

NUEVAS APLICACIONES DEL CORCHO EN EL CAMPO DE LA EDIFICACIÓN

Mercedes del Río Merino. Catedrática de construcciones Arquitectónicas E.U. Arquitectura Técnica.
Dpto. de Construcciones Arquitectónicas y su Control. Avda. Juan de Herrera nº 6. 28040 Madrid. España.
Tfno: 34 1 3367646. Fax: 34 1 336.76.34 E-mail: rio.merino@euatm.upm.es

1. INTRODUCCION.

Los trabajos y resultados de investigación que se presentan en esta ponencia son fruto de años de investigación de un equipo de profesores de la Universidad Politécnica de Madrid, en concreto de las Escuelas de Arquitectura Técnica y Arquitectura (Mercedes del Río Merino; Francisco Hernández Olivares y Jaime Santa Cruz Astorqui).

Estos trabajos se financiaron con fondos de la Universidad Politécnica de Madrid y a través de un Proyecto CRAFT en el que participo la empresa APLICORK y el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento y para su desarrollo, se contó con la colaboración de empresas del sector de la construcción como Iberplaco S.A. y con el laboratorio del corcho, la madera y el carbón (IPROCOR) de Mérida.

1.1. Objetivos:

Esta investigación se enmarca dentro de un Proyecto más amplio, cuyo objetivo fundamental era la búsqueda de nuevas aplicaciones del corcho, principalmente de los desechos generados por su industria, en el campo de la construcción de edificios. Por ello el proyecto de partida persigue el estudio de nuevos materiales compuestos a base de desechos de corcho y los conglomerantes utilizados más frecuentemente en la construcción de edificios: hormigón; mortero y yeso/escayola.

Otros objetivos que se pretendían conseguir fueron:

- a) Favorecer diversas operaciones culturales que se realizan sobre la masa alcornocal y en su entorno como: la ordenación del monte; la conservación del suelo; la limpieza del matorral; realizar entresacas y podas tanto de formación como de conservación o equilibrio, para mejorar el aprovechamiento de los alcornocales y evitar la formación y propagación de incendios.
- b) Fomentar la creación de pequeñas industrias o talleres, que produzcan y/o monten los nuevos productos, paliando en parte el desempleo existente en las comunidades en donde la superficie dedicada al alcornocal es importante.
- c) Aprovechar las buenas propiedades físicas y químicas del corcho.

El estudio de los aglomerados de corcho con conglomerantes en base cemento lo acometió el Instituto Eduardo Torroja. Resultado de estos trabajos fue la definición de un elemento prefabricado para pantallas acústicas.

El estudio de la compatibilidad entre el yeso y el corcho se realizó en las Escuelas de Arquitectura y Arquitectura Técnica de la U.P.M.

En esta presentación se resumen los trabajos realizados en esta segunda línea, por tanto en el estudio de un material compuesto de yeso y corcho (yeso-corcho) y sus posibles aplicaciones en el campo de la edificación.

2. EL CORCHO

2.1. Propiedades del corcho:

El corcho es un producto natural, no contaminante, de combustibilidad difícil, estable a efectos dimensionales, imputrescible, buen aislante ante la electricidad, o resistente ante roedores e insectos, etc. Destaca además como la más importante de todas las propiedades del corcho el que cumple todas a la vez y sin detrimento de ninguna.

Dentro de estas propiedades destacaremos algunas que lo hacen adecuado como material de construcción:

2.1.1. **Propiedades físicas:**

El corcho posee unas propiedades físicas que son resultado directo de su estructura celular rellena de aire. Estas propiedades son:

Compresibilidad y resiliencia: estas dos propiedades lo han hecho indispensable en numerosas aplicaciones. Un trozo de corcho puede reducirse sometido a una presión y después de que esta presión se reduce o desaparece el corcho recupera en un 95% su tamaño original.

Impermeable al agua y a otros líquidos: tanto las celdas rellenas de aire como la resina que las une son impermeables al agua. Al tener una estructura no capilar la penetración a su través es prácticamente imposible, incluso es resistente al aceite.

Bajo peso específico: entre 0,20 y 0,25. La ligereza la debe a su estructura celular rellena de aire y a que el material que une las celdas es también muy ligero. La densidad del corcho varía con la naturaleza y edad del árbol. A igualdad de volumen, el corcho delgado o fino es más denso que el grueso o basto, por otra parte y dentro de una misma clase, la densidad aumenta con la edad.

Baja conductividad térmica: debido a que el aire que rellena las celdillas es un excelente aislante térmico, ya que retarda la transferencia de calor a bajas y moderadas temperaturas. Esta propiedad junto con la baja densidad y la resistencia a la presión supuso que el corcho fuera uno de los principales materiales aislantes térmicos hasta que aparecieron materiales aislantes más específicos como la fibra de vidrio, el poliestireno, etc, quedando muy relegado.

Absorción de vibraciones: la propiedad de resiliencia del corcho ha hecho de él una importante herramienta en el aislamiento acústico. Las celdas rellenas de aire del corcho reciben las vibraciones, las absorben y las reducen de forma que no son transmitidas a través del corcho.

Absorción acústica: se emplea como aislante contra el ruido y la absorción al ruido. Las celdas rotas de la cara exterior del corcho forman una superficie ideal para la absorción de ondas acústicas.

Alto coeficiente de fricción: cuando se corta una pieza de corcho se cortan las celdillas y cientos de microscópicas ventosas se forman en su superficie, formándose un vacío parcial cuando la superficie del corcho se presiona contra una superficie lisa. Este alto coeficiente de fricción que tiene el corcho lo hace imprescindible en aplicaciones donde se necesita un material cuya característica esencial es ser no resbaladizo.

2.1.2. Propiedades químicas:

Como propiedades químicas, destacar:

Estabilidad, ante exposiciones de 8-12 años al sol y a las condiciones climáticas que incluyen intervalos de temperaturas típicas de las zonas alcornocales (lluviosos inviernos y secos veranos con vientos fuertes).

Resistencia al deterioro: en árboles muertos 20 años sólo sobrevive el corcho en un estado excelente, de hecho no hay diferencia entre ese corcho que ha estado en la tierra 20 años y el corcho que se ha sacado de un árbol fuerte hace 1 año.

El corcho que se comercializa limpio no cambia de composición en contacto con el agua, aceites vegetales, animales o minerales, gasolina, gases como el dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno.

Resistente a los ácidos, sin embargo los álcalis fuertes y los halógenos deshacen las sustancias que ligan las celdillas y destrozan su estructura.

2.2. El corcho como material de construcción.

El corcho aplicado a la construcción se utilizaba ya con los árabes como aislamiento térmico de las viviendas. En Kabilia, aplicaban el corcho virgen a la construcción de sus casetas ó gurbis. Hacían paredes colocando tongadas alternas de piedra y pedazos de corcho bornizo del grueso de un ladrillo, uniéndose dichos materiales con tierra o arcilla amasada. En la cubierta se usaban las panas de bornizo y los desechos del segundero, constituyéndose así una techumbre ligera y de gran duración, por la incorruptibilidad del material empleado.

A finales del siglo XIX, John T. Smith consiguió que las clases inferiores de corcho que no son aptas para la obtención de manufacturas de corcho natural por simple talla, así como los desperdicios resultantes de tales manufacturas, se destinarán a la obtención de granulados, significando esto el aprovechamiento integral de todas las clases de corcho. Es por tanto a partir de este momento cuando empieza a manufacturarse como un producto específico para la construcción (para juntas, aislamiento acústico, suelos flotantes...). El granulado, por otra parte hace posible más adelante la industria del corcho aglomerado.

Los aglomerados han tenido un gran desarrollo por las posibilidades que tiene como material de revestimiento de suelos, paredes, techos y estructuras.

Dentro de los aglomerados distinguimos por sus aplicaciones: los aglomerados puros; los aglomerados compuestos y los regranulados.

Aglomerados puros: los aglomerados puros están constituidos por granos de corcho aglutinados por medio de la resina natural del corcho. El producto obtenido es de baja densidad, muy mal conductor del calor, absolutamente impermeable a la humedad, de gran ligereza, mal conductor del sonido, compacto, no alterable, poco dilatado por la acción calorífica e incombustible.

Sus aplicaciones en construcción son múltiples, sirve para recubrir los pisos, paredes, cielos rasos, etc...

Además los *aglomerados expandidos puros* son óptimos para su empleo en el campo del aislamiento térmico y acústico.

Para aislamiento de sonido aire-aire: en esta aplicación el corcho tiene el mejor comportamiento entre todos los aislantes térmicos de análogo coeficiente térmico, por ser el de mayor peso específico entre todos ellos. Aunque por su baja densidad no puede considerarse material aislante por sí sólo.

Para aislamiento de ruidos producidos por percusión, en donde por mor de su elasticidad, el corcho como tapete antivibrático, amortigua dichos ruidos. Sus aplicaciones en este campo son: sustrato de pavimentos flotantes, bancadas de máquinas, aislamiento de la energía transmitida a través de un elemento estructural cuando su origen es la percusión; y como juntas de discontinuidad cuyo fin es

integrarse en los elementos de la construcción, bien para reducir la transmisión de la energía sonora, según el efecto de la ley de masas o bien para evitar simplemente la unión o contacto entre materiales poco elásticos.

Para absorción acústica: con relación a la cual el comportamiento del aglomerado de corcho como material poroso es ampliamente reconocido. La curva de absorción acústica es muy amplia, para todas las frecuencias, fundamentalmente medias y altas. Es lógico que a medida que el peso específico disminuya esta aumente. El coeficiente de absorción acústica de paredes corrientes no suele alcanzar el 5% y estas mismas paredes revestidas con corcho de una pulgada de espesor puede superar el 45% en frecuencias bajas, valor relativamente alto, ya que difícilmente se consiguen superar valores del 60% salvo que se trate de materiales porosos especialmente tratados.

Es por ello que el aglomerado expandido puro presenta tres modalidades según la variación de su densidad y composición granulométrica, denominándose aglomerados térmicos; acústicos y vibráticos, según el aislamiento específico al que vayan a ir destinados.

Como aislamiento térmico se presenta industrialmente bajo dos formas geométricas: en placas y coquillas.

En cuanto a los *aglomerados puros no expandidos* es menor su poder aislante y su absorción acústica, pero superior su resistencia mecánica y su resistencia a la abrasión.

Además y puesto que este tipo de material se puede conseguir con varias tonalidades según el grado de cocción a que haya sido sometido en su fabricación, los recubrimientos pueden obtenerse con una variada combinación de tonos.

Agglomerados Compuestos: están constituidos por granos de corcho aglutinados por medio de una cola apropiada ajena al corcho, obteniéndose por lo general según proceso de cocción en moldes cúbicos o cilíndricos adecuados o bien de forma continua con temperatura suave, la conveniente para determinar el fraguado de la cola sin que el granulado de corcho sufra ninguna modificación. A. compuestos deben de considerarse también aquellos en los que además del corcho entren a formar parte de su constitución no sólo aglutinantes sino también distintos materiales como caucho, plástico...

Las aplicaciones son muchas destacando la de recubrimientos de paredes y suelos decorativos.

Regranulados: deben de considerarse como un subproducto, pues proceden de los aglomerados como desperdicio de los mismos, bien a resultar de su propio proceso de fabricación, como de aquellos bloques que han presentado alguna imperfección.

Los regranulados más importantes son los denominados negros, proceden de los aglomerados expandidos puros se emplean en el relleno de huecos irregulares como aislamiento térmico así como en aquellos lugares donde se desee un aislamiento térmico más barato.

2.2.1. Otros aglomerados:

Con la aparición de los aglomerados y ante la necesidad de buscar un material que fuera capaz de pegar los granos se utilizan por primera vez los conglomerantes lográndose productos muy resistentes pero demasiado pesados para emplearlos como aislantes y desechándose por tanto esta solución de material compuesto. Los conglomerantes utilizados fueron los de base cemento, en cambio no se han encontrado referencias bibliográficas sobre la utilización de granulados y polvo de corcho como adiciones y cargas de una matriz de yeso/escayola, para la obtención de materiales aplicados a la construcción de edificios. Tampoco hay constancia documental directa ni referencias indirectas de que hasta la fecha se hayan utilizado desechos de corcho para constituir un material compuesto con matriz de yeso/escayola para la obtención de materiales de construcción prefabricados o para aplicaciones por proyección.

3. PLAN DE ENSAYOS

3.1. Material utilizado:

3.1.1. Corcho:

De los diversos tipos de desechos de corcho proporcionados por los industriales, se opta por rechazar los de granulado y regranulado de corcho negro por ser un corcho caro y que tiende a desaparecer del mercado. Se utilizan, por tanto, para el desarrollo del proyecto:

BI. Bornizo de invierno crudo.

BRV. Bornizo de rama de la Sierra de San Pedro, finca Valderrey.

BRS. Bornizo de rama de procedencia Sierra Morena Occidental (llanuras pacenses), término municipal: Higuera de Vargas.

RP. Restos de poda.

Los criterios para la selección de los distintos tipos de desechos de corcho, fueron entre otros:

- 1) Determinar a través de diversas fuentes bibliográficas varias regiones con diferentes condiciones ecológicas, para obtener por tanto variación en el genotipo y fenotipo de la especie *Quercus Suber*.
- 2) La disponibilidad del producto. Los restos de poda, el bornizo de invierno y el de verano son estacionales, debiendo además competir con su utilización en la industria del aglomerado y del picón, carbón.
- 3) El coste de recogida y mantenimiento.

Las características de estos materiales son las siguientes:

Restos de poda y bornizo de invierno: ramas de menos de 7 cm. de diámetro de encina y alcornoque proveniente de la poda de estos.

R. de poda: Material pulverulento por estar compuesto de madera triturada (leñas de encina, ramas de alcornoque peladas). Se presentan granos y fibras en algunos casos de más de 12mm.

Caracterización física: densidad aparente entre 0,13 y 0,20 gr/cm³; porosidad del 60% y humedad muy variable entre el 25 y el 30%.

Bornizo de invierno: compuesto principalmente de material granular (80%), acompañado de material pulverulento (serrín de madera). El material granular está formado por granos de diámetro menores de 11,5 mm.

Caracterización física: densidad aparente entre 0,20 y 0,28 gr/cm³; porosidad del 85% y humedad muy variable entre el 15 y el 30%.

Bornizo de verano: resultado de la primera saca de corcho o de subir la altura de descorche y resto de zapatas y cuellos.

Material granular de menos de 11,5 mm.

Caracterización física: densidad aparente entre 0,10 y 0,135 gr/cm³; porosidad del 85% y humedad del 8 al 10%.

Caracterización química: pH=6,2; conductividad=0,25 ms/cm; contenido en cenizas=6,7%; contenido en materia orgánica oxidable= 31,3%; en cuanto a elementos minerales 0,25% de potasio, 0,6% de nitrógeno y 117 ppm de manganeso; contiene además ácidos fenólicos libres, como el ácido protocatético y el ácido gálico.

Preparación del granulado de corcho:

Una vez recogidas en campo, las muestras se almacenaron durante un periodo que osciló entre una semana y quince días a fin de conseguir una pérdida de humedad próxima al 12%. Luego se trituraron en un molino de martillos giratorios con una frecuencia de giro de 3.000 r.p.m., pasándose después por un tamiz de 12 mm de malla.

Las muestras así preparadas se almacenan en cajas y se conservan en una cámara climática en condiciones normales de temperatura y humedad (20° C y 65%), para que no pierdan la humedad del material de un 12%.

3.1.2. Yeso/Escayola:

Se ha utilizado escayola E-30 y E-35, cuyas características nominales son las siguientes:

E-30: Escayola constituida por sulfato de calcio semihidrato ($\text{SO}_4\text{Ca}1/2\text{H}_2\text{O}$), con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado, con una resistencia mínima a flexotracción de 30 Kp/cm². Se utiliza para la ejecución de elementos prefabricados para tabiques y techos.

E-35: Escayola especial constituida por sulfato de calcio semihidrato ($\text{SO}_4\text{Ca}1/2\text{H}_2\text{O}$), con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado, con mayor pureza que la E-30 y con una resistencia mínima a flexotracción de 35 Kp/cm². Se utiliza para la ejecución de elementos prefabricados para tabiques y techos y en la puesta en obra de estos.

La relación agua/yeso ó escayola utilizada ha sido del 0,8 y del 0,6 dependiendo de la cantidad de corcho añadido. Se seleccionan estas dos relaciones agua/yeso para escoger posteriormente una relación óptima a efectos de trabajabilidad y resultados.

3.2. Metodología seguida:

Primera fase: en primer lugar se realizan unas series de probetas de 4x4x16 (cm) según el Pliego de recepción de yesos (85), para determinar la compatibilidad del yeso y el corcho; el porcentaje máximo de corcho y agua a añadir atendiendo a la trabajabilidad de la pasta y a la resistencia mecánica del material.

En una segunda fase, se realizan nuevas probetas prismáticas de 4x4x16 (cm) para determinar la influencia de algunas variables, constatadas en la fase anterior, en la densidad y resistencia mecánica del material.

3.2.1. Primera fase:

Después de un tanteo inicial, se constata que la adición máxima de corcho (manteniendo una trabajabilidad adecuada) es del 20% de corcho sobre el peso del yeso. Por tanto, se realizan probetas prismáticas con un 20% de corcho y una relación de A/Y de 0,8 y de 0,6 y con Escayola E-30.

<i>Tipo de corcho</i>	<i>Relación A/Y</i>	
BI.	0,8	0,6
	BI.1	BI.4
	BI.2	BI.5
BRV.	BI.3	BI.6
	BRV.1	BRV.4
	BRV.2	BRV.5
	BRV.3	BRV.6

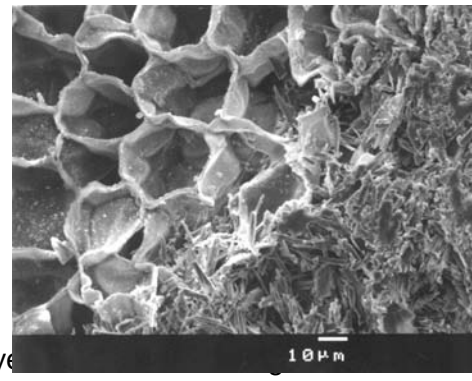
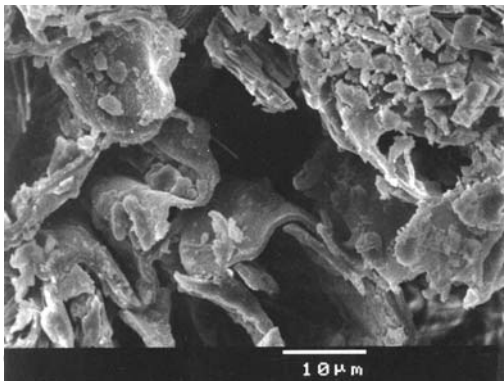
BRS.	BRS.1	BRS.4
	BRS.2	BRS.5
	BRS.3	BRS.6
RP.	RP.1	RP.4
	RP.2	RP.5
	RP.3	RP.6

Tabla 1. Denominación de las probetas de yeso-corcho

Se analiza la unión entre el yeso y el corcho, tras el fraguado del yeso, así como la relación agua-yeso y el tipo de corcho utilizado en relación a la densidad de los compuestos y la resistencia mecánica obtenida tras los ensayos realizados.

Unión yeso-corcho:

Hasta la realización de este trabajo de investigación, se dudaba, sin fundamento alguno, de la compatibilidad entre el corcho y el yeso fraguado. Desde el punto de vista del pH de ambos materiales, sin embargo, no tenía que haber dificultad alguna en suponer estabilidad en la zona de mezcla, ya que son similares. Para identificar el tipo de unión que se forma entre la matriz de yeso y los granulados de corcho se ha hecho un estudio de microscopía electrónica de barrido cuyos resultados más destacables se muestran a continuación.



- 1) Como era de esperar, la hidratación del yeso y la escayola da lugar al crecimiento de una microestructura acicular de comportamiento macroscópico expansivo. Las celdas del corcho absorben perfectamente esta expansividad y acomodan los productos de hidratación, proporcionando un producto final cohesionado en el que también se observa cómo los cristales aciculares de yeso dihidrato consiguen penetrar los poros y aberturas de corcho, proporcionando una unión mecánica, sin reacción química en la interfase, pero de gran estabilidad.
- 2) Esta microestructura anula, sin embargo, una de las características más destacables del corcho, esto es, su coeficiente de absorción acústica, al cerrar los poros abiertos, proporcionando un producto reflectante sonoro, que no obstante, puede fácilmente convertirse en absorbente diseñando convenientemente las placas de grandes dimensiones.

Ensayos realizados: resultados y conclusiones:

Ensayo de flexotracción: las probetas de yeso-corcho se ensayan, según el Pliego RY-85, hasta rotura a flexión en tres puntos, determinando la carga de rotura y en consecuencia, el módulo de rotura o resistencia a flexotracción (en MPa).

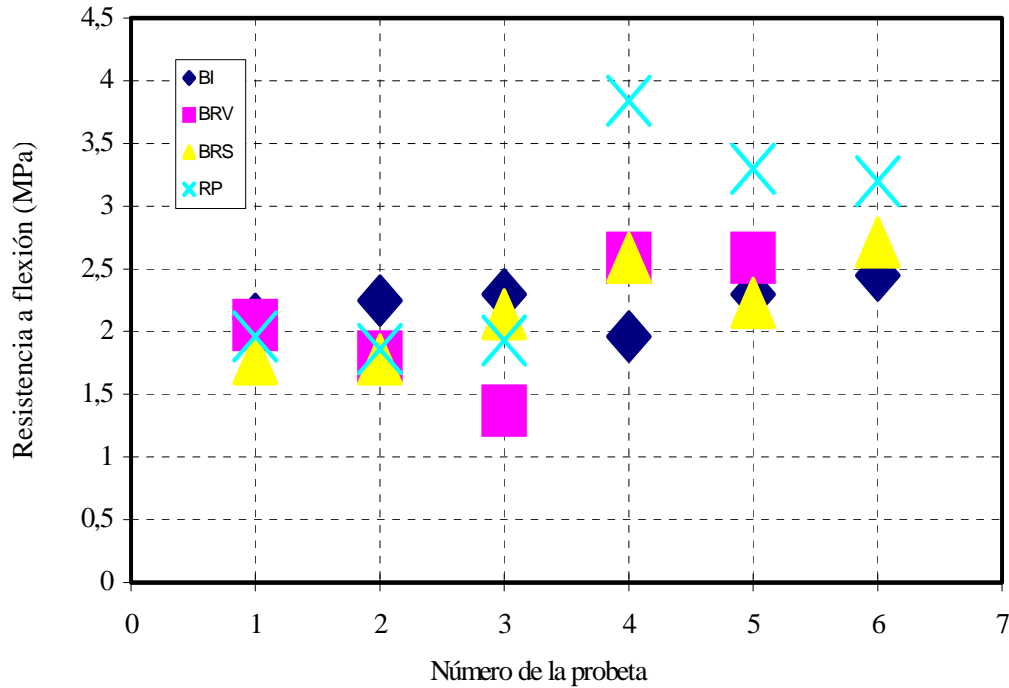


Figura 1. Resistencia a flexión de los productos de yeso-corcho contenidos en la tabla 1.

En la tabla 2, se recogen los resultados de los ensayos de la serie de probetas amasadas con una relación agua/yeso de 0,8 y Escayola E 30.

Resistencia a flexión (MPa)	BI	BRV	BRS	RP
1	2,10	2,05	1,78	1,96
2	2,25	1,80	1,78	1,86
3	2,30	1,37	2,14	1,93
MEDIA	2,21	1,93	1,90	1,91

Tabla 2. Relación A/Y=0,8. Ensayo de resistencia a flexión.

El ensayo de rotura a flexión se detiene cuando la probeta se fisura y se parte, aunque no completamente. La pérdida de resistencia mecánica indica que alcanza la carga de rotura. Sin embargo, la probeta no tiene una rotura frágil por separación de las dos partes en que queda dividida por la fractura, sino que los granos de corcho y los restos de poda, fibras vegetales, etc..., consiguen mantener la cohesión entre las dos superficies de fractura, como si de una acción de refuerzo se tratara.

Se destaca el mejor comportamiento mecánico de las probetas de yeso reforzado con bornizo de invierno, aunque la diferencia es pequeña y muy similar el comportamiento de todas las probetas.

El peso de las probetas a los siete días, oscila con la densidad del granulado de corcho utilizado, pero en general para todos, excepto para restos de poda, se obtiene una reducción del mismo frente a probetas realizadas sólo con escayola, de un 20%.

Resistencia a flexión (MPa)	BI	BRV	BRS	RP
4	1,96	2,59	2,59	3,84
5	2,30	2,59	2,23	3,30
6	2,45	--	2,71	3,20
MEDIA	2,23	2,59	2,50	3,45

Tabla 3. Relación A/Y = 0,6. Ensayos de resistencia a flexión.

La figura 1, representa los datos recogidos en las dos tablas anteriores (tablas 2 y 3). Como se aprecia claramente, existe una ligera variación en la resistencia a flexión entre el grupo de probetas amasadas con 0,6 de agua/yeso y el grupo amasado con 0,8 de agua/yeso. La mejor resistencia mecánica la obtienen las amasadas con menor cantidad de agua, en similares condiciones de conservación y dosificación de los materiales componentes.

En cuanto a los distintos tipos de granulados, destaca el mejor comportamiento a flexión de las probetas realizadas con restos de poda, frente a las otras que exhiben unas propiedades similares y poco diferenciadas, incluso de la relación A/Y. Sin embargo las probetas de RP, tienen el problema de su mayor peso frente a las demás por lo que las que globalmente muestran un comportamiento más aceptable son las de BI, esto es, las fabricadas con bornizo de invierno, aunque este corcho absorbe una mayor cantidad de agua de amasado y las probetas resultan con una porosidad mayor que las que se fabrican con otros productos y más difíciles de trabajar con una relación de A/Y de 0,6.

Ensayo de compresión: posteriormente al ensayo a flexión se ha realizado el ensayo a compresión con las mismas probetas, utilizando las mitades de las probetas prismáticas fracturadas como es usual y conforme a la norma de ensayos.

Las Tablas 4 y 5, recogen los resultados de los ensayos a compresión.

R. a compresión (MPa)	BI	BRV	BRS	RP
1	2,21	3,27	3,07	4,06
2	2,14	3,82	3,56	3,74
3	2,33	2,81	3,85	3,58
MEDIA	2,23	3,30	3,50	3,79

Tabla 4. Relación A/Y=0,8. Ensayos de resistencia a compresión.

R. a compresión (MPa)	BI	BRV	BRS	RP
4	2,33	5,12	4,31	6,60
5	2,38	4,93	3,98	6,51
6	2,32	--	4,24	6,63
MEDIA	2,34	5,03	4,18	6,58

Tabla 5. Relación A/Y = 0,6. Ensayos de resistencia a compresión.

Todas las probetas alcanzan la carga de rotura máxima cuando se rompen las caras laterales apareciendo fisuras y abombamiento en las mismas.

Con el bornizo de invierno al ser el compuesto de más cantidad de corcho, es también el más elástico, aplastándose y no produciéndose en la probeta ni desprendimientos ni fisuras apreciables.

Los datos de estas tablas se muestran gráficamente en la figura 2. Se observa una clara mejora en la resistencia a compresión cuando la relación A/Y se reduce a 0,6, pero sólo para las probetas fabricadas con restos de poda. Las otras mantienen prácticamente invariable esta propiedad.

Teniendo en cuenta también que el comportamiento de los distintos tipos de bornizos de rama es similar, se decide trabajar con un sólo bornizo de rama en los próximos ensayos.

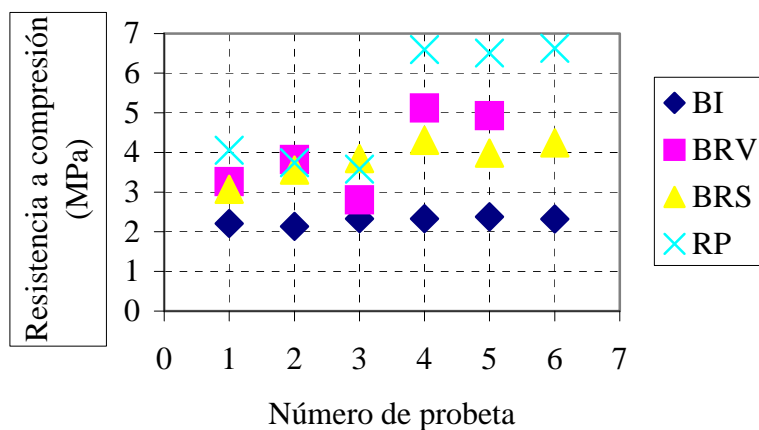


Figura 2. Representación gráfica de los datos de resistencia a compresión de las probetas de yeso-corcho

Como se desprende de los datos anteriores, la resistencia mecánica a flexión y compresión de estas probetas de yeso-corcho, en todas sus versiones, es inferior a la de productos similares sin adiciones de refuerzos y cargas fabricados con las mismas relaciones de agua/yeso. No obstante, se observa una mejora en la tenacidad de los productos obtenidos, ya que las roturas que se producen cuando se alcanzan las cargas últimas, aun siendo roturas frágiles por la matriz, no dan lugar a la separación brusca e instantánea en dos partes de la probeta ensayada, sino que tanto los granulados de corcho como los restos vegetales de los restos de poda, principalmente en forma de fibras cortas, mantienen cosidas las dos superficies de rotura, impidiendo el desprendimiento o colapso repentino.

3.2.2. Segunda fase:

A la vista de los resultados obtenidos en el apartado anterior, se opta por realizar nuevas series de probetas de yeso-corcho, controlando diversas variables que a nuestro modo de ver pueden contribuir a desarrollar un producto competitivo con los similares de yeso reforzado o cargado con otros materiales, o sin cargas ni refuerzos, pero en los que se consigan alcanzar o incluso mejorar las prestaciones mecánicas ofrecidas, pero aportando lo que parece ser el aspecto más interesante de los productos de yeso-corcho, esto es, la reducción del peso de los productos obtenidos, mientras se mantiene o mejoran las demás características, principalmente las mecánicas y también las térmicas, acústicas, seguridad frente al fuego y a impacto.

De acuerdo con esto, las variables analizadas que pueden contribuir a mejorar la resistencia mecánica son las siguientes:

1. Porcentaje de corcho.
2. Adición de fibras.
3. Disposición de las fibras de refuerzo en la probeta.
4. Adición de Fluidificantes (dispersiones poliméricas) a la mezcla.
5. Aplicación de presión durante el fraguado.
6. Control de la granulometría.
7. Tratamiento de los granos.

Estas variables se estudian mediante la confección de series de probetas prismáticas sobre las que se realizan ensayos de flexión y compresión. Las conclusiones de cada punto son:

Análisis del porcentaje de corcho.

Se realizan probetas con los dos tipos de corcho más diferentes: BI y RP. Disminuimos el porcentaje de corcho añadido al 10% y trabajamos con una relación A/Y=0,6, y una escayola E-30.

La disminución del porcentaje de corcho añadido a la mezcla, no supone una mejora considerable de las resistencias mecánicas del compuesto, pues basta una pequeña cantidad de corcho para que en la escayola se introduzca aire, disminuyendo la compacidad de la misma y por tanto su resistencia mecánica.

En la tabla 6 se muestran los resultados de los ensayos de rotura a flexión y a compresión de estas nuevas series de probetas. También se incluye el peso obtenido, que demuestra claramente la ventaja de estos productos de yeso-corcho (densidades entre 0,8 para el BI y 1,0 g/cm³ para los RP) frente a los convencionales de yeso o de escayola (densidades medias, para esta relación de amasado de 0,6 superiores a 1,2 g/cm³).

Probeta		R.flex.(MPa)	R.comp.(MPa)	peso 7 dias.(g)
BI.	7	2,175	5,1	210
	8	2,075	4,668	204
	9	2,125	--	208
	Media	2,125	4,884	207.3
RP.	7	3,375	8,175	276.6
	8	3,425	--	273.4
	Media	3,4	8,175	275

Tabla 6. Propiedades mecánicas de las nuevas series de probetas de yeso-corcho, con un porcentaje de corcho del 10%.

En las figuras 3 y 4 se recogen estos resultados representando gráficamente las resistencias a flexión y a compresión contenidas en la tabla anterior para estas dos proporciones de productos de corcho.

No se observa una influencia destacable de la proporción de corcho en las características mecánicas del compuesto, aunque los RP dan de nuevo mejores resultados que los de BI, en la resistencia a flexión. Sin embargo la resistencia a compresión si se ve modificada por estas variaciones, mejorando en un 50% cuando disminuye la proporción de corcho desde el 20% al 10%, como se observa claramente en la figura 4., con lo cual no se considera favorable para el producto final reducir el porcentaje de corcho pues esto además de no mejorar su comportamiento mecánico da lugar a un material compuesto de densidad semejante a la escayola, lo que no añadiría ninguna ventaja sobre prefabricados realizados solamente con esta.

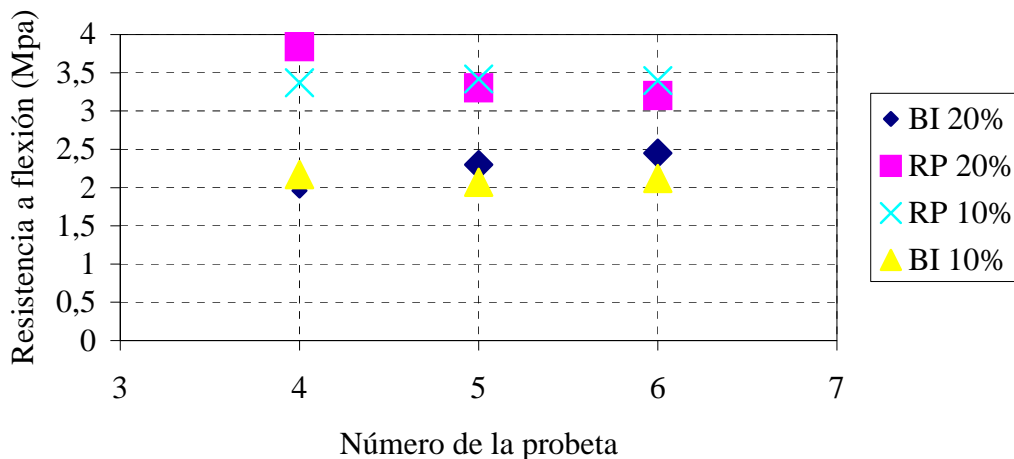


Figura 3. Resistencia a flexión de las dos series de probetas de yeso-corcho con BI y RP, al 10% y 20% en peso, respectivamente, respecto del total de escayola E 30

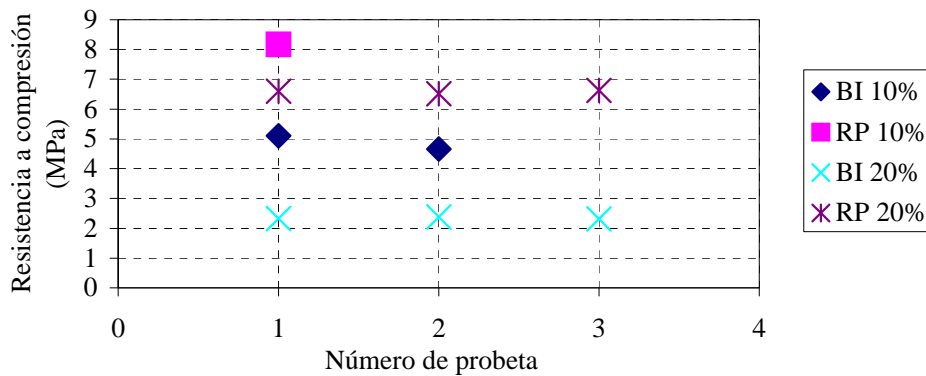


Figura 4. Resistencia a compresión de las series de probetas ensayadas, con proporciones de bornizo de invierno y de restos de poda de 10% y de 20% en peso sobre el total de escayola E 30.

Adición de fibras a la masa de yeso-corcho.

Se realizan probetas de 4x4x16 (cm) con E-30, A/Y=0,6, 20% de corcho "restos de poda" y 2% de fibra de vidrio E de longitud 2,5 cm.

Sobre esas probetas se realizan ensayos mecánicos de flexotracción y compresión. La tabla 7 contiene los resultados de estos ensayos.

Tipo probeta	R. flexión (MPa)	R.compr, (MPa)
RP.10	5,95	8,1
RP.11	8,125	7,769
RP.13	7,5	--
MEDIA	7,19	7,934

Tabla 7. Propiedades mecánicas de probetas de yeso-corcho con fibras de vidrio.

El valor medio de los resultados obtenidos en estos ensayos de flexión y compresión realizados sobre probetas similares, pero sin fibra de vidrio E fueron los siguientes:

Resistencia a flexotracción: 3,45 MPa
 Resistencia a compresión: 6,58 MPa

Lo anterior demuestra que el añadir fibras de vidrio en un pequeño porcentaje a la mezcla mejora, hasta en un 50% los resultados obtenidos en los ensayos de flexotracción y un 20% a los resultados de los ensayos de compresión.

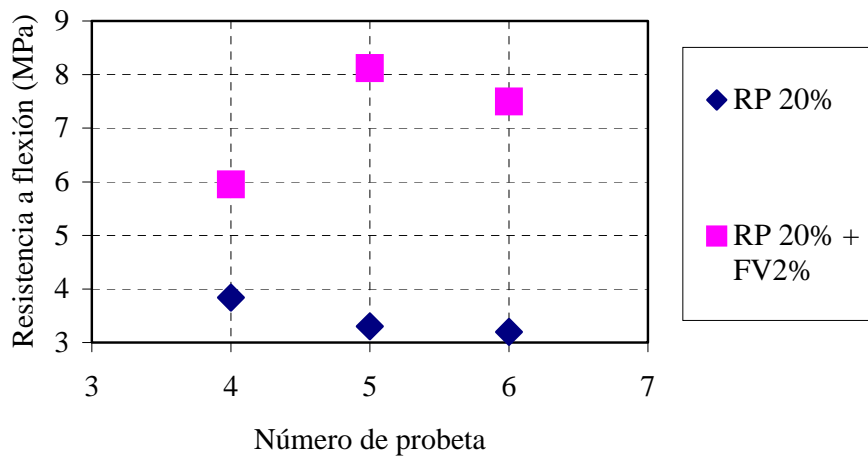


Figura 5. Resistencia a flexión para las dos series de probetas de RP 20%, sin fibra de vidrio y con fibra de vidrio (2%).

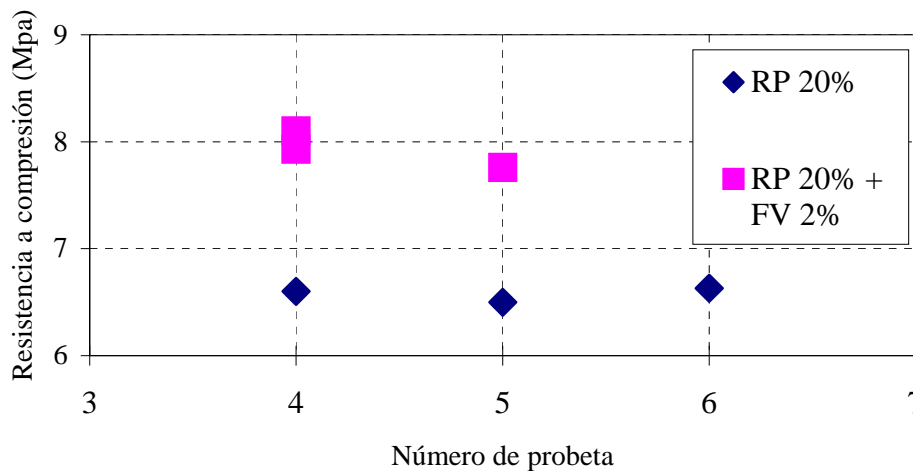


Figura 6. Relaciones entre las probetas de escayola reforzada con restos de poda (RP) y las de restos de poda con fibras de vidrio. Resistencia a compresión.

Disposición de la fibra de refuerzo en la probeta:

Se han realizado probetas tipo sándwich, para, de forma experimental, conocer sus valores de resistencia mecánica y ver si mejoran con respecto a las probetas, ya realizadas, de estructura homogénea.

Estas probetas de dimensiones 4x4x16 cm, al igual que las anteriores están realizadas con E-30, A/Y=0,6, 20% de corcho “restos de poda” y 2% de fibra de vidrio E de longitud 2,5cm.

La fibra de vidrio se distribuye lo más uniformemente posible en dos “pieles” de escayola, de espesor aproximado 0,5 cm superior e inferiormente, que limitan un núcleo de escayola-corcho.

La tabla 8 contiene los resultados obtenidos en los ensayos de flexotracción y compresión:

Tipo probeta	R. flexión (MPa)	R.compresión (MPa)
RP.13	5,2	6,7
RP.14	4,8	7,13
MEDIA	5,0	6,915

Tabla 8. Propiedades mecánicas de probetas sándwich de yeso-corcho.

Aunque los resultados de los ensayos mecánicos no muestran una mejora respecto de las anteriores probetas, es evidente el interés de este producto tipo "carreaux", pero con un núcleo de yeso-corcho, ya que su comportamiento mecánico es comparable al de similares productos competitivos de núcleo de poliestireno por ejemplo.

El que la confección de la probeta tenga mayor dificultad por el mínimo tiempo de fraguado del que disponemos no es problema ya que pueden alargarse el tiempo de fraguado de la escayola empleando retardadores o escayola con control de fraguado. Por otra parte el tener que añadir en una cantidad muy pequeña de escayola un gran porcentaje de fibra de vidrio se traduce en un acabado superficial de las mismas poco deseable y en un gran aumento de porosidad en la masa con la consiguiente pérdida de resistencia, debiéndose completarse con otra capa de enlucido de escayola para evitar el resalte de la fibra de vidrio de las pieles.

Si tenemos en cuenta los valores medios obtenidos para una mezcla uniforme de escayola-corcho y fibra de vidrio en los mismos porcentajes tenemos:

Resistencia a flexotracción: 7,19 MPa.
Resistencia a compresión: 7,934 MPa.

Valores mucho mejores a los obtenidos con una disposición de tipo "sándwich".

Adición de fluidificantes, dispersiones poliméricas:

El añadir dispersiones poliméricas a la mezcla posibilita el trabajar con una relación de A/Y menor,(0,6), para porcentajes del 20% de corcho.

Los resultados obtenidos confirman que la adición de dispersiones aumenta la resistencia mecánica del compuesto, pues como se ha observado en otros materiales compuestos se produce un efecto sinérgico en la mezcla redundando en beneficio del comportamiento mecánico.

La dispersión polimérica que se utiliza es el Melment, melamina de formaldehído, de excelentes resultados ya comprobados en otras investigaciones del equipo, también con yesos y escayolas.

Se realizan dos series de tres probetas cada una con:

E-35; A/Y=0,6 ó 0,8, dependiendo si se añade o no la dispersión; 20% de corcho de grano medio ó grano fino y 1% de fibra de vidrio E de longitud 2,5 cm.

El porcentaje de dispersión añadida ha sido del 0,5% en peso de la escayola, como recomienda el fabricante. La siguiente tabla recoge los resultados obtenidos.

Probeta	A/Y	0,5% Melment	R. flexión (MPa)	Peso 7días (g)
Bl.	0,8	----	2,26	184
Bl.1%FV	0,8	---	1,7	190
Bl.1%FV	0,6	SI	2,9	240
Bl.	0,6	----	2,28	164
Bl.fino. 1%FV	0,8	----	1,4	123
Bl.fino 1% FV	0,6	SI	1,5	145

Tabla 9. Propiedades mecánicas de probetas de yeso-corcho con fluidificante.

De los resultados obtenidos, pero sobre todo de la observación de las probetas concluimos como positiva la adición del fluidificante, pues aunque no supone una mejora a efectos de aumento de los valores de la carga de rotura, en vez de aparecer una fractura pasante clara, se observan una multitud de pequeñas fisuras, llegando en alguna probeta a no producirse la separación de las superficies de fractura.

Realización del fraguado con presión.

Se han confeccionado probetas a las que se les ha colocado un peso durante el fraguado, las conclusiones fueron:

Al añadir presión a las probetas durante el fraguado de la escayola, el granulado de corcho no flota lo que mejora la uniformidad de la probeta y el aspecto superficial de la cara superior.

Granulometría.

Se realizan tres series de tres probetas prismáticas cada una a fin de demostrar si una granulometría continua es o no favorable al aumento de resistencia mecánica. Se ha utilizado E-35; A/Y=0.8 y Bl.

De los ensayos que se realizan sobre estas probetas podremos concluir que el tamaño de grano más favorable, a efectos de conseguir un material compuesto de mínima densidad y resistencia mecánica, por lo menos, igual a la de la escayola sin aditivar.

La tabla 10 contiene los resultados de estos ensayos, media de tres probetas cada uno.

Probeta	%Tipo de corcho	R. flexión (MPa)	Peso 7días (g)
Bl.15	20% medio	1,15	145
Bl.16	15%medio, 5%fino	1,2	135
Bl.17	10%medio, 10%fino	1,1	128
Bl.18	20% fino	1,075	126

Tabla 10. Resistencia a flexotracción y peso de probetas de yeso-corcho con diferente granulometría.

El bornizo de invierno añadido está más limpio que el utilizado para la confección de las probetas anteriores con lo que el volumen de corcho añadido es también mayor. Esto se traduce en una pérdida considerable de peso en las probetas, que puede llegar a ser de la mitad, y por tanto una pérdida de la resistencia mecánica, por la relación existente entre ambas.

A mayor cantidad de grano fino en la mezcla, mayor dificultad en la realización de la mezcla, debido a que el volumen de corcho añadido es también mayor y por tanto peores resultados de resistencia mecánica.

En cambio incorporando pequeñas cantidades de grano fino mejora la trabajabilidad de la mezcla, el aspecto final de la probeta y su resistencia mecánica.

Por tanto y de los resultados obtenidos deducimos que la mejor relación resistencia-peso la ofrece el compuesto BI.16.

Tratamiento de los granos.

Se confeccionan probetas con granulado de corcho sometido a una doble trituración en un molino de bolas, Escayola E-35, relación A/Y=0,8 y 20% de Bornizo de invierno tratado.

Se piensa que podría aumentar la adherencia entre los dos materiales que forman el compuesto puesto que los granos de corcho tienen más superficie de contacto con la escayola, debido a que sus paredes se rompen por el tratamiento a que han sido sometidos.

Las probetas se ensayan a flexotracción. La tabla 11 contiene los resultados de estos ensayos.

Probeta	Peso 7días (g)	R. flexión (MPa)
Blt.19	113	0,85
Blt.20	112	0,9
Blt.21	111	0,95
MEDIA	112	0,9

Tabla 11. Resistencia a flexotracción de probetas realizadas con bornizo de invierno retriturado.

El grano es más fino que el denominado en las probetas BI.18 grano fino, con lo que la mezcla se trabaja difícilmente debido al gran volumen de corcho a añadir.

Los resultados obtenidos siguen la relación resistencia-peso observada en los resultados de la tabla anterior, con lo que no mejora el composite mediante el tratamiento de los granos de corcho.

Con esto se demuestra que no aumentar la adherencia entre los granos retritutados y la escayola, pues no aparece ningún incremento de aumento de la resistencia mecánica.

Conclusiones sobre el yeso-corcho:

Tras los estudios realizados y de acuerdo con lo que se recoge en este documento, los productos de yeso-corcho reúnen las características necesarias para poder llegar a ser unos materiales de construcción de excelentes prestaciones, pues resulta un compuesto de gran solidez y estabilidad, debido entre otras cosas al comportamiento expansivo de los productos de la hidratación de estos conglomerantes que hace posible la íntima unión entre el corcho y el yeso o la escayola debido a que este último cristaliza en parte dentro de las celdillas perimetrales de los granos de corcho.

También es de destacar la facilidad de fabricación de estos productos así como su mínimo costo.

Características y aplicaciones:

La característica principal es la de su baja densidad. La aplicación directa de esto es la construcción de productos prefabricados con yeso/escayola-corcho, semejantes a los que ya existen en el mercado pero con pesos muy inferiores, con lo que se facilitaría la puesta en obra de los mismos y su transporte hasta la misma, traduciéndose esto en una disminución de las roturas y desconchones que se producen en los prefabricados.

La textura del material resulta agradable con fines arquitectónicos en interiores, siendo además porosa, y pudiendo controlarse el grado de porosidad modificando la relación agua yeso/escayola, lo hace idóneo para aplicaciones donde sea necesaria una absorción acústica.

Un caso particular observado, que afecta además de a la textura del material a su comportamiento mecánico, ocurre cuando se añaden pequeñas cantidades de corcho a la pasta. El corcho flota colocándose en la superficie sobre el bizcocho de yeso ó escayola, dando lugar a una segregación en el producto final. Esto puede utilizarse a favor del producto, ya que facilita la fabricación de placas tipo "carreaux", con estructura sándwich: núcleo de corcho aglomerado con yeso grueso, por ejemplo, y pieles gruesas de escayola. Estas placas podrían aplicarse en prefabricación de particiones.

En cambio para mayores porcentajes de corcho, las probetas van resultando más uniformes, la masa aparece más homogénea y el corcho no se segrega.

El problema a resolver es la pérdida de resistencia mecánica.

Esta pérdida disminuye en parte si se añade presión en el fraguado, obteniéndose además un aumento de la uniformidad en el material compuesto o mediante la incorporación de fibras de vidrio en el compuesto consiguiéndose también aumentar su tenacidad y disminuir la fragilidad de la escayola.

Se resalta que los yesos y escayolas utilizados lo han sido a título experimental. Recomendando la Escayola E-35, para la fabricación de elementos prefabricados. Así como la conveniencia en muchos casos, por la absorción de agua del corcho, de escayolas con control de fraguado o retardadores del mismo.

En cuanto al corcho, destacar el granulado procedente de bornizo de invierno.

4. ESCAYOLA ALIGERADA CON SÓLIDOS CELULARES:

Ante los buenos resultados obtenidos, se decide comparar el material de yeso-corcho, como escayola aligerada, con otras escayolas aligeradas, algunas de las cuales se están utilizando en la actualidad para elaborar elementos prefabricados. De esta manera confirmar su validez como material sustituto de los utilizados en los procesos constructivos.

Para ello, se elaboran probetas prismáticas de dimensiones 4x4x16 (cm) con escayola E-35 y las cargas celulares más frecuentemente utilizadas en el campo de la edificación y se les somete a ensayos de flexión y compresión (según norma) a efectos de determinar cual aporta una mejor relación densidad/resistencia mecánica.

Cargas celulares utilizadas: se clasifican en dos grupos.

Áridos ligeros: los más frecuentes de encontrar en el mercado de la construcción española:

- .- Arcilla expandida
- .- Perlita
- .- Vermiculita exfoliada

Granulados ligeros: los más frecuentes de encontrar en el mercado de la construcción española:

- .- Poliestireno expandido.
- .- Corcho natural.

4.1. Metodología utilizada:

En todos los casos se procede de la misma manera.

Se realiza un primer tanteo para determinar la carga máxima a incorporar en la escayola ($A/Y=0,8$) y se confeccionan probetas con ese porcentaje de carga y otros porcentajes menores.

Posteriormente se realizan probetas con menor relación A/Y y fluidificante, así como añadiéndoles fibras de vidrio, al igual que se hizo en el desarrollo del material yeso-corcho.

A todas estas series de probetas se les somete a ensayos de resistencia mecánica y se comparan sus resultados, siempre en relación con las densidades obtenidas.

4.2. Relación entre el peso de los compuestos y su resistencia a flexión:

En la figura 7, se recogen las relaciones entre el peso y la resistencia a flexión de las series más favorables realizadas con sólidos celulares.

Aparece claramente diferenciados los dos tipos de sólidos celulares añadidos, de forma que el grupo de áridos ligeros al tener mayor densidad obtiene mejores resultados que el grupo de probetas realizadas con granulos ligeros.

Destacar, en este segundo grupo, las probetas realizadas con corcho ya que tienen una relación entre el peso y la resistencia a flexión muy conveniente cuando se les refuerza con fibra de vidrio E.

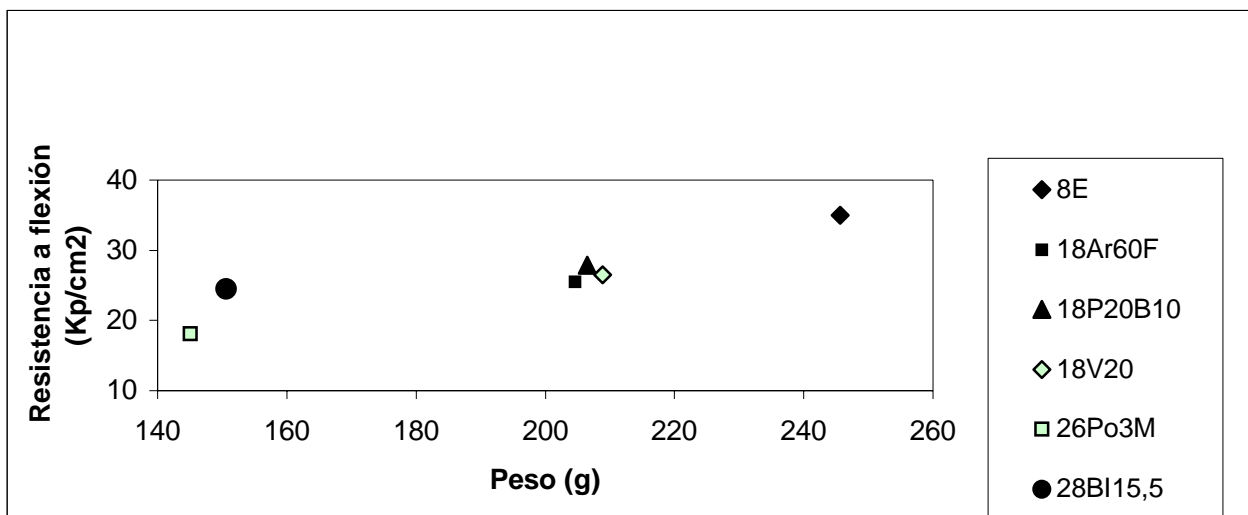


Figura 7. Relación entre el peso y la Resistencia a flexión de: 8E= escayola sin adiciones realizada con una relación de $A/Y= 0,8$; 18Ar60F= Escayola aligerada con Arcilla expandida y reforzada con fibra de vidrio E; 18P20B10= escayola aligerada con perlita y reforzada con fibra de vidrio E; 18V20= escayola aligerada con vermiculita y reforzada con fibra de vidrio E; 26Po3M= escayola aligerada con poliestireno expandido y reforzada con fibra de vidrio E; 28BI15,5= Escayola aligerada con corcho y reforzada con fibra de vidrio E (yeso-corcho). $Kp/cm^2=0,098 MPa$

4.3. Relación entre el peso de los compuestos y su resistencia a compresión:

En la figura 8, se observa como al grupo de probetas aligeradas con áridos ligeros, le corresponden los valores más altos de resistencia a compresión. Se destacan los compuestos de escayola aligerada con perlita y arcilla expandida, donde, para una disminución importante del peso frente a probetas de escayola sin aligerar, se superan los valores de resistencia a compresión obtenidos por estas.

El grupo de probetas de escayola aligeradas con gránulos ligeros, a pesar de estar reforzados con fibra de vidrio, no tienen una buena relación peso/resistencia a compresión, aunque consiguen mejorar la tenacidad frente a la escayola sin aligerar y en el caso del compuesto escayola+corcho se incrementa la capacidad de deformación previa a la rotura.

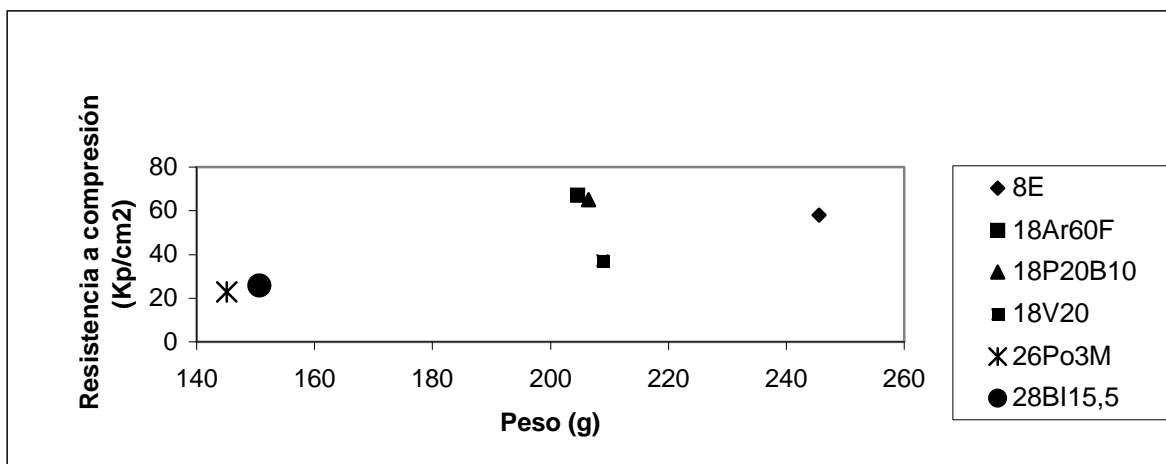


Figura 8. Relación entre el peso y la Resistencia a compresión de: 8E= escayola sin adiciones realizada con una relación de A/Y= 0,8; 18Ar60F= Escayola aligerada con Arcilla expandida y reforzada con fibra de vidrio E; 18P20B10= escayola aligerada con perlita y reforzada con fibra de vidrio E; 18V20= escayola aligerada con vermiculita y reforzada con fibra de vidrio E; 26Po3M= escayola aligerada con poliestireno expandido y reforzada con fibra de vidrio E; 28BI15,5= Escayola aligerada con corcho y reforzada con fibra de vidrio E (yeso-corcho).

$Kp/cm^2=0.098 MPa$
 $Kp/cm^2=0.098 MPa$

5. PROPUESTAS DE APLICACIONES DEL YESO-CORCHO EN LA EDIFICACIÓN:

Confirmada la validez del material yeso-corcho como escayola aligerada, se decide aplicarlo en la fabricación de elementos prefabricados de yeso.

aunque se ha trabajado en el diseño de elementos para soleras secas y falsos techos, es en el campo de las particiones donde se han obtenido los mejores resultados, pasando a resumir las propuestas realizadas y los ensayos que las validan.

5.1. Elementos prefabricados de escayola para particiones comercializados en España:

En España se comercializan dos tipos de sistemas prefabricados de escayola para particiones. Por una parte el "sistema albañil", derivado de la forma de construir de los albañiles y yesaires, de larga tradición en nuestro país y por otro lado el "sistema carpintero", derivado de la forma de construir de los carpinteros, de más tradición en países como Estados Unidos, Francia, Alemania, etcétera.

Los elementos que se presentan, pertenecen al grupo denominado "sistema albañil".

5.1.1. Particiones prefabricadas de escayola del sistema albañil:

En este sistema se sustituyen las piezas utilizadas por los albañiles, desde las más pequeñas como el ladrillo hueco sencillo o ladrillo hueco doble, a las más grandes como los rasillones,.... por placas de pequeño formato de dimensiones, generalmente, 66x50 cm, también denominadas bloques de escayola y por paneles de altura suelo-techo, realizados básicamente con escayola, que se reciben con adhesivos a base de yeso o escayola.

En todo caso suelen ser soluciones de una sola hoja, salvo en casos especiales como en las particiones de bloques técnicos.

En España al existir yeso en casi toda la geografía de la Península, han proliferado muchas empresas que se dedican a la comercialización de este tipo de sistemas.

Las ventajas fundamentales de estas particiones frente a la construcción tradicional son:

Se mantiene, aunque con modificaciones, la tradición de albañiles y yesaires, tan arraigada en nuestro país. No necesita por tanto mano de obra especializada.

Se mejoran los rendimientos de mano de obra, por lo que esta unidad de obra reduce costos; Son sistemas de construcción en seco; La unidad queda perfectamente terminada con el recibido de las placas o paneles, a falta únicamente del acabado final (pintura, papel, etcétera).

Por ser piezas realizadas en taller se consiguen paños de gran planeidad pudiendo los acabados tener un mínimo poder cubriente (pintura lisa, etc.)

Los inconvenientes fundamentales de estas particiones frente a la construcción tradicional son:

Cuanto mayores son los elementos (paneles suelo-techo), mayor peso por unidad de superficie, produciéndose más roturas y daños en el transporte y en la colocación.

Cuanto mayores son los elementos, menor es el número de juntas/m², por tanto el sistema es más rígido y se adecua peor a las deformaciones de los elementos estructurales adyacentes.

Por la diferente densidad entre los adhesivos de recibido y las placas o paneles puede producirse el llamado "efecto televisor".

De las dos soluciones presentadas del sistema albañil, consideramos más adecuada la segunda, paneles suelo-techo, por tener un mayor grado de prefabricación.

Los paneles suelo-techo, que se comercializan en la actualidad están realizados a base de yeso de prefabricado con un mínimo refuerzo de fibra de vidrio y disponen de perforaciones de sección circular dispuestas verticalmente, para aligerar el peso así como para permitir la inclusión de instalaciones en el interior del panel. La unión entre paneles, se resuelve mediante un yeso-cola y junta machihembrada. Las dimensiones de los paneles son: T-7 2900x620x70 mm; T-9 2900x500x90 mm.

5.2. Propuesta de elementos prefabricados de yeso-corcho para particiones que mejoran los elementos comercializados en España:

A la vista de los inconvenientes analizados en el sistema de paneles suelo-techo, se proponen las siguientes actuaciones sobre el diseño de los nuevos elementos para particiones, a fin de evitarlos:

La disminución de peso. Esto se consigue con el material base de los paneles, la escayola aligerada con corcho.

La consecución de resistencias mecánicas similares a las resistencias de los elementos prefabricados que se comercializan actualmente, pero con mejoras en la capacidad de deformación de conjunto. Esto se consigue también con el material base para la fabricación.

Mejora del aislamiento acústico que ofrecen los elementos para particiones en el mercado de la construcción para conseguir una partición acústica. Para ello, se trabaja con la geometría asimétrica de los paneles y también con el aprovechamiento de la capacidad de aislamiento acústico del material que los constituye.

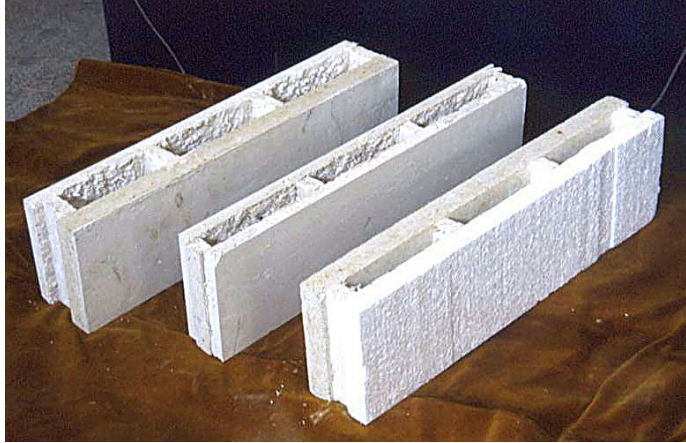


Fig. 9. Elementos de yeso-corcho para particiones y trasdosados

Actuaciones en la geometría de los paneles: los paneles tienen forma asimétrica y están constituidos por dos placas de diferente espesor unidas mediante costillas de rigidización realizadas con material flexible (yeso-corcho) para aprovechar el efecto de la doble pared (pared-muelle-pared de diferente espesor).

Además el acabado superficial de las caras internas del panel, que constituyen la cámara intermedia, se deja rugoso para permitir una mayor absorción de las ondas sonoras, sin necesidad de colocar un material absorbente en la cámara que cumpla esta función.

5.2.1. Elementos para particiones:

Teniendo en cuenta lo anterior se proponen los siguientes elementos:

Paneles y placas de igual sección horizontal, diferenciados únicamente por su altura. Placas: 60 cm y panel: 265 cm.

En la figura 10, se representa en sección horizontal un elemento para distribución interior de dimensiones 60 x 10 cm (altura 60 o 265 cm), en la que (A) es un enlucido de yeso fino de 2 mm de espesor realizado contra molde plano, (B) es una lámina de yeso-corcho, con la cara opuesta al enlucido rugosa de 3,5 y 2 cm, de espesores respectivamente (incluido enlucido) y (C) es una cámara de aire entre las láminas.

Las láminas se unen mediante costillas de 4,5 x 2 cm, lo que permite dejar una cámara intermedia de 4,5 cm de espesor para las instalaciones. La unión de las costillas con las láminas se realiza mediante escayola-cola.

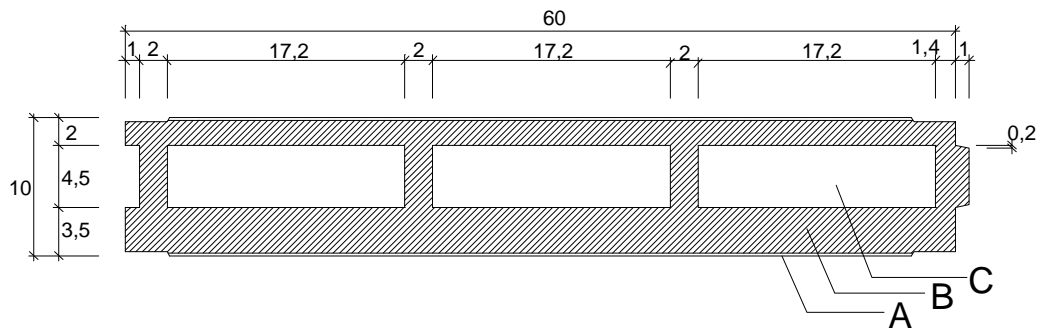


Fig.10. Elemento tipo para particiones de 10 cm, de espesor.

En la figura 11 se representa en sección horizontal un elemento similar al anterior, pero de 7 cm de espesor total, está constituido por dos láminas iguales de 2 cm, cada una, y costillas de 3 x 2 cm, que dejan una cámara intermedia de 3 cm. Las costillas son de 265 o 60 x 3 x 2 cm.

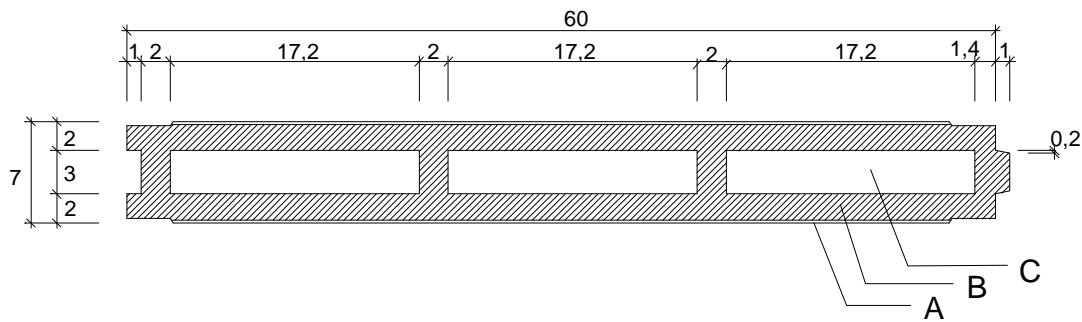


Fig.11 Elemento tipo para particiones de 7 cm, de espesor.

Además se propone un bloque macizo de junta machihembrada, con un núcleo de yeso corcho aligerado (YC2) recubierto de dos placas de yeso corcho de alta densidad (YC1), en espesores de 7 y 10 cm.

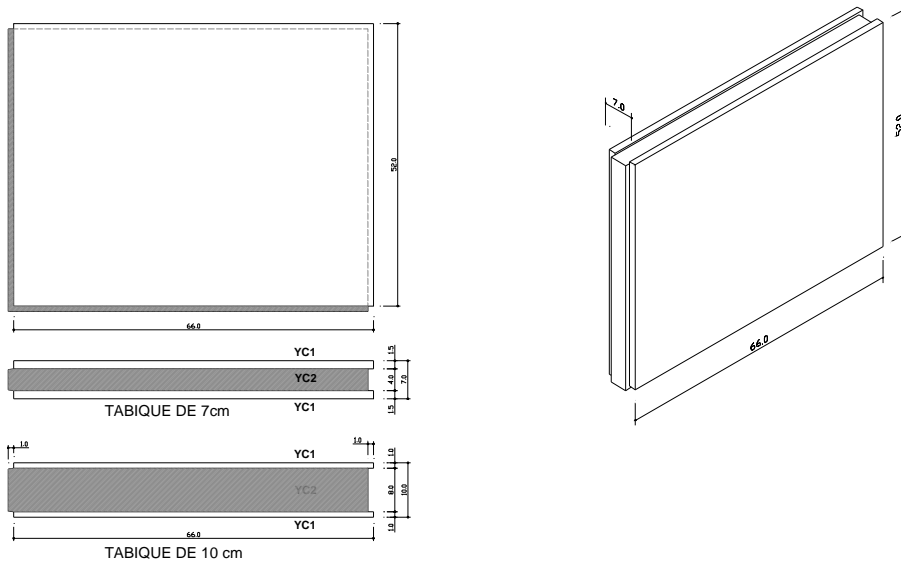


Fig. 12 Paneles sándwich de yeso-corcho

5.2.3. Elementos para trasdosados:

Se proponen Paneles y placas de igual sección horizontal, diferenciados únicamente por su altura. Placas: 60 cm y panel: 265 cm.

En la figura 13 se representa en sección horizontal un elemento de trasdosado de dimensiones 265 o 60x 60 x 9,5 cm, formado por una lámina de 3,5 cm de espesor de yeso-corcho (B), enlucida en su cara vista (A) y rugosa por el trasdós y una plancha de poliestireno expandido de 3 cm de espesor (D), unida a la lámina de escayola aligerada por medio de costillas de escayola aligerada con corcho, dejando cámara de aire para instalaciones (C).

La unión de las costillas con la lámina se realiza mediante escayola-cola, y su unión con el poliestireno expandido se realiza mediante adhesivo.

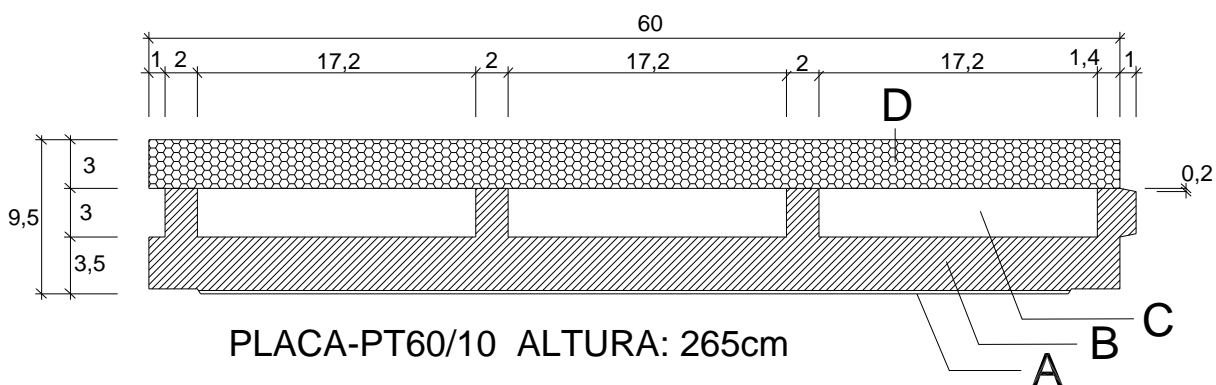


Fig.13. Elemento para trasdosados de 9.5 cm, de espesor.

En la figura 14, se representa en sección horizontal un elemento de trasdosado similar al anterior, pero de 5 cm de espesor total, formado por una lámina de yeso-corcho (B) enlucida a una cara (A) de 2 cm de espesor y plancha de poliestireno expandido de 3 cm de espesor, unida directamente a la lámina de yeso-corcho por medio de adhesivo (D).

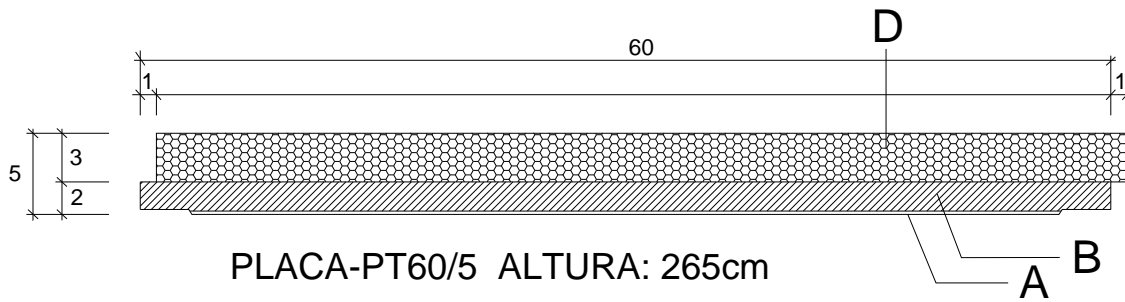


Fig.14. Elemento para trasdosados de 5 cm, de espesor

5.3. Ensayos realizados sobre los elementos (placas y paneles) para particiones de yeso-corcho:

Sobre fragmentos de los paneles de yeso-corcho, fabricados en laboratorio, y sobre fragmentos de tamaños similares de paneles y placas de escayola comercializados, se realizan ensayos de resistencia mecánica y determinación de propiedades físicas.

Placa/Panel	Dimensiones (cm)	Peso (g)	D. del elemento (g/cm ³)	Shore C	R. compresión (MPa)
Escayola	14x15x8	1532.3	0.91	65	4.375
Escayola alveolada	14x15x9	1176	0.62	55	2.936
Yeso-corcho	23x15.5x10	1455	0.40	85	1.7

Tabla 12. Resultados medios de los ensayos realizados sobre los fragmentos de paneles y placas.

5.3.1. Ensayos físicos:

Destacar la importante reducción de la densidad del elemento frente a los ya comercializados y el importante valor de la dureza superficial, pues la cara externa es un enlucido de baja relación A/E.

Ensayo de compresión:

En el ensayo a compresión sobre el panel de escayola aligerada, se observa como la carga soportada hasta la rotura es bastante menor que en el resto de los elementos, pero en cambio la deformación es mucho mayor, y se produce localmente, en los puntos donde se ejerció la presión.

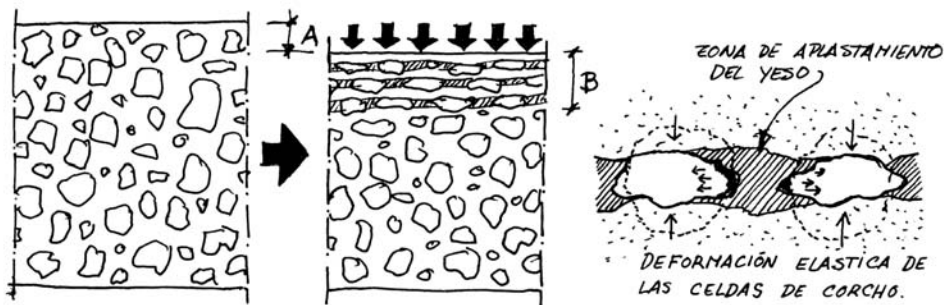


Fig. 15. Deformación de la escayola aligerada ante un esfuerzo de compresión.

- A. Deformación total del elemento.
- B. Zona local que absorbe la deformación.
- C. Deformación elástica de las celdas de corcho.

Como conclusión a este ensayo, podemos decir que el panel de yeso-corcho ensayado, está perfectamente adaptado a las deformaciones estructurales previstas, pues en el caso de producirse, el resultado es:

1. Por una parte, el enlucido en la zona de unión con la estructura anuncia el proceso a través de pequeñas fisuras, antes de llegar a la rotura del panel, lo que permite resolver el problema al inicio.
2. Una vez producida la rotura, al ser esta estable en el alma del panel y localizada en la zona de contacto, sólo requiere para su reparación, el raspado de la zona fisurada del enlucido y volver a enlucir.

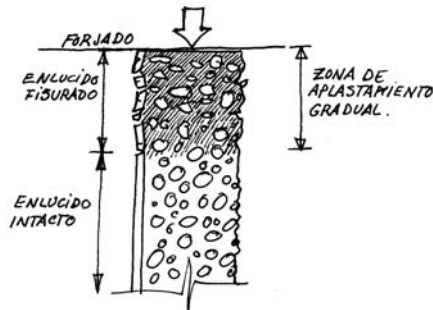


Fig.16. Rotura a compresión de un fragmento de panel de escayola aligerada de 10 cm, de espesor

3. Se puede tener la seguridad de que la deformación no afecta al resto del panel, y por lo tanto, este mantendrá su estructura y acabado intactos, al contrario de lo que sucede con una placa de escayola al someterla a compresión.



Fig. 17. Placa de escayola después de sometida al ensayo de compresión

Ensayo comparativo de resistencia al cuelque:

Se realiza un ensayo comparativo, no normalizado, de resistencia al cuelque de los elementos, obteniéndose los siguientes datos: 1º. valor de la carga cuando el taco comienza a girar (P1) y 2º. valor de la carga cuando el taco se desprende de la placa (P2). Los resultados obtenidos en este ensayo son:

De estos resultados, podemos confirmar la gran capacidad del sistema y del yeso-corcho en la cual el taco se va deformando progresivamente hasta alcanzar grandes cargas, frente a la placa de escayola, cuya rotura es frágil y el taco se desprende ante cargas mucho menores.

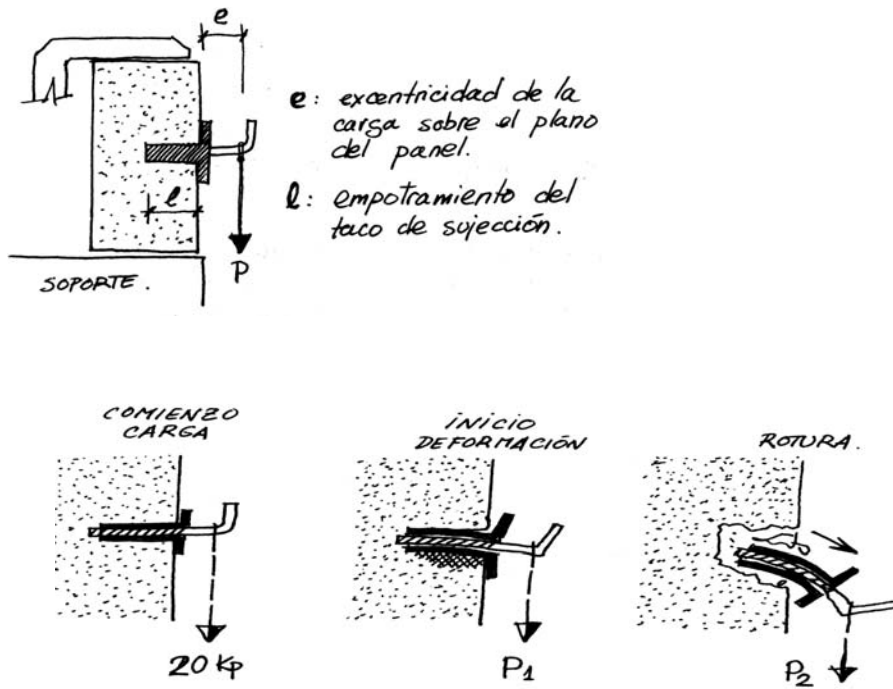


Fig. 18. Ensayo comparativo de resistencia al cuelgue

Panel	Dimensiones (cm)	25 k	40 k	50 k	55 k	60 k	65 k	70 k
Escayola	14x15x8	si	P1	gira	P2			
Escayola alveolada	14x15x9	si	P1	gira	P2			
Yeso-corcho	23x15.5x10	si	si	P1	gira	gira	gira	P2

Tabla.13. Resultados medios del ensayo de cuelgue sobre los paneles.

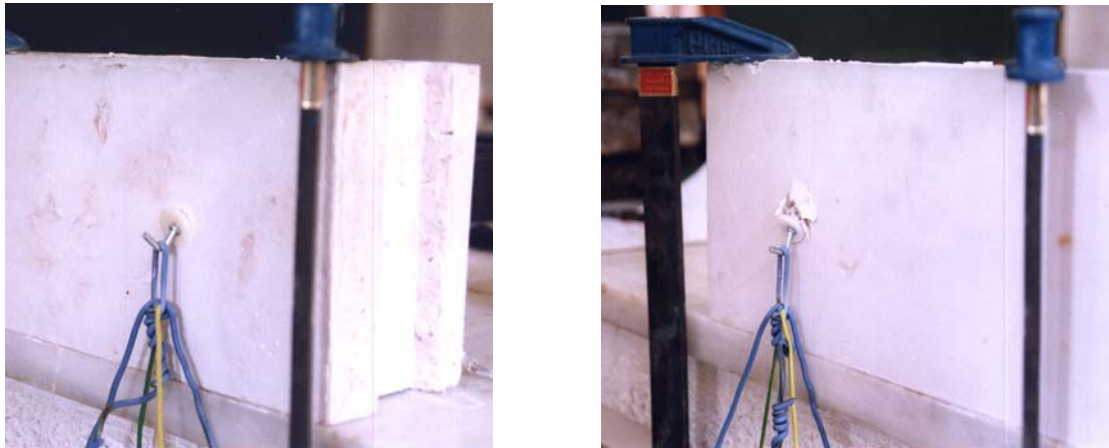


Fig. 19. Probeta yeso-corcho con cuelgue de 40 k y 80 k

Ensayo de aislamiento al ruido aéreo:

Se realiza un ensayo no normalizado sobre el aislamiento a ruido aéreo, de los fragmentos de los distintos paneles de escayola que se están analizando comparativamente.

Todos los ensayos se realizan con las mismas condiciones. La fuente de ruido es constante y tiene un valor de 81 dB. Las mediciones de ruido se hacen con un sonómetro.

	Aislamiento sonoro dB (A)
Panel de yeso-corcho (10 cm) = 65 dB (A).....	16
Panel de yeso-corcho (7 cm) = 70 dB (A).....	9
Panel de yeso alveolado (9 cm) = 75 dB (A).....	6
Bloque de escayola maciza (9 cm) = 72 dB (A).....	9

De los resultados se concluye que a pesar de la menor masa del panel de escayola aligerada, éste supera ampliamente los resultados obtenidos para elementos comercializados en la actualidad.

5.3. Ensayos virtuales de los bloques de yeso-corcho:

Sobre los elementos tipo bloque se realizan ensayos simulados a través del programa ANSYS de simulación por elementos finitos. Este estudio ha servido para constatar el comportamiento de estos prefabricados ante las acciones que tendrán que soportar una vez colocados en los edificios

5.3.1. Definición de materiales empleados en los ensayos

Se realizan una serie de ensayos sobre los materiales propuestos, con el objeto de introducir los resultados medios en la definición de materiales de ANSYS en la simulación realizada.

Los ensayos realizados son:

- ❑ Resistencia a compresión, sobre 3 series de probetas normalizadas de 4x4x16 cm
- ❑ Resistencia a flexotracción sobre 3 series de probetas normalizadas de 4x4x16 cm
- ❑ Resistencia a tracción sobre 3 series de probetas normalizadas
- ❑ Medida de peso / densidad

Los resultados medios obtenidos se detallan a continuación:

Tabla 13 PESOS DE LOS TABIQUES: (en K)

Tabique	Configuración	Peso bloque 66x52	Peso x m2	Peso x ml (H=260cm)
Yeso corcho 7 cm	1.5 + 4 + 1.5	13.76	40.10	104.26
Escayola 7 cm	-	24.02	70.00	182.00
Yeso corcho 10 cm	1 + 8 + 1	18.32	53.40	138.84
Escayola 10 cm	-	34.32	100.00	260.00

YC1: yeso corcho de alta densidad: escayola aligerada con corcho y reforzada con fibra de vidrio.

Dosificación YC1	
Relación agua/escayola:	0.8
Cotenido de corcho:	25 %
Contenido de fibra de vidrio G1LT:	2 %
Fluidificante MELMENT	0.05 %
Regulador de fraguado:	0.125 %

Características físico mecánicas					
Densidad K/cm3	Mod Young Kp/cm2	Mod Poisson	Defor (unit)	Tension Kp/cm2*	Estado
0.67	1875	0.001	0	0	
			0.012	22.50	L-Elástico
			0.021	24.29	
			0.036	25.90	
			0.158	29.80	Rotura
Resist. Tracción:		9.60			

* 1MPa=10 kp/cm2

YC2: yeso corcho de baja densidad: escayola aligerada con corcho y reforzada con fibra de vidrio.

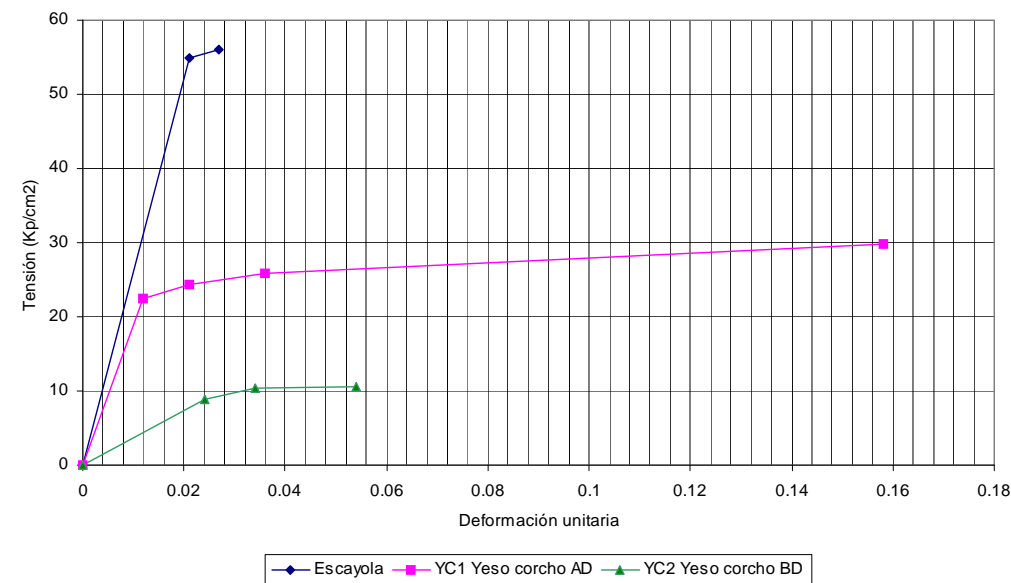
Dosificación YC2	
Relación agua/escayola:	1.2
Cotenido de corcho:	45 %
Contenido de fibra de vidrio G1LT:	2 %

Características físico mecánicas						
Densidad K/cm3	Mod Young Kp/cm2	Mod Poisson	Defor (unit)	Tension Kp/cm2	Estado	
0.50	366.67	0	0	0		
Resist. Tracción:			1.00	0.024	8.80	L-Elástico
				0.034	10.40	
				0.054	10.60	Rotura

ESC: Escayola E-35 (material de referencia)

Características físico mecánicas						
Densidad Kg/cm3	Mod Young Kp/cm2	Mod Poisson	Defor (unit)	Tension Kp/cm2	Estado	
1.00	2619	0.05	0	0		
Resist. Tracción:			12.0	0.021	55.0	L-Elástico
				0.027	56	Rotura

Gráfica de Tensión – Deformación de los materiales empleados (curva resumen introducida en ANSYS)



5.3.2. Descripción y resultados de los ensayos:

Se realiza una serie de tres ensayos simulados mediante el programa ANSYS de cálculo por elementos finitos, siguiendo las directrices comunes UEAtc para la apreciación técnica de tabiques ligeros del Instituto Eduardo Torroja (1973).

Ensayos realizados sobre el elemento bloque:

Los ensayos se realizarán sobre una muestra de tabique terminado, de dimensiones BxH=200x260 cm.

Dicha muestra estará firmemente unida tanto al forjado inferior como al forjado superior, entendiéndose que dicha firmeza queda asegurada en la realidad a través del empotramiento del tabique entre el solado y el relleno, y por el guarnecido del techo en su parte superior.

Los ensayos tienen como objetivo asegurar una deformación mínima ante diversas sollicitaciones propias de éste elemento constructivo, y por supuesto, una resistencia mínima ante estados límite de cargas.

Ensayo 1: cargas verticales excéntricas

Se aplica a la muestra una carga vertical, separada de aquella 30 cm. Se ensaya a deformación con una carga de 50 Kp, y se mide la deformación máxima del tabique. Esta no superará el valor de H/500 en ningún punto.

Posteriormente se ensaya a rotura con una carga de 100 Kp, y se verificará que el tabique no presenta fisuras indicativas de la rotura del mismo.

La carga se transmitirá al tabique a través de cuatro fijaciones mecánicas de 25mm de diám. Separadas 50cm en horizontal y 15cm en vertical.

Ensayo 2: ensayo a choque blando

Por limitaciones propias del programa ANSYS, se simplificará el ensayo, realizándose uno equivalente de presión sobre un área circular de 25cm de diámetro en el centro del paño. Se simularán distintos estados de carga, anotando los valores en los que se superen las siguientes condiciones de deformación y rotura:

Deformación máxima de H/125 (según IET cumple si impacto ≥ 12 Kp a $h=45$ cm)

Rotura o aparición de fisuras (según IET cumple si impacto ≥ 25 Kp a altura=90cm)

Ensayo 3: ensayo a carga superficial

Se ensaya el tabique con una presión uniforme en una de sus caras. Las limitaciones del IET son exclusivamente en cuanto a la deformación máxima del tabique, que no superará en ningún punto el valor de H/500 para una presión de 20 Kp/m².

Este ensayo se realiza sobre las distintas composiciones propuestas de espesores para el tabique de 7cm, únicamente, puesto que es el ensayo más desfavorable. En base a los resultados, se elige la configuración 1.5+4+1.5, sobre la que finalmente se realizarán el resto de los ensayos.

El elemento propuesto responde de forma óptima en cuanto a deformación, y no se producen tensiones de rotura en ningún punto, en los tres ensayos realizados. Esto se debe en parte al comportamiento equilibrado en tracción y compresión (la escayola resiste bastante más a compresión, pero muy poco más a tracción, lo que descompensa su comportamiento a flexión). Podemos asegurar que el tabique propuesto cumplirá holgadamente las condiciones del IET.

Por extensión de los resultados, podemos afirmar que el tabique de yeso corcho de 10cm de espesor, también cumple todas las especificaciones de IET, utilizando en éste tabique la configuración de 1+8+1cm. Esta afirmación está fundamentada en la mayor rigidez del tabique, aspecto éste que ha determinado la configuración mínima del tabique de 7cm.

Ensayos realizados sobre la partición:

Se realizan una serie de ensayos comparativos simulados mediante el programa ANSYS de cálculo por elementos finitos, sobre un paño de tabique con hueco de paso. Los tabiques simulados serán de dos tipos:

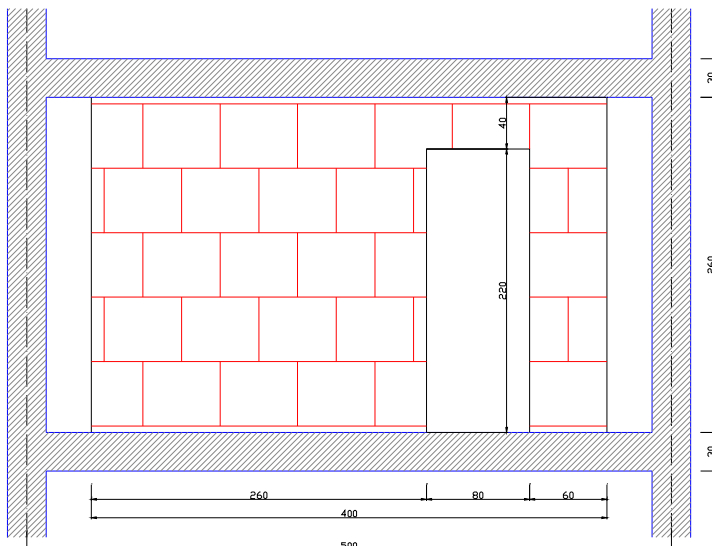
ESC: tabique de escayola macizo de 7cm de espesor.

YC: tabique compuesto de yeso corcho de 7cm de espesor y con la siguiente configuración:

- ❑ Placas exteriores de yeso corcho YC1 de alta densidad (0.67 Kg/cm³) de 15mm de espesor cada una.
- ❑ Núcleo central del bloque de yeso corcho YC2 de baja densidad (0.5 Kg/cm³) de 40mm de espesor.

Dichos ensayos consisten en la deformación de los tabiques debida a distintas hipótesis de deformación de la estructura donde se apoya, simulada mediante un pórtico rígido de acero a modo de bastidor, y considerando la unión entre ambos también rígida.

La geometría y medidas del pórtico y tabique simulados son las siguientes:

**ENSAYO 1 Deformación por flecha excesiva de la estructura superior e inferior**

Se trata de introducir una flecha en las vigas inferior y superior del bastidor, correspondiente a $L/250=2\text{cm}$, y analizar la respuesta de los tabiques ESC y YC.

ENSAYO 2: Deformación por asiento diferencial de un pilar del pórtico (cizalladura)

Se trata de introducir un asiento diferencial en un extremo del bastidor, y provocar una deformación de cizalladura vertical en el tabique. Dicho asiento será de 4cm ($L/125$)

ENSAYO 3: Deformación por flecha excesiva de la estructura superior

Ensayo semejante al E1, pero limitando la deformación a la viga superior del bastidor (tabique sobre solera).

ENSAYO 4: DEFORMACIÓN POR FLECHA EXCESIVA DE LA ESTRUCTURA INFERIOR

Ensayo semejante al E1, pero limitando la deformación a la viga inferior del bastidor

ENSAYO 5: Deformación por desplazamiento horizontal de la estructura superior

Ensayo de deformación a cizalladura horizontal, provocando un desplazamiento horizontal de la viga superior de 2cm (H/145). Se produce una deformación análoga a la sufrida en caso de sismo. Los ensayos aquí realizados, nos proporcionan una visión del comportamiento del tabique propuesto en situaciones reales extremas, de las que se han descrito las lesiones más frecuentes y sus etiologías.

Con los resultados obtenidos, podemos asegurar también la integridad del tabique ante dichas situaciones, y del análisis de los mismos podemos deducir que los requerimientos iniciales de gran deformabilidad se cumplen holgadamente.

Por último, los resultados obtenidos, podrán servir para estudiar un mejor diseño de la junta entre los bloques, y del material utilizado para resolver la misma.

5.4. Conclusiones:

Se han demostrado las grandes posibilidades que pueden tener estos productos en el mercado de los prefabricados para particiones y trasdosados de base escayola, pues se consiguen las siguientes mejoras, con respecto a elementos similares comercializados en la actualidad:

Disminución considerable del peso/m² de panel, lo que supone un mayor rendimiento en la puesta en obra y un menor número de roturas en el transporte y en la manipulación del panel hasta su colocación definitiva.

Mejora de la capacidad de deformación del sistema, comprobado en los ensayos mecánicos. Esto impedirá que la partición entre en carga por efecto de la deformación de los elementos estructurales adyacentes. La consecuencia directa es que la deformación del panel no se concentra en las juntas, y no fisura por estas como es típico en las soluciones que se realizan en la actualidad.

Mejora del aislamiento acústico, gracias al diseño de los paneles, que es totalmente novedoso con respecto a los existentes en el mercado actual y también debido al aprovechamiento de la alta absorción acústica del material que los constituyen (escayola aligerada).

6. BIBLIOGRAFÍA:

- ARLITA. Dossier técnico. Madrid.
- Arquimacom. 98.- "Ponencias de la 2ª conferencia internacional sobre materiales compuestos en arquitectura e ingeniería civil". Edit: Martineau, Ph; Olivares, M. Burdeos 1.998.
- Giles B. Cork and the cork tree. Edit Pergamon Press. 1. 961. Londres.
- Hernández Olivares, F; Bollati M.R. ; Río M; Parga-Landa, B.- "Development of cork-gypsum composites for building applications. Construction and building materials 13. 1.999.
- Instituto Eduardo Torroja. "Paneles prefabricados de yeso o escayola de paramento liso para la ejecución de tabiques. Especificaciones", 1.998.
- Río Merino, M; Santa Cruz, J; Hernández Olivares, F.- Yeso aligerado con corcho y su aplicación en paneles para construcción". Solicitud de patente. OTRI. 1.999. P9902034.
- Río Merino, M; Hernández Olivares, F.- "Escayola aligerada con sólidos celulares". Informes de la construcción nº 614-9. 1.998. Instituto Eduardo Torroja. Pags 43-60.
- RY 85. "Pliego de recepción de yesos y escayolas en obras de construcción". B.O.E nº 135. 1985. M.O.P.U.
- UNE 56.911.88.
- Velasco Fernández, L. El corcho material polivalente. Ed. INIA. 1978.
- Velaz de Medrano, L.; Ugarte J. El alcornoque y el corcho. 1.922.

