

## CAPÍTULO 3

### CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA PANELES

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El sistema constructivo está compuesto por paneles aligerados, estos son elementos conformados por un alma de poliestireno expandido con dos mallas electrosoldadas espacialmente, tipo celosía. En la puesta en obra, el panel se termina in-situ con mortero u hormigón proyectado y/o moldeado por ambas caras.

Ahora bien, para llevar a cabo el estudio estructural del panel, inicialmente se pretende el análisis partiendo por los materiales que lo componen, el presente capítulo estudia puntualmente cada uno de ellos. Igualmente se realiza la caracterización de los materiales a usar in-situ, acompañado de los resultados obtenidos a través de las diferentes campañas experimentales.

En particular el presente capítulo, estudia los materiales a utilizar en las posteriores campañas experimentales propuestas para el análisis a compresión simple sobre muestras pequeñas (capítulo 4) y muestras esbeltas (altura de 2.800 mm) (capítulo 5), esto con el fin de encontrar el material (mortero u hormigón) que mejor prestaciones mecánicas desarrolle en conjunto con el panel (EPS + malla). Todo el análisis está basado en las especificaciones de la normativa UNE sobre materiales.

Los **objetivos** del presente capítulo son:

- Describir los materiales que componen el panel inicialmente (poliestireno expandido y malla espacial), especificando las características principales de los mismos.
- Determinar sobre varios tipos de mortero, el más óptimo para la aplicación en el

panel, esto en cuanto a características mecánicas, buena trabajabilidad, una adherencia de la pasta a la superficie del EPS y la malla, menor pérdida de peso y retracción.

Para el desarrollo y determinación de estos materiales se diseñó una campaña experimental dividida en dos fases. La 1ª fase con el objeto de identificar sobre varias mezclas, el mortero con mejores características mecánicas y una 2ª fase con el fin de determinar sobre un abanico más amplio de posibilidades, una mezcla con una tipología diferente al usado anteriormente, buscando además una superioridad en los resultados.

La tabla 3.1 especifica las características de los morteros usados en la 1ª y 2ª fase de ensayos, se encuentran clasificados primero en función de las mezclas realizadas y segundo por la resistencia a la compresión característica del mortero. Para la 1ª fase se utilizaron 2 tipos de mortero, un M-40 como mortero de recubrimiento y un M-160 como mortero de tipo estructural (resistente). En total se realizaron 5 amasadas de acuerdo con la nomenclatura utilizada en la citada tabla.

Tipo de Mortero		Nomenclatura
1ª FASE	M-40	M-40
	M-160	M-160
	M-160, con 0,6 kg/m <sup>3</sup> de fibra de vidrio.	M-160, FV = 0,6
	M-160, con 3,0 kg/m <sup>3</sup> de fibra de vidrio.	M-160, FV = 3,0
	M-160, con 1,2 kg/m <sup>3</sup> de fibra de poliéster.	M-160, FP = 1,2
2ª FASE	Ben – Sec M - 80	M - 80
	Lafarge (Texsa)	M - 160a
	Cemex - Ibersec	M - 160b

Tabla 3.1: Nomenclatura para morteros – Ensayos 1ª y 2ª fase

La adición de fibra de vidrio o fibra de poliéster se designa FV o FP, respectivamente (tabla 3.1), de la misma manera se usó un puente de adherencia aplicado en algunos de los paneles, buscando analizar el comportamiento de unión entre los materiales (EPS y mortero).

En la 2ª fase de ensayos se utilizaron tres tipos de mortero. Aparte del empleado en la 1ª fase, se usaron dos tipos de morteros más con características superiores en su resistencia real, M-160 a y M-160b (tabla 3.1).

Todos los morteros utilizados en esta campaña experimental, ya sea en la 1ª ó 2ª fase, son de tipo proyectable. Cabe señalar que según la nomenclatura del mortero, el número por ej.: 160 hace referencia a la resistencia a compresión a 28 días (Kp/cm<sup>2</sup>), según lo especificado por el fabricante.

### 3.2. MATERIALES BÁSICOS DEL PANEL

Tal como se ha dicho, el panel se fabrica con dos materiales principales: poliestireno expandido (EPS) y una malla electrosoldada espacial, tipo celosía. Con posterioridad los paneles se terminan en obra con la aplicación de hormigón, microhormigón o de mortero proyectado o moldeado en ambas caras. A continuación se exponen las características principales de los materiales que componen el panel inicialmente.

#### 3.2.1. Poliestireno expandido (EPS)

El poliestireno expandido o EPS es un material plástico espumado utilizado en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico, en el campo del envase y embalaje también presenta una serie de aplicaciones. El poliestireno expandido - EPS según la Asociación Nacional de Poliestireno Expandido (ANAPE), se define técnicamente como: "Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire" [ANAPE, 1992]. Familiarmente el poliestireno expandido también es conocido como corcho blanco.

El EPS es un plástico inerte y no degradable, se caracteriza principalmente por sus buenas condiciones de ahorro energético. Debido a sus propiedades y características técnicas, el poliestireno expandido (EPS) es el material idóneo para el aislamiento, tanto térmico como acústico, que es lo que pretende éste tipo de panel, además de su poco peso y resistencia a la humedad.

En función de la aplicación el EPS se clasifica según su densidad, estas 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 según [ANAPE, 1992], establece una serie de tipos normalizados en función de la densidad, como se muestra en la figura 3.1. 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 es clasificado como M1 auto-extinguible, en el ensayo de reacción al fuego.



Figura 3.1: Normas de identificación del EPS [ANAPE, 1992]

El poliestireno usado en los paneles a estudiar es el tipo V densidad de 25 kg/m<sup>3</sup> para dar una mayor calidad acústica y térmica, además éste tipo de EPS (V) es tratado con

agentes ignífugantes (auto-extinguible), es decir se contrae si se expone a una llama, no tóxico y químicamente inerte.

Para la conformación del panel, el EPS se corta en ondas simultáneas con una profundidad que varía entre 10 y 20 mm (figura 3.2) y su espesor varía entre 80 y 240 mm. Ahora bien, al terminar el panel in-situ con el mortero, se forma, lo que podría denominarse “un mortero armado” (figura 3.3), prestando mayor rigidez al elemento.

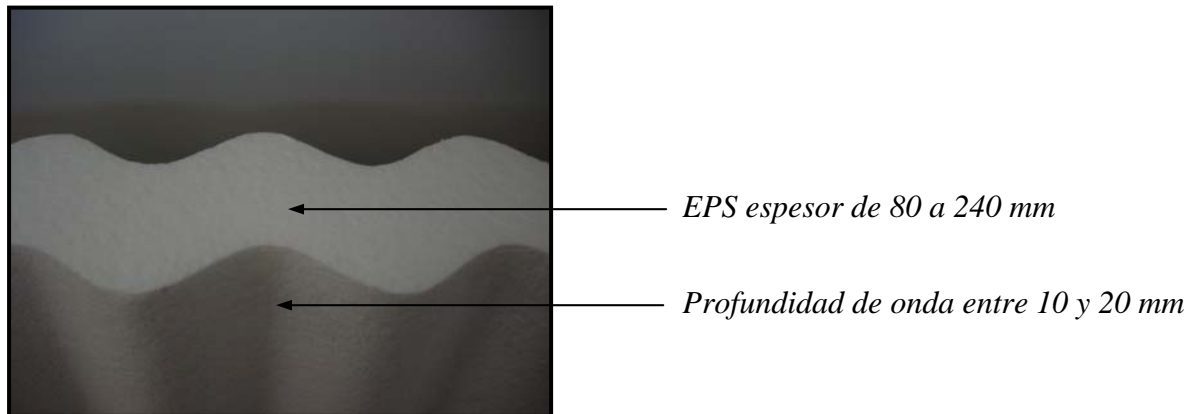


Figura 3.2: Poliestireno expandido

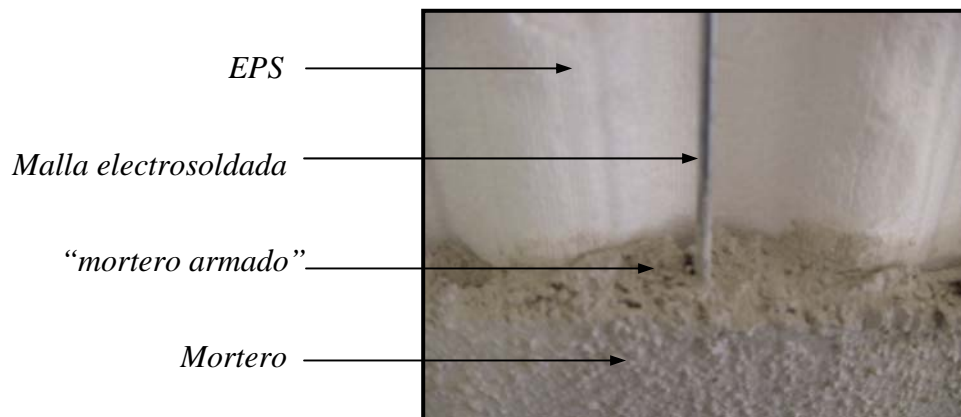


Figura 3.3: “mortero armado”

En la tabla 3.2, se presentan las propiedades físicas del poliestireno expandido, correspondiente al EPS de densidad  $25 \text{ kg/m}^3$  utilizado en los paneles, de acuerdo con la Asociación Nacional de Poliestireno Expandido [ANAPE, 1992].

En cuanto a las propiedades químicas del EPS, éste no se destruye con la acción prolongada de sustancias como solución salina (agua de mar), jabones, lejías, ácidos diluidos, alcoholes (metanol, etanol) y soluciones alcalinas. Por otro lado el EPS se contrae o se disuelve con la acción de sustancias como ácidos concentrados (sin agua) al 100%, disolventes orgánicos (acetona, ésteres), aceite de diesel y carburantes.

Propiedades	Norma UNE	Unidades	Tipo de EPS
Densidad Nominal	EN-1602	Kg/m <sup>3</sup>	25
Densidad Mínima	EN-1602	Kg/m <sup>3</sup>	22.5
Espesor Mínimo		mm	20
Conductividad térmica (A + 10°C)	UNE 92201	mW/(mK)	35
Tensión por compresión (deformación 10%)	EN-826	kPa	150
Resistencia permanente a la compresión (deformación 2%)		kPa	35-50
Resistencia a la flexión	EN-12089	kPa	200
Resistencia al cizallamiento	EN-12090	kPa	100
Resistencia a la Tracción	EN-1607 EN-1608	kPa	320-410
Módulo de elasticidad		MPa	5.9-7.2
Absorción del agua en condiciones de inmersión al cabo de 7 días	EN-12087	% (Vol.)	0.5-1.5
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 28 días	EN-12087	% (Vol.)	1-3

Tabla 3.2: Propiedades físicas del poliestireno expandido (EPS) [ANAPE, 1992]

### 3.2.2. Malla electrosoldada espacial

La malla que conforma el panel es un refuerzo de acero prefabricado tipo celosía, que consiste en dos mallas paralelas de diámetro de 3,4 mm, interconectadas entre sí a través de conectores de acero de diámetro 3 mm (figura 3.4).

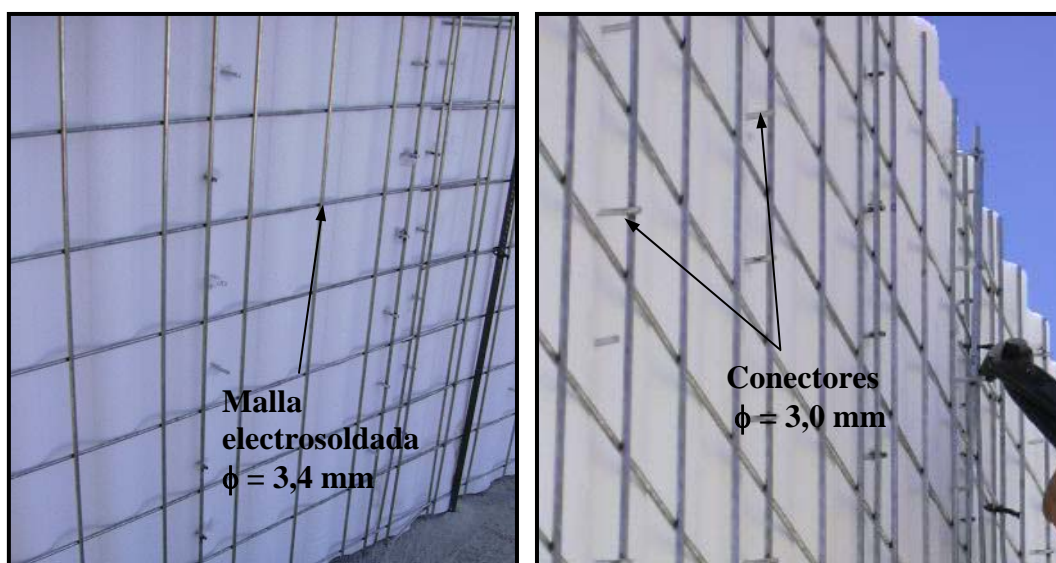


Figura 3.4: Malla electrosoldada galvanizada ( $\phi = 3,4$  mm) y conectores ( $\phi = 3,0$  mm)

El acero utilizado tanto para la malla como para los conectores tiene un límite elástico nominal de 500 MPa. Las mallas ubicadas de forma paralela a cada lado del EPS forman una retícula de 75 x 75 mm, igualmente los conectores son soldados cada 215 mm en horizontal y 75 mm en vertical, tal y como se muestra en la figura 3.4.

### 3.3. 1ª FASE DE ENSAYOS

#### 3.3.1. Características de los materiales utilizados

##### ➤ Mortero

Para la aplicación del mortero en este caso, se pensó en un mortero de tipo proyectable, para así proporcionar un mayor rendimiento en su puesta en obra y a su vez evitar todo tipo de encofrados o cimbras que dificulten su aplicación. El mortero utilizado, tiene características como:

- Trabajabilidad: la pasta de mortero debe tener una consistencia ni muy blanda ni muy dura, de modo que al ser preparada la mezcla, éste no pierda sus características mecánicas además de la propiedad de ser un mortero proyectable.
- Adherencia: al proyectar el mortero es necesario que tenga una adherencia óptima a la superficie del panel, contacto con la malla y el EPS, para que no se produzcan deslizamientos y sea más fácil el allanado antes de su endurecimiento.
- Retracción mínima: la absorción de agua debe ser moderada con respecto al tiempo para evitar posibles fisuraciones, mostrando pérdidas de agua en corto tiempo.

Además de las características anteriores, es necesario que el mortero tenga unas propiedades mecánicas adecuadas para ser utilizado en muros de tipo estructural, que es la aplicación que se le quiere dar a los paneles.

En esta 1ª fase se utilizaron dos tipos de mortero de tipo proyectable suministrados por la casa comercial BEN-SEC en sacos de 30 kg.

El mortero **M-40** es un mortero de revoco para paredes interiores y en exteriores para ser pintado preferiblemente con pinturas de silicato. La densidad del mortero fresco es de 1,8 gr/cm<sup>3</sup>, con una resistencia a la compresión de 4 MPa y una retención de agua del 90% (según el fabricante).

El mortero **M-160** es un mortero con una densidad fresco de 1,9 gr/cm<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de 16 MPa. El tamaño máximo del agregado es de 1,2 mm, con una retención de agua entre el 95% y el 98%.

Ambos morteros están compuestos de cemento Pórtland, cal, arena, filler, caliza, aditivos plastificantes y aireantes, según el fabricante, éstos son elaborados según las directrices de la norma básica de edificación UNE y Comité Europeo de Normalización. La nomenclatura utilizada para estos morteros se muestra anteriormente en la tabla 3.1.

➤ **Fibras**

El comportamiento de los morteros frente a la retracción por secado, se analiza mediante la adición de fibras de vidrio y poliéster a algunas de las pastas, en la proporción indicada.

- Fibra de vidrio: 0,6 y 3,0 kg/m<sup>3</sup>
- Fibra de poliéster: 1,2 kg/m<sup>3</sup>

La incorporación de las fibras de vidrio y poliéster se realizó en sacos previamente pesados, sacos de fibra de vidrio de 45 gramos (figura 3.5) y de fibra de poliéster de 30 gramos (figura 3.6). En la tabla 3.3 se muestran las características generales de los dos tipos de fibras utilizadas.

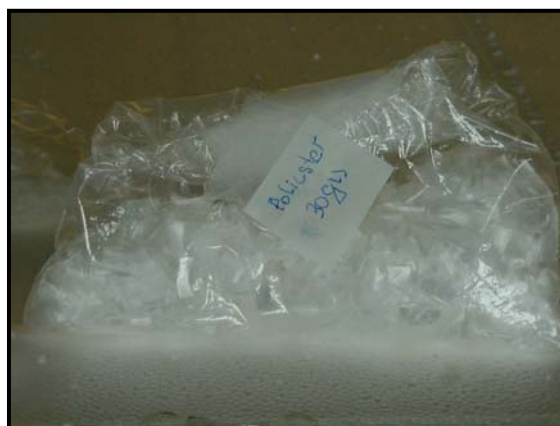
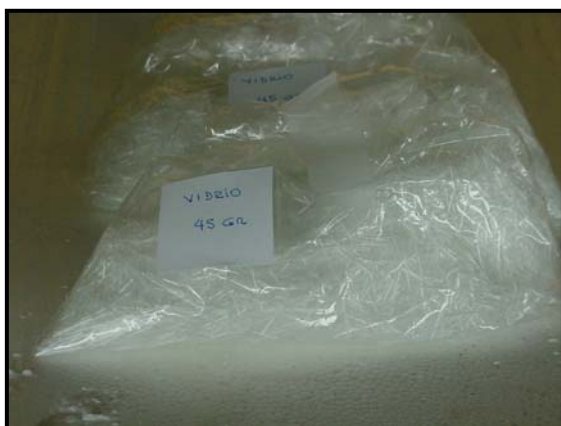


Figura 3.5: Sacos de fibra de vidrio

Figura 3.6: Sacos de fibra de poliéster

Fibra	Características
Fibra de vidrio	Módulo de elasticidad 75 – 85 GPa. $\sigma = 3,5 - 4,5$ GPa. Radio de las fibras 8 – 15 $\mu\text{m}$ .
Fibra de poliéster	Longitud $\frac{3}{4}$ , $\frac{1}{2}$ y 2 $\frac{1}{2}$ pulgadas. Relación de forma (esbeltez) 9 – 30 Resistencia a la tracción 170 – 260 MPa. Alargamiento a la rotura 150 – 250%.

Tabla 3.3: Características de las fibras de vidrio y de poliéster

➤ **Puente de adherencia**

Con el fin de buscar una mejor superficie de unión, adherencia entre el mortero proyectado y el panel (EPS + malla), se incorporó en algunos de los paneles ensayados a compresión de la 1ª fase un puente de adherencia. Una mezcla hidráulica a base de cemento, aditivos especiales y áridos seleccionados, según el fabricante por sus características tiene una buena adherencia sobre soportes no absorbentes, como lo es el EPS. La tabla 3.4 muestra las características técnicas de este puente de adherencia.

Densidad amasado:	Aproximadamente 1,3 g/cm <sup>3</sup> .
Agua de amasado:	Aproximadamente 5 litros/saco
Tiempo de trabajabilidad:	Aproximadamente 2 horas.
Temperatura de aplicación:	De + 5°C a + 25°C (soporte y material)
Adherencia al hormigón:	De 2,0 a 2,5 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la temperatura:	De -20 hasta +80°C

*Tabla 3.4: Características técnicas – puente de adherencia.*

### 3.3.2. Preparación de las probetas

Para los ensayos de flexión, compresión y retracción sobre los morteros de la **1ª fase**, se prepararon 3 probetas prismáticas por cada uno de ellos.

Las probetas se realizaron en moldes de acero de tres compartimientos (figura 3.7), se llenaron dos capas de mortero, compactada cada una de las capas a 60 golpes en 60 segundos, en una mesa compactadora según la norma UNE 80-101-88.



*Figura 3.7: Fabricación probetas de mortero 40 x 40 x 160 (mm)*



Una vez desmoldadas las probetas, 24 horas después, se llevaron a la cámara de temperatura controlada ( $20^{\circ}\pm 1$ ) y humedad controlada (50%) en el Laboratorio de Tecnología de Estructuras, donde se tomaron lecturas de retracción a partir de ese instante.

La **resistencia a flexión** se determinó sobre probetas prismáticas de mortero (40 x 40 x 160 en mm), según la norma UNE-EN 1015-11:2000. El ensayo se efectuó en un dispositivo de flexión con una capacidad de carga de 10 kN, el cual puede verse en la figura 3.8 (a). Cada una de las probetas se ensayó a una velocidad de 0,04 kN/seg.



(a)

(b)

Figura 3.8: Dispositivo de Ensayo

(a) Flexión probetas de mortero (b) Compresión probetas de mortero

Con posterioridad al ensayo a flexión se realizó la determinación de la **resistencia a la compresión**, con cada una de las mitades de las probetas según la norma UNE-EN 1015-11:2000.

En el ensayo, se empleó un dispositivo de compresión, con una capacidad de carga de 200 kN, en la figura 3.8 (b) puede verse el dispositivo empleado para la determinación del ensayo. La velocidad de carga empleada fue de 0,1 kN/seg.

Con estos ensayos a flexión y a compresión se obtiene el tiempo de rotura, la resistencia y la carga aplicada para cada probeta.

Para el ensayo de **retracción por secado** las 3 probetas de mortero se denominaron **a**, **b** y **c**, respectivamente. Las lecturas se tomaron en un dispositivo compuesto por un marco metálico, el cual contiene un deformímetro en la parte superior que marca el desplazamiento vertical en micras ( $\mu\text{m}$ ) (figura 3.9).

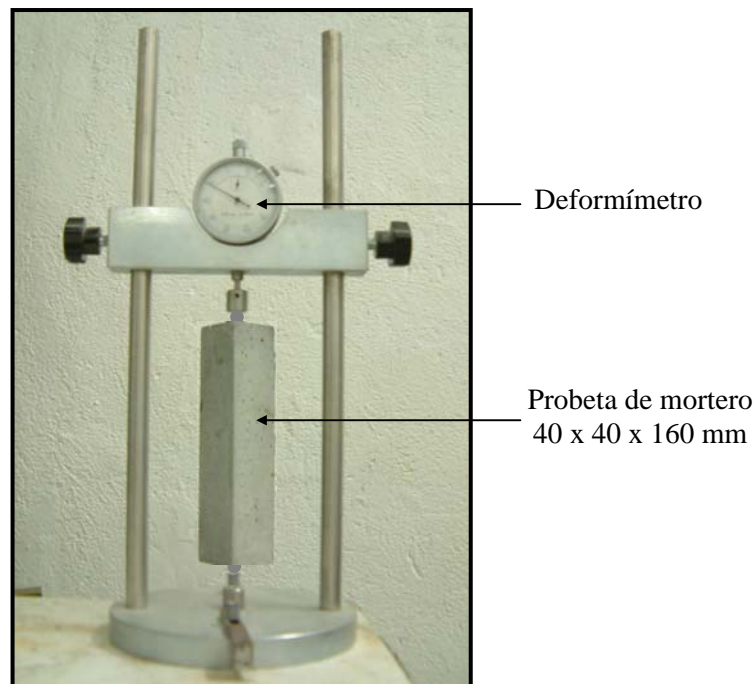


Figura 3.9: Dispositivo para medir la retracción

Las lecturas se tomaron a diferentes edades, en un periodo de tiempo de 50 días, igualmente se pesó cada una de las probetas a medida que se fue tomando la lectura, esto con el fin de saber cual de los morteros presenta una disminución de volumen durante el proceso de endurecimiento.

### 3.3.3. Resultados obtenidos y análisis (1ª fase)

- **Resistencia a flexión probetas de mortero**

En la tabla 3.5 se muestran los resultados de la carga máxima (kN) obtenida en el ensayo a flexión sobre probetas de mortero, estos corresponden a la media de los resultados obtenidos para cada una de cada una de las tres probetas realizadas para cada mortero. Asimismo se muestra la resistencia a flexotracción de acuerdo a la formulación dada por la normativa utilizada (UNE-EN 1015-11:2000). Las probetas fueron ensayadas a una edad aproximada de 40 días.

Por otro lado en la figura 3.10, se presentan estos valores medios de la resistencia a flexotracción de forma gráfica para el conjunto de los morteros ensayados, habiendo tomado una velocidad de carga de 0,04 kN/seg.

Los resultados obtenidos de cada una de las probetas ensayadas se muestran con posterioridad en la figura 3.11.

Mortero	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
M - 40	1,198	2,80
M -160	1,136	2,66
M -160, FV = 0,6	1,205	2,82
M -160, FV = 3,0	1,470	3,44
M -160, FP = 1,2	1,366	3,20

Tabla 3.5: Valores medios de los ensayos a flexión - 1ª fase

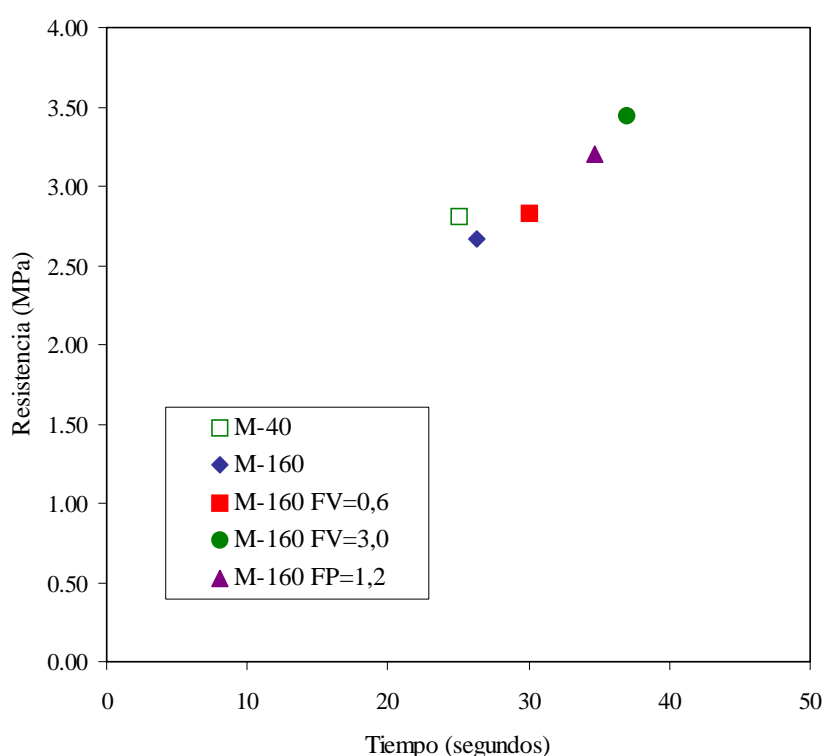


Figura 3.10: Resistencia promedio – Ensayo a flexión 1ª fase

Tanto en la tabla 3.5, como en la figura 3.10, puede verse que a medida que aumenta la cantidad de fibra de vidrio aumenta la resistencia a flexión en un porcentaje pequeño e igualmente aumenta el tiempo necesario para alcanzar la rotura. Asimismo puede observarse que el mortero con fibra de poliéster, conduce a valores similares al de fibra de vidrio en su cantidad más alta de fibra ( $3,0 \text{ kg/m}^3$ ), no siendo relevante la adición de fibras para un mejor desempeño flexión del mortero.

En la figura 3.10, donde se muestra el promedio del comportamiento a flexión de cada uno de los morteros, se observa una similitud en los resultados tanto para los morteros con fibras de vidrio y de poliéster, como para el mortero M-160 sin incorporación de ningún tipo de fibra, igualmente éstos resultan razonables en base a la nomenclatura de los morteros utilizados.

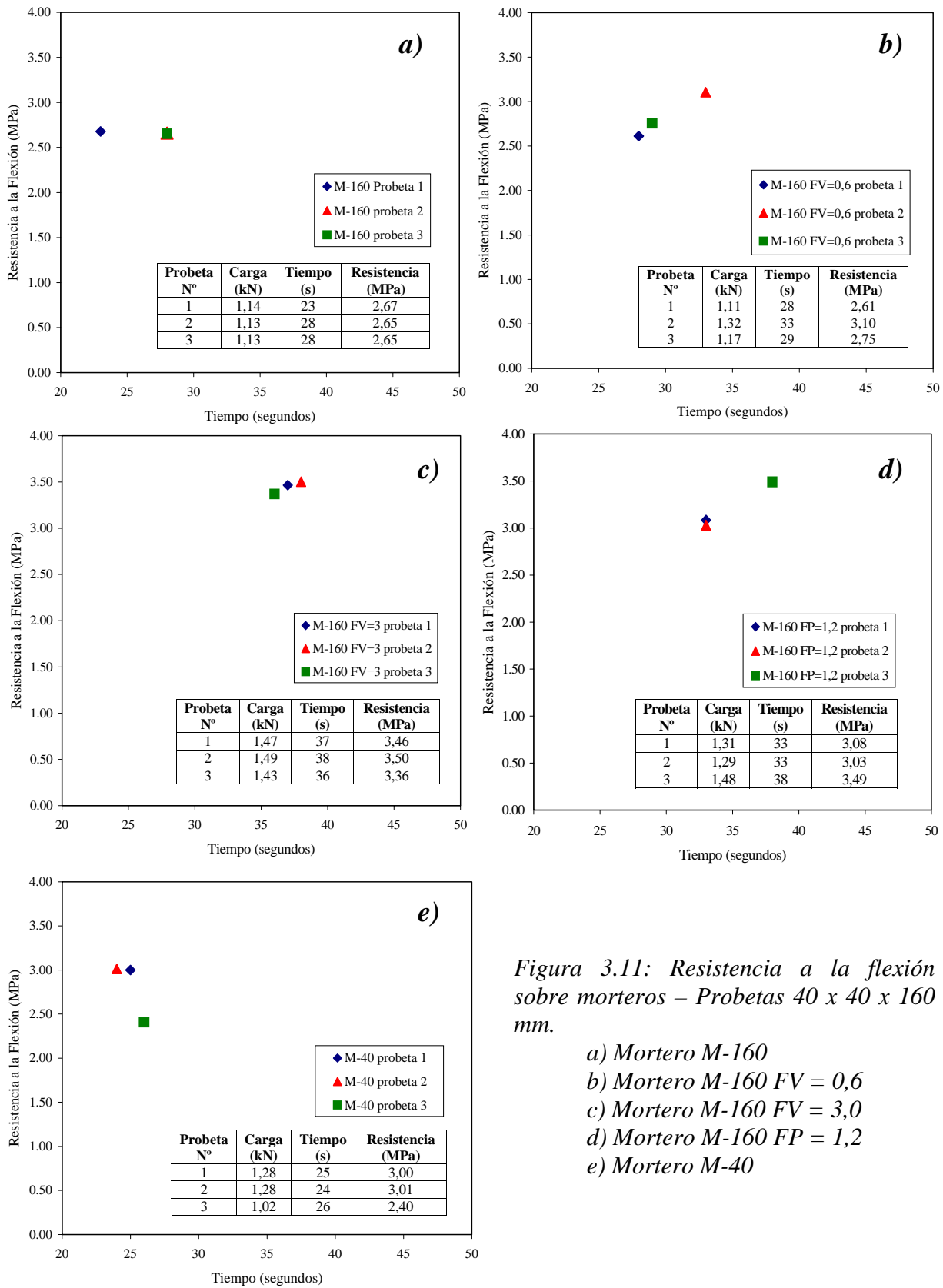


Figura 3.11: Resistencia a la flexión sobre morteros – Probetas 40 x 40 x 160 mm.

- a) Mortero M-160
- b) Mortero M-160 FV = 0,6
- c) Mortero M-160 FV = 3,0
- d) Mortero M-160 FP = 1,2
- e) Mortero M-40

- **Resistencia a compresión probetas de mortero**

En la tabla 3.6 se muestran los resultados de la carga máxima (kN) obtenidos en el ensayo a compresión sobre probetas de mortero, correspondientes a la media de los valores obtenidos. Igualmente la citada tabla muestra la resistencia obtenida (MPa) de acuerdo a la formulación dada por la norma UNE-EN 1015-11:2000 para morteros, estos resultados se muestran gráficamente en la figura 3.12.

Los resultados obtenidos de cada una de las probetas ensayadas se muestran con posterioridad en la figura 3.13.

Mortero	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
M - 40	8,18	5,11
M -160	13,19	8,24
M -160, FV = 0,6	14,42	9,01
M -160, FV = 3,0	14,59	9,12
M -160, FP = 1,2	13,64	8,51

Tabla 3.6: Valores medios de los ensayos a compresión - 1ª fase

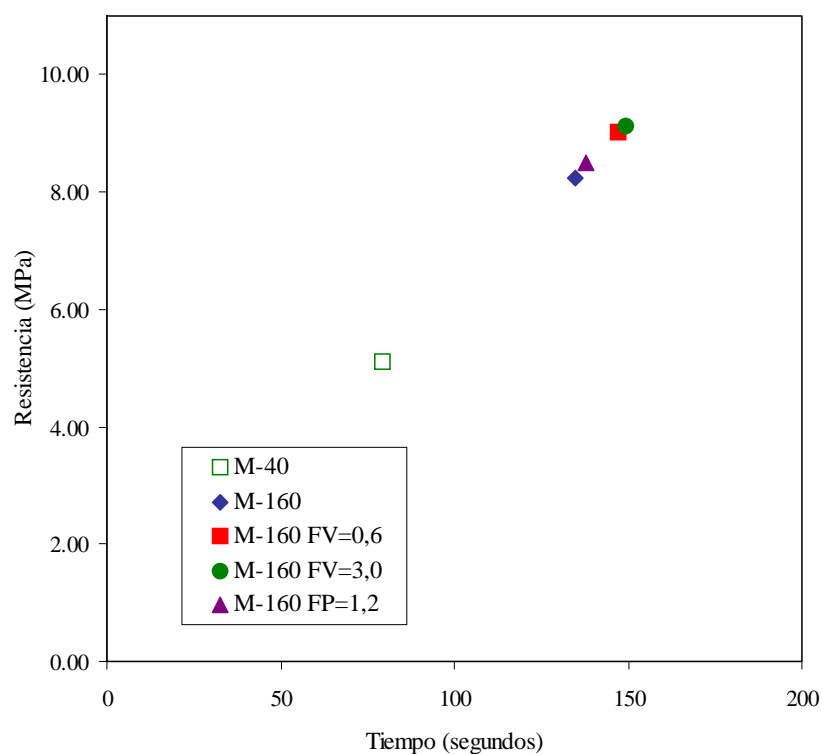


Figura 3.12: Resistencia promedio – Ensayo a compresión 1ª fase

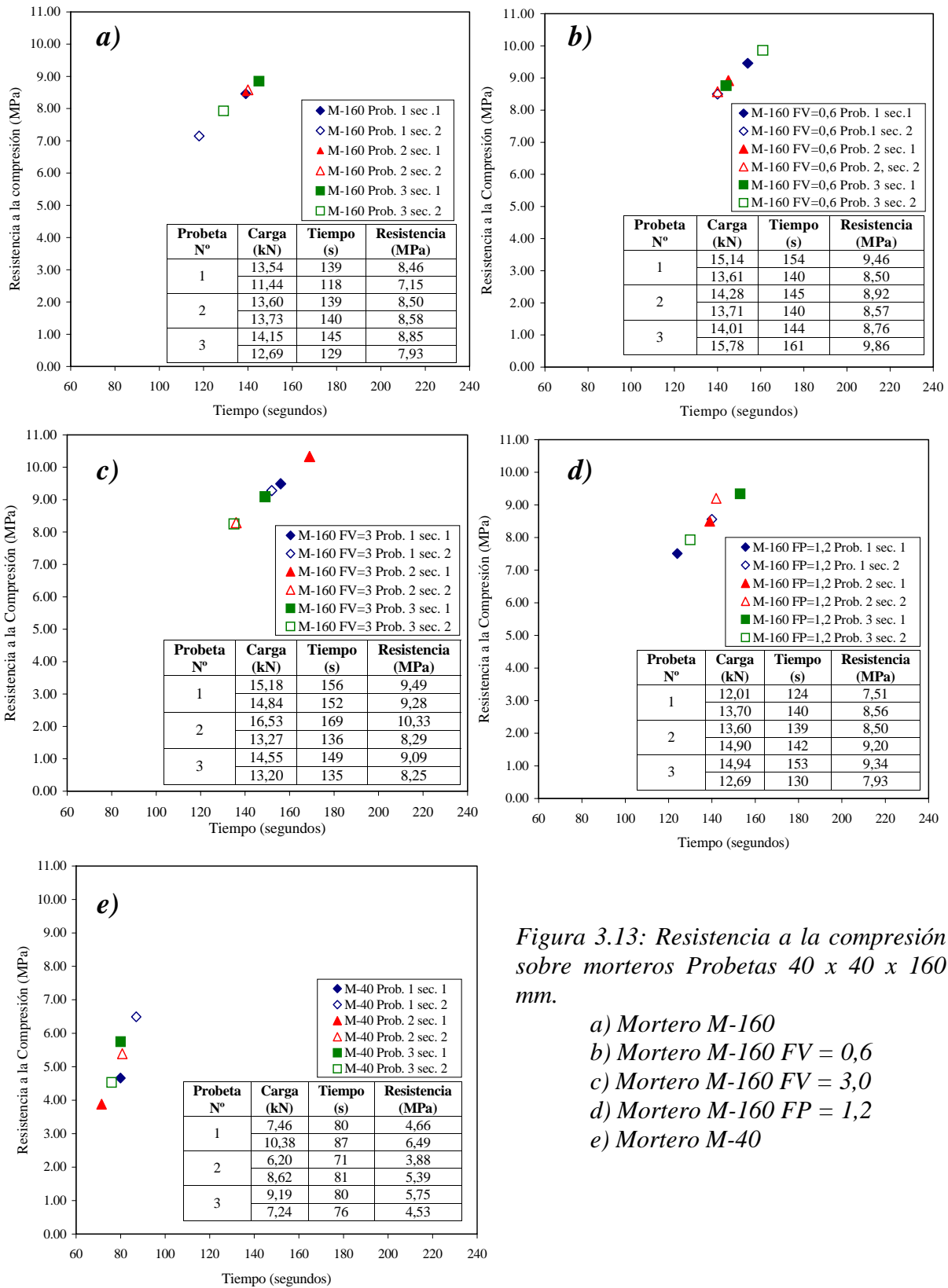


Figura 3.13: Resistencia a la compresión sobre morteros Probetas 40 x 40 x 160 mm.

- a) Mortero M-160
- b) Mortero M-160 FV = 0,6
- c) Mortero M-160 FV = 3,0
- d) Mortero M-160 FP = 1,2
- e) Mortero M-40

De los resultados presentados, se observa que la resistencia a compresión aumenta ligeramente a medida que se incorpora la fibra, aumentando el tiempo necesario para alcanzar la rotura (tabla 3.6). En este caso el efecto es más manifiesto para la fibra de vidrio que para la fibra de poliéster.

Otro aspecto importante, es que los resultados promedios de la resistencia a compresión no presentan mayor diferencia entre ellos (figura 3.12), excepto como es lógico para la serie correspondiente al mortero M-40 (mortero de revestimiento). También es notorio que los resultados obtenidos no reflejan la nomenclatura de los morteros utilizados, así en la serie de morteros M-160, los resultados corresponden más a un mortero tipo M-80.

- **Deformación por retracción probetas de mortero**

En la tabla 3.8 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de retracción, mientras que en la figura 3.14 se presentan los mismos de forma grafica, estos resultados corresponden a **la deformación media** de las tres probetas ensayadas por cada mortero.

Edad fabricación (días)	Deformación (en mm/m)				
	M-40	M-160	M-160 FV = 0,6	M-160 FV = 3,0	M-160 FP = 1,2
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,062	0,135	0,172	0,198	0,188
5	0,401	0,510	0,516	0,552	0,547
7	0,448	0,568	0,547	0,578	0,594
14	0,484	0,604	0,578	0,620	0,641
21	0,505	0,646	0,641	0,661	0,703
28	0,536	0,656	0,651	0,682	0,714
56	0,547	0,677	0,682	0,682	0,734

Tabla 3.7: Deformación media obtenida en ensayos de retracción sobre probetas de mortero

Del conjunto de los resultados tanto en la tabla como en la figura citadas, puede verse, como era de esperar, que las probetas que tienen menor retracción son las correspondientes al mortero M-40, al tener previsiblemente menor cantidad de conglomerante.

Por otro lado, los resultados del resto de las probetas no muestran unas diferencias muy significativas, ello implica que las fibras, tanto de vidrio como de poliéster, tiene poca influencia en la reducción de la retracción (en el entorno del 10%), ello no quiere decir que no contribuyan a disminuir la fisuración, ya que como es bien sabido las fibras contribuyen a reducir este efecto.

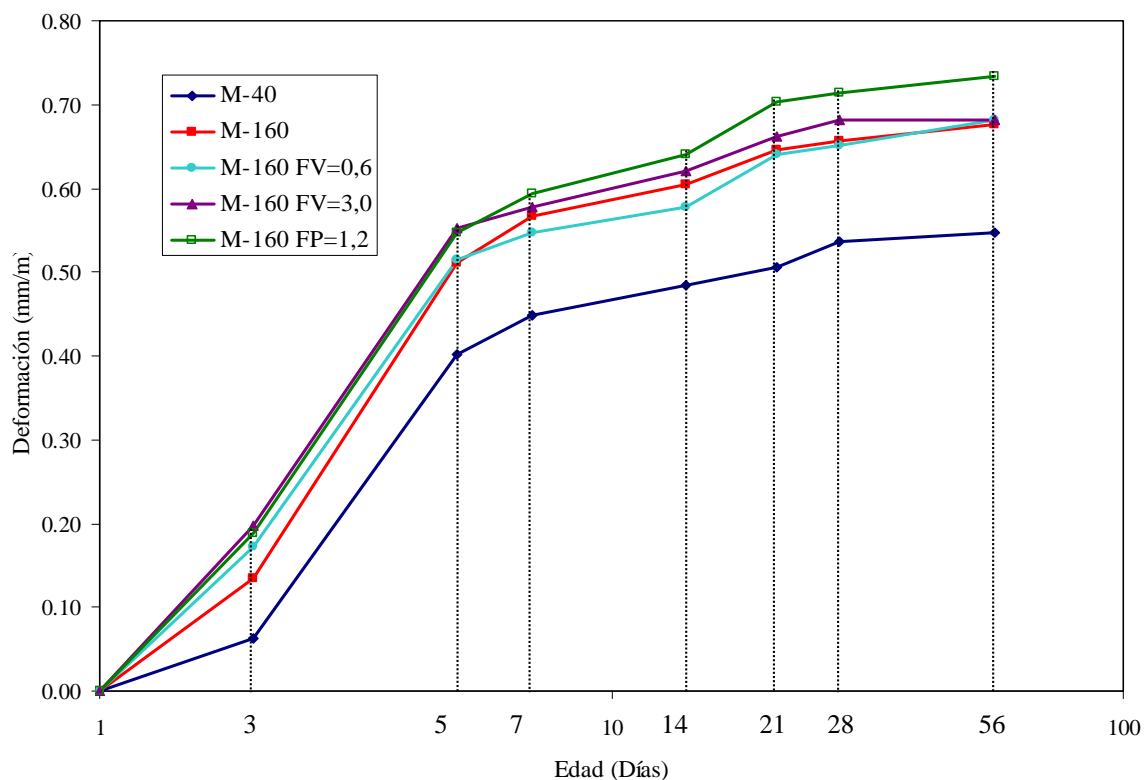


Figura 3.14: Evolución temporal de las deformaciones por retracción para los diferentes morteros 1ª fase

En esta serie de ensayos, también se midió la **pérdida de peso** en el transcurso del tiempo. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.8 y de forma gráfica en la figura 3.15. En ellas puede verse, que para la edad en la que se mantuvieron las mediciones, se alcanzó una estabilidad de peso en todos los casos.

Edad fabricación (días)	Variación del peso (en %)				
	M-160	M-160 FV = 0,6	M-160 FV = 3,0	M-160 FP = 1,2	M-40
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	5,2	4,3	3,7	4,2	6,9
5	6,8	5,9	5,1	5,9	10,2
7	6,9	6,0	5,1	6,0	10,3
14	7,1	6,2	5,3	6,1	10,4
21	7,1	6,2	5,3	6,1	10,4
28	7,1	6,2	5,3	6,1	10,4
56	7,1	6,2	5,3	6,1	10,4

Tabla 3.8: Media de la variación del peso, obtenido en ensayos de retracción 1ª fase



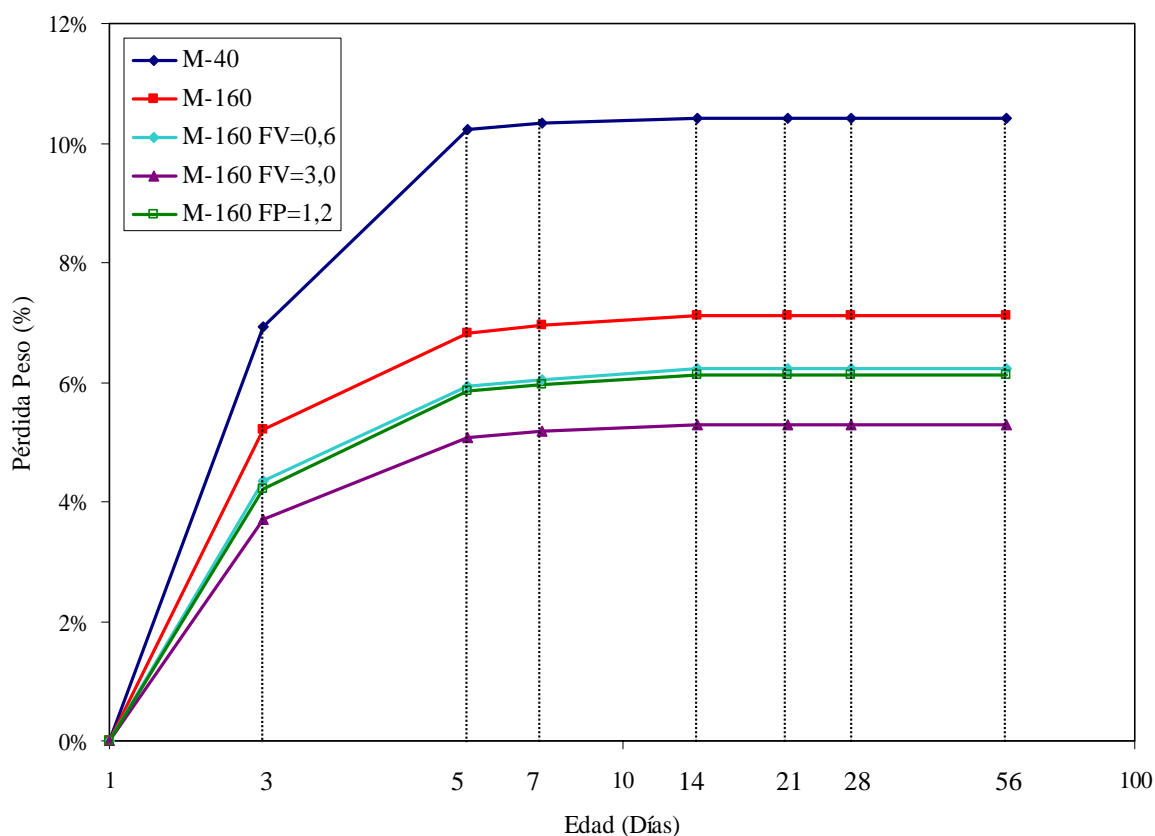


Figura 3.15: Evolución temporal de la pérdida de peso para los morteros 1ª fase

De los morteros estudiados, el mortero M-40 es el que tiene mayor pérdida de peso (en el entorno del 10,4 %), como era de esperar, ya que debe presentar mayor cantidad de poros, en base a la resistencia obtenida en el mismo. En esta serie de ensayos, los morteros M-160 con fibras conducen a una pérdida de peso algo menor que el mortero M-160 de referencia. Para la serie de fibras de vidrio, la menor pérdida de peso se produce para la pasta de mortero con mayor porcentaje de fibras (FV = 3,0)

Ahora bien, existe una diferencia del comportamiento de las probetas en cuanto a la retracción y a la pérdida de peso respecto a la edad, si se realiza una comparación (figuras 3.14 y 3.15), se observa una estabilización del peso a una edad temprana, 5 días de elaboración, sin embargo para esta misma edad continua en ascenso la deformación por retracción. En el caso del mortero M-40, esto puede deberse a la cantidad de conglomerante existente en el material, la variación entre los 28 y los 56 días no es muy grande en la deformación, pudiendo existir en este caso una estabilización a esta edad (56 días).

La fibra de vidrio en su mayor proporción (3,0 kg/m<sup>3</sup>) tiene un comportamiento parecido, en este caso según los resultados obtenidos contribuye a evitar que se produzcan mayores deformaciones del material, mostrando una estabilidad a los 28 días. En las demás mezclas de mortero se sigue presentando un ascenso de la deformación con respecto a la edad, cabe aclarar que en determinado caso, ésta no es muy representativa, ya que las diferencias presentadas son relativamente pequeñas.

En las tablas 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13 se muestran los resultados obtenidos para cada una de las probetas de mortero, sobre las cuales se midió la variación de la deformación (retracción) y la pérdida de peso, respecto a la edad.

Probeta	Fecha		01-08-02	02-08-02	05-08-02	07-08-02	14-08-02	21-08-02	28-08-02	25-09-02
	Edad fabricación (días)		1	2	5	7	14	21	28	56
M40a	Retracción	Valor medio (mm)	5,423	5,413	5,360	5,350	5,348	5,345	5,340	5,340
		Def. (mm/m)	0,000	0,062	0,391	0,453	0,469	0,484	0,516	0,516
	Peso	Lectura (gr)	480,5	445,0	431,5	431,0	431,0	431,0	431,0	431,0
		Variación %	0,000	7,4%	10,2%	10,3%	10,3%	10,3%	10,3%	10,3%
M40b	Retracción	Valor medio (mm)	5,180	5,170	5,115	5,108	5,100	5,095	5,090	5,090
		Def. (mm/m)	0,000	0,062	0,406	0,453	0,500	0,531	0,562	0,562
	Peso	Lectura (gr)	477,5	445,5	428,0	427,5	427,0	427,0	427,0	427,0
		Variación %	0,000	6,7%	10,4%	10,5%	10,6%	10,6%	10,6%	10,6%
M40c	Retracción	Valor medio (mm)	4,850	4,840	4,785	4,780	4,773	4,770	4,765	4,760
		Def. (mm/m)	0,000	0,062	0,406	0,437	0,484	0,500	0,531	0,562
	Peso	Lectura (gr)	477,5	445,5	429,0	428,5	428,0	428,0	428,0	428,0
		Variación %	0,000	6,7%	10,2%	10,3%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%
<b>RETRACCIÓN MEDIA (mm)</b>			<b>0,000</b>	<b>0,062</b>	<b>0,401</b>	<b>0,448</b>	<b>0,484</b>	<b>0,505</b>	<b>0,536</b>	<b>0,547</b>
<b>VARIACIÓN PESO MEDIA</b>			<b>0,000</b>	<b>6,9%</b>	<b>10,2%</b>	<b>10,3%</b>	<b>10,4%</b>	<b>10,4%</b>	<b>10,4%</b>	<b>10,4%</b>

Tabla 3.9: Ensayo retracción – Mortero M-40 – 1ª fase

Probeta	Fecha		01-08-02	02-08-02	05-08-02	07-08-02	14-08-02	21-08-02	28-08-02	25-09-02
	Edad fabricación (días)		1	2	5	7	14	21	28	56
M160a	Retracción	Valor medio (mm)	5,158	5,133	5,073	5,065	5,060	5,050	5,050	5,050
		Def. (mm/m)	0,000	0,156	0,531	0,578	0,609	0,672	0,672	0,672
	Peso	Lectura (gr)	488,0	462,5	454,5	453,5	453,0	453,0	453,0	453,0
		Variación %	0,000	5,2%	6,9%	7,1%	7,2%	7,2%	7,2%	7,2%
M160b	Retracción	Valor medio (mm)	5,098	5,080	5,018	5,008	5,000	4,995	4,995	4,990
		Def. (mm/m)	0,000	0,109	0,500	0,562	0,609	0,641	0,641	0,672
	Peso	Lectura (gr)	487,5	463,0	454,5	454,0	453,0	453,0	453,0	453,0
		Variación %	0,000	5,0%	6,8%	6,9%	7,1%	7,1%	7,1%	7,1%
M160c	Retracción	Valor medio (mm)	5,070	5,048	4,990	4,980	4,975	4,970	4,965	4,960
		Def. (mm/m)	0,000	0,141	0,500	0,562	0,594	0,625	0,656	0,688
	Peso	Lectura (gr)	485,5	459,5	452,5	452,0	451,0	451,0	451,0	451,0
		Variación %	0,000	5,4%	6,8%	6,9%	7,1%	7,1%	7,1%	7,1%
<b>RETRACCIÓN MEDIA (mm)</b>			<b>0,000</b>	<b>0,135</b>	<b>0,510</b>	<b>0,568</b>	<b>0,604</b>	<b>0,646</b>	<b>0,656</b>	<b>0,677</b>
<b>VARIACIÓN PESO MEDIA</b>			<b>0,000</b>	<b>5,2%</b>	<b>6,8%</b>	<b>6,9%</b>	<b>7,1%</b>	<b>7,1%</b>	<b>7,1%</b>	<b>7,1%</b>

Tabla 3.10: Ensayo retracción - Mortero M-160 - 1ª fase

Probeta	Fecha		01-08-02	02-08-02	05-08-02	07-08-02	14-08-02	21-08-02	28-08-02	25-09-02
	Edad fabricación (días)		1	2	5	7	14	21	28	56
MI60-FV 0,6 a	Retracción	Valor medio (mm)	4,910	4,880	4,830	4,825	4,820	4,810	4,805	4,800
		Def. (mm/m)	0,000	0,188	0,500	0,531	0,562	0,625	0,656	0,688
	Peso	Lectura (gr)	462,0	443,0	435,5	435,0	434,5	434,5	434,5	434,5
		Variación %	0,000	4,1%	5,7%	5,8%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%
MI60-FV 0,6 b	Retracción	Valor medio (mm)	4,905	4,875	4,820	4,815	4,810	4,800	4,800	4,795
		Def. (mm/m)	0,000	0,188	0,531	0,562	0,594	0,656	0,656	0,688
	Peso	Lectura (gr)	460,5	440,5	432,5	432,0	431,0	431,0	431,0	431,0
		Variación %	0,000	4,3%	6,1%	6,2%	6,4%	6,4%	6,4%	6,4%
MI60-FV 0,6 c	Retracción	Valor medio (mm)	4,863	4,840	4,780	4,775	4,770	4,760	4,760	4,755
		Def. (mm/m)	0,000	0,141	0,516	0,547	0,578	0,641	0,641	0,672
	Peso	Lectura (gr)	461,0	440,0	433,5	433,0	432,0	432,0	432,0	432,0
		Variación %	0,000	4,6%	6,0%	6,1%	6,3%	6,3%	6,3%	6,3%
<b>RETRACCIÓN MEDIA (mm)</b>			<b>0,000</b>	<b>0,172</b>	<b>0,516</b>	<b>0,547</b>	<b>0,578</b>	<b>0,641</b>	<b>0,651</b>	<b>0,682</b>
<b>VARIACIÓN PESO MEDIA</b>			<b>0,000</b>	<b>4,3%</b>	<b>5,9%</b>	<b>6,0%</b>	<b>6,2%</b>	<b>6,2%</b>	<b>6,2%</b>	<b>6,2%</b>

Tabla 3.11: Ensayo retracción - Mortero M-160 FV=0,6 - 1ª fase

Probeta	Fecha		01-08-02	02-08-02	05-08-02	07-08-02	14-08-02	21-08-02	28-08-02	25-09-02
	Edad fabricación (días)		1	2	5	7	14	21	28	56
MI60-FV 3 a	Retracción	Valor medio (mm)	5,378	5,345	5,290	5,285	5,280	5,275	5,270	5,270
		Def. (mm/m)	0,000	0,203	0,547	0,578	0,609	0,641	0,672	0,672
	Peso	Lectura (gr)	463,0	445,5	439,0	438,5	438,0	438,0	438,0	438,0
		Variación %	0,000	3,8%	5,2%	5,3%	5,4%	5,4%	5,4%	5,4%
MI60-FV 3 b	Retracción	Valor medio (mm)	5,250	5,220	5,160	5,155	5,150	5,140	5,140	5,140
		Def. (mm/m)	0,000	0,188	0,562	0,594	0,625	0,688	0,688	0,688
	Peso	Lectura (gr)	458,0	441,0	434,5	434,0	433,5	433,5	433,5	433,5
		Variación %	0,000	3,7%	5,1%	5,2%	5,3%	5,3%	5,3%	5,3%
MI60-FV 3 c	Retracción	Valor medio (mm)	5,230	5,198	5,143	5,140	5,130	5,125	5,120	5,120
		Def. (mm/m)	0,000	0,203	0,547	0,563	0,625	0,656	0,688	0,688
	Peso	Lectura (gr)	456,5	440,0	434,0	433,5	433,0	433,0	433,0	433,0
		Variación %	0,000	3,6%	4,9%	5,0%	5,1%	5,1%	5,1%	5,1%
<b>RETRACCIÓN MEDIA (mm)</b>			<b>0,000</b>	<b>0,198</b>	<b>0,552</b>	<b>0,578</b>	<b>0,620</b>	<b>0,661</b>	<b>0,682</b>	<b>0,682</b>
<b>VARIACIÓN PESO MEDIA</b>			<b>0,000</b>	<b>3,7%</b>	<b>5,1%</b>	<b>5,2%</b>	<b>5,3%</b>	<b>5,3%</b>	<b>5,3%</b>	<b>5,3%</b>

Tabla 3.12: Ensayo retracción - Mortero M-160 FV=3,0 - 1ª fase

Probeta	Fecha		01-08-02	02-08-02	05-08-02	07-08-02	14-08-02	21-08-02	28-08-02	25-09-02
	Edad fabricación (días)		1	2	5	7	14	21	28	56
MI60-FP 1,2 a	Retracción	Valor medio (mm)	4,613	4,583	4,525	4,520	4,510	4,500	4,500	4,495
		Def. (mm/m)	0,000	0,188	0,547	0,578	0,641	0,703	0,703	0,734
	Peso	Lectura (gr)	456,0	436,0	428,5	428,0	427,5	427,5	427,5	427,5
		Variación %	0,000	4,4%	6,0%	6,1%	6,3%	6,3%	6,3%	6,3%
MI60-FP 1,2 b	Retracción	Valor medio (mm)	4,690	4,660	4,600	4,593	4,585	4,575	4,570	4,570
		Def. (mm/m)	0,000	0,188	0,563	0,609	0,656	0,719	0,750	0,750
	Peso	Lectura (gr)	454,5	436,0	429,0	428,5	427,5	427,5	427,5	427,5
		Variación %	0,000	4,1%	5,6%	5,7%	5,9%	5,9%	5,9%	5,9%
MI60-FP 1,2 c	Retracción	Valor medio (mm)	4,875	4,845	4,790	4,780	4,775	4,765	4,765	4,760
		Def. (mm/m)	0,000	0,188	0,531	0,594	0,625	0,688	0,688	0,719
	Peso	Lectura (gr)	456,5	437,5	429,5	429,0	428,5	428,5	428,5	428,5
		Variación %	0,000	4,2%	5,9%	6,0%	6,1%	6,1%	6,1%	6,1%
<b>RETRACCIÓN MEDIA (mm)</b>			<b>0,000</b>	<b>0,188</b>	<b>0,547</b>	<b>0,594</b>	<b>0,641</b>	<b>0,703</b>	<b>0,714</b>	<b>0,734</b>
<b>VARIACIÓN PESO MEDIA</b>			<b>0,000</b>	<b>4,2%</b>	<b>5,9%</b>	<b>6,0%</b>	<b>6,1%</b>	<b>6,1%</b>	<b>6,1%</b>	<b>6,1%</b>

Tabla 3.13: Ensayo retracción - Mortero M-160 FP=1,2 - 1ª fase

### 3.4. 2ª FASE DE ENSAYOS

#### 3.4.1. Características de los materiales utilizados

Para esta 2ª fase de ensayos, se utilizaron 3 tipos de mortero. El primero de ellos es el mismo mortero usado en la 1ª fase, si bien con la intención de comparar los resultados y con el fin de buscar un mejor comportamiento de los mismos. Luego, los dos morteros restantes se utilizaron buscando abrir un abanico más amplio de posibilidades frente a la utilización de materiales de mayor resistencia aplicables al panel.

El mortero M-160a fue suministrado por la casa comercial Texsa Lafarge y el mortero M-160b por Cemex, en sacos de 30 kg. Ambos morteros tienen una resistencia nominal de 16 MPa y son de tipo tixotrópico, lo que le proporciona una mayor facilidad en el momento de la proyección. La nomenclatura utilizada para estos morteros se muestra anteriormente en la tabla 3.1.

#### 3.4.2. Preparación de las probetas de mortero

Las probetas de mortero se realizaron bajo el mismo procedimiento descrito en la 1ª fase, según lo dispuesto en la norma UNE 80-101-88. Estos ensayos se realizaron en el Consorci Lleidatà de Control en la ciudad de Lleida.

### 3.4.3. Resultados obtenidos y análisis (2ª fase)

Los resultados obtenidos para los morteros descritos en el apartado 3.1 utilizados en esta 2ª fase de ensayos se muestran en la tabla 3.14. Los ensayos a flexión y compresión fueron efectuados sobre probetas prismáticas según lo expuesto en la norma UNE-EN 1015-11:200.

Mortero		Ensayo Flexión (MPa)	Ensayo Compresión (MPa)
Ben Sec	M-80	1,30	3,90
Texsa –Lafarge	M-160a	7,60	39,60
Cemex Ibersec	M-160b	6,50	17,15

Tabla 3.14: Resultados obtenidos ensayos flexión y compresión sobre morteros – 2ª fase

Con los resultados anteriores se puede observar, como la **resistencia a la flexión** en el mortero M-80 es significativamente menor que la de los demás morteros. Por otra parte existe muy poca diferencia en los resultados de los morteros M160a y M-160b.

En los resultados para el ensayo de **resistencia a la compresión**, el mortero M-80 presenta un comportamiento de un mortero con resistencia 4 MPa, lo cual no concuerda con la resistencia especificada por el fabricante. Esto se presentó en la 1ª fase, donde la resistencia a la compresión para este mortero era prácticamente la mitad de su resistencia nominal.

Para el mortero M-160b se obtiene una resistencia de 17,15 MPa, esta resistencia es congruente con la resistencia nominal del material, estando un poco por encima de ésta. Sin embargo para el mortero M-160a, se supera casi en el doble dicha resistencia ocurriendo lo contrario del mortero M-80, este mortero tiene un comportamiento de un M-350 más no de un M-160.

## 3.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados anteriormente obtenidos se puede concluir:

- Los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión en los morteros estudiados en la 1ª fase muestran un mejor comportamiento para el mortero M-160 con fibra de vidrio 3 kg/m<sup>3</sup> (M-160, FV=3,0). Asimismo este mortero alcanza los valores más elevados de la resistencia a compresión, no siendo muy diferentes con respecto al mortero M-160, sin la adición de ningún tipo de fibras. Cabe anotar que la resistencia de dichos morteros es prácticamente la mitad de la resistencia nominal (16 MPa).
- Por otra parte, en los morteros ensayados para la 2ª fase, el mortero M-80, volvió a presentar el mismo fenómeno que en la 1ª fase, la resistencia obtenida es la mitad de la nominal. El mortero M-160a tiene una resistencia a la compresión mucho más

alta a la especificada por el fabricante, prácticamente el doble y la obtenida para el mortero M-160b, es una resistencia intermedia y lógica respecto a las condiciones del material.

- Con lo anterior se puede concluir que el mortero que mejores condiciones aporta al panel, es un mortero con una resistencia nominal de 16 MPa, ya que éste actuando en conjunto con el panel (EPS + malla) es la parte resistente del elemento, lo que haría posible un mejor comportamiento del panel sometido a compresión.
- Los morteros de la 2ª fase al ser de tipo tixotrópico, ayudarían a alcanzar los espesores de capas de mortero en una sola aplicación, esto puede ser favorable ya que se evitarían uniones entre capas.
- La adición de fibras en cualquier caso ayudarían a evitar la fisuración del mortero colocado, éstas favorecen a una menor pérdida de peso y a una menor deformación del material.