

Incorporación de filamentos de PET reciclado a conglomerantes de yeso y mortero, para crear paneles de yeso ecoeficientes, de aplicación en particiones interiores.



TFG H:

Tutor:

Enrique Domingo Fernández Nieto

Autora:

Arantxa Herrera García/DNI:05937877-J

Grado en Fundamentos de la Arquitectura 2017-2018

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

ÍNDICE (I)

_RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	2
2.1. El plástico	
-Origen etimológico	
-Cronología del plástico	
-Propiedades	
-Tipos más comunes	
-Impacto ambiental	
-Estrategias: Europa y España	
2.2. Aplicación del plástico como material de construcción	
3. OBJETIVOS	13
3.1. Objetivos generales	
3.2. Objetivos específicos	
4. METODOLOGÍA	13
4.1. Trabajos previos a la elaboración de las probetas	
4.2. Ensayos mecánicos (para yeso y mortero)	
4.3. Ensayo acústico (para yeso y mortero)	
4.4. Repetición de probetas de yeso	
5. ANÁLISIS DE DATOS	22
5.1. Análisis de ensayos mecánicos	
5.2. Análisis de ensayo acústico	
6. CONCLUSIONES	33

ÍNDICE (II)

7. PROPUESTA DE PRODUCTO	34
7.1. Propuesta de panel de yeso para particiones interiores	
7.2. Productos similares en el mercado	
7.3. Definición y utilidad de los paneles de yeso con adición de plástico PET para particiones interiores	
8. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO	40
9. COMPARATIVA DEL MATERIAL PROPUESTO CON OTROS SISTEMAS	42
10. BIBLIOGRAFÍA	44
10.1. Libros y artículos	
10.2. Fotografías	
10.3. Recursos de internet	

*Este TFG tiene una parte práctica de laboratorio que la hemos realizado en grupo, con lo cual desde el apartado “_INTRODUCCIÓN” hasta “_OBJETIVOS” es común en los trabajos de cada uno de los componentes:

- Francisca María Ariza Crespo
- María José Ayala Orellana
- Arantxa Herrera García
- Francisco José Mena Calvo

_RESUMEN:

La primera aparición del plástico fue a finales del siglo XIX, pero no fue hasta la mitad del siglo XX cuando alcanzó su auge. Hoy día, hay alrededor de 8.300 millones de toneladas de este material en el mundo. De esta cantidad, 2/3 se han convertido en residuos. Y de esos residuos, un 91% no han pasado nunca por un contenedor de reciclaje, una cifra bastante alarmante.

La investigación que se va a llevar a cabo tiene como objetivo abordar esta situación y conseguir una relación directa con la arquitectura y la forma de construir, buscando una solución constructiva añadiendo el plástico como aditivo a conglomerantes como el mortero de yeso y de cemento.

A la nueva propuesta de material conseguido se le estudiarán sus propiedades mecánicas tanto a flexión como a compresión y su comportamiento acústico, comparando los resultados con productos ya existentes en el mercado para comprobar las mejoras de la adición del plástico en el conglomerante.

Tras hacer esos análisis se elegirá una característica que la adición de plástico PET, aporte al nuevo material que en este caso será la disminución de peso y de densidad. Y se propondrá un panel de yeso para la construcción de particiones interiores.

Palabras clave: Plástico, PET, conglomerante, reciclado, construcción, material, yeso, cemento, paneles.

ABSTRACT

The first appearance of plastic was at the end of the 19th century, but it was not until the middle of the 20th century that it reached its peak. Today, there are around 8,300 million tons of this material in the world.

Of this amount, 2/3 have been converted into waste. And of those waste, 91% have never gone through a recycling bin, a rather alarming figure.

The research that is going to be carried out aims to address this situation and get a direct relationship with the architecture and how to build, looking for a constructive solution by adding plastic as an additive to binders such as plaster and cement mortar.

The new material proposal will be studied its mechanical properties both bending and compression and its acoustic behavior, comparing the results with existing products in the market to check the improvements of the plastic in the binder.

After doing these analyzes, a characteristic will be chosen that the addition of PET plastic, contributes to the new material, which in this case will be the decrease in weight and density. And a plaster panel will be proposed for the construction of interior partitions.

Keywords: plastic, PET, conglomerate, recycling, building, material, cast, concrete, panels.

1. INTRODUCCIÓN

El plástico, desde su expansión a principios del siglo pasado, se ha convertido en un material muy popular y se utiliza de muchas maneras diferentes.

Hoy día, se utilizan para fabricar y envolver muchos de los productos que compramos y consumimos. El problema llega cuando ya no nos es útil, esto ocurre sobre todo con el plástico desechable de envasar y embalar.

Este material es fácil y barato de fabricar y por eso su gran utilización además de su duración en el tiempo. Lamentablemente, estas mismas ventajas hacen que se convierta en el aliado número uno de la contaminación. Ya que no puede descomponerse y se necesita una alta energía de rayos ultravioleta para su total desaparición y la cantidad de plástico que se desperdicia en los océanos está aumentando considerablemente.¹

Por ello la importancia tan necesaria de darles un nuevo uso, con el objetivo de reducir los efectos negativos que el plástico produce al medio ambiente y dar un paso más incorporándolos al gran sector de la construcción, convirtiéndolos en aditivos de conglomerantes de cemento y yeso, como es el caso de este trabajo de investigación.

Para alcanzar este objetivo necesitamos elaborar una simulación del nuevo material y ensayarlo para obtener sus características (comportamiento acústico) y comportamientos físicos (flexión y compresión).

Además de compararlos con productos y materiales ya existentes en el mercado para comprobar las mejoras de adición de plástico en el conglomerante.

¹ EL PROBLEMA DEL PLÁSTICO. de NU2 Sitio web: <http://nu2.es/listas/reportajes/el-problema-del-plastico/>

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. El plástico

-Origen etimológico

La palabra plástico tiene origen del latín “plasticus”, y este a su vez del griego “plastikos”, a su vez “plastikos” se forma por la palabra “plastos” (formado, modelado), el adjetivo verbal del verbo “plasso” (yo formo, yo modelo, yo forjo) y por el sufijo “-ikoç” (relativo a, que posee cierta característica). Todos estos términos se refieren a la maleabilidad o plasticidad del material.²

-Cronología del plástico

Desde los inicios históricos, el ser humano se ha interesado por la constante modificación y manipulación de los objetos y materiales que los rodeaban, con el fin de buscar un beneficio que no podían encontrar en la naturaleza de forma directa. Esta constante inquietud, llevó a distintos pueblos mesoamericanos a una búsqueda de materiales naturales que ofrecían una serie de características plásticas intrínsecas, iniciando así el uso de materiales plásticos.³

Como mencionamos, el uso de plástico se remonta a pueblos mesoamericanos mediante la utilización del caucho para la elaboración de pequeños utensilios. Pero no es hasta pasada la segunda guerra mundial cuando comenzó la fabricación y el uso masivo del plástico.

El plástico que hoy día conocemos se consigue con la modificación química de materiales que se encuentran en la naturaleza, como sería el caucho, la nitrocelulosa, el colágeno o la galalita, para llegar hasta materiales totalmente sintéticos que son los que hoy día denominamos plásticos.

Además, el plástico ha sido un gran factor para el desarrollo y numerosas investigaciones debido a sus propiedades: es impermeable, puede moldearse en diferentes formas, puede ser rígido o flexible, duro o blando, opaco o transparente. Todas estas propiedades lo han convertido en un material imprescindible en nuestra vida diaria.

² Plástico. De Diccionario Etimológico español en línea. Sitio web: <http://etimologias.dechile.net/?pla.stico>

³ El plástico: una historia de más de 100 años de innovación. De PlasticsEurope. Sitio web: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history>

-Tipos más comunes:

Los diferentes tipos de plásticos más conocidos hoy en día son:

PET (Polietileno tereftalato), de este material están hechas la mayoría de las botellas de agua y envases de alimentos, tiene como característica que es muy transparente e impide la entrada del oxígeno en su interior. Lo normal es que acabe su vida como tejido sintético o escoba; PEAD (Polietileno alta densidad): su uso es en botellas de productos de limpieza, envases de cosméticos, envases de zumos, usado para las capas de los tetrabriks y bolsas resistentes; PVC (Policloruro de vinilo): utilizado para tuberías, cables, canalones, algunos tipos de film transparente y botellas de detergente; PEBD (Polietileno baja densidad): film adhesivo, bolsas y bolsas de plástico blando; PP (Polipropileno): uso común de tapones y tapas de envases, recipientes de yogourt y envases de mantequilla. Se caracterizan porque pueden soportar la presión repetitiva de abrir y cerrar; PS (Poliestireno): Porexpan (marca), bandejas de supermercados, envases de comida rápida y en su forma más rígida estuches de CD o cubiertos desechables.

-Impacto ambiental

El gran inconveniente es que la mayor parte de monómeros usados en la producción de plástico son derivados de hidrocarburos fósiles, es decir, son materiales no renovables y cuando hablamos sobre el tiempo que tarda en descomponerse el plástico nos referimos al necesario para que la luz y la propia naturaleza lo vaya desgastando hasta llegar al tamaño de partículas de milímetros o micras.

Todo ello junto a un consumo diario de elementos de un solo uso hace que a día de hoy se hayan generado un total de 8300 millones de toneladas de plástico, que en relación a la población mundial de 2017 supone unos 1100 kilos de plástico por cada habitante del planeta. De toda esta cantidad de plástico solo un 30% sigue en uso, el resto se ha convertido en residuos, de los cuales el 9% se ha reciclado, el 12% ha sido incinerado y el 79% restante ha ido a parar a vertederos o al medio ambiente.

Aun así, el dato más alarmante es que según las previsiones para el año 2050 habremos producido 34.000 millones de toneladas de plástico, y 12.000 millones de estos serán residuos.⁴

Como hemos mencionado anteriormente el plástico no es un material biodegradable y por norma general acaba depositándose en el mar, en

⁴ Datos obtenidos del artículo con referencia bibliográfica: Roland Geyer, Jenna R. Jambeck and Kara Lavender Law (19 Jul 2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances. Vol. 3. No. 7

forma de desechos a la deriva hasta descomponerse en forma de micropartículas que se mantienen presentes en el agua y cuyo impacto en la naturaleza está siendo estudiado en la actualidad.

Los plásticos acaban en el mar tras haberse arrojado directamente a este o mediante los ríos que llegan a él, arrastrando plástico de diferentes tipos de tamaños y envases. Tras llegar al mar son arrastrados por las corrientes y el viento a través de los distintos océanos llegando a crear islas de basura.

Un claro ejemplo de ello es el conocido como el Gran Parche de Basura del Pacífico, una isla de plástico de unas 80.000 toneladas y una superficie de 1,6 millones de kilómetros cuadrados (el equivalente a la suma de España, Francia y Alemania), datos obtenidos mediante una investigación y mapeo de tres años en el que colaboraron un equipo internacional de científicos afiliados a The Ocean Cleanup Foundation, seis universidades y una compañía de sensores aéreos.

Las conclusiones son que la masa y superficie de la isla es de cuatro a dieciséis veces más grande que las estimaciones realizadas, también cabe destacar que tras analizar los distintos tipos de residuos concluyeron en que el 92% de la masa de la isla está formada por objetos grandes y solo el 8% corresponde a micropartículas (de milímetros o micras) de plástico.⁵

El artículo publicado en la revista Environmental Pollution, que describe un estudio realizado por la ONG Adventure Scientist, el Colegio del Atlántico de Maine (EEUU) y la Universidad de Virginia (EEUU); hace un estudio sobre la cantidad de plástico que actualmente está flotando en el mar (236.000 toneladas) y además alerta que si a esta cantidad le añadimos el plástico presente en forma de micropartículas la cantidad anterior podría llegar a multiplicarse por 1000, dichas micropartículas acaban en aguas abiertas o en latitudes altas donde su proceso de degradación se ralentiza.

Estas micropartículas de plástico presentan toxinas y contaminantes que podrían afectar a la vida marina que se están comenzando a estudiar en la actualidad.

⁵ Laurent CM Lebreton, Boyan Slat, Francesco Ferrari, Bruno Sainte-Rose, Jen Aitken, Bob Marthouse, Sara Hajbane, Serena Cunsolo, Anna Schwarz, Aurore Levivier, Kim Noble, Pavla Debeljak, Hanna Maral, Rosanna Schoeneich-Argent, Roberto Brambini, Julia Reisser. (March 2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is Rapidly Accumulating Plastic. Scientific Reports, 8, 46.

-Estrategias: Europa y España

Ante esta situación la Unión Europea responde con la Estrategia Europea de Plásticos, aprobada el 16 de enero de 2018, cuyo objetivo principal es proteger al medio ambiente de la contaminación producida por los plásticos al tiempo que se incentiva el crecimiento, de tal forma que un obstáculo se convierte en un programa positivo para el futuro de Europa. A ello hay que sumarle el propósito de cambiar todos los envases de plástico del mercado de la Unión Europea en envases reciclables, y restringir el uso internacional de micro plásticos. Para desarrollar esta nueva estrategia se presentan las siguientes propuestas⁶:

-Hacer que el reciclaje sea más rentable para las empresas, de tal forma que se aumente la cantidad de plástico recogido y reutilizado.

-Restringir el uso de micro plásticos en los productos e imponer etiquetas en artículos con plásticos biodegradables.

-Reducir la basura marina, incluyendo una reducción de la carga administrativa para puertos y autoridades competentes.

-Fomentar la inversión e innovación para desarrollar plásticos más fáciles de reciclar, haciendo que los procesos de reciclaje sean más eficientes y controlando las sustancias nocivas de los plásticos reciclados.

Con anterioridad a la elaboración de esta estrategia se aprobó el 29 de abril de 2015, en el parlamento europeo la directiva 2015/720 (una modificación de la directiva 94/62/CE) pretende reducir el consumo de bolsas ligeras en un 80% desde 2015 hasta 2025.

En España se aprobaron el pasado 18 de mayo el Real Decreto sobre reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores, este último como objetivo el remitir la información sobre las bolsas de plástico puestas en el mercado, y así poder saber la efectividad de las medidas.⁷

⁶ Comisión Europea. (2018). Residuos plásticos: una estrategia europea para proteger el planeta, defender a los ciudadanos y capacitar a las industrias. 2018, de European Commission Sitio web: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-5_es.htm

⁷ (2018). El Gobierno aprueba medidas para reducir el consumo de bolsas de plástico. 2018, de Gobierno de España. La Moncloa Sitio web: <http://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/resumenes/Paginas/2018/180518-consejo.aspx?qfr=1&galv2r=6&gal1er=0>

2.2. Aplicación del plástico como material de construcción

-Ladrillos de PET

Actualmente existe una solución limpia y ecológica que respeta el medio ambiente en la que se utiliza este material, son los ladrillos PET.

El uso de este ha surgido como consecuencia de las grandes toneladas de envases usados que se generan de este material, sumándose a esto que para degradarse por completo se necesitarían unos 500 años. Esto se considera un gran problema.

La persona que diseñó junto a su equipo un proceso de reutilización de envases de bebidas de desecho para la elaboración de elementos constructivos fue Rosana Gaggino, arquitecta, urbanista y doctora en Ciencias del Diseño.

Aunque no pueden ser utilizados en cerramientos poseen muchas ventajas. Para su fabricación se sustituye la arena por partículas del plástico PET de veinte botellas de desecho, con lo que resulta mucho más ecológico que el ladrillo convencional, evitando el consumo de recursos naturales.⁸



Figura 1: Ladrillos PET, Rosana Gaggino (COCINET)

⁸ Sanz, M.J. (2016). *Ladrillos PET, avances en la construcción ecológica*. Febrero 07, 2016, de Arquitectura y empresa. Sitio web: <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/ladrillos-pet-avances-en-la-construccion-ecologica>

-Aplicaciones con botellas de plástico (PET)

Siguiendo esta línea de investigación, un alumno de la UAQ (Universidad Autónoma de Querétaro, México), desarrolló un tabique reforzado con PET. Cada construcción que se hacía con este material permitía aprovechar unas 4 mil botellas de plástico.

Además, se han creado paneles y azulejos a partir de botellas de plástico (PET).⁹



Figura 2: Paneles para techo de PET de botella de plástico (ABILIA)

-Adición de plásticos en mortero de cemento

Existe un ensayo en el que los morteros se elaboraron con cemento Portland (CEM II / B-L 32.5N); arena silíceo del río Tajo; y dos tipos de residuos plásticos granulados, agregados PP y PF. Los agregados de PF se fabricaron triturando botellas de PET a tamaños de 1-4 mm y se produjeron agregados de PP en tamaños de 1-4 mm, aplicando un proceso térmico a partículas de botellas de PET trituradas, debemos añadir que las partículas de PET agregadas al mortero se hacían con un determinado porcentaje, el cual sería del 5%, 10% y 15% del volumen total de agregados.

⁹ (2014). *10 materiales de construcción ecológicos*. 2014, de Abilia. Sitio web: <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/10-materiales-de-construccion-ecologicos/>

Los resultados indicaron una reducción de la rigidez del mortero modificado, la cual se debe probablemente a la mayor deformabilidad de los áridos y a la débil adherencia entre los agregados plásticos y la matriz en comparación con la matriz y la arena convencional, dada la superficie lisa y menos porosa del plástico agregado. Por lo tanto, la mezcla es menos compacta y más capaz de mostrar deformaciones.

Las pruebas de resistencia a la flexión y compresión del mortero endurecido se realizaron a los 28 días de acuerdo con EN 1015-11 (1999). Los resultados mostraron que las fuerzas de flexión y compresión disminuyen con la sustitución de agregados naturales por agregados plásticos. Esta tendencia podría estar relacionada con el hecho de que los agregados de plástico, a diferencia de los agregados naturales, presentan una superficie lisa, son impermeables y menos resistentes, poniendo en peligro la matriz de conexión. El rendimiento que se observó era consistente con los resultados informados para los agregados de PET y para los agregados de caucho. Para otros materiales de desecho (vidrio), la tendencia fue opuesta. A diferencia del aumento de la ductilidad observado en la carga de compresión de baja falla, la falla de carga flexible sigue siendo bastante frágil después de la incorporación de los agregados de plástico, probablemente porque el comportamiento de flexión se ve más afectado por pequeños defectos, en este caso, por una conexión débil entre la matriz y los agregados.

La resistencia a la compresión y flexión tuvo una mayor influencia en la decisión debido a la mayor discrepancia en los resultados en comparación con el mortero de referencia. Aunque la resistencia mecánica disminuyó significativamente, con la relación de sustitución más alta (15%), continuaron teniendo valores aceptables y permanecieron en la clasificación CS-II, en relación con la clasificación de resistencia a la compresión de la premezcla morteros, propuesto por EN 998-1 [37]. En cuanto a las propiedades que ganó con la incorporación de agregados de PET, como la resistencia a los golpes, parece que, aunque ambos morteros con un 10% de relación obtuvieron valores más altos, es preferible elegir el mortero más sostenible en términos de reciclaje de plástico (15%), para maximizar los beneficios en términos de lo mencionado anteriormente.

Los resultados de las pruebas realizadas en este programa experimental han permitido una mejor caracterización de los morteros con la incorporación de materiales finos de PET reciclado. Aunque la incorporación de agregados plásticos ha demostrado ser desfavorable para ciertas propiedades, como resistencia mecánica y adhesiva, o absorción de agua, otras propiedades obtuvieron una mejora considerable en el rendimiento del mortero, como la permeabilidad al

vapor de agua y la resistencia al impacto. Gracias a este artículo pudimos ver como la forma y el número de partículas recicladas incorporadas en los morteros son factores muy importantes y deben tenerse en cuenta, ya que pueden causar cambios significativos en el rendimiento de los morteros, del mismo modo que la incorporación de los agregados de residuos plásticos PET como un reemplazo parcial para la arena ha demostrado reducir tanto las densidades frescas como las densas del mortero debido a la menor densidad del plástico en comparación con la arena. Se observó una caída en la resistencia a la compresión y flexión, que se puede atribuir al enlace semanal entre la matriz y los agregados de PET. Sin embargo, la pérdida de resistencia mecánica no es relevante si estos materiales compuestos se utilizan en aplicaciones no estructurales, como revoques de paredes y yesos. A pesar de esta disminución, las muestras que contienen agregados de plástico muestran una falla más gradual bajo carga de compresión que hace que el mortero modificado sea más dúctil. Esta tendencia parece ser más notable a medida que aumenta el contenido de agregados de plástico.

En conclusión, los resultados del presente estudio han sido bastante alentadores y han abierto caminos para el reciclado de agregados de desechos de PET en morteros.

El aumento del crecimiento del plástico en nuestra sociedad ha provocado la búsqueda de métodos para resolver la eliminación de residuos de la industria, provocando el interés de reciclar este material, tanto en términos ecológicos como económicos, ya que no es solo debido a su agresividad hacia el medio ambiente, sino también al gran volumen de material depositado en vertederos junto con el hecho de que no es biodegradable.

Este documento aborda estos temas dentro del contexto del desarrollo sostenible, considerando una nueva aplicación para residuos plásticos y estudia los efectos de su incorporación en morteros. Se han considerado tres sustituciones de la proporción del mortero con plástico reciclado para agregado natural, 5%, 10% y 15%. Esta sustitución se hizo en volumen y solo en la fracción de 1-2 mm. Los resultados muestran que, aunque la incorporación de agregados de plástico condujo a un peor desempeño en algunas propiedades, en otros los morteros modificados revelaron un rendimiento significativamente mejorado en comparación con el mortero de control (sin plástico).¹⁰

¹⁰ da Silva, A. M., de Brito, J., & Veiga, R. (2014). "Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars". *Construction and Building Materials*, 71, 226–236.
Sifio web: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.026>

-Fibras de plástico recicladas como refuerzo

Existen unos experimentos que se realizaron para investigar los efectos de las fibras residuales de plástico reciclado (RP) sobre la resistencia a la flexión, la tenacidad a la flexión y las características de agrietamiento por contracción plástica del mortero de cemento Portland. Los parámetros que se investigaron incluyen el contenido de fibra y la longitud de la fibra, y las pruebas realizadas incluyen flexión y pruebas de contracción plástica. Los resultados experimentales mostraron un aumento sustancial de la tenacidad a la flexión, aproximadamente de 26 a 61 veces, y un aumento considerable de la resistencia a la flexión que varió del 6% al 84% de los morteros reforzados con fibras RP en comparación con el mortero simple. Los resultados de la prueba también mostraron una reducción significativa en el ancho y el área total de las grietas por contracción plástica de losas reforzadas con una mayor cantidad de fibras RP en comparación con las losas de control sin fibras. No se observaron grietas por contracción plástica en la superficie de las losas de mortero reforzadas con 1,5% (en volumen) de fibras RP de 50 mm de longitud. Además de reducir el costo de la eliminación de desechos de plástico, esta investigación recomienda agregar alrededor del 1,5% de la producción local; Fibras de plástico reciclado de 50 mm de longitud al mortero de cemento ordinario para mejorar la ductilidad y el mecanismo de detención de grietas de la matriz de mortero.

Además de los beneficios ecológicos de producir fibras cortas y discretas a partir de residuos de plástico, se pueden extraer las siguientes conclusiones de esta investigación:

- Además de los beneficios ecológicos, las fibras recicladas (PET) pueden mejorar el rendimiento del mortero de cemento.
- Los prismas de mortero reforzados con fibras de PET mostraron un aumento sustancial en la tenacidad a la flexión.
- Las fibras recicladas (PET) se pueden utilizar para minimizar el agrietamiento por contracción plástica de las losas de mortero.
- Se redujeron las áreas totales de grietas en las superficies de losas de mortero reforzadas con fibras de PET.¹¹

¹¹ Al-Tulaiyan, B. S., Al-Shannag, M. J., & Al-Hozaimy, A. R. (2016). "Recycled plastic waste fibers for reinforcing Portland cement mortar". *Construction and Building Materials*, 127, 102–110. Sitio web: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.131>

-Comportamiento mecánico de yeso reforzado con polímeros sintéticos

La siguiente tesis doctoral ofrece unos datos muy interesantes debido a varios aspectos, el primero de ellos es el hecho de que sea una tesis que se base en un estudio de la resistencia mecánica del yeso mediante la adición de polímeros sintéticos en forma de fibra y la segunda es que tienen como finalidad su uso en la construcción de elementos prefabricados.

La base teórica para escoger estos dos materiales es la existencia de fuerzas de Van der Waals entre ambos materiales, debido a su análogo sistema de cohesión a nivel estructural, con la finalidad de llegar a un aumento de las características mecánicas del yeso que permita su uso como elemento prefabricado laminar.

El estudio se complementa con un proceso experimental que comprueba el comportamiento del material bajo distintas adiciones y porcentajes hasta llegar al más óptimo, con estas proporciones se fabricarán placas de yeso para realizarles ensayos de resistencia a impacto y tracción.

Las conclusiones más relevantes para nosotros a las que se llega en dicho estudio son las siguientes:

- La adición de fibras poliméricas con porcentajes iguales o superiores al 2% de adición cambia la rotura frágil del material híbrido por una rotura de características dúctiles.
- La adición combinada de fibra de polipropileno con dispersión de policondensado de melaminaformaldehído se considera la más idónea para reforzar el yeso, así como para absorber las tensiones internas generadas por choques o impactos producidos en su superficie.
- Existe una buena adherencia entre el yeso y las adiciones de fibra de polipropileno y dispersión de policondensado de melamina-formaldehído.¹²

-Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas.

Este trabajo de investigación es de gran interés debido a que realiza una investigación para elaborar morteros con cemento, desechos plásticos PET triturados y un aditivo químico. Con esta mezcla se crean ladrillos y tejas, que presentan las siguientes características:

¹² A. García Santos, "Comportamiento mecánico de yeso reforzado con polímeros sintéticos," 1988. Universidad politécnica de Madrid.

- Menor peso unitario.
- Absorción aceptable
- Cumplimiento de las normas para dichos elementos constructivos.¹³

-Refuerzo de matrices cementicias mediante fibras sintéticas provenientes de residuos post-consumo

Esta tesis doctoral parte de dos premisas muy similares a las de nuestro trabajo de fin de grado, la búsqueda de distintos tipos de fibras para el refuerzo de nuevas matrices cementicias y el tema preocupante del incremento de generación de residuos.

De tal forma se realiza un estudio sobre las fibras sintéticas obtenidas de residuos post-consumo cuando son empleadas como refuerzo de matrices de cemento, más concretamente, fibras a partir de envases de polietileno tereftalato (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE). Ambos materiales se obtienen del reciclado de las hebras producidas en la elaboración de escobas (PET) y de los residuos generados en la instalación o sustitución del cableado de fibra óptica.

Se realiza un estudio sobre su durabilidad al estar en medios alcalinos (matrices cementicias) y ensayos a flexión y compresión, obteniendo una serie de datos que permiten contrastar sus propiedades respecto a un mortero sin fibras.

Las conclusiones a las que llega la tesis es que estas fibras pueden ser una opción de refuerzo, sobre todo en países con escasez de recursos o en vías de desarrollo.¹⁴

¹³ V. Flores, J. Rojas, R. Torres, R. Vallejos, P. Flores, and M. Flores, "Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas," in *Ciencias Tecnológicas y Agrarias T-I: Handbook*, 2014, pp. 101–110.

¹⁴ M. E. Fernández Iglesias, J. M. (dir. tes. Monzó Balbuena, and J. (dir. tes. Payá Bernabeu, "Refuerzo de Matrices Cementicias mediante la Valorización de Fibras Sintéticas provenientes de Residuos Post-Consumo," 2013.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos generales

Mediante la fabricación de las probetas de mortero de cemento y/o yeso y la obtención de datos (mecánicos, térmicos y acústicos) se pretende estudiar su comportamiento como nuevos materiales ecoeficientes procedentes de residuos que tengan alguna aplicación constructiva.

Existe el interés de hacer uso del reciclaje con la visión de contribuir a favor del medio ambiente. Además, ver las ventajas que tendría esta nueva opción frente a materiales tradicionales.

3.2. Objetivos específicos

En nuestro caso, hemos elegido como material reciclado fibras de plástico PET (Polietileno tereftalato) obtenido de los filamentos de las escobas de barrer. Por tanto, habría que ver el comportamiento del mortero de cemento y yeso con distintos porcentajes de dicho residuo para ver qué opción sería la óptima según sus propiedades mecánicas, térmicas y acústicas.

Hay que tener presente también que este nuevo material ha de tener una aplicación constructiva, con lo cual la opción elegida ha de ser viable para ello.

4. METODOLOGÍA

El material elegido para conseguir los objetivos es el plástico, como bien se intuye después del análisis y descripción hechos en los capítulos anteriores sobre él. Pero más concretamente he elegido los filamentos de las escobas de PET, para darles un nuevo uso. Ya que, las escobas son útiles muy abundantes por su uso cotidiano de limpieza, como por ejemplo puede ser en el hogar.

4.1. Trabajos previos a la elaboración de las probetas

Para la correcta elaboración de las probetas primero debemos obtener la materia prima, en este caso el protagonista de estos ensayos, los filamentos de las escobas.

Cortamos de varias escobas sus filamentos, y se miden para sacar una longitud media de estos y tenerlo en cuenta a la hora de hacer los cálculos y la adición en las probetas y también saber si dentro de estas cabrían.

También debemos elegir los porcentajes entre los que tenemos que trabajar para posteriormente tener un número determinado de probetas y compararlas entre sí.

En este caso tenemos que tener en cuenta que el plástico y en este caso los filamentos tienen una densidad muy baja en comparación con la arena que se le añade al mortero, por ello no podemos elegir porcentajes muy elevados como se nos recomendó, si no que tenemos que oscilar en torno al 0,5 y 2 por ciento. Exactamente sabremos cuales son los más correctos cuando realicemos los cálculos.

En este ensayo tenemos en cuenta el cálculo de adición de filamentos tanto en yeso como en mortero de cemento. Finalmente se han elegido 0.75% y 1% en ambos materiales.



Figura 3: Filamentos cortados de las escobas.
Foto tomada en el laboratorio

4.2. Ensayos mecánicos

ELABORACIÓN DE PROBETAS

-Mortero de cemento

Para la elaboración de estas probetas tenemos que saber de qué materiales está compuesto este mortero y sus proporciones. Y por ello indicamos las siguientes relaciones: agua/cemento=0,80 y cemento/agua=1/6.

Necesitamos en total por cada probeta (son 6 en total) 350gr de arena, sin haber descontado aún de este total el material de adición que necesitamos añadir.

En la relación del 0.75% añadiremos para las 6 probetas mecánicas 2500gr de arena, 18.75gr de filamentos PET con una longitud entre 4 y 4.50 cm, 416.67gr de cemento y 333.33gr de agua. Todos estos datos obtenidos de las proporciones marcadas antes.

Y en la relación del 1% añadiremos para las 6 probetas mecánicas 2500gr de arena, 25gr de filamentos PET con una longitud entre 4 y 4.50 cm, 416.67gr de cemento y 333.33gr de agua. Todos estos datos obtenidos de las proporciones marcadas antes.

Una vez tenemos los cálculos, en el laboratorio se nos proporcionan 6 probetas metálicas para los ensayos mecánicos. De estas obtendremos probetas prismáticas de 40x40x160 mm.

El proceso en el laboratorio es el siguiente:

- 1. Pesar los materiales que vamos a necesitar para hacer las mezclas.
- 2. Aplicar el desencofrante en los moldes
- 3. Verter la mezcla en su interior
- 4. Golpear ligeramente la mezcla en el interior para que se compacte bien y el agua de la mezcla se equilibre.
- 5. Etiquetar cada una de las probetas con su nomenclatura y el % de cada una. Lo que se denomina como código y deberá ponerse lo siguiente: Ensayo al que se designa la probeta, material conglomerante, adición, proporción utilizada (%) y el número de la probeta.
- 6. Cuando ya esté seco, tras unos 28 días aproximadamente se desmoldarán las probetas.

Nota: Para determinar la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido, se utiliza la norma UNE-EN-1015-11.

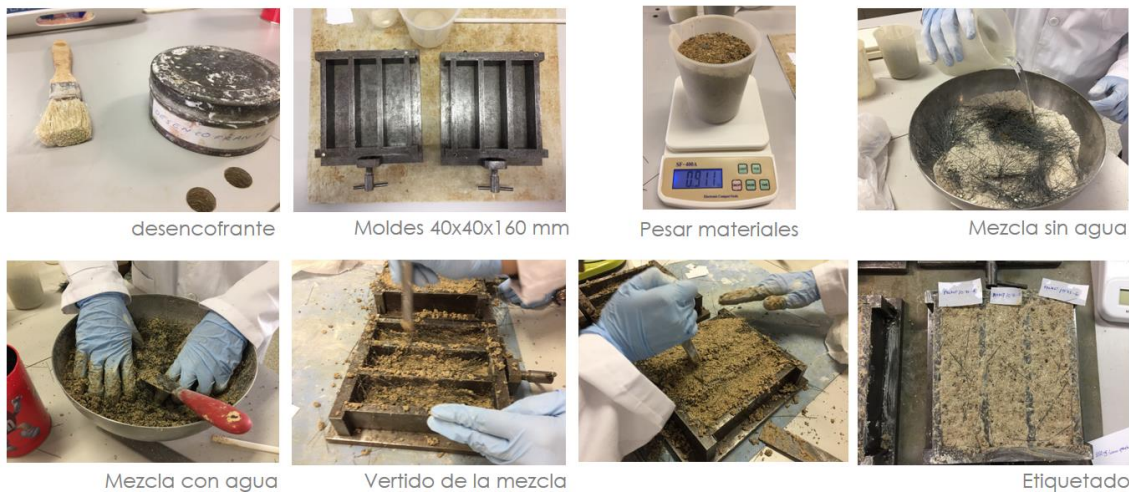


Figura 4: Proceso de elaboración
Imágenes tomadas en el laboratorio

-Yeso.

Para la elaboración de estas probetas tenemos que tener en cuenta las proporciones que de normal se usan en el mundo profesional para elaborar este conglomerante. En este caso tendremos en cuenta la siguiente proporción entre agua y yeso: $\text{agua/yeso}=0,55$. Esto significa que para sacar la cantidad de agua que necesitamos realizamos la siguiente operación: $\text{yeso (gr)} \times 0,55$.

En la relación del 0.75% añadiremos para las 6 probetas mecánicas 1800gr de yeso, 22.50gr de filamentos PET con una longitud entre 4 y 4.50 cm, y 1637.625gr/ml de agua. Todos estos datos obtenidos de las proporciones marcadas antes.

Y en la relación del 1% añadiremos para las 6 probetas mecánicas 1800gr de yeso, 30gr de filamentos PET con una longitud entre 4 y 4.50 cm, y 1633.5gr/ml de agua. Todos estos datos obtenidos de las proporciones marcadas antes.

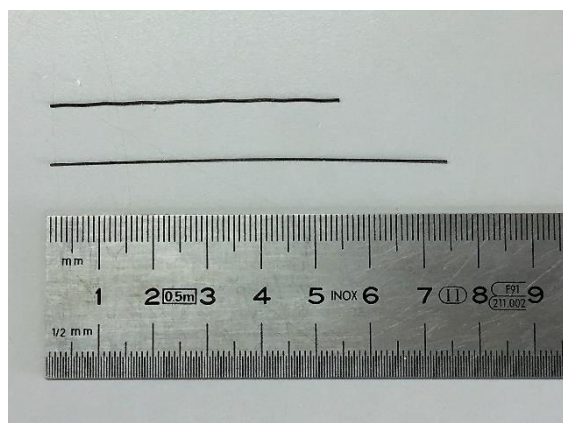


Figura 5: Dimensiones del filamento
Foto tomadas en el laboratorio

Una vez tenemos los cálculos, en el laboratorio se nos proporcionan 6 probetas metálicas para los ensayos mecánicos. De estas obtendremos probetas prismáticas de 40x40x160 mm.

El proceso en el laboratorio es el siguiente:

- 1. Pesarse los materiales que vamos a necesitar para hacer las mezclas.
- 2. Aplicar el desencofrante en los moldes
- 3. Verter la mezcla en su interior
- 4. Mover los moldes llenos para que la masa se homogenice.
- 5. Etiquetar cada una de las probetas con su nomenclatura y el % de cada una. Lo que se denomina como código y deberá ponerse lo siguiente: Ensayo al que se designa la probeta, material conglomerante, adición, proporción utilizada (%) y el número de la probeta.

ENSAYO

El ensayo en sí consiste en partir las probetas en una prensa con una determinada fuerza. La primera vez que rompe la probeta obtenemos la resistencia a flexión. Y de ahí obtenemos dos partes A y B, a ambas se les vuelve a colocar por separado en la prensa a otra fuerza, y así obtenemos resistencia a compresión en A y en B. Esta última es el máximo esfuerzo que puede soportar el material bajo una carga por aplastamiento.

4.3. Ensayos mecánicos

ELABORACIÓN DE PROBETAS

-Mortero de cemento

En la elaboración de estas probetas también utilizamos las mismas proporciones que las usadas en los ensayos para obtener las cantidades que necesitamos de cada material, la diferencia ahora son los moldes de las probetas que solo necesitamos 3 unidades y debemos elaborarlo nosotros de forma artesanal.

Las dimensiones que estas deben tener son las siguientes: entre 9.5 y 10 cm de diámetro y 2 cm de espesor. El espesor podría ser menos, incluso de 1 cm, pero tememos que en el ensayo o cuando la masa endurezca le aparezcan fisuras o incluso se partan, ya que, también le hemos

añadido un material que no se sabe cómo se comportará dentro de esa mezcla.

Los moldes se han realizado cogiendo unas botellas que casualmente eran del diámetro que necesitamos, las hemos cortado y hemos intentado variar varios mm el tamaño de estas entre ellas para tener luego una muestra en concreto que se ajuste más al diámetro del tubo de Kundt.

-yeso

Como se ha explicado anteriormente en las probetas mecánicas, las proporciones de yeso se obtienen en una relación de agua = yeso x 0.55

Ahora solo se necesitan 3 probetas circulares, entre 9.5 y 10 cm de diámetro y 2 cm de espesor.

En este caso para estas probetas (las tres) necesitamos para el 0.75%, 492gr de yeso, 22.5 gr de filamentos de PET de escobas y 1637.625gr/ml de agua. Y para el 1%, 492gr de yeso, 30gr de filamentos de PET de escobas y 1633.5gr/ml de agua.



Figura 6: Moldes para tubo de Kundt. (los circulares)
Foto tomadas en el laboratorio

ENSAYO. Tubo de kundt.

El tubo de Kundt es un dispositivo que permite visualizar ondas sonoras. Y así poder saber la absorción sonora del material que vamos a analizar.

El tubo es un cilindro en el que en su extremo se coloca la muestra cilíndrica, con la cara que se quiere ensayar hacia dentro de este. Dentro hay una sonda, que es un micrófono, para captar la onda. Al final tiene un altavoz y posteriormente un micrófono móvil conectado a un ordenador, donde vemos los resultados de la absorción acústica del material.

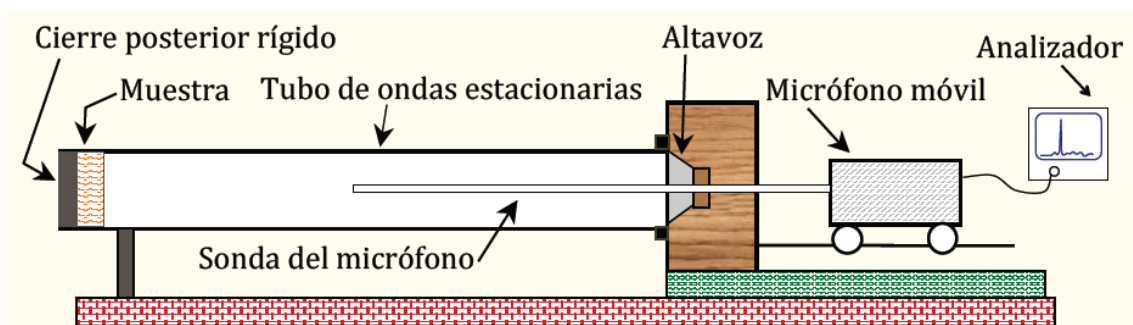


Figura 7: Esquema de funcionamiento y partes del Tubo de Kundt.
Imagen cogida de los apuntes proporcionados por el profesor.

En este caso colocamos la muestra con algo de celo, para aseguramos que no se caiga o se mueva dentro del tubo.

Tenemos que medir una familia de frecuencias de octavas diferentes. En este caso lo haremos a 250Hz, 500Hz, 1000Hz y 2000Hz.



Figura 8: Muestra sobre el soporte del tubo de Kunt con plastilina para asegurar que queda bien encajada.
Foto tomada en el laboratorio

En algunas muestras al ser algo más pequeñas que el tamaño exigido, le colocamos en su alrededor un poco de plastilina, esto ayuda a que no se caiga y no interfiere en el resultado de la muestra.

Cuando miramos la pantalla la línea blanca nos muestra la intensidad a las diferentes frecuencias. Como analizamos frecuencia a frecuencia, nos interesa la señal que se genera en la misma frecuencia.

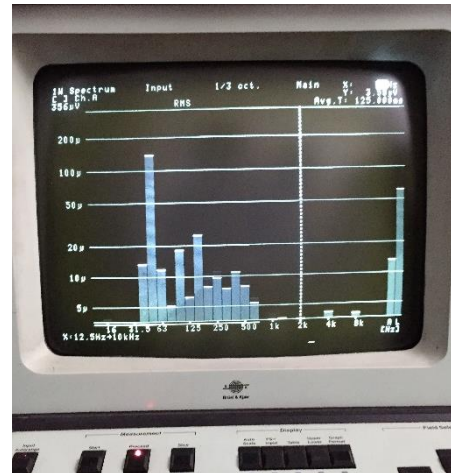


Figura 9: Pantalla donde se muestra el análisis del tubo de Kundt.
Foto tomada en el laboratorio

Con la muestra ya dentro del tubo, movemos el micrófono exterior para encontrar el mínimo y el máximo a una frecuencia determinada. Primero medimos el mínimo y luego el máximo. No es obligatorio, pero es el criterio que hemos fijado en el laboratorio.

4.4. Repetición probetas de yeso. Ensayo acústico y mecánico.

Tras ver el resultado de las probetas hechas con yeso, el resultado no era muy óptimo y se intuía que cuando le hiciésemos los ensayos los resultados no iban a ser correctos ni acordes con lo que se busca en el trabajo.

En la siguiente fotografía podemos comprobar los errores geométricos que presentan las probetas. Vemos que el yeso no ha rellenado por completo la probeta, las aristas están “vacías”. El material se quedó en el centro en su totalidad e intuimos que eso no será bueno para su comportamiento en los distintos ensayos a los que se va a someter a la probeta.



Figura 11: Probetas previas a su rotura para los ensayos
Foto tomada en el laboratorio



Figura 10: Probeta ya rota, para el ensayo mecánico.
Foto tomada en el laboratorio

Volvemos a repetir las probetas para cada ensayo con este material, y en el laboratorio ya nos facilitan unos moldes, con las medidas exactas para el ensayo del tubo de kundt.

Se ve la oportunidad de aumentar un porcentaje más para que a la hora de comparar resultados tengamos más datos que poder analizar. Añadimos una adición del 1.25%, que está dentro del baremo que debemos respetar por la densidad menor del plástico que ya comentamos al principio.

Recalcamos que las cantidades de material calculadas anteriormente para yeso se mantienen, lo único que añadimos un porcentaje más y ahora los filamentos los cortamos a 1.5 y 2cm. Ya que, pensamos que este fue uno de los errores de las anteriores probetas, por lo cual las volvemos a repetir.

Y el único cálculo que debemos añadir es el siguiente:

Para el 1.25% obtenemos las siguientes cantidades:

-ensayo mecánico:

1800 gr de yeso, 37.5gr de PET (filamento de la escoba) y 1629.375gr/ml de agua, para las 6 probetas.

-ensayo acústico:

492gr de yeso, 37.5 gr de PET y 1629.375gr/ml de agua.

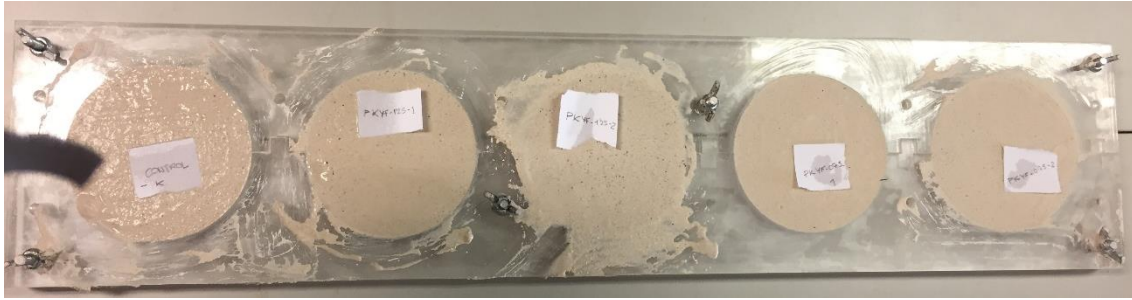


Figura 12: Probetas para ensayo acústico "nuevo" molde
Foto tomada en el laboratorio



Figura 13: Dimensiones "nuevas" del filamento.
Foto tomada en el laboratorio

5. NÁLISIS DE DATOS

5.1. Análisis de ensayos mecánicos

En primer lugar, se va a realizar un análisis de los resultados de los ensayos mecánicos, para comprobar las probetas que nos dan resultados óptimos y desechar resultados que nos alteran el análisis de forma negativa.

Así, además comprobaremos si el ensayo o las probetas están hechos correctamente o no.

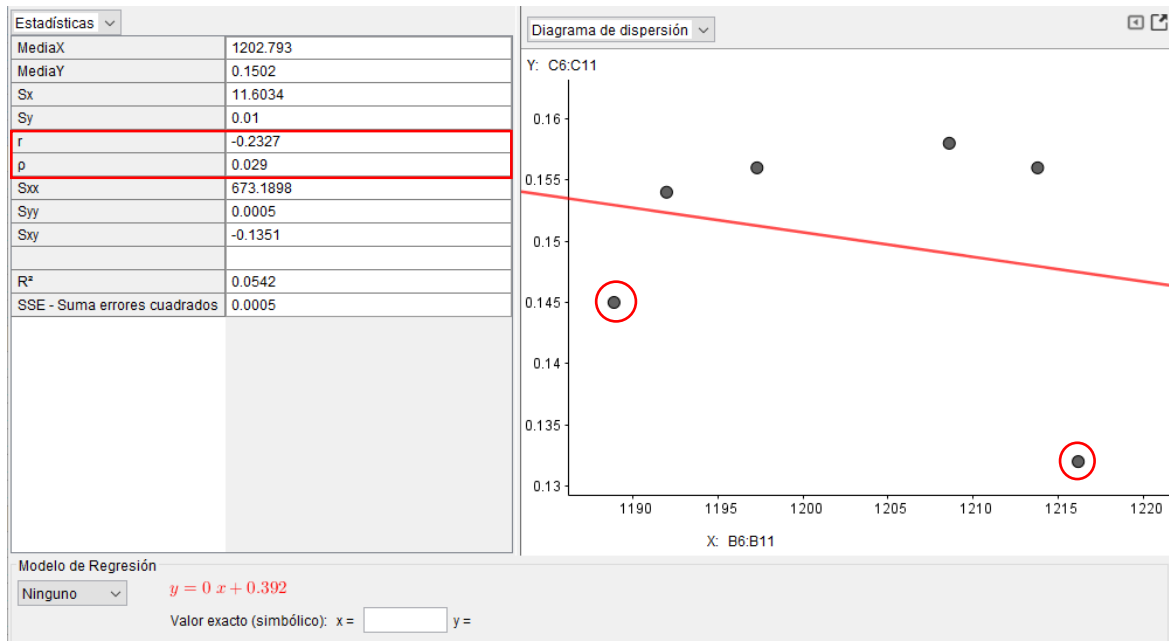
Para ello primero vamos a hacer un análisis relacionando densidad y flexión en los tres porcentajes.

El indicador de que el ensayo ha salido bien es "**r**" denominado *coeficiente de correlación*, que debe estar lo más cerca al valor 1 posible.

A continuación, se hará un análisis porcentaje a porcentaje como bien se ha comentado, y se proporcionarán también por tablas los datos obtenidos de los ensayos por cada uno de ellos.

-Probeta adición 0.75 %

Datos Ensayos mecánicos					
Probeta 0.75 %					
Nº Probeta	Peso (gr.)	Rotura a Flexión (T)	Rotura compresión (T)		Densidad (kg/m3)
			A	B	
1	311.34	0.132	1.445	1.432	1216.172
2	310.73	0.156	1.314	1.327	1213.789
3	305.15	0.154	1.358	1.364	1191.992
4	304.36	0.145	1.543	1.465	1188.906
5	306.51	0.156	1.515	1.588	1197.305
6	309.4	0.158	1.562	1.572	1208.594

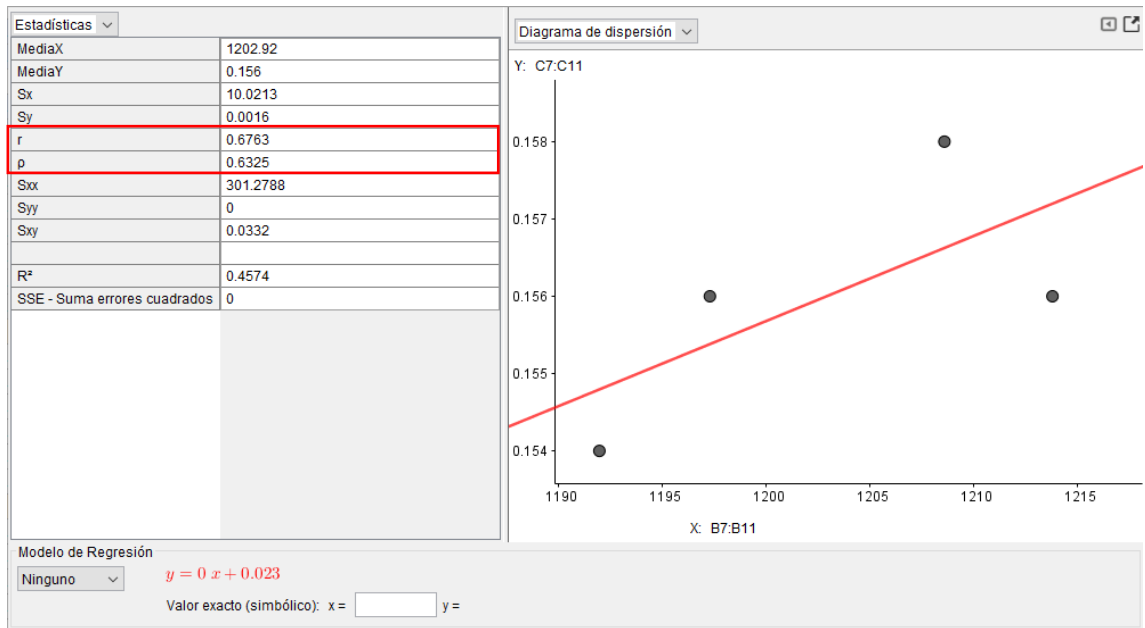


Gráfica 1: Densidad y flexión. (con todos los valores)
 Leyenda: Línea: recta de regresión
 Puntos: relación entre densidad y flexión

Eje X: Densidad (kg/m3) y Eje Y: R. Flexión (N/mm2)

Vemos en la *gráfica 1* que r tiene un valor negativo, muy lejos de 1. Algo en este ensayo no ha salido bien, posiblemente la probeta no esté bien ejecutada y para mejorar estos datos vamos a eliminar algunas probetas que los alteran.

Observando los resultados mostrados en la tabla, vamos a eliminar las probetas 1 y 4. En la *gráfica 1* aparecen esos puntos señalados.



Gráfica 2: Densidad y flexión. (con dos valores menos)

Eje X: Densidad (kg/m3) y Eje Y: R. Flexión (N/mm2)

Leyenda: Línea: recta de regresión

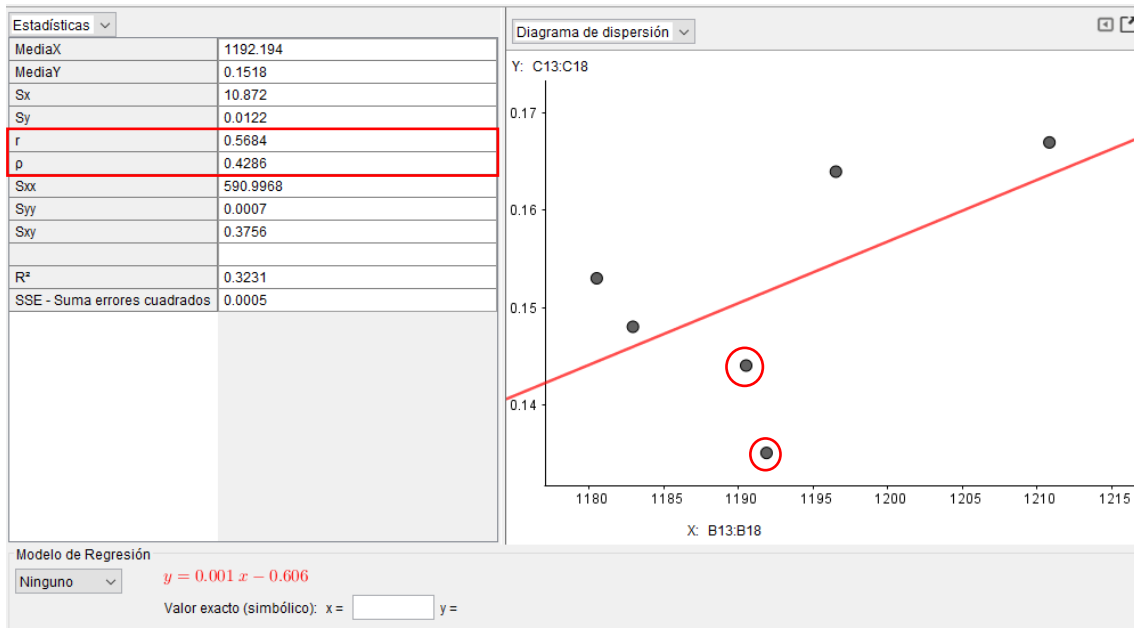
Puntos: relación entre densidad y flexión

Y volvemos a analizar la regresión de dos variables. Y obtenemos lo siguiente:

Se observa en la *gráfica 2* que quitando esas dos muestras (1 y 4), obtenemos de **r** un valor más cercano a 1, en concreto 0.6763 y además lo podemos corroborar con **p**, que da un valor muy similar, 0.6325.

-Probeta adición 1 %

Datos Ensayos mecánicos					
Probeta 1 %					
Nº Probeta	Peso (gr.)	Rotura a Flexión (τ)	Rotura compresión (τ)		Densidad (kg/m3)
			A	B	
1	302.83	0.148	1.409	1.276	1182.930
2	304.77	0.144	1.384	1.412	1190.508
3	302.21	0.153	1.359	1.403	1180.508
4	306.31	0.164	1.447	1.373	1196.523
5	305.12	0.135	1.437	1.444	1191.875
6	309.97	0.167	1.33	1.369	1210.820



Gráfica 3: Densidad y flexión. (con todos los valores)

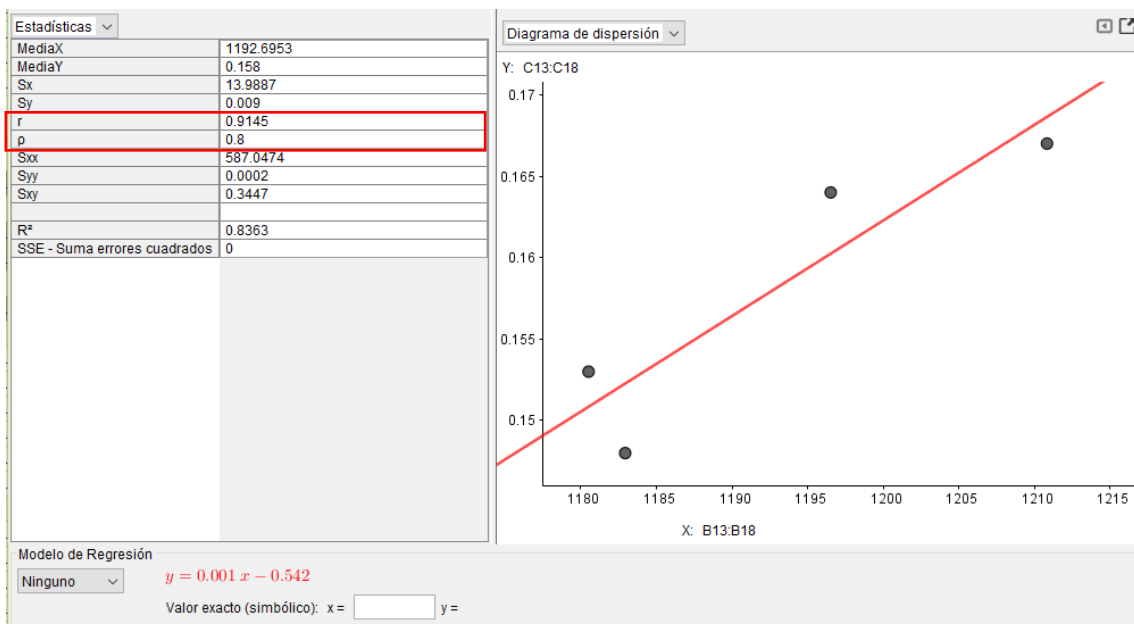
Eje X: Densidad (kg/m3) y Eje Y: R. Flexión (N/mm2)

Legenda: Línea: recta de regresión

Puntos: relación entre densidad y flexión

En este caso se sigue el mismo proceso de análisis, hacemos primero la comprobación con los datos de todas las probetas y posteriormente se descartan las que consideremos defectuosas.

Analizando los datos proporcionados en la tabla, observamos la resistencia a flexión y los valores más alejados del resto son la muestra 2 y la 5. (Gráfica 3)



Gráfica 4: Densidad y flexión. (con dos valores menos)

Eje X: Densidad (kg/m3) y Eje Y: R. Flexión (N/mm2)

Legenda: Línea: recta de regresión

Puntos: relación entre densidad y flexión

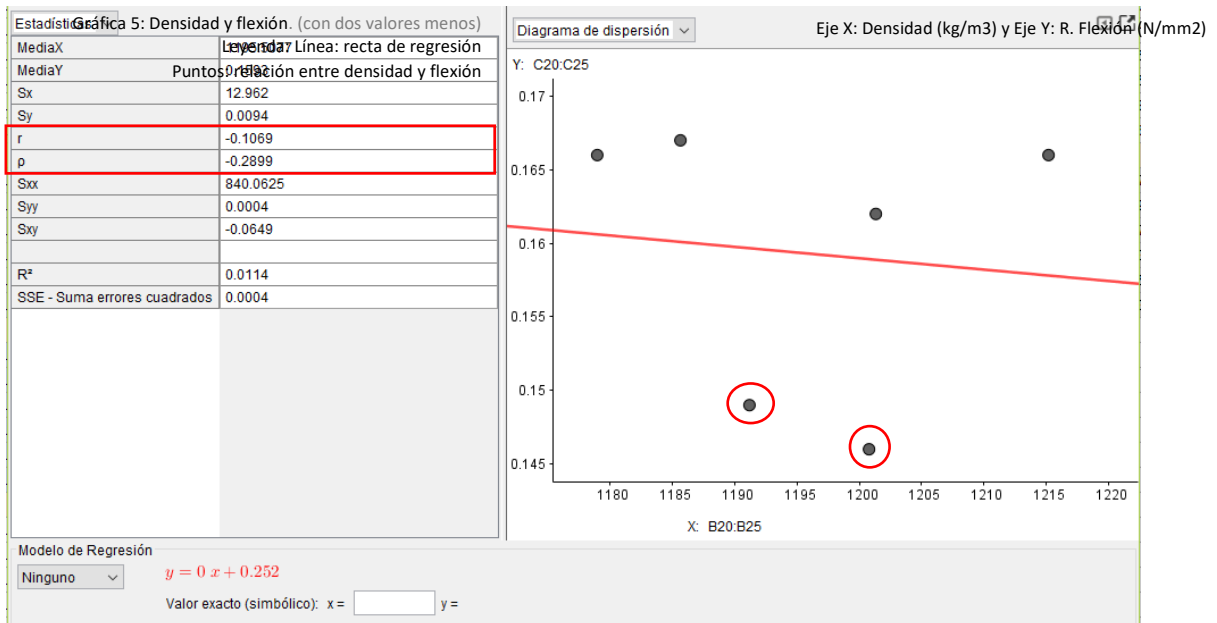
Hacemos las comparaciones, y eliminamos las probetas 2 y 5, como se ha indicado y obtenemos un resultado muy positivo, con **r** casi con valor 1 y **p** también, esto también nos da información de que las probetas 1, 3, 4 y 6 han salido casi perfectas.



Figura 14: Probetas 1%
Foto tomada en el laboratorio

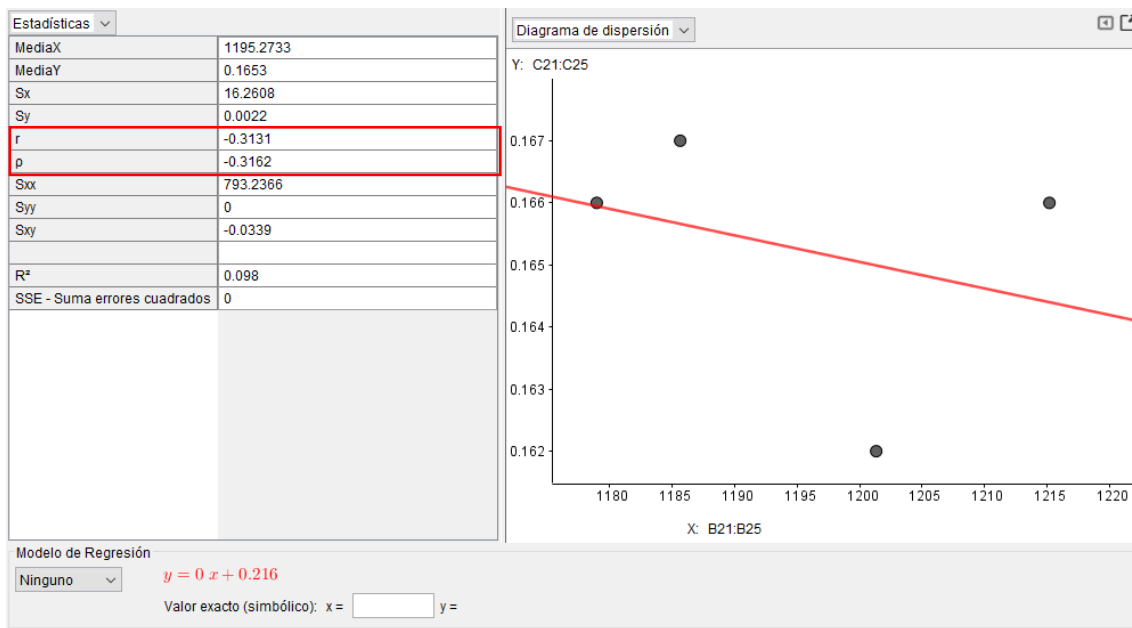
-Probeta adición 1.25 %

Datos Ensayos mecánicos					
Probeta 1.25 %					
N° Probeta	Peso (gr.)	Rotura a Flexión (τ)	Rotura compresión (τ)		Densidad (kg/m ³)
			A	B	
1	307.4	0.146	1.213	1.219	1200.781
2	301.81	0.166	1.246	1.25	1178.945
3	304.94	0.149	1.366	1.288	1191.172
4	307.54	0.162	1.38	1.384	1201.328
5	303.52	0.167	1.341	1.344	1185.625
6	311.09	0.166	1.403	1.43	1215.195



Gráfica 5: Densidad y flexión. (con todos los valores)
Leyenda: Línea: recta de regresión
Puntos: relación entre densidad y flexión

Eje X: Densidad (kg/m³) y Eje Y: R. Flexión (N/mm²)



Gráfica 6: Densidad y flexión. (con dos valores menos)
 Leyenda: Línea: recta de regresión
 Puntos: relación entre densidad y flexión

Eje X: Densidad (kg/m³) y Eje Y: R. Flexión (N/mm²)

Con las probetas de este porcentaje, se puede sacar la conclusión de que no han salido correctamente, ya que, los valores de **r** con todas las probetas tienen un valor negativo, y al realizar el análisis otra vez eliminando las probetas 1 y 3, que se creen que son las que alteran los resultados. Aun así, no conseguimos obtener ese valor cercano a 1 de **r** y **p**, sigue saliendo negativo. (Gráfica 6)

A simple vista, con este análisis, podemos sacar la siguiente conclusión, y es que la probeta que mejor hecha está según este tipo análisis (con densidad y flexión) es la del porcentaje de adición del 1% de material PET. Que nos da resultados bastante óptimos.

A continuación, vamos a examinar los pesos de las probetas, analizando una variable para ver cómo afecta la cantidad de plástico que se le añada al material. Así podremos comprobar si al añadirle el nuevo material el peso de la probeta aumenta o disminuye.



Gráfica 7: % Adición y peso (gr)

Leyenda: gráfico de cajas y bigotes

Eje X: peso (gr)

F20:F25 -> 1.25%

F13:F18 -> 1%

F6:F11 -> 0.75%

F27:F32 -> 0%

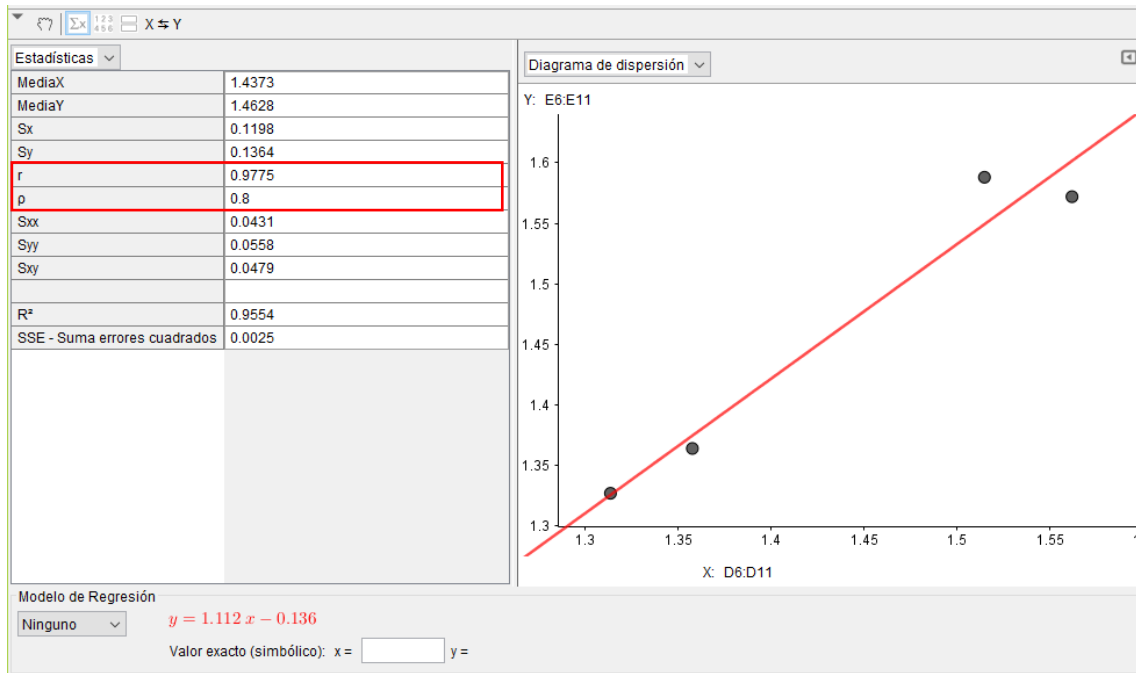
En este análisis podemos comprobar que el peso varía al añadirle el aditivo de fibras de PET, cuanto más material de adición añadimos menos pesa la probeta. Eso lo podemos comprobar viendo las medias de los pesos y la representación gráfica de cajas y bigotes (Gráfica 7). Otro indicador importante de este análisis, para tomarlo como característica en la elección de un nuevo material, en los puntos de más adelante.

¿Están las fibras de PET repartidas de forma homogénea en toda la probeta?

Esta pregunta es fácil de contestar con la comparación del esfuerzo a compresión, entre las partes de la probeta A y B, obtenidas de haber realizado el ensayo de resistencia a flexión. Si el material se comportase perfectamente en la mezcla y estuviese de manera homogénea en ella, el resultado del coeficiente de correlación sería 1 o bastante cercano de 1.

Este análisis se va a realizar de los porcentajes de adición 0.75% y 1%, que como hemos comprobado antes sus resultados son óptimos a comparación del 1.25%, que lo desechamos por completo, porque hemos comprobado en el primer apartado del análisis que no han salido bien.

-probeta de 0.75%

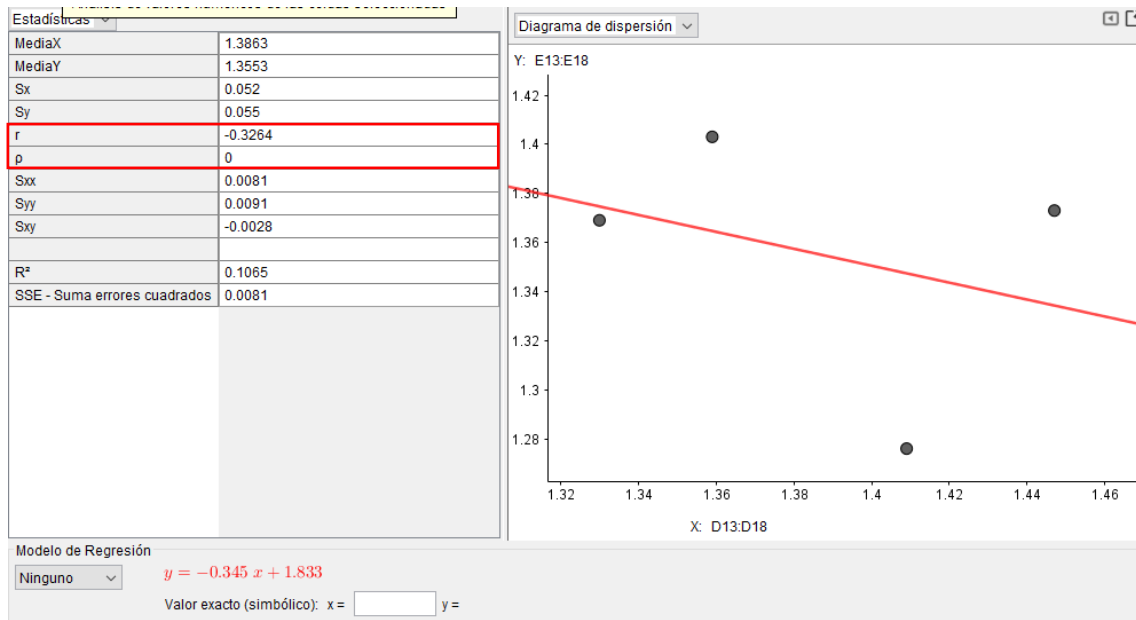


Gráfica 8: Compresión A y B

Eje X: -B- y Eje Y: -A-

Leyenda: Línea: recta de regresión
 Puntos: relación entre densidad y flexión

-probeta de 1%



Gráfica 9: Compresión A y B

Eje X: -B- y Eje Y: -A-

Leyenda: Línea: recta de regresión
 Puntos: relación entre densidad y flexión

La probeta que mejor tiene repartidas las fibras es la del porcentaje menor, 0.75% de filamentos PET, esto se puede deber a que su cantidad es pequeña en comparación con los demás y es más fácil que esté repartida por la probeta.

Podemos sacar una pequeña conclusión, y es que, comparando todos los rasgos sacados del análisis de ensayos mecánicos, la probeta de adición 1% (eliminando las probetas "malas") en la relación densidad-flexión nos da un valor muy bueno, casi 1. Pero al contrario al hacer la relación de las compresiones en A y B que obtenemos valores negativos, muy lejos de 1. Por lo que tiene un punto muy fuerte y otro muy débil. Y la probeta de adición 0.75%, siguiendo los mismos pasos de análisis, relación flexión-densidad obtenemos un valor de 0.67 bastante cercano a 1 y en la comprobación de compresión A y B sale un valor de 0.97. Por todo lo comentado se podría concluir que la probeta que mejor ha sido realizada es la de 0.75% de adición de material.



Figura 15: Probeta de mortero
Foto tomada en el laboratorio



Figura 16: Probetas 0,75%
Foto tomada en el laboratorio

Como aclaración, las probetas de mortero no se analizarán, ya que, previamente antes de saber sus resultados de dicho análisis se entiende que están mal elaboradas y los datos que obtengamos serán equívocos y erróneos.

Media de valores obtenidos			
Concentración de PET	densidad (Kg/m3)	Resist. a flexión (N/mm2)	Resist. a compresión (N/mm2)
0	1213.35	4.22	9.53
0.75%	1202.79	3.52	9.11
1%	1192.19	3.56	8.67
1.25%	1190.51	3.73	8.26

5.2. Análisis de ensayo acústico. Tubo de Kundt.

A continuación, vamos a incorporar las tablas con los resultados de las probetas de yeso, en la elaboración del *Tubo de Kundt*.

1_Probeta Control Yeso 0%			
Frecuencia (Hz)	Máximo (mV)	Mínimo (mV)	n
250	27.8	1.15	24.17
500	23.6	1.39	16.98
1000	5.03	0.89	5.65
2000	0.218	0.0079	27.59

2_Probeta Yeso 1.25% agregado			
Frecuencia (Hz)	Máximo(mV)	Mínimo(mV)	n
250	27.9	1.04	26.83
500	23.5	1	23.50
1000	4.41	0.251	17.57
2000	0.216	0.0096	22.50

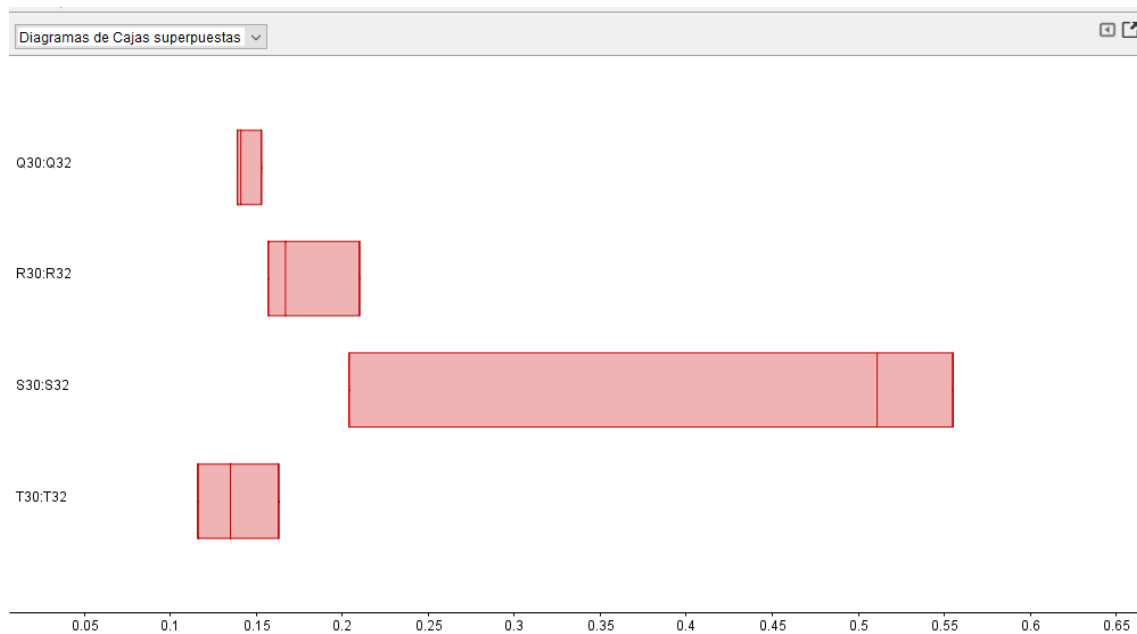
3_Probeta Yeso 0.75% agregado			
Frecuencia (Hz)	Máximo(mV)	Mínimo(mV)	n
250	27.4	1.04	26.35
500	23.4	1.07	21.87
1000	3.9	0.778	5.01
2000	0.211	0.0065	32.46

Estos son los resultados obtenidos del laboratorio, medidos con el tubo de kundt explicado anterior mente en la parte de metodología.

Para realizar un análisis de estas variables necesitamos calcular el *coeficiente de absorción acústica*.

Absorción acústica				
%	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
0	0.153	0.21	0.511	0.135
0.75	0.141	0.167	0.555	0.116
1.25	0.139	0.157	0.204	0.163

Ya, una vez calculada la absorción acústica se realiza un análisis multivariable con estos datos obtenidos.



Gráfica 10: Hz y absorción acústica
 Leyenda: gráfico de cajas y bigotes

Eje X: Absorción acústica (dB)
 Q30:Q32 -> 250 Hz
 R30:R32 -> 500 Hz
 S30:S32 -> 1000 hz
 T30:T32 -> 2000 hz

En la *gráfica 10* podemos ver cómo se comporta acústicamente el material. A 250Hz el material apenas tiene absorción acústica. Y en el lado opuesto nos encontramos que a 1000Hz la absorción tiene un gran pico y absorbe bastante el sonido. Esto se puede deber a que este tipo de material suele comportarse de esta manera a una determinada

frecuencia y presenciar estos picos de dB. Por lo tanto, a 1000Hz hay mayor absorción acústica con diferencia de las demás concentraciones.

6. CONCLUSIONES

Después haber realizado el análisis tanto de las propiedades mecánicas como de la absorción acústica, obtenemos estas conclusiones:

-Los filamentos de PET que se añadan en la elaboración del nuevo material deben ser pequeños y no medir más de 2cm, esto ayuda bastante a la buena elaboración de las probetas y a su comportamiento.

-Se han tenido que desechar 2 de 6 probetas en el análisis porque no alteraban negativamente los datos. Por ello sería necesario la elaboración de bastantes más probetas.

-Las probetas que mejor elaboradas han salido son las de adición 0.75 % y 1%. Las probetas de 1.25% por ciertos motivos según el análisis hecho, no han salido con la calidad suficiente.

-Cuanto más material plástico PET se les añada a las probetas estas disminuyen su peso y su densidad, y eso es un factor positivo. Ya que, estamos elaborando un material ecoeficiente y uno de nuestros objetivos es tener que añadir menos yeso.

- La resistencia a flexión con respecto de la muestra (0% de adición) en nuestro caso disminuye y debería de ser, al contrario, ya que le hemos añadido unas fibras que en "teoría" deberían haber aumentado esta propiedad mecánica. Y la resistencia a compresión aumenta.

- En cuanto a la absorción acústica, los resultados más destacados son los obtenidos a 250 Hz, donde el material es muy poco absorbente acústicamente y a 1000 Hz, donde el material es bastante absorbente y tiene un gran pico en comparación con el resto.

7. PROPUESTA DEL PRODUCTO

7.1. Propuesta de panel de yeso para particiones interiores

Tras haber hecho el análisis de los datos obtenidos de los ensayos de las probetas y las conclusiones. Para la elección del nuevo material voy a centrarme en la propiedad que hace que a más adición de material de plástico PET baje de peso y densidad. Esto hará que no necesitemos tanta cantidad de yeso y contribuiremos con el medio ambiente a no explotar tanto las canteras de donde este sale y disminuirémos el plástico PET que ya no necesitamos que se acumula en grandes vertederos y que no está en uso, como ya se explicó en los primeros apartados.

El material que se propone es un panel de yeso que conforma particiones interiores, este debe de estar definido por la norma *UNE-EN_12859 Paneles de yeso*.

En esta norma vemos las características obligatorias que tiene que tener nuestro material. Como son el *comportamiento frente al fuego* (reacción frente al fuego, resistencia al fuego), *Aislamiento directo al ruido aéreo*, *Propiedades térmicas* (resistencia térmica, conductividad térmica).¹⁵ Todo esto más específico en el ANEXO 1.

En cuanto a la conductividad térmica, en esta norma está la *tabla 1- Valores de diseño de conductividad térmica del yeso*.

Así podemos sacar como dato curioso la conductividad térmica de la probeta de yeso de control, porque de la nuestra al haber añadido los filamentos de plástico PET no tenemos una tabla donde poder tener esa referencia. La conductividad térmica del yeso, de la probeta base, la podemos deducir de su densidad (kg/m^3), que en este caso tiene un valor medio de 1213.35 kg/m^3 , y si metemos ese dato en dicha tabla obtenemos un valor de conductividad térmica ($\text{W(m}\cdot\text{K)}$) entre 0.43 y 0.47.

Las dimensiones mínimas de los paneles también vienen definidas por esta norma. Estas dimensiones están definidas por su espesor, longitud y altura.

El espesor mínimo debe ser, al menos, de 50 mm y no debe superar los 150 mm. La longitud no debe ser mayor de 1000 mm. Y la altura debe determinarse en relación a la longitud de forma que la superficie de un panel se de 0.10m^2 como mínimo.

¹⁵ Norma UNE-EN_12859 Paneles de yeso. Capítulo 4. Requisitos.

En nuestro caso el panel que vamos a proponer además de cumplir estas dimensiones va a ser perforado, y por ello el espesor mínimo del panel en cualquier punto debe ser al menos de 15 mm, y el volumen de los huecos no debe superar el 40%.

La resistencia mecánica a flexión, debe de cumplir con una carga media, mínima (KN), que en este caso al ser perforado será de 1.7 KN.

Al nuevo panel con aditivo de fibras PET, debemos de realizarle una serie de ensayos mucho más exhaustivos que los que hemos realizado nosotros en el laboratorio con nuestras probetas, para tener los valores base.¹⁶

Además de ensayos para saber si las dimensiones del material son las correctas, debemos asegurarnos que nuestro panel tiene planicidad.

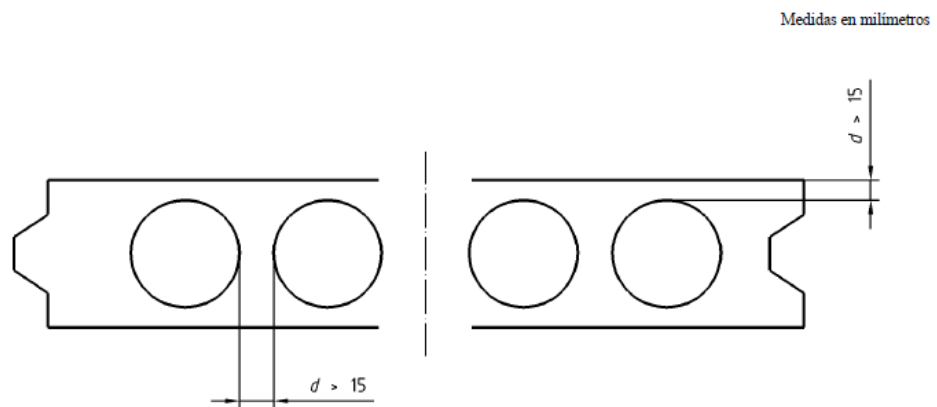


Figura 4 – Medida de la distancia entre perforaciones y entre la perforación y la cara del panel

Figura 17: Medida del panel (perforaciones)
Imagen tomada de la norma UNE-EN_12859 Paneles de yeso

El ensayo a flexión también será distinto y los paneles deberán colocarse de uno en uno en posición horizontal. Se deben colocar sobre los dos soportes paralelos (figura 18) y se aplica una carga en el centro del panel mediante un rodillo de carga.

Se aplica la carga de forma continua a una velocidad aproximada de 20N/s hasta la rotura del panel.

¹⁶ Norma UNE-EN_12859 Paneles de yeso. Capítulo 5. Métodos de ensayo.

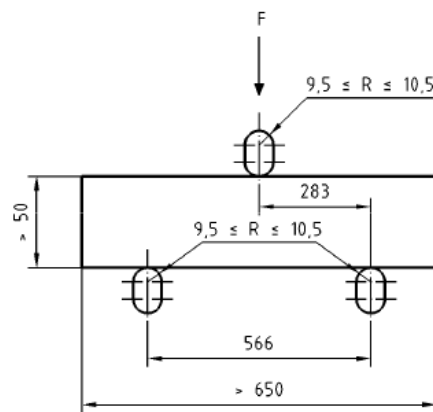


Figura 5 – Dispositivo de ensayo de la resistencia mecánica a flexión

Figura 18: Ensayo a flexión

Imagen tomada de la norma UNE-EN_12859 Paneles de yeso

Una vez estos puntos claros (requisitos y ensayos), también debemos saber cómo designar el panel de yeso, que proponemos.¹⁷ Su nombre, dimensiones y el orden de cada designación.

Después de tener bastante claras todas las características y condiciones que debe de cumplir nuestro material, se concluye que:

El nuevo material propuesto al tener fibras de plástico PET, es vulnerable al fuego por ello con el revestimiento que le colocaremos cumpliría.

En cuanto a la flexión, bien hemos visto en el análisis que disminuye en cuanto a la probeta de yeso que no tiene ningún tipo de adición, la solución en nuestro caso es aumentar su canto, así lo aumentaríamos, haríamos el elemento constructivo más resistente y además nos ayudaría a que fuese aislante (una propiedad del plástico), que como ya conocemos otros sistemas constructivos necesitan incorporar algún tipo de lana para llegar a este objetivo.

¹⁷ Norma UNE-EN_12859 Paneles de yeso. Capítulo 7. Designación de los paneles de yeso.

7.2. Productos similares en el mercado

Para poder desarrollar esta idea se ha tenido que hacer una profunda búsqueda en el mercado para ver si este producto es viable y si ya había algunos en el mercado. Para saber su funcionamiento y si es rentable o no la idea.

-Similares a este producto en el mercado están:

a) A nivel europeo la marca *italpanelli del caribe*

Estos son unos bloques de yeso para la realización de paredes internas, aligerados y roscados en sus cuatro lados. Este sistema tiene consistencia y robustez basados en la mampostería tradicional, al mismo tiempo permiten ventajas como la insonorización, higroscopicidad y resistencia al fuego. Este sistema permite montar una pared con facilidad y rapidez y obtener un resultado perfecto. (Todas sus características en el ANEXO 2).

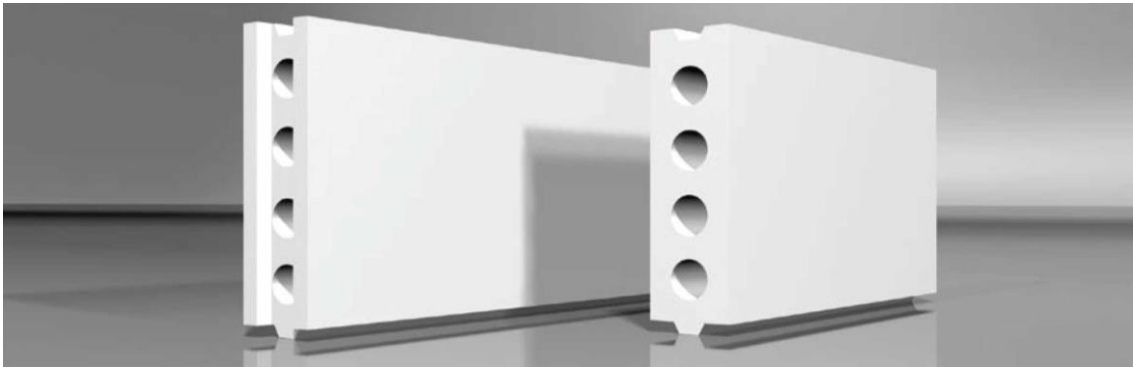


Figura 19: Bloque de yeso para particiones interiores
Imagen tomada de catálogo *italpanelli del caribe*

b) A nivel español tenemos dos marcas *YTONG* y *ISOMUR*.

-*YTONG*

Este tipo de elemento se ajusta bastante bien a la idea que estamos desarrollando de hecho en su catálogo vienen bien desarrolladas todas las exigencias para elementos verticales de interior que se deben cumplir según el CTE. ANEXO 3.

Con esto nos referimos a seguridad estructural, que no se trate de elementos estructurales, los elementos divisorios verticales están expuestos a fuerzas horizontales y deben tener la estabilidad suficiente para absorberlas. Resistencia al fuego y aislamiento acústico aéreo.

Este bloque no es exactamente de yeso es de hormigón celular, pero para basarnos en sus dimensiones, funcionamiento y montaje, es un buen ejemplo.

Es un sistema de junta fina, que permite un espesor mínimo de enlucido y reducir el tiempo de secado.

En su montaje (de una partición interior) se puede aplicar a nuestro caso teniendo como referencia que el rendimiento de un operario es de 40-50 m² al día.

Un ejemplo de montaje de este elemento sería de la siguiente forma:

TABIQUE DE 10

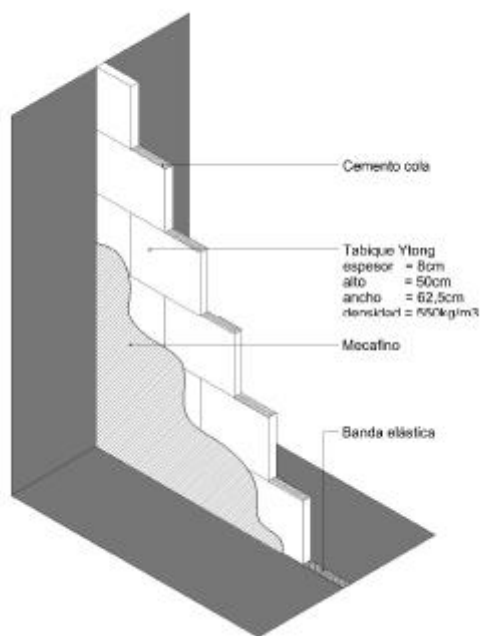


Figura 20: Montaje del sistema de partición interior
Imagen tomada de catálogo YTONG

-ISOMUR

Este es el sistema que más se adapta a la idea que se está desarrollando de panel para particiones interiores. ANEXO 4.

Son paneles/bloques de yeso con cantos de machihembrados que conforman una albañilería autoportante no estructural permitiendo realizar divisiones interiores en edificios.

Características que nos aporta este tipo de sistema constructivo: tabique sólido, más económico, rápido y fácil de instalar, bajo espesor, resistente

a fuego, humedad e impacto, permite soluciones acústicas y aceptabilidad de revestimientos.

El proceso de instalación es similar al anterior.



Figura 21: paneles de yeso perforados
Imagen tomada de catálogo ISOMUR

7.3. Definición y utilidad de los paneles de yeso con adición de plástico PET para particiones interiores.

- Dimensiones: 10 x 27 x 74 cm
- Resistencia a flexión: como bien hemos comprobado en las probetas, al añadirle el plástico (PET) la flexión disminuye con respecto a la muestra que no tenía adición ninguna. Por eso, en ese caso tras volver a hacer los ensayos nombrados en la norma *UNE-EN_12859 Paneles de yeso* no cumpliera con ella, aumentaríamos el canto del panel de yeso.
- Resistencia frente al fuego: se es consciente, que al añadirle los filamentos de plástico de PET, el material es muy vulnerable al fuego, por ello le añadiremos un revestimiento de entre 1 – 2 cm de yeso.
- La característica por la que se propone este material es la ligereza que adquiere con respecto a una solución de placa de yeso convencional. Al añadirle el plástico PET, tienes menos peso y disminuye su densidad.
- En cuanto a la solución acústica, si fuese una característica que tuviese que cumplir, el aislamiento acústico, se colocaría doble panel y en medio un aislante más fino que si colocásemos una

solución como “pladur”, porque a pesar de los orificios internos que tiene, el plástico es aislante.

El montaje de estos paneles sería el siguiente:

- 1º. se dibujan en el suelo las guías por donde van a ir los muros (no necesita carriles). Con el ancho del panel.
- 2º. En segundo lugar, se empiezan a colocar los paneles de la parte de debajo de la partición.
- 3º. Se empieza a montar la partición completa. El material con el que se pegan dichos paneles, es un pegamento de capa muy fina y ligero, especial para este tipo de soluciones constructivas. Para instalar los paneles se deben tener las mismas consideraciones que en la instalación de una albañilería, en cuanto a traba entre hiladas, trabas en esquinas y encuentros perpendiculares.
- 4º. Para ejecutar las instalaciones, ya sean de gas, electricidad, agua potable, calefacción, aspiración central, etc. se debe calar el bloque con una profundidad máxima de 35 mm y con un ancho igual al diámetro de la tubería más 15 mm.
- 5º. También hay que tener en cuenta el hueco y colocación de las carpinterías. Dependerá en este caso si se instala una carpintería de madera o una carpintería metálica.

8. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO

Ahora se van a aplicar los paneles de yeso con plástico PET, a un caso real, en este caso un bloque de viviendas de planta baja más seis. (PLANTAS PROYECTO BÁSICO ANEXO 5). De estructura de pilares de hormigón.

Primero calcularemos cuántos paneles necesitamos por cada metro lineal y en una altura libre de unos 3 metros.

Y posteriormente haremos una medición del edificio de su tabiquería, para hacer una comparación de peso.

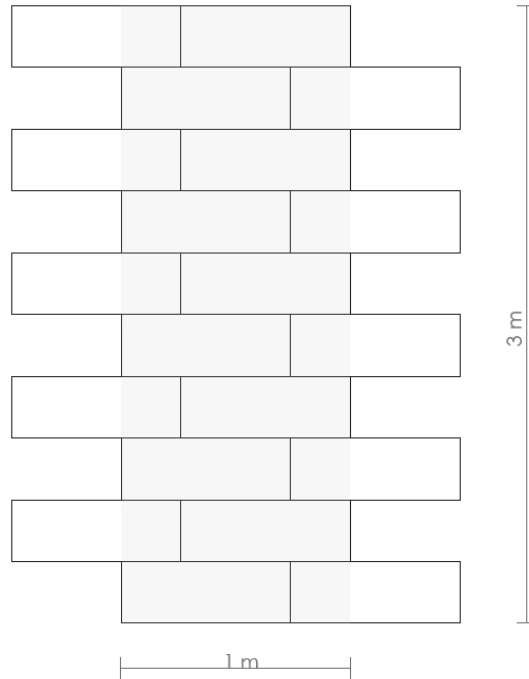


Figura 22: Representación de una parte de la partición interior
 Imagen realizada por mi

Por vivienda salen aproximadamente 35 metros lineales de tabiquería, que ahora hay que multiplicar por las seis viviendas que forman cada planta del edificio y por cada planta. Obtenemos un total de 1470m de tabiquería en el edificio.

Ahora debemos de obtener el número de paneles que necesitaríamos, que son los 1470 m de tabiquería por los 15 paneles que aproximadamente necesitamos cada metro, y tenemos un total 22050 paneles.

Sabiendo que un sistema de panel de yeso de las características que buscamos sin añadido de plástico PET tiene un peso de 75 Kg/m². Y si comprobamos nuestro material teniendo en cuenta la densidad media de la adición más alta que hemos analizado, 1.25%, obtenemos un peso de 71 kg/m².

Por ello si obtenemos el peso total de la tabiquería de este edificio obtenemos que la tabiquería interior serían unos 313110 kg en comparación de los 330000 kg que obtendríamos si no añadiésemos el plástico.

Como conclusión a este resultado, que es bastante optimo en cuanto a la ligereza de la tabiquería, pero podríamos añadir bastante más plástico a los paneles para seguir disminuyendo su peso.

Como se ha desarrollado en la mayoría de apartados no solo queremos añadir plástico a un panel de yeso para que su peso disminuya, sino también para hacer un material ecoeficiente, esto lo conseguimos con la cantidad de plástico añadimos al material.

Para este edificio necesitaríamos unos 292.67 gr de plástico por panel de yeso, que hacen 6453.30 kg de plástico, invertidos en este edificio que no estarán en un vertedero y que tendrán un buen uso.

Para tener una escala más cotidiana de cuanto es realmente esa cantidad de plástico, sabemos según ECOEMBES que una botella de plástico de agua (PET), pesa 30gr. Por lo tanto, el plástico usado para este edificio sería el equivalente a 215110 botellas de 1litro y medio.

9. COMPARATIVA DEL MATERIAL PROPUESTO CON OTROS SISTEMAS

Después de todo el desarrollo se puede hacer una comparativa de los paneles de yeso con otro sistema constructivo como es PLADUR o un tabicón de ladrillo de hueco doble.

- Peso. En cuanto a esto este sistema de fabricar particiones interiores hemos visto que es más ligero. Por ejemplo, *Pladur* aparte de lo que es el panel debe añadirle el aislante y las guías donde este va colocado, que es un peso extra. En cuanto al tabique de ladrillo hueco estaríamos hablando de un peso aproximado de 140 kg/m², siendo con nuestra solución de 71 kg/m².

- Ahorro de material. *Pladur* siempre o casi siempre necesita colocar doble panel y un aislante y su perfilaría metálica. La solución de tabique de ladrillo además del ladrillo necesitaría mortero de agarre, enfoscado y enlucido, y nuestra solución de adhiere una pieza con otro con un pegamento muy ligero inapreciable. Esto influye favorablemente en el precio del producto.

- Tiempo de montaje. Anteriormente estimamos un tiempo de montaje con este sistema que eran unos 40-50 m² al día por operario, es bastante rápido y al no necesitar guía que colocar, simplemente se dibujan en el suelo por donde van a ir, y así ahorramos tiempo.

- Ecoeficiencia. Con el medio ambiente y este material estamos contribuyendo reutilizando fibras de plástico PET, por lo tanto, la cantidad de yeso disminuye y no es necesario explotar tanto las canteras para obtener este material. Por ejemplo, *Pladur*, necesita guías metálicas, cuya fabricación aporta contaminación al igual que las fábricas de ladrillo.

- Ahorro económico. Este ahorro es un cómputo global de las comparaciones anteriores, menos materiales, menos material principal, más rápido y un % de su compuesto es plástico PET reciclado.

10. BIBLIOGRAFÍA

Libros y artículos

- García Santos, A., (1988). “Comportamiento mecánico de yeso reforzado con polímeros sintéticos”. Universidad politécnica de Madrid.
- Flores, V., Rojas, J., Torres, R., Vallejos, R., Flores, P., & Flores, M., (2014). “Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas” in *Ciencias Tecnológicas y Agrarias T-I: Handbook*, pp. 101–110.
- L. CM Lebreton, B. Slat, F. Ferrari, B. Sainte-Rose, J. Aitken, B. Marthouse, S. Hajbane, S. Cunsolo, A. Schwarz, A. Levivier, K. Noble, P. Debeljak, H. Maral, R. Schoeneich-Argent, R. Brambini, J. Reisser. (marzo, 2018). “Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is Rapidly Accumulating Plastic”. *Scientific Reports*, pp. 8, 46.
- da Silva, A. M., de Brito, J., & Veiga, R. (2014). “Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars”. *Construction and Building Materials*, 71, 226–236.
Sitio web:
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.026>
- Al-Tulaian, B. S., Al-Shannag, M. J., & Al-Hozaimy, A. R. (2016). “Recycled plastic waste fibers for reinforcing Portland cement mortar”. *Construction and Building Materials*, 127, 102–110.
Sitio web:
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.131>
- Ge, Z., Huang, D., Sun, R., & Gao, Z. (2014). “Properties of plastic mortar made with recycled polyethylene terephthalate”. *Construction and Building Materials*, 73, 682–687.
Sitio web:
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.005>
- Geyer, R., R. Jambeck, J., & Lavender Law, K., (19 de julio, 2017). “Production, use, and fate of all plastics ever made”. *Science Advances*. Vol. 3. No. 7. Sitio web:
<http://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782.full>
- Magariños, O., Alderete, C. E., Arias, L. E., & Lucca, M. E. (1998). Estudio de morteros que contienen escamas de plástico procedente de residuos post-industriales. *Materiales de*

Construcción, (250), 33–52.
Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=2287272>

- Nappa, N. (1998). Contaminación ambiental producida por plásticos. *Revista de Educación En Biología*, 1(2), 22–31.
Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=2703190>
- García Cruz, F. A., García Santos, A., & Beltramone, A. (2003). Modificaciones de las propiedades superficiales en el hormigón visto, por la utilización de diferentes tipos de desencofrantes y aditivos plásticos. *Materiales de Construcción*, (270), 71–78.
Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=496467&orden=259422&info=link>
- Iturrizaga, A. (2009). Contaminación por plásticos en la mar. *Recalada: Revista de Divulgación Marítima*, (114), 10–11.
Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=3032570>
- Fernández Iglesias, M. E., Monzó Balbuena, J. M. (dir. tes. ., & Payá Bernabeu, J. (dir. tes. . (2013, February 21). Refuerzo de Matrices Cementicias mediante la Valorización de Fibras Sintéticas provenientes de Residuos Post-Consumo.
Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=78614&orden=1&info=link>
- Toledo, I., Toledo, A., Vázquez, A., Santana, V., & Flores, A. (2013). Reciclaje y utilización de termoplásticos. In *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-III: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos* (pp. 171–181).
Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=4784328>

Fotografías

- Figura 1: Ladrillos PET, Rosana Gaggino (COCINET)
- Figura 2: Paneles para techo de PET de botella de plástico (ABILIA)
- Figura 3: Filamentos cortados de las escobas. Foto tomada en el laboratorio
- Figura 4: Proceso de elaboración. Imágenes tomadas en el laboratorio
- Figura 5: Dimensiones del filamento. Foto tomadas en el laboratorio
- Figura 6: Moldes para tubo de Kundt. (los circulares). Foto tomadas en el laboratorio
- Figura 7: Esquema de funcionamiento y partes del Tubo de Kundt. Imagen cogida de los apuntes proporcionados por el profesor.
- Figura 8: Muestra sobre el soporte del tubo de Kunt con plastilina para asegurar que queda bien encajada. Foto tomada en el laboratorio
- Figura 9: Pantalla donde se muestra el análisis del tubo de Kundt. Foto tomada en el laboratorio

- Figura 10: Probeta ya rota, para el ensayo mecánico. Foto tomada en el laboratorio
- Figura 11: Probetas previas a su rotura para los ensayos. Foto tomada en el laboratorio
- Figura 12: Probetas para ensayo acústico "nuevo" molde. Foto tomada en el laboratorio
- Figura 13: Dimensiones "nuevas" del filamento. Foto tomada en el laboratorio
- Figura 14: Probetas 1%. Foto tomada en el laboratorio
- Figura 15: Probeta de mortero. Foto tomada en el laboratorio
- Figura 16: Probetas 0,75%. Foto tomada en el laboratorio
- Figura 17: Medida del panel (perforaciones). Imagen tomada de la norma UNE-EN_12859 Paneles de yeso
- Figura 18: Ensayo a flexión. Imagen tomada de la norma UNE-EN_12859 Paneles de yeso
- Figura 19: Bloque de yeso para particiones interiores. Imagen tomada de catálogo Italpanelli del caribe
- Figura 20: Montaje del sistema de partición interior. Imagen tomada de catálogo YTONG
- Figura 21: paneles de yeso perforados. Imagen tomada de catálogo ISOMUR

- Figura 22: Representación de una parte de la partición interior. Imagen realizada por mi

Recursos de internet

- "10 materiales de construcción ecológicos." (2014). Abilia. Sitio web: <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/10-materiales-de-construccion-ecologicos/>

- Muñoz Díaz, P., (1985) "Determinación de la absorción e impedancia acústica del corcho: método del tubo de impedancia". AITIM-TRADA
Sitio web: http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1275_17149.pdf

- "La presencia de microplásticos en el mar podría ser mil veces mayor que la estudiada", (marzo, 2018). El Periódico. Sitio web: <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20180328/la-presencia-de-microplasticos-en-el-mar-podria-ser-mil-veces-mayor-que-la-estudiada-6721125>

- "7 materiales para una arquitectura sostenible" (27 de junio, 2016). Arrevol
Sitio web: <http://www.arrevol.com/blog/7-materiales-para-una-arquitectura-sostenible>

- "Materiales sostenibles en la construcción y rehabilitación de edificios." (26-de enero, 2016). Estudio Integrar.
Sitio web: <http://www.integrarproyectos.com/materiales-sostenibles/>

- Sanz, MJ. (07-de febrero, 2016). "Ladrillos PET, avances en la construcción ecológica". Arquitectura y empresa.
Sitio web: <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/ladrillos-pet-avances-en-la-construccion-ecologica>

- Rojo-Nieto, E., & Montoto, T., (enero, 2017). "Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global". Ecologistas en Acción.
Sitio web: <https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-basuras-marinas.pdf>

- "Microplásticos, una "amenaza tóxica" para la vida marina", (4 de diciembre, 2013), BBC NEWS.
Sitio web: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/12/131204_ciencia_gusanos_microplastico_az

- "La atracción fatal de los microplásticos sobre la fauna marina" (27 de agosto, 2017). El Tiempo.
Sitio web: <http://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/el-microplastico-es-danino-para-la-fauna-marina-124130>

- Franco Herrera, A. (13 de abril, 2018) "Los microplásticos afectan producción de alimento de especies marinas". El tiempo.
Sitio web: <http://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/microplasticos-afectan-la-produccion-de-alimento-de-especies-marinas-205008>

- "El Gobierno aprueba medidas para reducir el consumo de bolsas de plástico." (2018), Gobierno de España. La Moncloa
Sitio web: <http://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/resumenes/Paginas/2018/180518-consejo.aspx?qfr=1&galv2r=6&galler=0>

- "En España se generan 2,1 millones de toneladas de plástico: el 34% se recicla y el 17% se valoriza" (5 de agosto, 2016). Instituto Tecnológico del Plástico.
Sitio web: <http://iresiduo.com/noticias/espana/aimplas/16/08/05/espana-se-generan-21-millones-toneladas-plastico-34-se-recicla-y-17>

- Cáceres, P. (19 de Julio, 2017). “¿Cuánto plástico hemos generado desde que se inventó y donde ha ido a parar?”. La Vanguardia.
Sitio web: <http://www.lavanguardia.com/natural/20170719/424210992121/balance-mundial-produccion-plasticos-residuos.html>

- Fontdeglòria, X. (10 de enero, 2018). “China deja de reciclar tu plástico”. El País.
Sitio web: https://elpais.com/elpais/2018/01/05/ciencia/1515145196_165569.html

- Ministerio de Presidencia, (18 de mayo, 2018). “El Gobierno aprueba medidas para reducir el consumo de bolsas de plástico”. La Cerca.
Sitio web: <http://www.lacerca.com/noticias/espana/gobierno-aprueba-medidas-reducir-consumo-bolsas-plastico-421271-1.html>

- Comisión Europea (16-de enero, 2018). “Residuos plásticos: una estrategia europea para proteger el planeta, defender a los ciudadanos y capacitar a las industrias”. Estrasburgo. European Commission.
Sitio web: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-5_es.htm

- “Una ambiciosa estrategia para que el plástico sea fantástico.” (16-de marzo, 2018). Medio Ambiente para los Europeos. European Commission.
Sitio web: https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/economics-strategy-and-information/ambitious-new-strategy-make-plastic-fantastic_es

- “El plástico: una historia de más de 100 años de innovación” (2018). PlasticsEurope.
Sitio web: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history>

- “El problema del plástico” (2018). Nu2, Mar y Arte.
Sitio web: <http://nu2.es/listas/reportajes/el-problema-del-plastico/>

- “Residuos plásticos: una estrategia europea para proteger el planeta, defender a los ciudadanos y capacitar a las industrias.” (2018), European Commission.
Sitio web: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-5_es.htm

3.2 Símbolos

Para los fines de esta norma, se aplican los símbolos siguientes:

ρ	densidad aparente en seco en kilogramos por metro cúbico (kg/m ³)
λ	coeficiente de conductividad térmica en vatios por metro por Kelvin W/(m K)
λ_{23-50}	coeficiente de conductividad térmica del yeso fraguado en equilibrio a 23 °C y 50% de humedad relativa en vatios por metro por Kelvin W/(m K)
M	masa del panel de yeso en kilogramos (kg)
R2F	reacciona al fuego
FR	resistencia al fuego
R	aislamiento directo al ruido aéreo

4 REQUISITOS

4.1 Comportamiento frente al fuego

4.1.1 Reacción al fuego

Los paneles de yeso se clasifican como Euroclase A1 (no contribución en al fuego), sin necesidad de ensayo, cuando contienen menos de un 1% en peso o en volumen (el más restrictivo) de materia orgánica.

Los paneles de yeso con más de un 1%, en peso o en volumen, de materia orgánica deben ensayarse y clasificarse según la Norma EN 13501-1.

4.1.2 Resistencia al fuego

La resistencia al fuego es una característica de un sistema y no del producto en sí.

Cuando sea necesario, la resistencia al fuego de un sistema que incluya paneles de yeso unidos mediante adhesivo para paneles de yeso debe ensayarse y clasificarse conforme a la Norma EN 13501-2.

4.2 Aislamiento directo al ruido aéreo

El aislamiento directo al ruido aéreo es una característica de un sistema y no del producto en sí.

Cuando sea pertinente, el aislamiento directo al ruido aéreo de un sistema que incluya paneles de yeso unidos mediante adhesivo para paneles de yeso debe determinarse y clasificarse conforme a las Normas EN ISO 10140-3 y EN ISO 717-1.

4.3 Propiedades térmicas

4.3.1 Resistencia térmica

Cuando el uso previsto de los paneles de yeso sea que contribuyan a la resistencia térmica de una edificación, la resistencia térmica se calcula mediante la fórmula dada en la Norma EN ISO 6946:2007.

Los valores de conductividad térmica necesarios para efectuar este cálculo se indican en el apartado 4.3.2 y los valores de espesor necesarios para estos cálculos deben determinarse conforme a lo especificado en el apartado 5.3.1.

4.3.2 Conductividad térmica

Los valores de diseño de la conductividad térmica del yeso endurecido usado para la fabricación de los paneles se indican en la tabla 1.

Tabla 1 – Valores de diseño de la conductividad térmica del yeso

ρ kg/m ³	λ_{23-50} W/(m·K)
600	0,18
700	0,22
800	0,26
900	0,30
1 000	0,34
1 100	0,39
1 200	0,43
1 300	0,47
1 400	0,51
1 500	0,56

Los valores dados en la tabla 1 proceden de la Norma EN ISO 10456:2007. Los valores de diseño se refieren al material seco utilizado en interiores. Cuando este material se encuentre húmedo, se ajustan los valores mediante la Norma EN ISO 10456.

4.4 Tipos de paneles de yeso

4.4.1 Generalidades

Los paneles de yeso se fabrican con dos tipos de resistencia, clase A y R (véase 4.10).

Los paneles de yeso se fabrican con tres tipos de densidad, baja, media y alta (véase 4.8).

Los paneles de yeso se fabrican con tres tipos de absorción de agua H1, H2 y H3 (véase 4.13).

4.4.2 Identificación visual de los paneles de yeso por la coloración

4.4.2.1 Generalidades

La identificación de los distintos tipos de paneles se hace según los dos criterios siguientes:

- densidad;
- absorción de agua.

4.4.2.2 Coloración de los paneles de yeso según las clases de densidad

Los paneles de yeso se fabrican con tres clases de densidad (véase 4.8).

Tabla 2 – Clases de densidad, color de los paneles y designación

Color	Densidad	Designación
Rosa ^a	Alta	D
Natural	Media	M
Amarillo ^a	Baja	L
^a La identificación visual por el color de la clase de densidad sólo se aplica a la clase H3 (clase de absorción de agua).		

4.4.2.3 Coloración de los paneles de yeso según su capacidad de absorción de agua

Los paneles de yeso se fabrican con tres clases de capacidad de absorción de agua (véase 4.13).

Tabla 3 – Clases de absorción de agua, color de los paneles y designación

Color	Absorción de agua	Designación
Natural	Sin especificación	H3 ^a
Azul	≤ 5%	H2
Verde	≤ 2,5%	H1
^a La identificación visual mediante el color de la clase de densidad sólo se aplica a la clase H3 (clase de absorción de agua).		

4.5 Emisión de sustancias peligrosas

NOTA A efectos del marcado CE véanse las notas del capítulo ZA.1.

4.6 Dimensiones y tolerancias**4.6.1 Dimensiones**

Las dimensiones de los paneles de yeso están definidas por su espesor, longitud y su altura.

El espesor mínimo debe ser, al menos, 50 mm y no debe superar 150 mm.

La longitud no debe ser mayor de 1 000 mm.

La altura debe determinarse en relación a la longitud de forma que la superficie de un panel sea de 0,10 m² como mínimo.

NOTA Las dimensiones preferentes son: para el espesor: 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 100 mm; para la longitud: 666 mm; y para la altura: 500 mm.

En los paneles perforados el espesor mínimo del panel en cualquier punto debe ser al menos de 15 mm. El volumen total de huecos no debe superar el 40%.

4.6.2 Tolerancias

Las tolerancias en las dimensiones de cada panel individual, cuando se midan según lo especificado en el apartado 5.3 deben ser las siguientes:

- espesor: ± 0,5 mm;
- longitud: ± 5 mm;
- altura: ± 2 mm.

4.7 Planicidad de los paneles de yeso

La desviación máxima de la planicidad de cada panel individual, medida según se especifica en el apartado 5.4, debe ser menor de 1 mm.

4.8 Densidad en seco y tolerancias

4.8.1 Clases de densidad

La densidad aparente en seco de una muestra de yeso endurecido obtenida de la parte maciza de un panel, que equivale a la densidad bruta media del número de muestras para ensayo según el apartado 5.1, determinada según lo especificado en el apartado 5.6, debe ser la siguiente:

- Alta densidad (D)
 $1\ 100 \leq \rho \leq 1\ 500 \text{ kg/m}^3$
- Densidad media (M)
 $800 \leq \rho < 1\ 100 \text{ kg/m}^3$
- Baja densidad (L)
 $600 \leq \rho < 800 \text{ kg/m}^3$

4.8.2 Tolerancias

La densidad aparente media en seco de cada clase no debe desviarse en más de un 5% del valor medio determinado según el apartado 5.6.

4.9 Masa por unidad de superficie de los paneles y tolerancias

El fabricante declara la masa por unidad de superficie (masa por metro cuadrado) de sus paneles de yeso.

Cuando la masa de un panel se determine según lo especificado en el apartado 5.5, y la superficie se determine según lo especificado en los apartados 5.3.2 y 5.3.3, el valor medio de la masa por unidad de superficie de los paneles no debe desviarse en más de un 5% de la masa por unidad de superficie declarada.

4.10 Resistencia mecánica a flexión

Los paneles de yeso del tipo A deben tener una resistencia a flexión adecuada para su uso y, por ello, cuando se ensayen según lo indicado en el apartado 5.7 deben soportar la carga indicada en la tabla 4a).

En algunos casos puede exigirse una resistencia superior, paneles de yeso tipo R. Estos paneles deben soportar la carga indicada en la tabla 4b).

Tabla 4a) – Carga de rotura de los paneles de yeso tipo A

Paneles de yeso de longitud igual o mayor de 650 mm, y una altura de 500 mm^a	Carga de rotura media, mínima kN
Paneles macizos (densidad alta y media) Espesor en mm: 50 60 70 80 100	1,7 1,9 2,3 2,7 4,0
Paneles perforados y paneles de baja densidad (todos los espesores)	1,7
^a Para paneles de yeso menores de 650 mm y/o con alturas distintas de 500 mm, los valores de la segunda columna deben modificarse en función de la relación entre las distancias entre apoyos y/o las alturas (véase 5.7.4).	

Tabla 4b) – Carga de rotura de los paneles de yeso tipo R

Paneles de yeso de longitud igual o mayor a 650 mm, y una altura de 500 mm^a	Carga de rotura media, mínima kN
Paneles macizos y paneles perforados (densidad alta o media) Espesor en mm: 50 60 70 80 100	2,0 2,2 3,0 3,0 5,0
^a Para paneles menores de 650 mm y/o con alturas distintas de 500 mm, los valores de la segunda columna deben modificarse en función de la relación entre las distancias entre apoyos y/o las alturas (véase 5.7.4).	

Ningún valor individual de la carga de rotura de un panel de yeso, independientemente de su tipo, puede ser inferior en más de un 10% a la resistencia media.

La toma de muestras debe realizarse de acuerdo con lo especificado en el apartado 5.1, y las probetas se deben preparar conforme al apartado 5.2 y ensayar según lo especificado en el apartado 5.8.

4.11 Contenido en humedad

El contenido medio en humedad de los paneles de yeso debe medirse en el momento de la salida de la planta.

El contenido medio en humedad de los paneles no debe ser mayor del 8%.

La toma de muestras debe realizarse según lo especificado en el apartado 5.1, y las probetas deben ensayarse según lo especificado en el apartado 5.8.

4.12 pH

El pH superficial de cada panel no debe desviarse de los siguientes valores:

- panel de pH normal: $6,5 \leq \text{pH} \leq 10,5$;
- panel de pH bajo: $4,5 \leq \text{pH} < 6,5$.

La toma de muestras debe realizarse según lo especificado en el apartado 5.10.3, y las probetas deben ensayarse lo especificado en el apartado 5.10.

4.13 Capacidad de absorción de agua

4.13.1 Clasificación

Los paneles de yeso se clasifican en función de su absorción de agua como:

- Clase H3: no hay requisito para la absorción de agua;
- Clase H2: absorción de agua $\leq 5\%$;
- Clase H1: absorción de agua $\leq 2,5\%$.

4.13.2 Requisitos

Ningún panel de clase H2 debe absorber más del 5% de agua en relación a su masa en seco, cuando se ensaya según lo especificado en el apartado 5.9.

Ningún panel de clase H1 debe absorber más del 2,5% de agua en relación a su masa en seco, cuando se ensaya según lo especificado en el apartado 5.9.

La toma de muestras debe efectuarse según lo especificado en el apartado 5.1.

4.14 Dureza superficial

Si se requiere la dureza superficial, los requisitos y los métodos de ensayo se indican en el anexo B.

5 MÉTODOS DE ENSAYO

5.1 Toma de muestras

Se deben realizar los ensayos físicos, químicos y mecánicos (véanse 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.10) sobre tres paneles de yeso como mínimo. En el caso de paneles hidrofugados, otros tres paneles deben someterse al ensayo de absorción de agua (véase 5.9).

5.2 Preparación de las piezas de ensayo

Antes de realizar los ensayos descritos en esta norma, se pesan los paneles y se secan hasta masa constante²⁾ para determinar su contenido residual de humedad.

2) La masa constante se define como dos pesadas sucesivas, con una diferencia de 24 h entre ellas, que difieren en menos del 0,1%.

El secado hasta masa constante debe realizarse mediante uno de los dos métodos siguientes:

- método A – almacenamiento en una zona ventilada a (23 ± 2) °C y $(50\% \pm 5)\%$ de humedad relativa;
- método B – almacenamiento en estufa de secado a (40 ± 2) °C y posterior enfriamiento a temperatura ambiente.

5.3 Determinación de las dimensiones

5.3.1 Espesor

5.3.1.1 Principio

Se mide la distancia entre las dos caras del panel.

5.3.1.2 Aparatos

Un calibre con una precisión de lectura de 0,1 mm.

5.3.1.3 Procedimiento

El espesor de cada panel se debe medir en el centro de cada cara, aproximadamente a 50 mm del borde (véase la figura 3a).

5.3.1.4 Expresión de los resultados

El espesor es el valor medio de las tres medidas efectuadas.

5.3.2 Longitud

5.3.2.1 Principio

Se mide la dimensión mayor de la cara del panel.

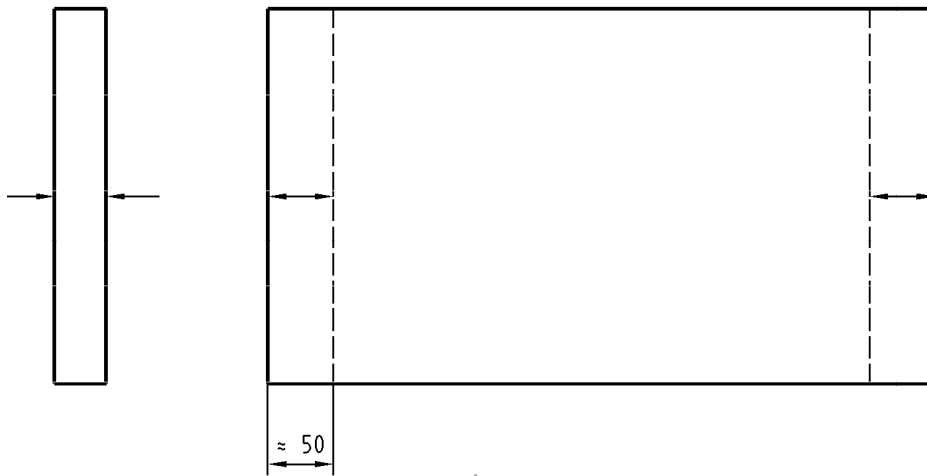
5.3.2.2 Aparatos

Una regla metálica o cinta métrica graduada en milímetros con una precisión de lectura de 1 mm.

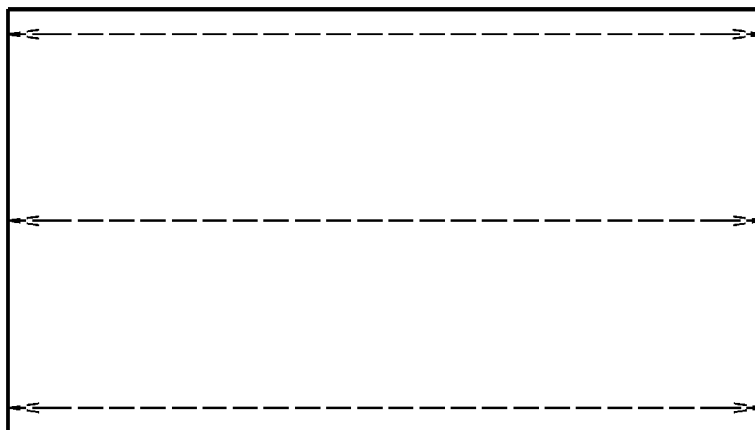
5.3.2.3 Procedimiento

La longitud de cada panel de yeso se debe medir de forma paralela a sus bordes, en ambos lados y en el centro del panel, sin tener en cuenta el machihembrado (véase la figura 3b).

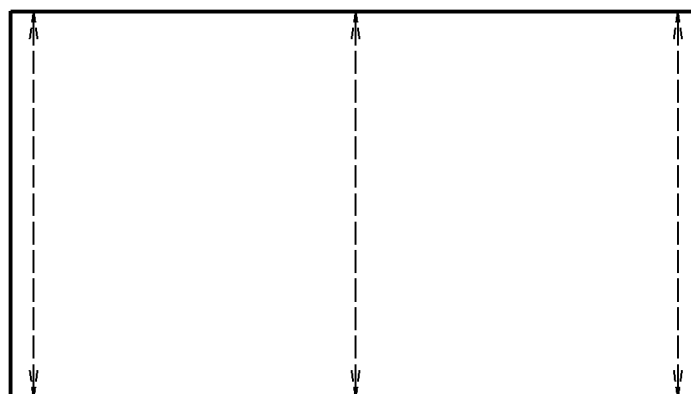
Medidas en milímetros



a) Medición del espesor



b) Medición de la longitud



c) Medición de la altura

Figura 3 – Medición de las dimensiones

5.3.2.4 Expresión de los resultados

La longitud es el valor medio de las medidas realizadas.

5.3.3 Altura

5.3.3.1 Principio

Se mide la dimensión menor de la cara del panel.

5.3.3.2 Aparatos

Una regla metálica o cinta métrica graduada en milímetros con una precisión de lectura de 1 mm.

5.3.3.3 Procedimiento

La altura se debe medir en cada panel de yeso de forma paralela a sus cantos, en los extremos y en el centro del panel, sin considerar el machihembrado (véase la figura 3c).

5.3.3.4 Expresión de los resultados

La altura es el valor medio de las medidas efectuadas.

5.3.4 Paneles perforados

Cuando se trate de paneles perforados, deben aplicarse los procedimientos definidos en los apartados 5.3.1 a 5.3.3 y, además, se debe medir la distancia entre perforaciones y entre la perforación y la cara del panel en su punto más estrecho (véase la figura 4).

Medidas en milímetros

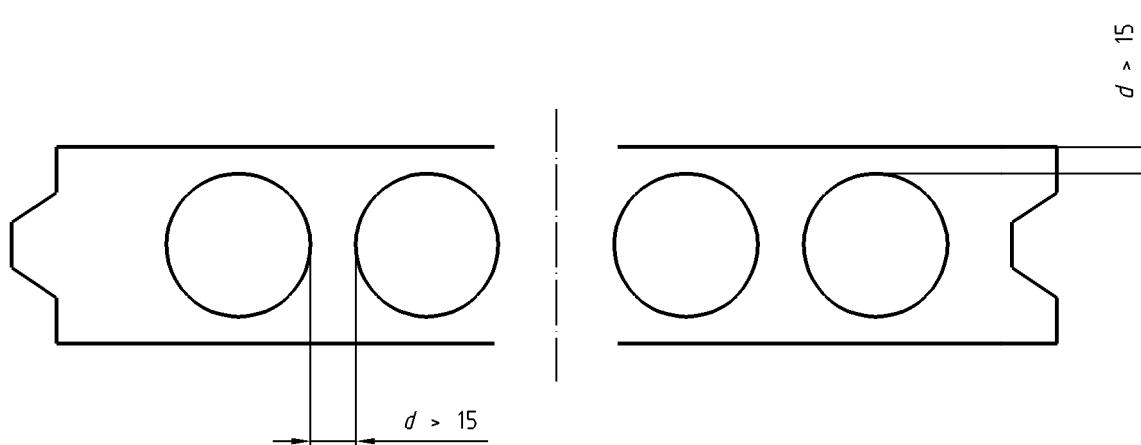


Figura 4 – Medida de la distancia entre perforaciones y entre la perforación y la cara del panel

5.4 Planicidad de los paneles

5.4.1 Principio

Se coloca el panel de yeso sobre una superficie plana, y se mide la distancia máxima entre las caras del panel y la superficie plana.

5.4.2 Aparatos

5.4.2.1 Una superficie lisa y plana.

5.4.2.2 Una regla metálica.

5.4.2.3 Una galgas de espesor.

5.4.3 Procedimiento

Se coloca el panel con una cara apoyada sobre la superficie lisa y plana. Se coloca la regla de forma paralela a la superficie lisa sobre las diagonales del panel, introduciendo las galgas en el hueco que exista entre el panel y la regla.

Se da la vuelta al panel y se repite la medida sobre la otra cara del panel.

5.4.4 Expresión de los resultados

La desviación de la planicidad es el valor medio de las desviaciones obtenidas, y se expresa en milímetros.

5.5 Masa de los paneles

5.5.1 Principio

Los paneles se pesan antes de su acondicionamiento (masa M_1), y después del mismo (masa M_2).

5.5.2 Aparatos

Una balanza con una precisión del 0,1% respecto a la masa a pesar.

5.5.3 Procedimiento

Se pesan los paneles de yeso, se anota la masa (M_1) y se someten los paneles al acondicionamiento según el apartado 5.2. Se pesan de nuevo y se anota la masa (M_2).

5.5.4 Expresión de los resultados

La masa media de los paneles es la media aritmética de las masas determinadas M_2 .

5.6 Densidad de los paneles

5.6.1 Principio

Las dimensiones de un panel o de una pieza de ensayo ya pesados, se miden y utilizan para calcular el volumen.

5.6.2 Aparatos

5.6.2.1 Una balanza con una precisión de 0,1% respecto a la masa a pesar;

5.6.2.2 Una estufa que permita regular la temperatura a $40\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$;

5.6.2.3 Un recipiente sellado.

5.6.3 Procedimiento

5.6.3.1 Si los paneles se han acondicionado según el método A del apartado 5.2, la densidad se mide sobre piezas de ensayo cortadas de los trozos de paneles utilizados para el ensayo de resistencia a flexión.

Cada pieza de ensayo debe obtenerse de un panel diferente.

Las piezas de ensayo se secan en una estufa a $40\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ hasta masa constante; se enfrían en un recipiente sellado a temperatura ambiente y se pesan con una precisión de 0,1%. Se miden las tres dimensiones de las piezas de ensayo.

5.6.3.2 Si los paneles se han acondicionado según lo indicado en el método B del apartado 5.2, la masa de cada panel se determina según lo indicado en el apartado 5.5.

Este método no es válido para los paneles perforados (véase 5.6.3.3).

Se pesa el panel según lo indicado en el apartado 5.5 y se miden las tres dimensiones según lo indicado en el apartado 5.3.

5.6.3.3 En el caso de paneles de yeso perforados, la densidad se determina sobre piezas de ensayo cortadas a partir de los fragmentos procedentes del ensayo de flexión.

Cada pieza de ensayo debe obtenerse de un panel de yeso diferente.

Las piezas de ensayo se secan en una estufa hasta masa constante a $40\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, se enfrían en un recipiente sellado y se pesan con una precisión de 0,1%. Se miden las dimensiones de las piezas de ensayo.

5.6.4 Expresión de los resultados

La densidad de los paneles se calcula como la media de las relaciones masa/volumen obtenidas de piezas de ensayo o de los paneles completos.

Los volúmenes deben obtenerse mediante cálculos a partir de las mediciones realizadas para determinar las dimensiones de los paneles o de las piezas de ensayo.

5.7 Resistencia mecánica a flexión

5.7.1 Principio

La resistencia mecánica se determina mediante la carga de rotura a flexión de los paneles sometidos a una carga en tres puntos.

5.7.2 Aparatos

Una máquina de ensayo provista de dos soportes cilíndricos paralelos (uno fijo y el otro con capacidad de inclinarse en el plano paralelo a la carga) dispuestos sobre una base nivelada, y de un dispositivo de carga capaz de inclinarse el plano paralelo a los soportes. El dispositivo de carga se sitúa centrado respecto a los dos soportes (véase la figura 5). Los dos soportes paralelos y el dispositivo de carga se redondean con un radio entre 9,5 mm y 10,5 mm. La distancia entre soportes se puede adaptar en función de la longitud de los paneles:

- la distancia entre soportes es de 566 mm;
- si la longitud del panel de yeso es menor de 650 mm, los soportes se deben situar a 50 mm de los extremos del panel.

El dispositivo debe ser capaz de aplicar la carga a una velocidad aproximada de 20 N/s.

Medidas en milímetros

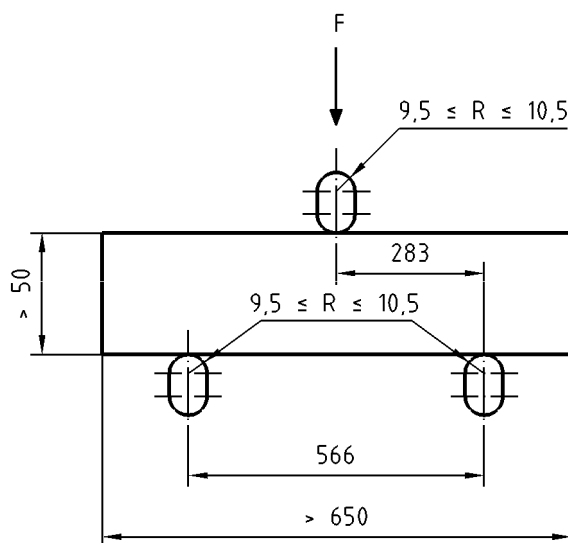


Figura 5 – Dispositivo de ensayo de la resistencia mecánica a flexión

5.7.3 Procedimiento

Los paneles deben ensayarse de uno en uno en posición horizontal. Se deben colocar sobre los dos soportes paralelos y, entonces, se aplica la carga en el centro del panel mediante el rodillo de carga.

Se aplica la carga de forma continua a una velocidad aproximada de 20 N/s hasta la rotura del panel.

5.7.4 Expresión de los resultados

Cuando los paneles de yeso sean menores de 650 mm, la distancia entre apoyos es igual a la longitud del panel descontando 50 mm por cada lado; en este caso los valores indicados en las tablas 4a) o 4b) han de modificarse proporcionalmente a relación entre la distancia entre apoyos y 566 mm.

Si la altura de los paneles es distinta de 500 mm, los valores indicados en las tablas 4a) o 4b) han de modificarse proporcionalmente a la relación de alturas de los paneles.

La resistencia mecánica a flexión es la media de los valores obtenidos.

5.8 Contenido en humedad

5.8.1 Principio

La masa de los paneles se determina antes y después de su secado hasta masa constante según lo indicado en el apartado 5.5.

5.8.2 Expresión de los resultados

El contenido en humedad M_c de los paneles debe calcularse como porcentaje de la masa M_1 , a partir de los valores M_1 y M_2 obtenidos como se indica en el apartado 5.5, mediante la fórmula:

$$M_c = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \times 100$$

5.9 Capacidad de absorción de agua (sólo para los paneles hidrofugados)

5.9.1 Principio

La masa de los paneles hidrofugados se determina antes y después de su inmersión en agua durante 2 h.

5.9.2 Aparatos

5.9.2.1 Una balanza con una precisión de 0,1% respecto a la masa a pesar;

5.9.2.2 Una estufa que permita regular la temperatura a $40\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

5.9.2.3 Un recipiente sellado.

5.9.2.4 Un recipiente lleno de agua.

5.9.2.5 Dos soportes.

5.9.3 Preparación de las piezas de ensayo

Se utilizan en este ensayo tres paneles de yeso adicionales a los usados para los ensayos físicos, químicos y mecánicos.

Se desecan los paneles de yeso hasta masa constante con uno de los dos métodos (A o B) descritos en el apartado 5.2, y se pesan (masa M_2).

En los paneles de yeso perforados, las perforaciones deben sellarse con una espuma de poliuretano expandido antes de sumergirlos en el agua.

5.9.4 Procedimiento

Se colocan los paneles en un recipiente con agua a $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ situados planos sobre los soportes de forma que la superficie inferior de los paneles no toque el fondo del recipiente y que los paneles de yeso estén cubiertos con $50\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ de agua.

Tras una inmersión de 120 minutos se sacan los paneles del recipiente, se escurren durante 5 min y se pesan de nuevo (masa M_3).

5.9.5 Expresión de los resultados

La absorción de agua A , en porcentaje, se expresa mediante la fórmula:

$$A = \frac{(M_3 - M_2)}{M_2} \times 100$$

La absorción de agua es la media de los tres valores obtenidos.

5.10 Determinación del pH

5.10.1 Principio

Se mide el pH en una dispersión de una muestra de panel de yeso en agua.

5.10.2 Aparatos

Un pHmetro, reactivo o papel pH que permita obtener medidas con una precisión de 0,5 unidades de pH.

5.10.3 Toma de muestras

Se obtiene una muestra de aproximadamente 1 g raspando la superficie de un panel de yeso, hasta una profundidad de aproximadamente 1 mm, sobre los fragmentos paneles ensayados. Se toma una muestra por cada panel.

5.10.4 Procedimiento

Para cada operación de toma de muestras se dispersa el polvo obtenido en 10 g de agua desmineralizada o destilada, hervida y enfriada.

A los 5 min se mide el pH.

5.10.5 Expresión de los resultados

Se anota el resultado obtenido.

El pH de los paneles es el valor medio de las tres medidas efectuadas.

5.11 Informe de ensayo

Todos los ensayos deben reflejarse en un informe de ensayo, que incluirá lo siguiente:

- descripción del producto (véase el capítulo 7);
- fecha, hora y lugar de la toma de muestras;
- identificación del lote de fabricación;
- fecha de los ensayos;
- referencia a los procedimientos;
- resultados de los ensayos.

6 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

6.1 Generalidades

La evaluación de la conformidad se realiza para demostrar la conformidad de los paneles de yeso con los requisitos de esta norma, en base a:

- a) ensayos iniciales de tipo;
- b) control de producción en fábrica.

El objetivo del control de producción en fábrica es garantizar que los paneles de yeso que se comercializan cumplen las especificaciones técnicas definidas en el capítulo 4.

6.2 Ensayos iniciales de tipo

Las especificaciones técnicas y las propiedades especificadas en esta norma se definen en función de métodos de ensayo de referencia de normas europeas (véase el capítulo 5) y/o en otros documentos normativos que se hayan utilizado en los ensayos o cálculos iniciales de tipo, para demostrar la conformidad del producto con esta norma.

6.3 Control de producción en fábrica

El control de producción en fábrica implica la existencia de un control interno permanente de la producción ejercida por el fabricante o por su representante, bajo la responsabilidad del propio fabricante. Todos los elementos, requisitos y disposiciones adoptados por el fabricante deben estar documentados de forma sistemática en forma de manuales y procedimientos escritos. Esta documentación del sistema de control de la producción debe garantizar una interpretación homogénea de las exigencias relativas a la evaluación de la calidad, y permitir la comprobación de los requisitos exigidos al producto y del funcionamiento efectivo del sistema de control de la fabricación.

Para los ensayos de control de producción en fábrica se pueden utilizar otros métodos de ensayo siempre que:

- a) se demuestre que hay una correlación entre los resultados obtenidos con los métodos de ensayo descritos en la norma europea y los métodos de ensayo alternativos;
- b) la información en la que está basada esta correlación se encuentre disponible para la inspección.

El fabricante debe registrar los resultados del control de producción en fábrica (registros del fabricante). Estos registros deben incluir, como mínimo, lo siguiente:

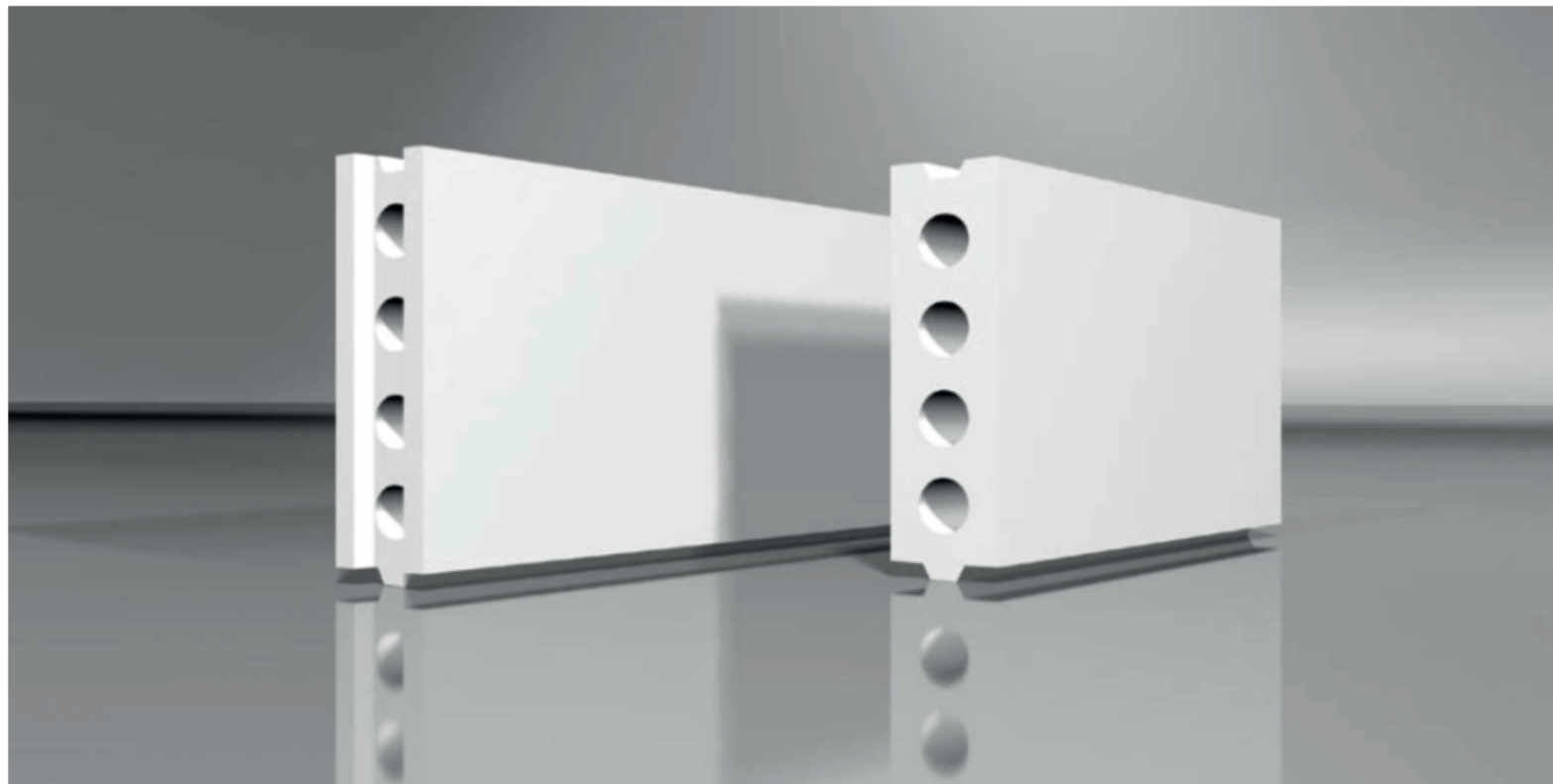
- la identificación del producto ensayado;
- la fecha de la toma de muestras;
- los métodos de ensayo;
- los resultados de los ensayos y de la inspección;
- la fecha de los ensayos;
- la identificación del responsable por parte del fabricante;
- los registros de calibración.

7 DESIGNACIÓN DE LOS PANELES DE YESO

Los paneles de yeso se deben designar de la siguiente forma:

- a) La frase "Panel de yeso".
- b) Referencia a esta norma europea.
- c) Dimensiones en milímetros en el orden siguiente:
 - 1) espesor, longitud, altura;
 - 2) o, en caso necesario, espesor en milímetros y número de paneles por metro cuadrado.
- d) Tipos:
 - 1) macizo o perforado;
 - 2) clase de densidad (D, M o B); indicando de forma voluntaria la clase de resistencia (A o R): (D, D_A, D_R, M, M_A, M_R o L);
 - 3) masa por unidad de superficie declarada;
 - 4) hidrofugado (cuando proceda, Clase H2 o H1);

BLOQUES DE YESO



BLOQUES DE YESO

son un bloque hecho de yeso para lograr paredes internas, aligerados y roscados en los cuatro lados. Si bien son totalmente naturales, los BLOQUES DE YESO son el sistema más avanzado para la construcción de paredes que tienen la consistencia y la robustez de la mampostería tradicional y al mismo tiempo permiten las ventajas de la insonorización, la higroscopicidad y la resistencia al fuego. La partición hecha con BLOQUES DE YESO, perfectamente plana, no necesita de yeso, pero solo de un ligero alisado con fibra y por lo tanto le permite montar la pared con facilidad y rapidez y obtener un resultado perfecto.

		8FIT	10FIT
espesor/altura/anchura		8x27x74cm	10x27x74cm
peso		58 kg/m ² ± 10%	75 kg/m ² ± 10%
embalaje		en pallet	en pallet
conductividad térmica	(UNI EN ISO 6946)	2,07 W/m ² K	1,92 W/m ² K
aislamientoacustico		33dB a 500hZ / 36 dB a 1000hZ	36dB a 500hZ / 39 dB a 1000hZ
resistencia a la tracción	(resistencia a la compresión)	0,39 N/mm ²	0,63 N/mm ²
resistencia a la tracción	(resistencia a la flexión)	3,96 kN	5,05 kN
resistencia al impacto		50 kg a cuerpo blando	50 kg a cuerpo blando
composicióñ		todo yeso natural	todo yeso natural
resistencia al agua depues 24 h	(bloque Hydro)	δ = 0,13 mm	δ=0,13mm
absorción de agua depues 24 h	(bloque Hydro)	W = 1,27 %	W = 1,27 %

MONTAJE DE LOS BLOQUES

1 - Marcar todos las paredes y el piso. Los muros pueden tener un ancho de 8 cm (8FIT) y de 10 cm (10FIT).

2 - Preparar el pegamento IP.

3 - En la primera fila en la parte inferior del muro en contacto con el piso se recomienda el uso del bloque Hydro (color azul). Los bordes de los bloques son machimbrados por lo que brindan una unión perfecta formando un cuerpo unico con el pegamento IP y la masilla para el acabado.

4 - Poner el pegamento en el piso.

5 - Poner la primera fila de los bloques en todas le paredes.

6 - Completado la primera fila de los bloques se espera que el pegamento se seque.

7 - Después instalar la segunda fila de los bloques en todas las paredes con conti- nuidad.

8 - Utilizar el pegamento siempre en abun- dancia.

9 - El bloques se puede cortar con una sierra de madera.

10 - El ángulo se consigne mediante el croce de los bloques.

11 - Un cruce a T se realiza come en la figura [11].

12 - La sovraporta se realiza como en la figura [12].

13 - La apertura de la puerta y de la ventana se completa siempre con la instalación de un marco de madera. **14** El espacio entre el muro y la losa se completa con el pegamento IP hasta tres centímetros. **15** Cuando es mas usted puede utilizar la espuma de poliuretano y siempre se completa con el pega- mento IP.

SOLUCIONES PARA TABIQUERIA



YTONG

REQUERIMIENTOS DEL CTE PARA ELEMENTOS DE DISTRIBUCION Y SEPARACION INTERIOR VERTICAL

Las divisiones interiores verticales pueden tener la funcionalidad de **distribuir** espacios dentro de una misma unidad de uso o **separar** espacios de diferentes unidades de uso o un espacio de una zona común.

Se denomina unidad de uso a un espacio destinado a un uso específico y cuyos usuarios estén vinculados entre sí (por ejemplo una vivienda unifamiliar) y zona común a una zona que pertenece o da servicio a varias unidades de uso (por ejemplo una zona de escaleras).

Es importante distinguir estas dos tipologías de división, ya que los requerimientos de aislamiento acústico difieren de forma considerable.



SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Aunque no se trate de elementos estructurales, los elementos divisorios verticales están expuestos a fuerzas horizontales y deben tener la estabilidad suficiente para absorberlas.

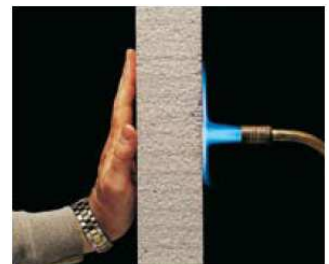
El CTE en su DB SE-AE define las cargas que deben soportar, en función de la categoría de uso.

Categoría de uso según el CTE	Fuerza horizontal (KN/m), a 1,2m de altura
Zona de aglomeración (C5)	1,5
Zonas de acceso al público (C3,C4)	0,8
Zonas de tráfico y de aparcamiento (E)	0,8
Resto de casos (A, B , C1, C2, D)	0,4

RESISTENCIA AL FUEGO

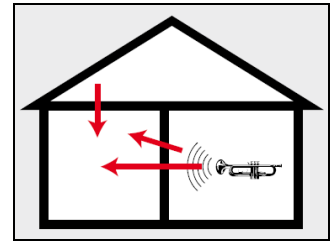
Para los elementos divisorios o separadores sin función estructural, la resistencia al fuego es la capacidad para mantener durante un periodo de tiempo determinado la integridad (E) y el aislamiento térmico (I) de los términos especificados en el ensayo normalizado correspondiente.

Los elementos que separan viviendas entre sí deben tener una resistencia al fuego E_i 60, al igual que las paredes de habitaciones de alojamiento en edificios de carácter residencial público. Los requerimientos para paredes que delimitan sectores de incendio pueden ser mayores (hasta E_i180), en función del uso previsto del establecimiento y de la altura de evacuación.



AISLAMIENTO ACUSTICO A RUIDO AEREO

Con la entrada en vigor de la Ley del Ruido y del DB HR del CTE, los elementos de separación vertical deben garantizar unos niveles de protección acústica determinados para el usuario final. Este criterio requiere el cumplimiento acústico de las soluciones una vez construidas (cumplimiento “in situ”).



- **Elementos de distribución (tabiquería):** La protección frente al ruido generado en la misma unidad de uso exige un índice global de reducción acústica R_a mayor o igual a **33dBA**.
- **Elementos de separación:** Los niveles de exigencia dependen por un lado del espacio del que procede el ruido (otra unidad de uso, zona común o recinto de instalaciones) y por otro del espacio que recibe el ruido (espacio protegido o espacio habitable¹).



En el siguiente cuadro se resumen las exigencias según el CTE DB-HR:

Tipo recinto (receptor)	Protección al ruido generado en..	Comentarios	Valor Limite CTE	
			dBA	Comentario
Protegido	Misma unidad de uso (Tabiquería)		33	
Normal	Misma unidad de uso (Tabiquería)		33	
Protegido	Otras unidades de uso		50	In situ
Normal	Otras unidades de uso		45	In situ
Protegido	Zonas comunes	No comparten puertas/ventanas	50	In situ
Normal	Zonas comunes	No comparten puertas/ventanas	45	In situ
Protegido	Zonas comunes	Si comparten puertas/ventanas	50	
Normal	Zonas comunes	Sí comparten puertas/ventanas	50	
Protegido	Zona de inst. y recintos actividad		55	In situ

¹ Recintos protegidos: dormitorios, comedores, salones, etc.

Recintos habitables: baños, cocina, pasillo, etc.

CARACTERISTICAS DEL HORMIGON CELULAR YTONG

SEGURIDAD ESTRUCTURAL

La tabiquería Ytong se caracteriza por su solidez, planeidad y estabilidad. El mortero cola que se emplea en capa fina y el machihembrado en la junta vertical otorgan una elevada estabilidad, permitiendo paños de grandes dimensiones, según se detalla en la tabla siguiente.



Longitudes máximas para tabiques con apoyo en 3 lados (borde superior libre) sin carga vertical, tabiquería con junta vertical encolada

Espesor tabique	Grado de aglomeración ²	Altura máxima de paño en metros					
		2	2,5	3	3,5	4	4,5
		Longitud máxima de paño en metros					
70/80mm	bajo	7	8	9	10	10	10
70/80mm	medio	3,5	4	4,5	5	6	7
100mm	bajo	8	10	10	12	12	12
100mm	Medio	5	6	7	8	9	10

AISLAMIENTO ACUSTICO

Elementos de distribución

Espesor	Densidad	Índice Ra (dBA)	Exigencia CTE
PYL + 70mm + PYL	550 kg/m ³	≥ 33 dBA	Ra ≥ 33 dBA
80mm	550 kg/m ³	36,7 dBA	
100mm	550 kg/m ³	34,7 dBA	

Elementos de separación

Sección constructiva ³	Espesor total	Índice Ra	Exigencia CTE DnT,A
80mm Ytong + 40mm MW + 10mm C + 80mm Ytong	220 mm	54,8 dBA	≥ 50 dBA
100mm Ytong + 40mm MW + 10mm C + 100mm Ytong	260 mm	57,3 dBA	≥ 50 dBA

² Zonas de **aglomeración media**: categorías de uso C3, C4, E, F

Zonas de **aglomeración baja**: categorías de uso A, B, C1, C2, D

³ C = Cámara de aire / MW = Lana de roca

RESISTENCIA AL FUEGO

El hormigón celular curado en autoclave Ytong es de clase A1 (clase de reacción al fuego), siendo ésta la clasificación para materiales que no contribuyen al fuego. Debido a su naturaleza mineral y su fuerte resistencia térmica, el hormigón celular Ytong se adapta particularmente bien a todas las aplicaciones cortafuegos, superando ampliamente los requerimientos de la normativa.

Clasificación de la resistencia al fuego de elementos de hormigón celular YTONG		
Elemento	Espesor	Clasificación
Tabique	7cm / 8cm	E 90, EI 90
Tabique	10cm	E 120*, EI 180

(* Clasificaciones máximas según UNE-EN 13501-2:2004)

OBRA SECA

Los tabiques Ytong se colocan en junta fina, empleando el mortero cola solamente en la junta horizontal, debido al machihembrado de la junta vertical. La planeidad permite reducir el espesor de la capa de yeso a 5mm, por lo que el tiempo de secado se acorta de forma considerable.



ACABADOS Y FIJACIONES

La elevada planeidad de los tabiques Ytong permiten realizar directamente el enlucido sin necesidad de un guarnecido previo, reduciéndose de esta forma el espesor de la capa de yeso a un mínimo. Por lo general basta un enlucido de 3mm, quedando el tabique listo para pintar.

La planeidad de los tabiques también permite el alicatado directo en las zonas húmedas como baños y cocinas.

Al tratarse de un material macizo con una baja resistencia a la abrasión, las rozas se ejecutan con suma facilidad y una perfección geométrica inigualable, siendo posible realizarlas con una rozadora manual o eléctrica.

En el mercado existe una amplia gama de tacos y clavos aptos y homologados para su empleo sobre el hormigón celular, siendo posible la fijación de cargas ligeras/medias con tacos de expansión y cargas pesadas con tacos químicos.

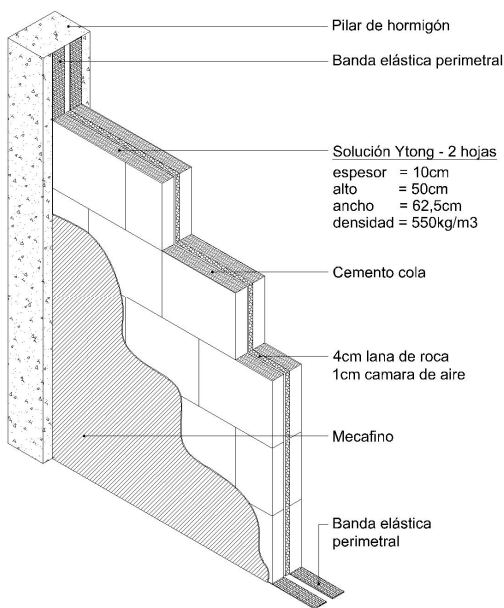


SOLUCIONES DE SEPARACION ENTRE VIVIENDAS

Los tabiques Ytong permiten una colocación rápida y eficaz, con el mínimo de residuos y un rendimiento que los hacen muy competitivos. Las siguientes características del sistema son responsables de ello:

- Ligereza y ergonomía del material
- Rapidez de montaje debido a la facilidad de corte, el machihembrado y la ligereza
- Alta planeidad al tratarse de un sistema de junta fina, que permite un espesor mínimo del enlucido y reducir el tiempo de secado
- Rendimiento de **40-50 m² / día y operario**

TABIQUE DOBLE DE 10

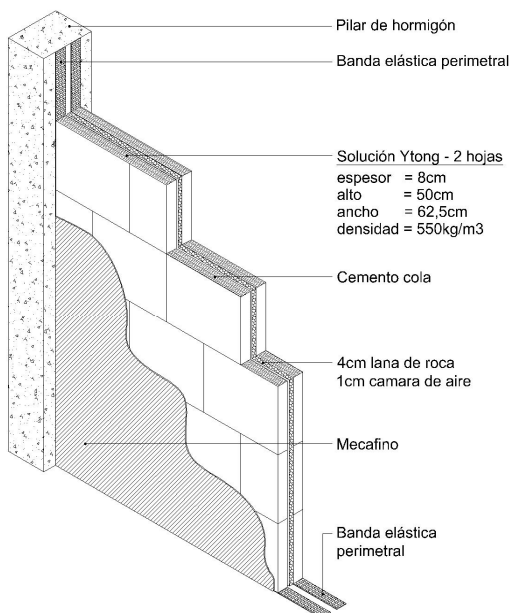


Espesor: 25 cm

Ra: 57,3 dBA



TABIQUE DOBLE DE 8



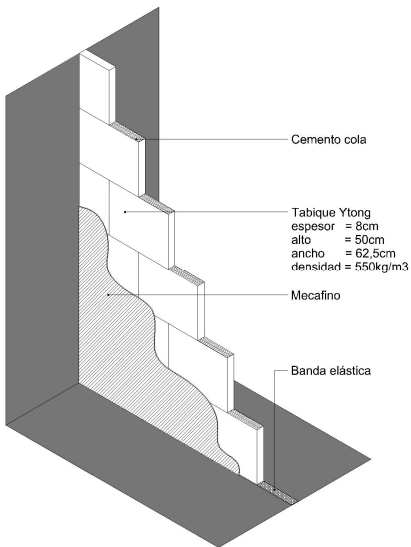
Espesor: 21 cm

Ra: 54,8 dBA



SOLUCIONES DE DISTRIBUCION INTERIOR

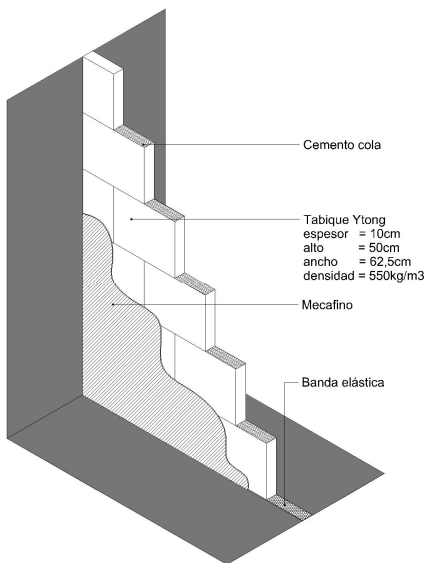
TABIQUE DE 10



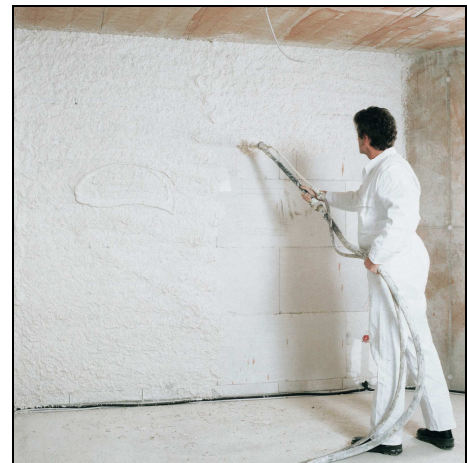
Espesor: 10 cm
Ra: 34,7 dBA



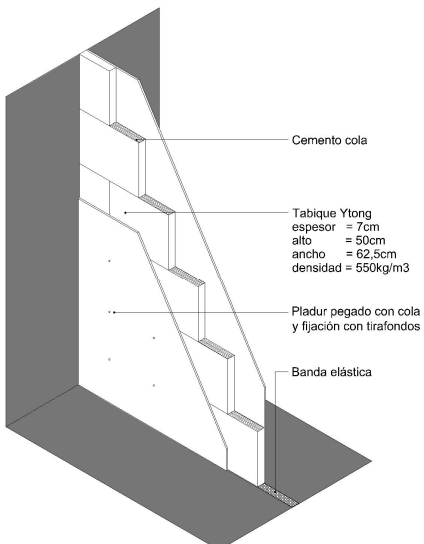
TABIQUE DE 8



Espesor: 8 cm
Ra: 36,7 dBA



TABIQUE DE 7



Espesor: 7 cm
Ra: > 33 dBA



Xella España Hormigon Celular, S.A.

Parque de Negocios Mas Blau

C/Solsonès 2, esc B, 2º B3

08820 El Prat de Llobregat (Barcelona)

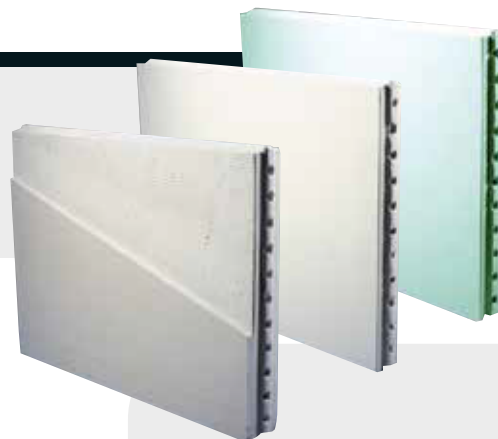
Tel: +34 934.792.711

Fax: +34 934.792.238

www.xella.es

TABIQUE SÓLIDO

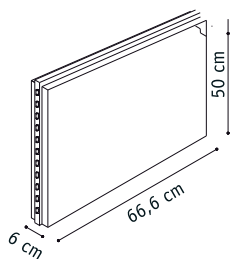
DEL SISTEMA ISOMUR



Isomur es un sistema constructivo constituido por Bloques de Yeso del **Sistema Isomur** con cantos machihembrados que conforman una albañilería autosoportante no estructural permitiendo realizar divisiones interiores en edificaciones.

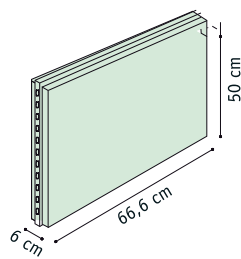
El tabique sólido del **Sistema Isomur** está dirigido al mercado de viviendas y edificios, para ser usado como tabiquería, dividiendo espacios interiores, áreas comunes y/o unidades de construcción (departamentos, oficinas, locales comerciales, hospitales, colegios, bodegas). También es usado para la construcción de shaft, frente de ascensores y otros tabiques que requieran una alta resistencia al fuego con un mínimo espesor.

Tipos de Bloques



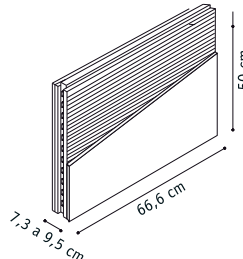
Standard (ST)

Bloque de color blanco que se utiliza para divisiones interiores de recintos secos.



Resistente a la Humedad (RH)

Bloque de color verde, con aditivos de silicona incorporados en la masa que le dan propiedades repelentes a la humedad, utilizados para divisiones de zonas húmedas (baños, cocinas, lavaderos).



Compuesto (Comp)

Tabique conformado por albañilería en base a bloques de yeso (ST o RH) del **Sistema Isomur** revestido, en obra, por una o ambas caras con Placas de Yeso-Cartón del Sistema Gyplac de 10 mm, 12,5 mm ó 15 mm en sus tipos ST, RH, RF adheridos con **Pegamento del Sistema Isomur**.



Propiedades

-  TABIQUE SÓLIDO
-  ECONÓMICO
-  RÁPIDO Y FÁCIL DE INSTALAR
-  BAJO ESPESOR
-  RESISTENTE A: FUEGO, HUMEDAD E IMPACTO
-  CONFORT
-  PERMITE SOLUCIONES ACÚSTICAS
-  ACEPTABILIDAD DE REVESTIMIENTOS
-  30 AÑOS EN EL MERCADO

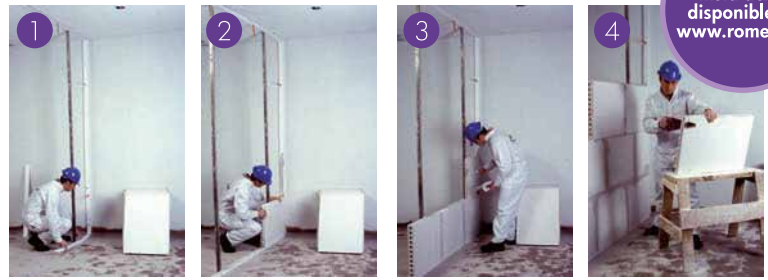
Usos

El Tabique Sólido del **Sistema Isomur** está dirigido al mercado de viviendas y edificios, habitacionales y no habitacionales para ser usado como:

- **Tabique divisorio interior:** En casas, departamentos, oficinas, locales comerciales, bodegas, colegios, hoteles, hospitales, etc .
- **Tabique divisorio interior en espacios o áreas comunes:** Pasillos, hall de edificios, frente de ascensores, cajas de escalas, nichos eléctricos, gas, etc.
- **Shaft:** Para descarga de aguas servidas, basura, evacuación de gases, ventilación, etc.
- **Tabique de alta resistencia al fuego.**

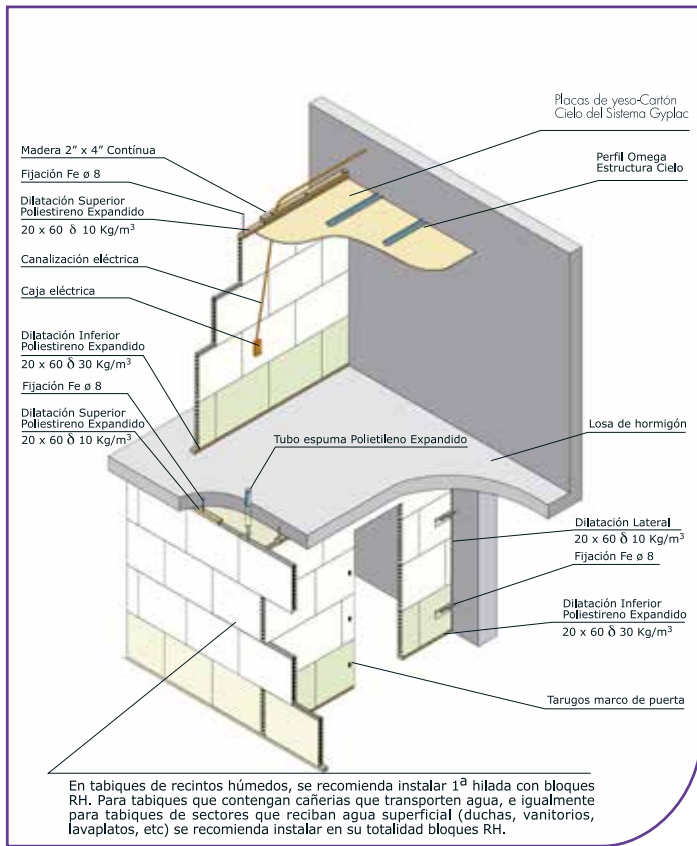
Proceso de Instalación

- 1 Colocación de fijaciones y dilataciones.
- 2 Colocación primer bloque.
- 3 Comienzo con medio bloque en segunda hilada.
- 4 Corte de bloque con serrucho manual.



Video de instalación disponible en www.romeral.cl

Isométrica Sistema Constructivo



Nota: Detalles Autocad disponibles en www.romeral.cl

Fichas Técnicas

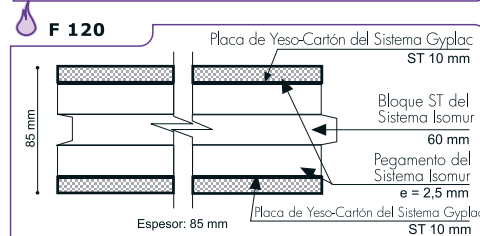
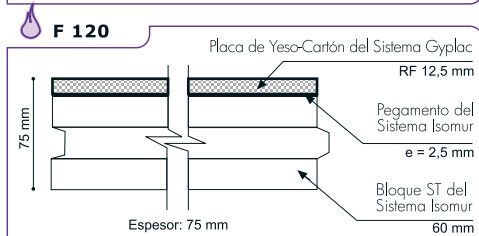
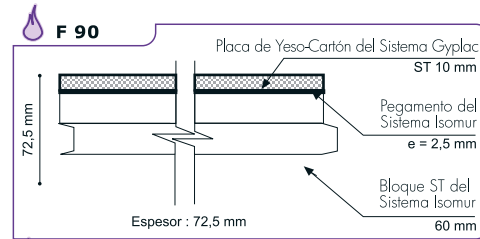
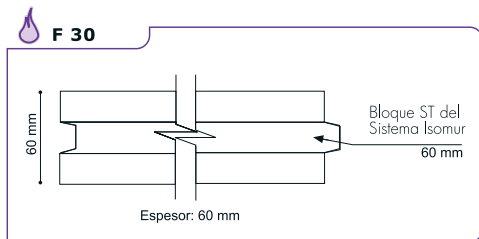
Sistema Isomur: Tabique sólido simple (ST o RH)

Espesor	60 mm
Peso del Bloque	14 kg/bloque (aprox)
Peso Estructural	42 kg/m ² (aprox)
Rendimiento del Material	3 bloques/m ²
Aislamiento Acústico	STC:30 dB
Resistencia al Fuego	F-30 según NCh 935/1 of 97
Norma de Fabricación	NCh 2470 of 2000 "Yeso-Bloque de Yeso"
Rendimiento Instalación	35 m ² H/d levantado 12 - 15 m ² H/d terminado
Embalaje de Bloques	Pallet de 13.32 m ² (40 bloques por pallet)

Sistema Isomur: Tabique sólido compuesto (ST o RH)

Espesor	73 a 95 mm
Peso del Bloque	19.1 kg/bloque (aprox)
Peso Estructural	57.4 kg/m ² (aprox)
Rendimiento del Material	3.0 bloques/m ² + 2.0 m ² de Placa del Sistema Gyplac
Aislamiento Acústico	STC: 32 -35 dB
Resistencia al Fuego	F-120 según NCh 935/1 of 97 (con Placa de Yeso-Cartón del Sistema Gyplac de 10 mm por cada cara)
Norma de Fabricación	NCh 2470 of 2000 "Yeso-Bloque de Yeso"
Rendimiento Instalación	35 m ² H/d levantado 8 - 10 m ² H/d terminado

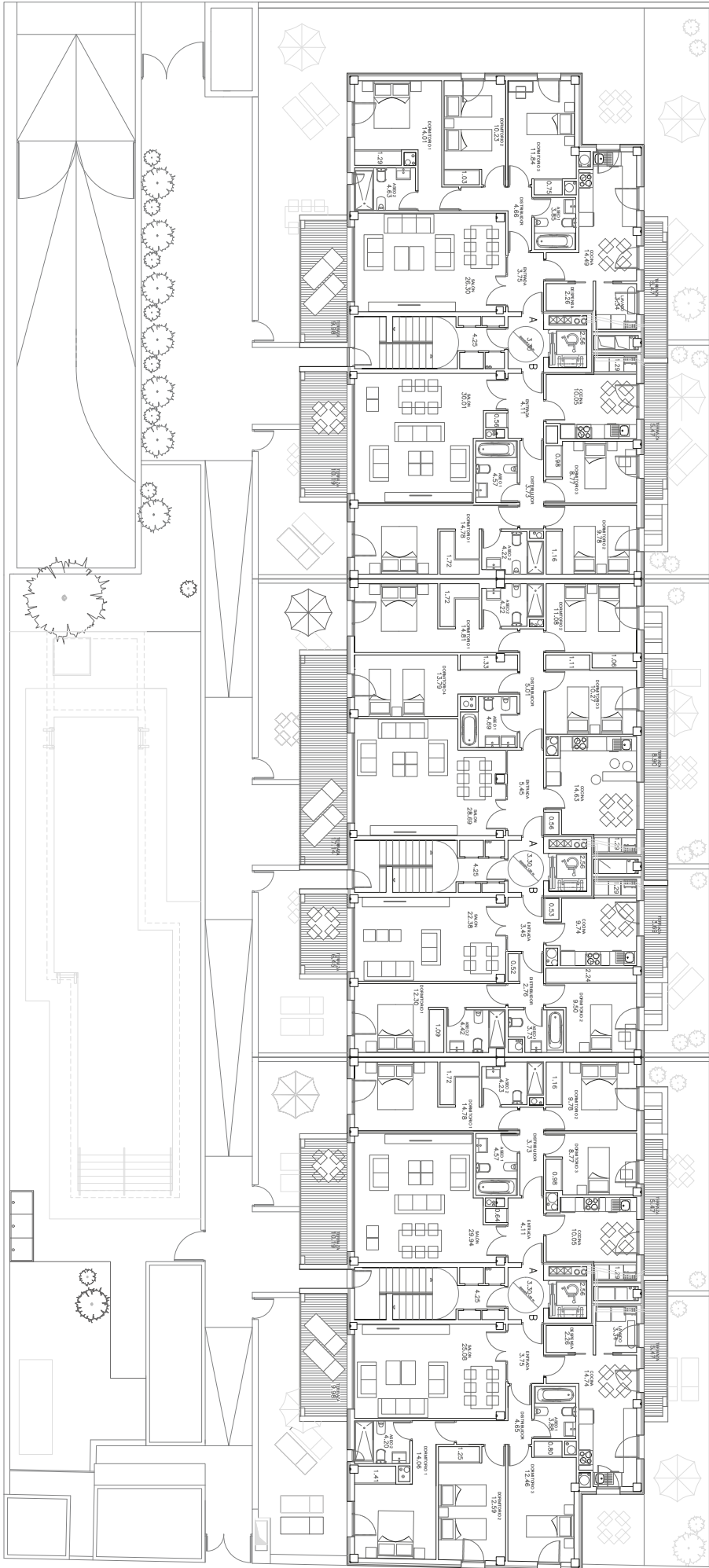
Resistencia al fuego de Tabiques Sólidos del Sistema Isomur



Al utilizar Tabique sólidos del Sistema Isomur, use sólo Pegamento del Sistema.

[f/RomeralChile](https://www.facebook.com/RomeralChile) [@RomeralChile](https://twitter.com/RomeralChile)





Bloque de viviendas en Córdoba de planta baja + 6.
Con estructura de hormigón (de pilares)

Proyecto básico final de 42 viviendas libres, garajes, trasteros y zonas comunes.

Ubicación:
Parcela 2.5 sector huerta de Santa Isabel Este (Córdoba)