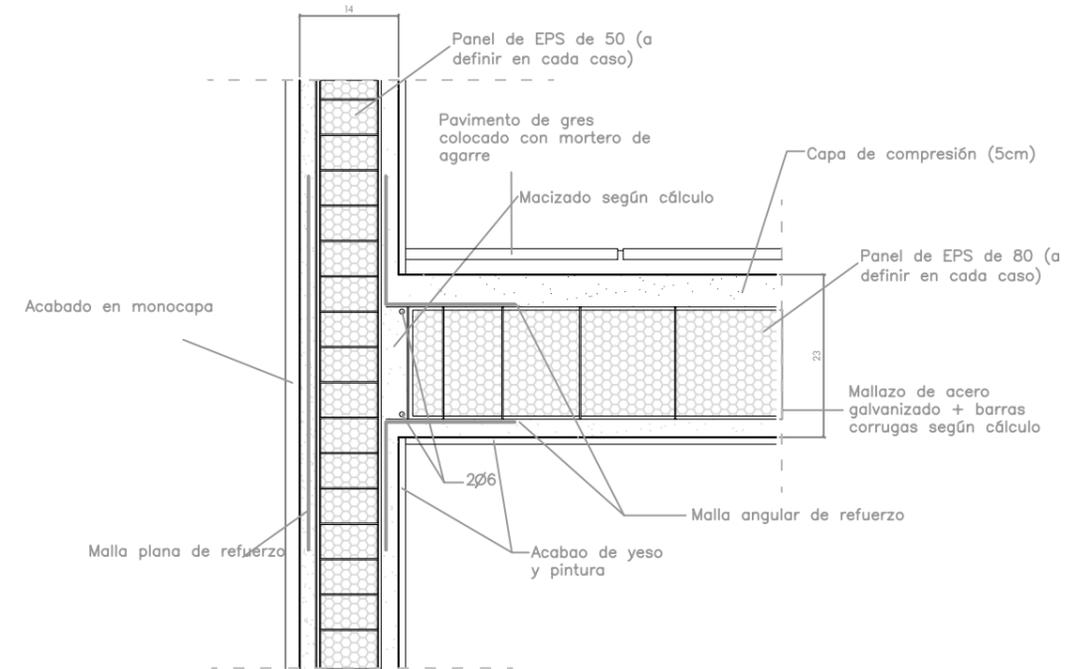
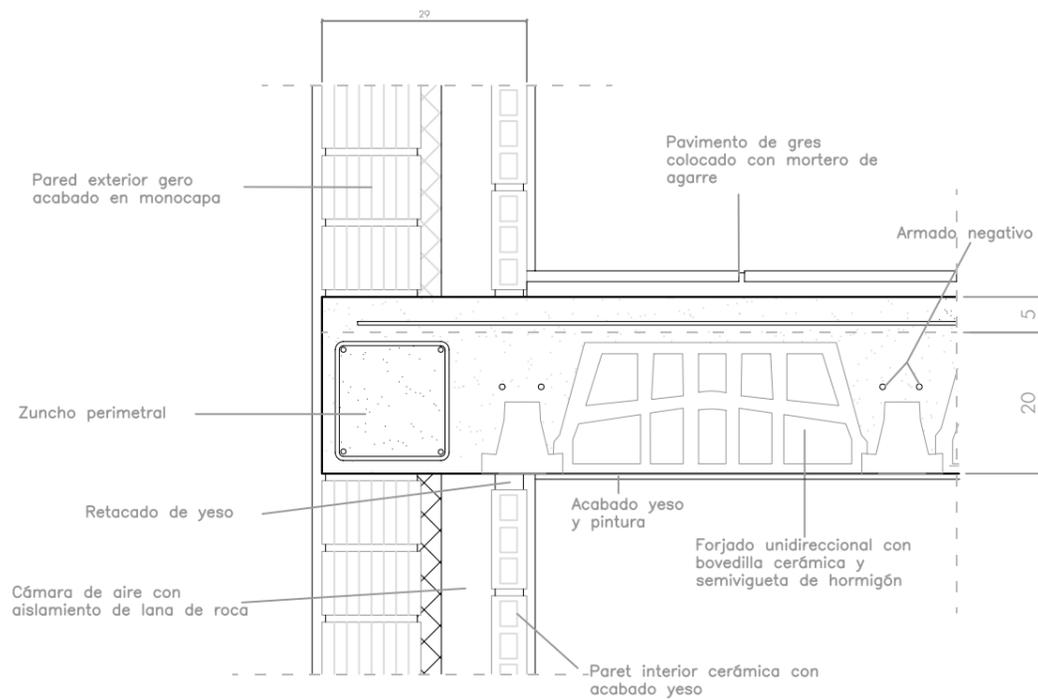
### COMPARATIVA

Se observa una diferencia esencial entre los dos detalles constructivos, a nivel de ejecución, que son las esperas que se unen al EPS para favorecer la unión entre la pared de carga y la cimentación. A nivel de ejecución de la cimentación, no se observa ninguna diferencia entre un sistema y otro.

Según los grosores, se ve claramente como la disminución de la fachada portante se reduce considerablemente, pasando de 29 cm a 12 cm, sin contar acabados finales (diferencia de 17 cm).

Otro aspecto a tener en cuenta es el tiempo de ejecución, en el sistema tradicional la ejecución es más laboriosa que el sistema estudiado en el proyecto.





## COMPARATIVA

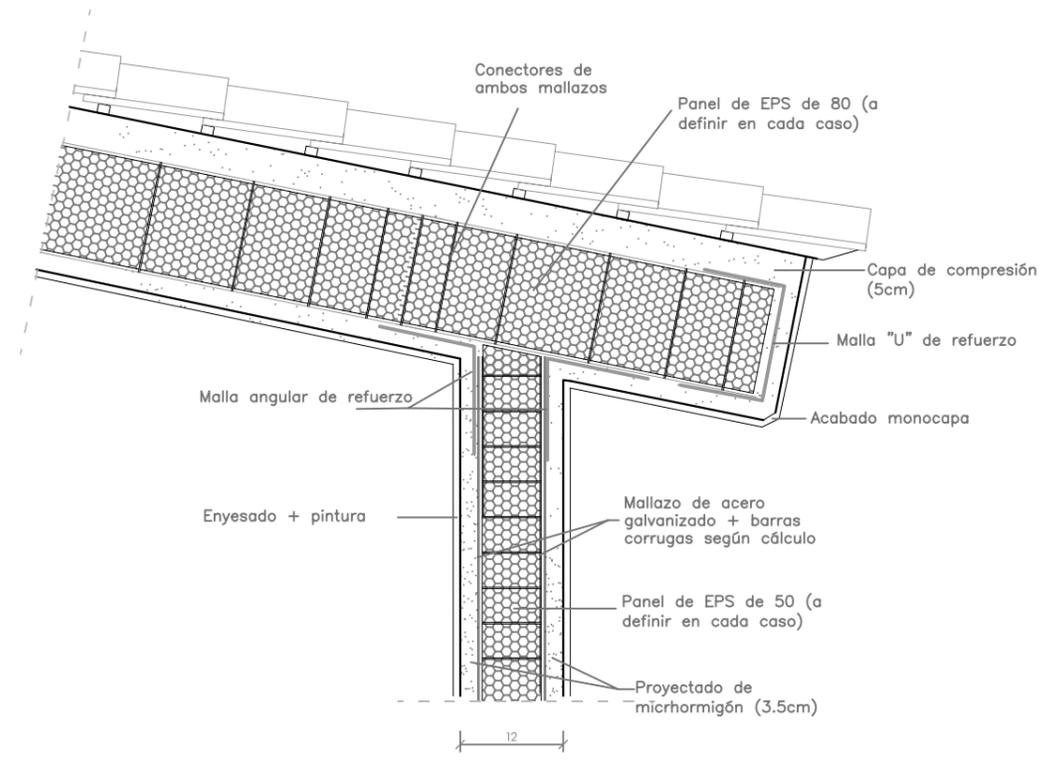
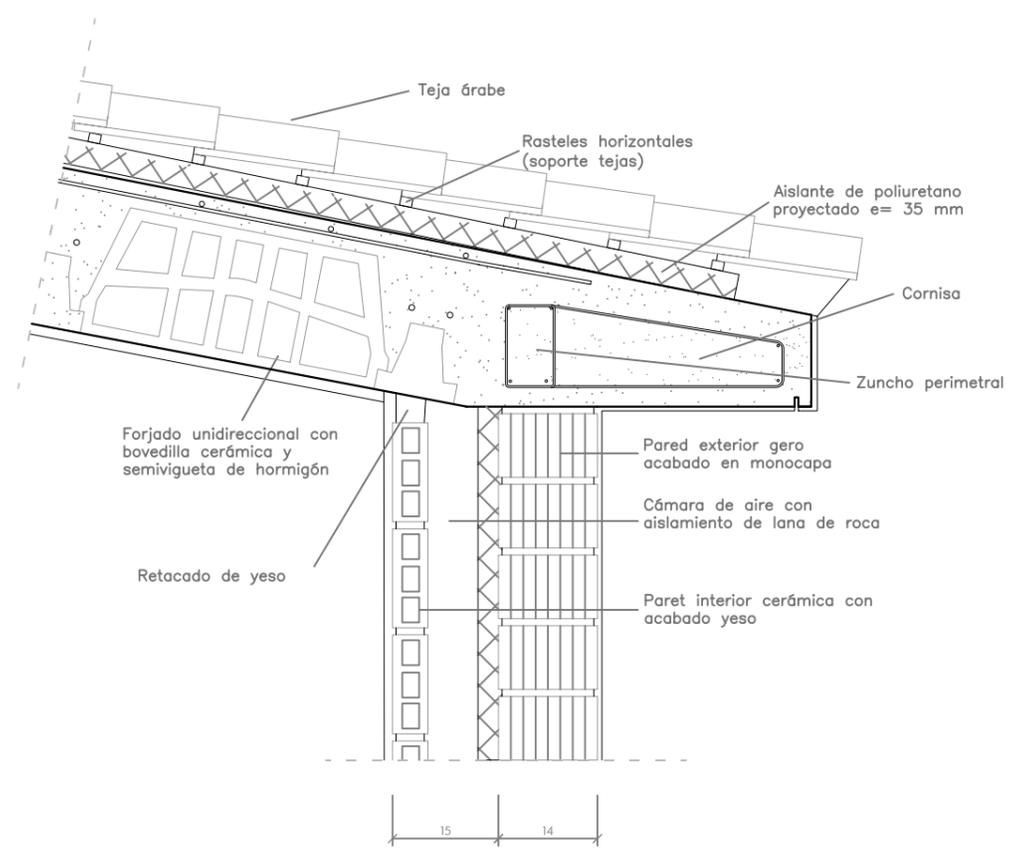
Se puede observar la utilización de los diferentes materiales empleados en cada sistema constructivo. En el caso del sistema tradicional estamos hablando de un forjado unidireccional construido con revoltón cerámico con semivigueta de hormigón prefabricado. En cambio, el sistema de paneles solamente emplea el material base EPS, con un grosor específico según las características marcadas por el proyectista.

En el detalle del sistema nuevo existen unas mallas de refuerzo angulares (MA), que conectan el forjado con la fachada portante y mallas planas (MP) en la unión entre el forjado y la pared de carga para dar una mayor resistencia al punto de encuentro. Hay que remarcar, que entre el plano vertical y el horizontal del EPS se tiene que dejar mínimo 5 cm de separación para el correcto micromortigonado de la zona.

Una de las grandes ventajas entre un sistema y otro, es que se elimina el puente térmico existente entre la unión del forjado con la fachada. Así el ahorro energético entre el exterior e interior es más estanco.

En el tema de grosores de forjado, no existe tanta diferencia existencial como pasaba con la estructura vertical.

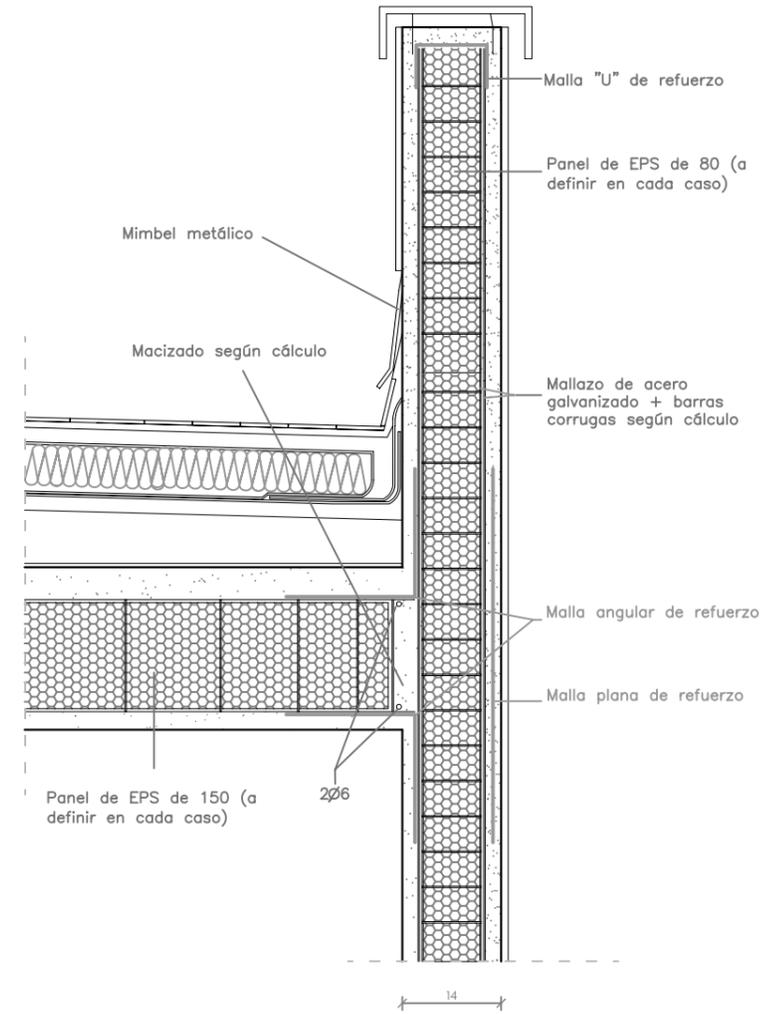
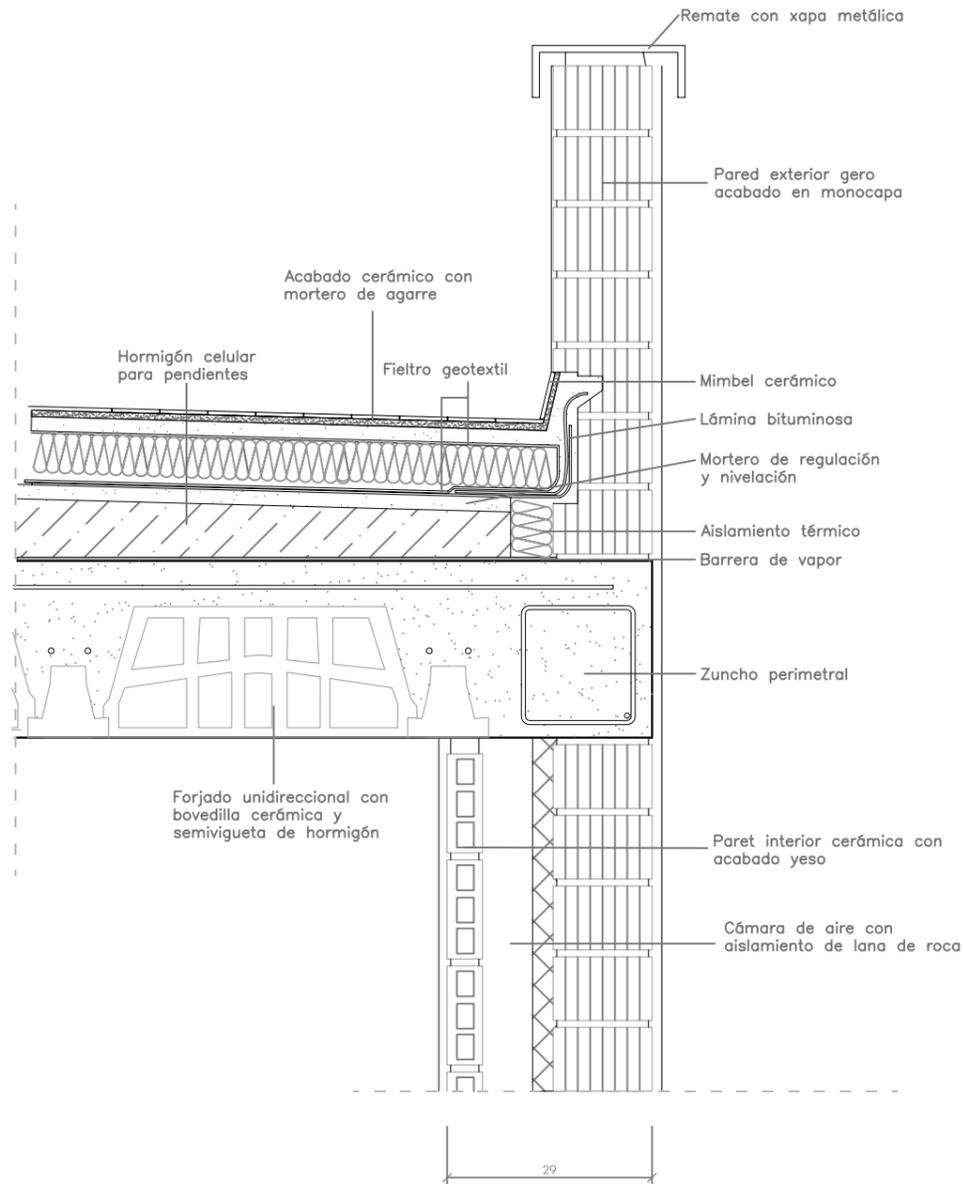




**COMPARATIVA**

Este es el detalle de la cubierta inclinada mediante forjado inclinado con acabado de teja árabe sobre doble restrelado. Simplemete se utilizará mortero para el acabado perimetral.  
 En el nuevo sistema, igual que en el detalle anterior, se emplean mallas auxiliares para la correcta ejecución del sistema. En este caso estamos utilizando mallas angulares (MA) para conectar la cubierta con la estructura vertical y mallas en "U" en el canto del voladizo de la cubierta para su correcta acoplamiento del microhormigón.  
 El nuevo sistema constructivo, al emplear como núcleo del material el poliestireno expandido, no hace falta colocar un aislante térmico como en el caso de la edificación tradicional. Igual que en el caso del detalle constructivo del forjado, el puente térmico queda eliminado al ser continuo la cubierta con el voladizo.



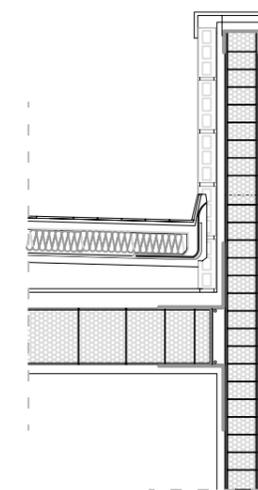


### COMPARATIVA

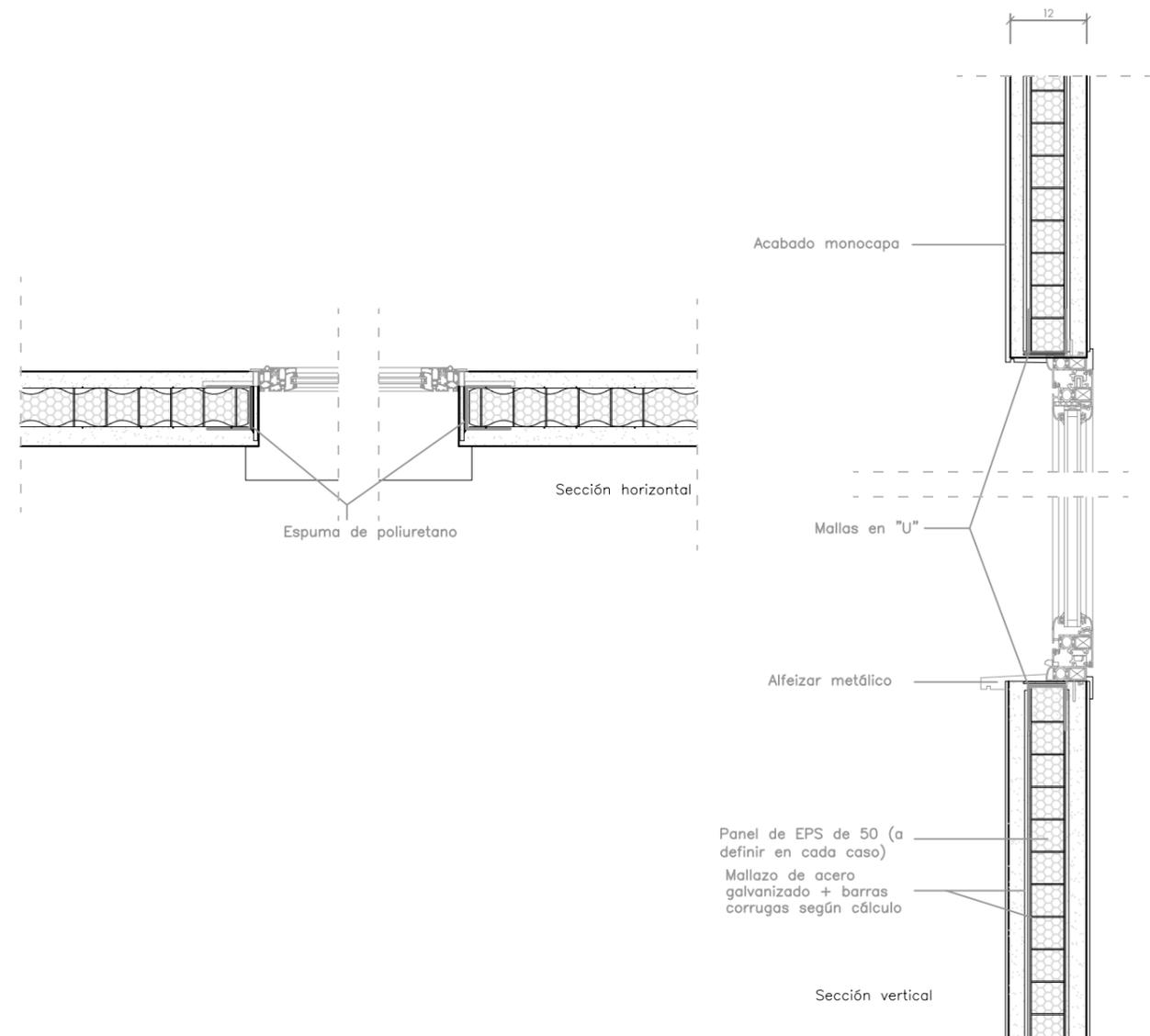
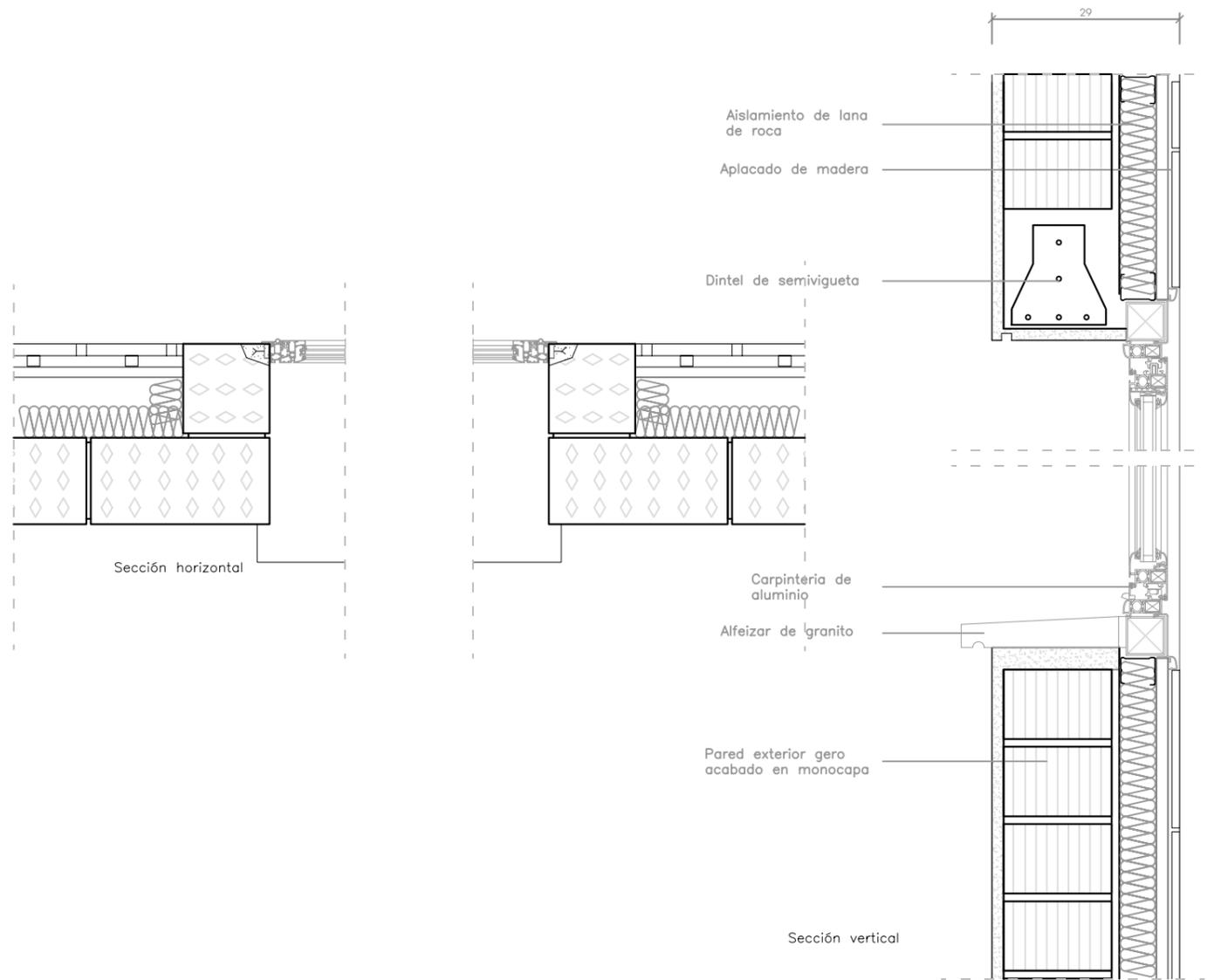
Este es el detalle de la cubierta plana invertida transitable, donde lo más significativo es que sobre la capa de hormigón celular para formar las pendientes, se coloca el aislamiento a base de placas de poliestireno extruido. En el detalle de la obra tradicional, el aislante está preparado para aislar el forjado, pero en el canto se forma un puente térmico. En cambio, el mismo detalle constructivo, aísla térmicamente todo el cerramiento y se elimina el puente térmico.

El problema surge en la ejecución del mimbel, ya que el espesor del sistema constructivo a estudio es mínimo y al necesitar un solape mínimo para la tela impermeabilizante, corremos el peligro de romper toda la protección del microhormigón y dañar con el tiempo el armado de la estructura. Por eso es necesario, como si se tratase del sistema tradicional, hacer un trasdosado de cerámica para el correcto solape de la tela y el mimbel cerámico.

En el detalle de escala 1/20, se muestra la solución adoptada para una correcta colocación de la tela impermeabilizante.



ESCALA  
1/20

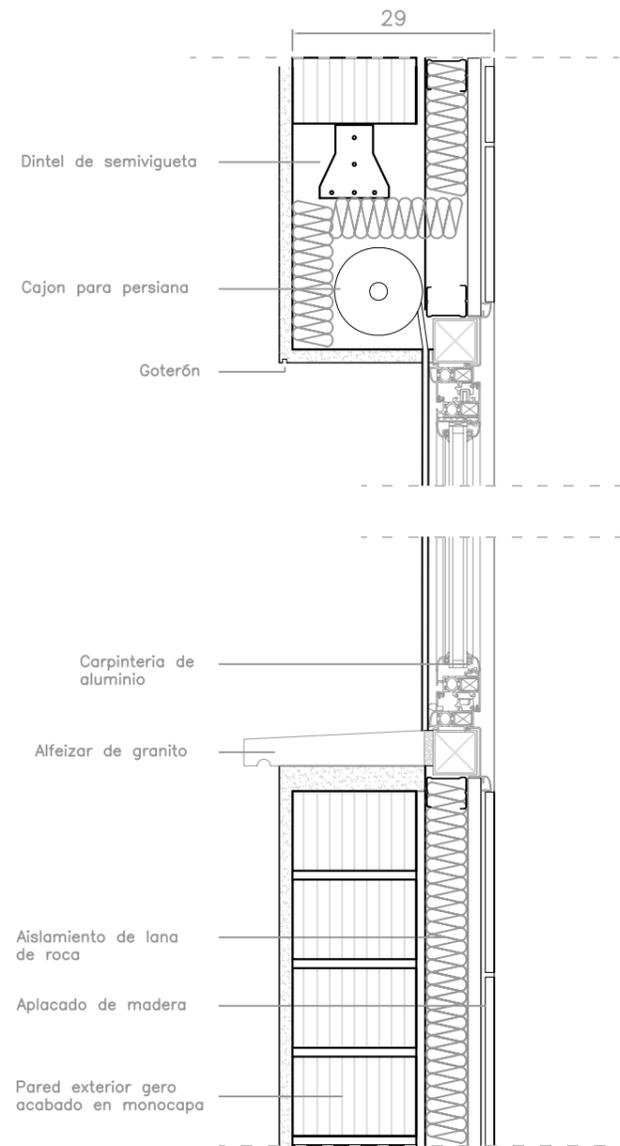


### COMPARATIVA

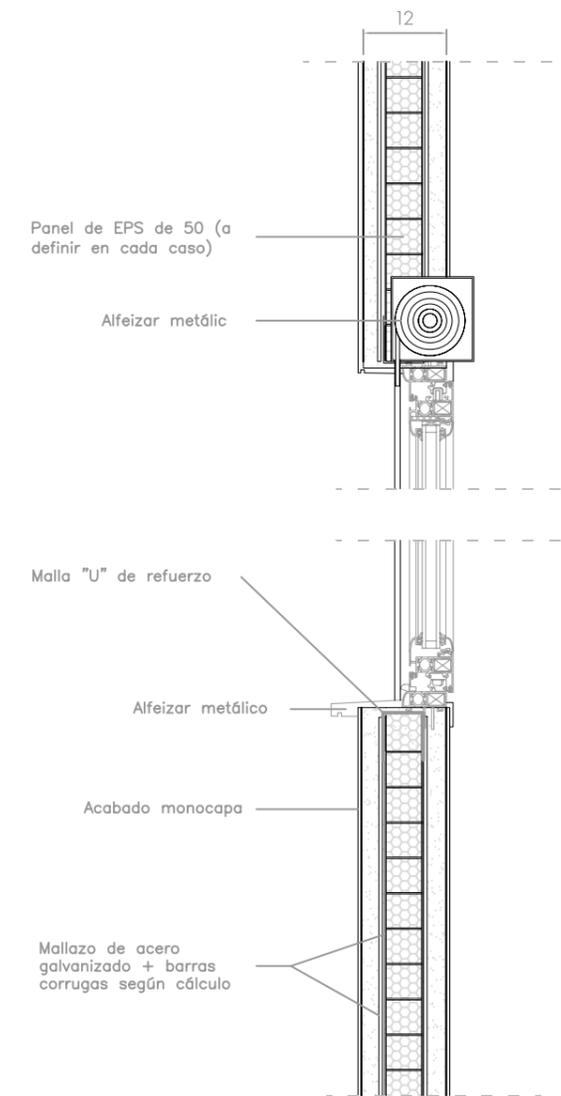
En los detalles de la obra de fábrica, los premarcos de las carpinterías están sujetos directamente a la obra. Aunque la carpintería fuese con rotura de puente térmico, por el premarco siempre hay un punto débil que hace que haya una transmisión de calor, aunque sea en menor grado. La obra en la que he hecho el seguimiento, los premarcos de la carpintería se conectan mediante unos conectores soldados en el premarco atandolos al mallazo de los paneles de poliestireno expandido. El perímetro de la carpintería se rellenará con un proyectado de poliuretano para aislar completamente todas las aberturas que hayan quedado entre el EPS y ésta. Una vez proyectado el microhormigón queda preparado para la instalación de la carpintería de aluminio.

En el sistema tradicional, los dinteles para las ventanas, normalmente se forman mediante elementos prefabricados, ya sean dinteles armados de hormigón, o en el caso de mayores luces, de semivigüetas prefabricadas, como en el caso del detalle. En cambio, en el sistema estudiado, simplemente se reforzará las esquinas con mallas planas (MP), ya explicado en el apartado de estructura.





P  
de  
M  
N  
o



COMPARATIVA

Detalle de la carpintería con persiana enrollable. En el detalle de la obra cerámica se emplea una caja cerámica prefabricada para revestir posteriormente. Esta caja viene con su aislante interior de espuma de poliuretano.

El empleo de cajas de persianas en el sistema de estudio es más complicado, debido a que los grosores de la estructura se reducen considerablemente con la obra tradicional, y los grosores de las cajas de persiana son anchos. La aplicación no varía con el sistema tradicional, la colocación de la caja de persiana se tiene que colocar antes del proyectado, para la correcta fijación de ésta. Las guías para las persianas se colocarán una vez proyectado el microhormigón.



## 5. CONCLUSIONES

Para realizar el Proyecto Final de Grado se han utilizado varios aspectos integradores de las disciplinas de la titulación tales como; conocimiento de las tipologías constructivas, característica de los materiales, resistencia de los materiales, acciones en la edificación, expresión gráfica, fundamentos físicos en la edificación, nociones de instalaciones, proyectos técnicos, planeamiento temporal y mediciones y presupuesto.

Este Proyecto tiene una utilidad y un ámbito de utilización que abarca la tipología constructiva que se puede desarrollar. Sirve para conocer los datos característicos que se deben tener en cuenta para seleccionar el sistema constructivo. Tiene como limitaciones que solo se analiza la comparación de estos dos sistemas en particular, para otros sistemas se deberán realizar nuevamente los cálculos aunque se pueden seguir los mismos criterios comparativos.

Después de analizar los materiales que componen el sistema constructivo de paneles simples estructurales de poliestireno expandido, y los procedimientos de las diferentes tipologías constructivas que intervienen en la edificación de una vivienda unifamiliar aislada, se han adquirido los conocimientos necesarios para realizar una comparativa entre el sistema objeto de este estudio y la obra tradicional de fábrica de ladrillo.

Según los objetivos marcados y a través de unos parámetros definidos, se ha llegado a unas conclusiones objetivas utilizando la teoría estudiada y el método de comparación anteriormente mencionado.

A continuación se detallan los resultados obtenidos para llegar a la conclusión final y los puntos favorables o desfavorables del sistema:

	OBRA	EPS	DIF.	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				
Resistencia estructural				
Peso fachada	303,45 kg	189,94 kg	37,35 %	▲
Peso forjado	300,00 kg	201,00 kg	33,00 %	▲
Peso total	603,45 kg	390,94 kg	35,22 %	▲
Aislamiento térmico y condensaciones				

R <sub>T</sub> sin acabados	1,361 m <sup>2</sup> k/W	1,478 m <sup>2</sup> k/W	7,92 %	▲
R <sub>T</sub> con acabados	1,436 m <sup>2</sup> k/W	1,553 m <sup>2</sup> k/W	7,53 %	▲
U sin acabados	0,735 W/m <sup>2</sup> k	0,677 W/m <sup>2</sup> k	9,25 %	▲
U con acabados	0,696 W/m <sup>2</sup> k	0,644 W/m <sup>2</sup> k	7,47 %	▲
Aislamiento acústico				
Intensidad acústica	2,2 · 10 <sup>-8</sup> Hz	4 · 10 <sup>-9</sup> Hz	72,00%	▲
Resistencia frente al fuego	EI 180	EI 120	33,33 %	▼
Criterios medioambientales				
Fabricación				
Coste energético	2,9 MJ/kg	120 MJ/kg	97,58 %	▼
Emisiones de CO <sub>2</sub>	0,23 T CO <sub>2</sub> /kg	9,6 T CO <sub>2</sub> /kg	97,60 %	▼
Consumo 100% electricidad				
Emisiones de CO <sub>2</sub>	7 T CO <sub>2</sub> /kg	4,4 T CO <sub>2</sub> /kg	37,14 %	▲
Coste	1.442,6 €/año	903,6 €/año	37,36 %	▲
Consumo 100% gas natural				
Emisiones de CO <sub>2</sub>	2,9 T CO <sub>2</sub> /kg	1,8 T CO <sub>2</sub> /kg	37,93 %	▲
Coste	504,9 €/año	316,3 €/año	37,35 %	▲
ESTUDIO ECONÓMICO				
Cimentación	13.276,58 €	17.276,58 €	21,79 %	▼
Estructura	56.207,95 €	35.574,71 €	36,71 %	▲
Total	69.719,51 €	52.851,29 €	24,19 %	▲
PLAZO DE EJECUCIÓN	137 días	80 días	41,61 %	▲

Una vez obtenidos los resultados de los análisis se puede hacer una relación de las ventajas y desventajas del sistema de paneles de EPS respecto al sistema de obra tradicional.

Ventajas:

- La estructura de la vivienda construida con paneles estructurales de EPS, reduce un 35,22 % el peso del edificio.
- La ejecución de la vivienda con paneles simples de EPS es, en este caso, 2 meses más rápida que la misma obra edificada con sistemas tradicionales. Este ahorro de

tiempo supone aumentar la capacidad productiva sacando más rentabilidad en menos tiempo y el consecuente ahorro en el coste de la mano de obra y de los recursos auxiliares necesarios.

- El sistema cumple con la normativa vigente actualmente, e incluso supera con notabilidad las características acústicas y térmicas.
- Al estar todos los paneles atados entre sí mediante las mallas auxiliares, el edificio trabaja estructuralmente como un mono bloque
- Existe un ahorro económico respecto a la obra tradicional de aproximadamente un 25 % en la estructura.
- Al existir un ahorro en tiempo y coste de ejecución, el futuro usuario de la vivienda se puede aprovechar de estos dos criterios, tanto económicamente como temporalmente.
- Los paneles de EPS emplean un montaje sencillo y práctico, mediante mallas de acero galvanizado. Los residuos que se crean en una obra son mínimos, al venir dimensionado todo desde la fábrica central (sistema semi-prefabricado).
- La vivienda produce un ahorro energético ya que, al ser un material aislante térmico el EPS, impide que haya pérdidas de temperaturas entre diferentes ambientes.
- También, se consigue un aislamiento acústico notable sin necesidad de usar materiales aislantes complementarios, ya que el EPS es un material aislante acústicamente de por sí.

#### Desventajas:

- El sistema tradicional es más estable frente a la acción del fuego que el sistema constructivo objeto de este estudio, así como tiene una nula emisión de gases tóxicos.
- El coste medioambiental en la fabricación del EPS es muy elevado.
- El Constructor/Promotor tiene que hacer una inversión en formar al personal por ser un sistema novedoso.
- Al ser un sistema tan innovador hace falta una inversión inicial por parte del promotor para fomentar su uso.

Un hecho real hoy en día en nuestro país, es la mentalidad cerrada de la sociedad. Normalmente, es común la construcción con materiales tradicionales (hormigón, cerámica...), es por este factor que los nuevos sistemas constructivos con materiales no tradicionales tienen un apoyo minoritario en el mundo de la construcción actual.

Como no es frecuente ejecutar este tipo de obra, los responsables especializados del montaje de este sistema son escasos. Esto provoca que se construyan menos obras y en consecuencia no se conoce en la sociedad este tipo de producto. Estos factores crean un círculo cerrado del cual es difícil su inserción en la construcción.

Una vez adquirida la información y tomando referencia de los resultados de la comparativa, se puede concluir que la construcción con paneles estructurales de EPS tiene más ventajas que inconvenientes que el sistema tradicional, siendo más rentable económicamente, técnicamente y temporalmente.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

---

### 6.1. LIBROS

EUMEPS CONSTRUCTION, *Libro blanco del EPS. Documento de antecedentes para la normalización Europea*. Editado por EUMEPS, 2003. Traducido por Anape.

ITEC (Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña). *Precios de referencia de ingeniería civil, de seguridad y salud, ensayos de control de calidad y gastos indirectos*. Editado por ITEC, 2009.

### 6.2. NORMATIVA

España. Código Técnico de la Edificación. DB HE: Ahorro de energía. 2006.

España. Código Técnico de la Edificación. DB-SE F: Fábrica. 2006.

España. Código Técnico de la Edificación. DB HR: Protección frente al ruido. 2006.

España. Código Técnico de la Edificación. DB SU: Seguridad estructural. 2006.

España. Código Técnico de la Edificación. DB SI: Seguridad en caso de incendio. 2006.

España. Código Técnico de la Edificación. DB-SE AE: Acciones en la Edificación. 2006.

España. EHE. Instrucción de Hormigón Estructural. 2008.

España. NBE-FL-90. Muros resistentes de fábrica de ladrillo. 1990.

### 6.3. CATÁLOGOS

Tecnopanel System S.L. *Manual de montaje del sistema Tecnopanel System*.

IDAE. *Guía técnica para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios*. Editado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008.

MK2. *Tecnología avanzada de construcción*.

#### 6.4. PÁGINAS WEB

Anape. *Industria de Poliestireno expandido.*

Disponible en Web: <http://www.anape.es/index-construccion.html>

Tecnopanel System. *Sistema Modular.*

Disponible en Web: <http://www.tecnopanel.es/inicio.html>

Provicsa. *Casa prefabricadas.*

Disponible en Web: <http://www.provicsa.com/>

Código Técnico de la Edificación.

Disponible en Web: <http://www.codigotecnico.org/index.php?id=33>

Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya.

Disponible en Web: <http://www.itec.cat/default.asp>

Cype Ingenieros S.A. *Detalles constructivos.*

Disponible en Web: <http://www.cype.es>

MK2. *Tecnología avanzada de construcción.*

Disponible en Web: <http://www.mk2.es/>

Estructuras bioclimáticas avanzadas.

Disponible en Web: <http://www.ebasl.es.tl/>