

# PROPUESTA DE UN PRODUCTO ECOEFICIENTE, MEDIANTE LA ADICIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD AÑADIDOS A UNA MATRIZ CONGLOMERANTE DE YESO, Y SU APLICACIÓN A TRASDOSADOS DIRECTOS

Realizado por: M<sup>a</sup> Isabel Romero Gómez

Tutora : Paloma Rubio de Hita

Grupo Docente: Enrique D. Fernández Nieto  
Diego César Frustaglia

Curso: 2017-18 | TFG H | ETSA de Sevilla

Grado en Fundamentos de Arquitectura

## TRABAJO FIN DE GRADO





*Fig. 1 Imagen logotipo de la convención anual Politalk, 2018. Fuente: PlasticsEurope*

## PRÓLOGO

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN. PALABRAS CLAVE.....	4
ABSTRACT. KEY WORDS.....	5

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. OBJETIVOS .....	17
-Objetivos generales.....	17
-Objetivos específicos.....	17
3. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	21
4. HIPÓTESIS DE PARTIDA.....	29
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	33
6. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL .....	39
6.1. Introducción metodológica.....	39
6.2. Proceso de elaboración de probetas.....	39
6.3. Dimensiones de las probetas.....	42
6.4. Ensayos de caracterización .....	46
6.4.1. Ensayos densidad aparente .....	46
-Metodología	
-Resultados	
-Análisis de resultados	

6.4.2.	Ensayos de comportamiento mecánico .....	49
	-Metodología	
	-Resultados	
	-Análisis de resultados	
6.4.3.	Ensayos de comportamiento acústico .....	60
	-Metodología	
	-Resultados	
	-Análisis de resultados	
6.4.4.	Ensayos de comportamiento térmico .....	69
	-Metodología	
	-Resultados	
	-Análisis de resultados	
<b>7.</b>	<b>DISCUSIÓN RESULTADOS Y CONCLUSIONES ENSAYO.....</b>	<b>75</b>
<b>8.</b>	<b>DISEÑO PRODUCTO PROPUESTO.....</b>	<b>79</b>
<b>9.</b>	<b>DISCUSIÓN RESULTADOS Y CONCLUSIONES SOBRE EL PRODUCTO .....</b>	<b>89</b>
<b>10.</b>	<b>APÉNDICE.....</b>	<b>101</b>
	-Índice de ilustraciones .....	101
	-Índice de tablas .....	104
	-Índice de gráficas.....	105
<b>11.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>109</b>
<b>12.</b>	<b>ANEXO</b>	
	-Fichas técnicas	

# 0

## PRÓLOGO

## AGRADECIMIENTOS

Durante la realización de este trabajo de investigación, ha sido indispensable la intervención docente prestada por mi tutora Paloma Rubio de Hita, así como el equipo de profesores del grupo de TFG H, Enrique D. Fernández Nieto y Diego C. Frustaglia. Gracias por la oportunidad brindada para la iniciación en investigación sobre nuevos materiales ecoeficientes.

No habría sido posible llevar a cabo dicha investigación sin el trabajo en equipo durante la primera etapa del mismo junto a mis compañeros Carlos y Abraham.

Agradecer también la simpatía y ayuda de las técnicas de laboratorio, quienes con gran paciencia han atendido y solventado cada uno de nuestros problemas con la elaboración y ensayos de probetas.

Finalmente, un enorme gracias a las piezas esenciales de apoyo durante toda la carrera, mi familia, amigas y pareja.

## RESUMEN. PALABRAS CLAVE

Esta investigación estudia el comportamiento físico y mecánico de una matriz conglomerante de yeso, a la que se le incorporan residuos de Polietileno de Baja Densidad (PEBD). El objetivo es la investigación sobre la viabilidad de un nuevo material de construcción ecoeficiente, que consiga reducir la cantidad de materia prima utilizada para su fabricación, puesto que se sustituye parte de esta por un residuo muy abundante y común en el planeta, las bolsas de plástico. Al mismo tiempo, se persigue la mejora de las propiedades de los yesos tradicionales, de forma que se logre ampliar el campo de aplicación de estos o conseguir mejores prestaciones en los ya explorados. Para llevar a cabo este estudio se procederá a la caracterización del compuesto Yeso-PEBD, mediante la realización de ensayos en el laboratorio de densidad aparente, mecánicos, absorción acústica y térmicos, utilizando para ello una serie de muestras con tres porcentajes diferentes de residuo, basados en el peso de yeso (0,25 %, 0,5% y 1% de PEBD)

Un análisis comparativo de los resultados obtenidos mostró la viabilidad de dicho compuesto para su aplicación en construcción, como transformados de placas de yeso laminado para trasdosados directos, gracias a las mejoras de absorción acústica y térmica en comparación con el yeso de referencia.

**Palabras clave:** Yeso; residuos PEBD; reciclaje; aislamiento acústico; rehabilitación energética

## **ABSTRACT. KEY WORDS**

This research studies the physical and mechanical behavior of a gypsum binder matrix manufactured with Low Density Polyethylene (LDPE) waste. The objective is the viability study of a new eco-efficient construction material, which get to reduce the amount of raw material used for its manufacture, since gypsum is replaced by a very common and plentiful waste of the planet, plastic bags. At the same time, the improvement of characteristic from traditional gypsums is pursued, so that application area of these can be increase or best benefits can be obtained in those already explored. To carry out this research, we make the characterization of the gypsum-PEBD compound by dry bulk density, mechanical, acoustic and thermal tests in the laboratory, using samples with three different percentages of waste based on the weight of gypsum (0.25%, 0.5% and 1% LDPE)

A comparative analysis of the results obtained showed the viability of this compound for its application in construction as plasterboard for direct wall lining, due to acoustic and thermal improvements compared with reference gypsum.

**Key words:** Gypsum; LDPE waste; recycling; acoustic insulation; energetic restoration



# 1

## INTRODUCCIÓN

El contenido que se expondrá en los **puntos 1,2,3 y 4** (*Pág. 10-30*) se corresponde con la parte de investigación desarrollada en grupo, junto con mis compañeros Carlos Jiménez López-Rey y Abraham Obregón Morales. El contenido de esta sección será por tanto común a los tres trabajos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Al hablar de ‘Plásticos’, hacemos referencia a una gran familia de materiales sintéticos de origen natural, al igual que ocurre con la madera o las fibras vegetales. Las materias primas que se utilizan para la producción de estos son productos naturales, tales como la celulosa, el carbón, gas natural y petróleo.

Etimológicamente, el término plástico proviene del griego “plastikos”, cuyo significado hace referencia a su facilidad para ser moldeado, lo que nos da una idea de la principal característica de este material.

Por tanto, si utilizásemos tres conceptos para definirlo, estos serían maleabilidad, baja densidad y capacidad de modificación, lo que lo hace ideal para una extensa gama de aplicaciones, tanto industriales, como de consumo.

Dentro de esta amplia familia encontramos distintos grupos, entre los cuales se enmarcan los termoplásticos, que son aquellos materiales, que además de poseer las características anteriores, poseen la capacidad de fundirse a altas temperaturas y volver a moldearse, adoptando nuevamente diversidad de formas tras enfriarse. Sin embargo, durante los ciclos de reprocesado van sufriendo modificaciones, que limitarán su reciclaje a no más de 5 ó 7 veces.

Existen cantidad de plásticos dentro de esta familia, entre los que encontramos el Policarbonato (PC), Polietileno (PE), Tereftalato de polietileno (PET), Cloruro de polivinilo (PVC), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS) y Poliestireno expandido (EPS), entre otros.

Dentro de la gran producción mundial de plásticos, que oscila en torno a los 335 millones de toneladas, de las cuales el 18% (49,9 mT) se genera en Europa, la familia de los termoplásticos supone un 90 %.

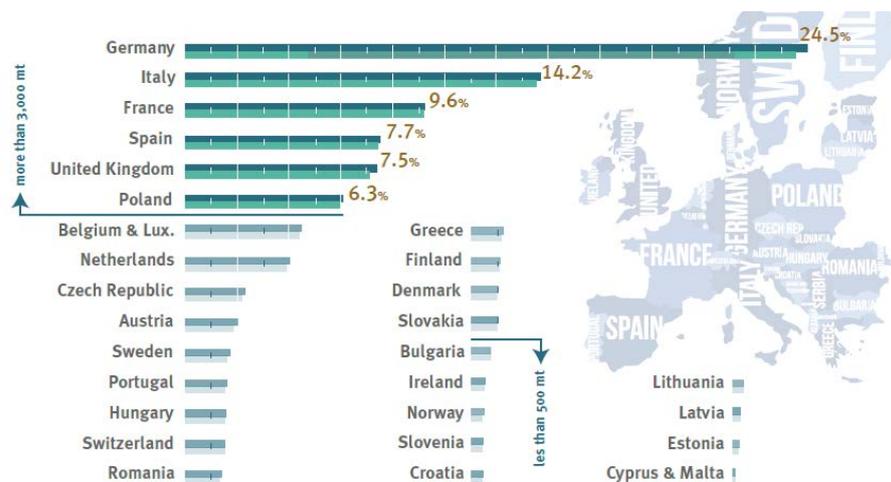


Fig. 2 Gráfica comparativa consumo plástico por país en Europa (2015-2016). Fuente: PlasticsEurope

Los principales sectores europeos de consumo de termoplásticos durante 2017 fueron el Alimenticio al que se destinó un 39.9% de la producción de este, utilizada para el embalaje de todo tipo de productos, envases para alimentos, bolsas ...; seguido del sector de la Construcción y la Ingeniería, que suponen el 19,7% y 16,7% respectivamente. [1]

Tras observar la cantidad de plástico que se consume tanto a nivel mundial, como europeo, si lo comparamos con el porcentaje de plásticos que se recicla, la realidad es abrumadora. En Europa, durante 2014, solo un 30% del plástico que llegó a las plantas de gestión de residuos fue reciclado, de la cantidad restante el 40% se terminó incinerando y el otro 30% depositados en vertederos. Sin embargo, estos números solo cuantifican la cantidad de residuos plásticos que se depositaron en los dispositivos correspondientes de basura, por lo que las cantidades reales de plástico que queda sin reciclar son mucho mayores, ya que millones de envases son arrojados diariamente al entorno. [2]

La gran problemática que existe, por tanto, respecto a los plásticos es el tratamiento de este tipo de residuos.

Al igual que en sus orígenes, el plástico es un material que tiene grandes posibilidades en el mundo del reciclaje, pudiéndose diseñar estos pensando incluso en un ciclo de vida más longevo, a partir de su primer uso; aunque actualmente como muestran las estadísticas no se apuesta lo suficiente por ello.

Este hecho genera que la mayoría de los plásticos diseñados para un único uso, tras perder este, acaben su ciclo de vida. Por lo general, acabarán en un vertedero, apilados sin discriminación, donde con algo de suerte sean incinerados, ya que, como sabemos la mayoría de ellos acaban como basura marina, convirtiendo nuestras aguas en verdaderos mares de plásticos.

Pese a no conocerse el dato exacto de la cantidad de plásticos que navega por nuestros mares, Greenpeace en su informe anual sobre la *Problemática de los plásticos en Europa*, estima que esta cantidad oscila en torno a los 5 – 50 billones de fragmentos. [3]

Respecto a esta situación, las noticias son cada día más impactantes. Según enunciaba Karmenu Vella, comisario de Medio Ambiente de la UE "Casi el 80 % de la basura que se acumula en los océanos procede del medio terrestre. En su mayoría, es plástico. Ya estamos encontrando bolsas de plástico en el sistema digestivo de las aves marinas o las ballenas varadas; no cabe duda de que tenemos que actuar sin demora." [4]

Es, por tanto, una realidad inminente, el perjudicial daño que la producción incontrolada de plásticos está provocando a la salud de los ecosistemas acuáticos.

Existen pronósticos que prevén que la producción de plásticos para 2020 se acercará a los 500 millones de toneladas, lo cual si tenemos en cuenta la fácil dispersión de estos y su paulatina degradación hacen de este material el principal enemigo de los mares y océanos [3].

Tras indagar en el tema, observamos que la mayor cantidad de los plásticos que encontramos en los mares y océanos se corresponden con trozos de bolsas de plástico. Como ejemplo de la problemática europea actual, encontramos la situación con la que deben tratar diariamente los trabajadores de la costa de la Toscana, para los que las bolsas suponen 70% del total de residuos que recogen anualmente. [5]



Fig. 3 Impacto de bolsas de plástico en la fauna marina. Fuente: Greenpeace

De esto sacamos como conclusión, que el Polietileno de Baja Densidad (PEBD), además de ser unos de los tipos de plásticos más producidos (en torno a 8 mT anuales), es el menos reciclado, quedando desperdiciadas la amplitud de ventajas que supone su reciclaje, como son la creación de nuevos productos o su recuperación energética.

Actualmente, es cierto, que, aunque de manera pausada, se está trabajando con el fin de encontrar soluciones a esta problemática que venimos desarrollando, de manera que se pueda encontrar una relación de proporcionalidad entre el amplio uso de un material versátil y capaz, como es el plástico, con su ciclo de vida.

Desde las entidades políticas tanto a nivel europeo, como nacional, se están desarrollando una serie de estrategias que ayuden a subsanar dicha problemática.

Entre ellas, las más destacables serían la Directiva 2015/720 [6] de la UE, que obliga a los Estados miembros a reducir de manera drástica el consumo de bolsas de plástico de grosor inferior a 0,05 mm. El fin de dicha ley pasa por reducir el número de bolsas que los europeos utilizamos al año, que ronda entorno a los 100.000 millones, lo cual supone un gran desperdicio, debido a que frecuentemente les damos un único uso.

Para llevar a cabo dicha estrategia, los gobiernos nacionales pueden elegir entre diferentes modos de alcanzar los objetivos establecidos, como son medidas económicas, poniendo un precio a las bolsas de plástico ligeras, o a través de acuerdos con los diferentes sectores económicos. El fin es conseguir que, para finales del 2019, el número de bolsas por persona se reduzca a 90, aumentando la ambición para finales de 2025, para cuando dicho número debe reducirse a 40 bolsas por persona al año.

Por otro lado, y de mayor relevancia encontramos que desde la Unión Europea se está fomentando una nueva economía, la *Economía Circular*, que persigue convertir Europa en un continente que utilice sus recursos de manera eficaz, generando empleo y crecimiento.

Respecto a esta nueva economía, el vicepresidente Jyrki Katainen, responsable de empleo, crecimiento, inversión y competitividad de la UE manifiesta los diferentes objetivos que se persiguen con ella: «Con nuestra estrategia sobre los plásticos, estamos sentando las bases de una nueva economía del plástico, circular, al tiempo que orientamos la inversión en la misma dirección. Esto nos ayudará a reducir los residuos plásticos en tierra, mar y aire y ofrecerá nuevas oportunidades para la innovación, la competitividad y el empleo. Se trata de una gran oportunidad para que la industria europea desarrolle su papel de líder mundial en nuevas tecnologías y materiales. Los consumidores tienen la capacidad de tomar decisiones conscientes que protejan el medio ambiente. Es una situación de la que realmente todos podemos obtener beneficios».[7]

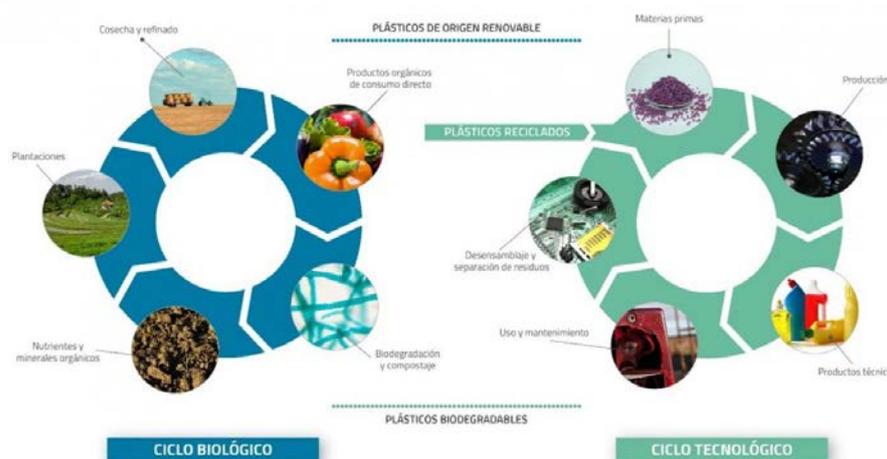


Fig. 4 Modelo economía circular. Fuente: Aimplas

Dentro del marco europeo, encontramos además de estrategias de índole política, otra serie de medidas que están llevando a cabo organizaciones preocupadas más que por reducir la producción de plásticos, por el aumento del reciclaje de estos, inspiradas en la política ambiental de la UE. Entre las más relevantes encontramos Ecoembes y PlasticsEurope.

Ecoembes es una organización que nace hace 20 años, como respuesta a las responsabilidades establecidas por la Directiva Europea de 1994 a través de la Ley 11/97 de Envases y Residuos de envases, que pretende marcar una serie de obligaciones para la recuperación de los residuos de los envases, su posterior tratamiento y valorización.

El papel fundamental de Ecoembes [2] pasa por el desarrollo de sistemas de gestión de residuos de envases, coordinando a los distintos agentes que intervienen en el proceso (empresas, ciudadanos, ayuntamientos y recicladores), para que estos se reciclen y puedan tener una segunda vida.

Con una perspectiva opuesta, encontramos otra organización de índole europea, PlasticsEurope [8] conformada por fabricantes activos de polímeros en el sector del plástico en Europa, que promueve los numerosos beneficios del plástico, interviniendo en cuestiones políticas, creando alianzas, llevando a cabo campañas de sensibilización, desarrollando recursos didácticos informativos y llevando a cabo estudios científicos.

Dentro de las actividades que desarrolla, actualmente se está llevando a cabo una campaña esencial para conseguir alcanzar el horizonte 2020: *En vertedero plástico cero* [9].

El fin de dicha estrategia consiste en adoptar una serie de medidas legales o económicas para restringir la deposición de residuos plásticos en vertederos, como ya se hace en algunos países europeos, como Alemania, donde como consecuencia, los índices de reciclaje y recuperación han sufrido un aumento considerable.

Llegados a este punto, podríamos sacar a modo de conclusión, la necesidad de buscar nuevas alternativas al reciclaje de los plásticos, cómo sacar mayor partido de esta acción y conseguir al mismo tiempo limpiar nuestros mares de plásticos.



Fig. 5 Impacto bolsas plástico en el mar. Fuente: Clean Ocean Project

En este campo, entraría en juego la actual ambición que se está llevando a cabo en el sector de la construcción y la industria, con distintos proyectos de I+D+I, que investigan sobre la posibilidad de utilización de materiales reciclados para explorar sus posibilidades como compuestos en nuevos materiales.

La mayoría de estos proyectos han puesto su punto de mira en el amplio mundo de los plásticos, puesto que es un material que ofrece dureza, resistencia a la corrosión, aislamiento térmico y acústico, bajo coste de producción y mantenimiento, así como diversidad de acabados; aspectos que tienen gran valor en este sector.

Los plásticos seleccionados para las distintas investigaciones coinciden con aquellos que se producen en mayor cantidad y son más fácil de obtener, como en el caso del PVC, PS, PP o PE.

Por sus propiedades, las principales aplicaciones, a modo general, que se les está dando es la de material de adición o como sustitución de algún componente, para la fabricación de asfalto, en el ámbito de la industria, así como hormigones en el campo de la construcción. No obstante, también existen proyectos que tratan de fabricar nuevos materiales plásticos a través de residuos de estos.

Teniendo en cuenta toda la información descrita, podemos exponer a modo de conclusión, la existencia de una rama de investigación bastante interesante, basada en la necesidad de búsqueda de un nuevo uso para las toneladas de bolsas de plástico de PEBD que producimos diariamente, evitando que estas terminen inundando nuestros mares. En el campo de la arquitectura, puede resultar interesante, la fabricación de un nuevo material, en el que consigan equilibrarse las beneficiosas propiedades que un plástico de baja densidad nos ofrece, con las ya testadas y diariamente utilizadas de los materiales más comunes en construcción, como son el cemento o el yeso.

# 2

## OBJETIVOS

## 2. OBJETIVOS

### OBJETIVOS GENERALES

Bajo una mirada más amplia y de forma general se propone:

- Estudiar nuevos materiales de construcción obtenidos a partir de materiales plásticos reciclados, con la finalidad de aplicar criterios ecoeficientes en la construcción de edificios.
- Elaborar una metodología para un plan experimental, una vez han sido sentadas las bases de la hipótesis de investigación, con el fin de caracterizar el nuevo material.
- Aplicar a un caso práctico los materiales elaborados, para su utilización como producto en la construcción de edificios.
- Realizar una comparativa de los nuevos materiales con los materiales tradicionales en cuanto a las mejoras que podrían producirse respecto aislamiento térmico, características acústicas y que además cuantifiquen la cantidad de material reciclado en su solución constructiva.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Centrándonos ahora en los nuevos materiales elaborados, de forma más específica se plantea:

- Profundizar en la investigación sobre el PEBD como residuo termoplástico, con la intención de hacer su ciclo de vida más longevo, reduciendo así la contaminación plástica medioambiental.
- Analizar la influencia de distintos porcentajes de adición de residuos plásticos en el comportamiento final del nuevo compuesto Yeso-PEBD.
- Caracterizar el nuevo compuesto mediante ensayos frente a comportamientos mecánicos, térmicos y acústicos.
- Determinar una futura aplicación constructiva del nuevo material.



# 3

## ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Los plásticos son materiales con un gran impacto en el mundo del reciclado tanto por las grandes cantidades que se producen a escala global como por su baja capacidad de degradación.

Como se observa en la gráfica la producción de plástico no ha hecho más que aumentar desde 1950. Ya en 2016 su producción era de 335 millones de toneladas, cifra que continua en ascenso, es por ello, que este producto se postula como un buen material para generar nuevos eco-materiales ya que su gestión mejoraría el impacto en la naturaleza y además su abundancia aseguraría una fuente de recursos duradera.

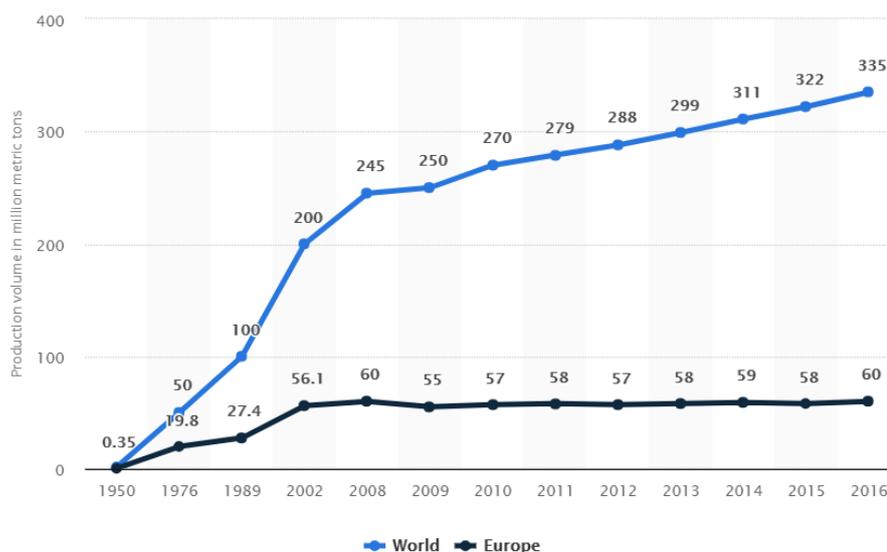


Fig. 6 Gráfica comparativa producción plástico anual a nivel mundial y europeo (1950-2016). Fuente: Statista, PlasticsEurope

El tratamiento de estos residuos es una necesidad capital para minimizar el impacto humano en el planeta. Actualmente en Europa se genera en torno a 50 mT de los plásticos y dentro de este ámbito la construcción se erige como una rama sustancial al abarcar el 20% de la producción de estos.

Actualmente, como corroboran las estadísticas, en el ámbito de la construcción se está apostando por la utilización de plásticos, como un material con visión de futuro, ya que permite el desarrollo de una arquitectura ecoeficiente y sostenible. Su gran capacidad de aislamiento es uno de los principales motivos, por lo que se está apostando por él en el mundo de la construcción eficiente.

Datos que lo verifican, sería el hecho de que, si en Europa occidental se extrajese todo el material plástico de sus edificios, la demanda energética aumentaría un 26 %, así como el apunte de que 1 cm de polímeros espumados aísla igual que 15 cm de pared de fábrica o medio metro de hormigón. [10]

Por otro lado, la gran versatilidad de aplicaciones que presentan los plásticos se debe a sus características, entre las cuales están flexibilidad, ligereza, resistencia al desgaste, trabajabilidad, versatilidad, durabilidad, resistencia a la corrosión, reciclabilidad, relación resistencia/densidad alta, aislamiento térmico y eléctrico, bajo coste y largo mantenimiento.

Dentro de la construcción, por tanto, encontramos numerosas aplicaciones para los plásticos, como componentes estructurales y de cerramiento, formado parte de conducciones de cables o tuberías, aislamientos, impermeabilizantes, perfilerías auxiliares, carpinterías o en forma de revestimientos y decoración.

Sin embargo, pese a la gran utilidad que se les da a los polímeros en construcción, su reciclaje es prácticamente nulo, por lo que en este aspecto existe una gran carencia en el sector. Si tenemos en cuenta, como ya citábamos, la relevancia que tiene la Construcción como consumidor de plástico, la posible reutilización de dichos materiales tras terminar su primer uso reduciría en gran medida el impacto ambiental.

Por otro lado, podemos ver, en este sector una gran oportunidad de convertirse en uno de los principales consumidores de plástico reciclado, transformándose en el principal medio, junto con la recuperación energética y la reutilización, de conseguir un reciclaje de calidad y reducir así la contaminación global.

Dentro de la familia de los plásticos, los más factibles a la hora de buscarles una segunda vida dentro del sector de la construcción serán los termoplásticos, puesto que además de ser los más abundantes dentro de la producción mundial, son los únicos que ofrecen facilidad a la hora de reciclarlos. Por esta razón las líneas de investigación de materiales ecológicos enfocarán su trabajo en las ventajas de este tipo de polímeros.

Desde una percepción generalizada, algunas de las vías de investigación en las que se está trabajando con residuos termoplásticos como adición a distintos materiales de construcción, encontramos los estudios desarrollados por investigadores de la "Swimburne University of Technology of Hawthorn", en 2017 [11] sobre búsqueda de nuevos materiales para la construcción de carreteras; así como la investigación sobre creación de ladrillos y placas prefabricadas mediante plásticos reciclados de Rosan Gaggino en 2009 [12].

En la primera investigación, se patenta la búsqueda de un nuevo material para la construcción de carreteras mediante la mezcla de varios tipos de plásticos: Polietileno de Baja Densidad Lineal con Carbonato cálcico (LDCAL), Polietileno de Baja Densidad (PEBD) y Polietileno de Alta Densidad (PEAD), con residuos de la construcción (Restos cerámicos y de carreteras). El módulo de resiliencia del nuevo compuesto aumentará con la incorporación de LDCAL, al mismo tiempo que la resistencia a compresión uniaxial disminuye proporcionalmente a la introducción de gránulos de plástico. Lo mismo ocurrida con la capacidad de carga, la rigidez y su módulo elástico, que se ven reducidos tras una mayor adición de partículas plásticas de superficie lisa en sustitución de otras rugosas aportadas por la cerámica y el asfalto.

Por otro lado, encontramos en el segundo estudio citado, una investigación comparativa realizada por el CEVE (Centro experimental de la vivienda económica), sobre fabricación de elementos constructivos básicos, como son ladrillos y placas prefabricadas utilizando 6 tipos diferentes de plásticos reciclados (PEBD, PEAD, PVC, PP, PET y PS). Como conclusión de dicho estudio, se consigue una mejora del aislamiento térmico que aportan este tipo de productos. Respecto a la resistencia mecánica, los resultados son prácticamente similares entre los distintos tipos de plásticos, una resistencia aceptable, pues a pesar de que esta se ve reducida por la adición de los residuos sigue siendo suficiente para cumplir la función de cerramiento lateral de viviendas, ecológico y económico.

Los trabajos expuestos muestran la incidencia de los termoplásticos en la construcción sostenible. Podemos observar, por tanto, que existen multitud de polímeros con capacidades más allá de su vida útil proporcionándonos diversas capacidades o características según su tratamiento.

Ante tal amplitud de termoplásticos y sus consecuentes resultados entre los que encontramos grandes similitudes a pesar de sus diferencias, nos centraremos en un tipo concreto de polímero termoplástico para realizar un seguimiento detallado de sus propiedades y posibilidades como aditivo a un tipo de material conglomerante, propio de las construcciones arquitectónica, como es el yeso.

El Polietileno de Baja Densidad (PEBD) será el objeto de nuestra investigación, puesto que, siendo un plástico fácil de obtener en nuestra vida cotidiana, como componente principal de bolsas de plástico, envases,

envolvente de invernaderos, túneles de cultivo, ... no está lo suficientemente estudiado en lo que a sus propiedades de reciclaje se refiere, dentro del ámbito de la construcción.

Según COGERSA (Consortio para la Gestión de los Residuos Sólidos de Asturias), en el año 2009 los plásticos más reciclados en España fueron los polietilenos, con el 24 % para el PEAD y el 29% para el PEBD, con respecto al total de residuo reciclado.

Otras de las características que hacen atractivo este material son sus propiedades respecto a otros termoplásticos.

Como se aprecia en la *Tabla 1*, el PEBD [13] es un material muy valioso, que presenta entre otras propiedades, una densidad muy baja lo que ayudaría a crear materiales más ligeros. Así mismo, también muestra un valor de conductividad térmica bastante baja, en relación al resto de polímeros estudiados, pudiéndose conseguir con ello buenos valores de aislamiento térmico. Por último, también presenta una baja absorción de agua que permitiría la inclusión del material en lugares húmedos.

Propiedades	PEBD	PEAD	PET	EPS	PVC	PP
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,92	0,94-0,97	1,34-1,39	0,01-0,05	1,36-1,40	0,90-0,93
Resistencia a tracción (MPa)	5...25	15-40	81	0,1-0,58	45	28-42
Conductividad térmica (W/m·k)	0,33	0,45-0,52	0,24	0,033-0,046	0,12-0,25	0,01-0,22
Absorción de agua (%)	0,015	0,01	0,02	-	-	0,03

*Tabla 1. Comparativa propiedades materiales termoplásticos. Elaboración propia (EP)*

Existen distintos artículos sobre el tema que tratan plásticos como el PEAD, XPS o PET incluidos en diversos materiales conglomerantes, para aplicaciones en componentes constructivos, sobre los que sacaremos diversas conclusiones. Sin embargo, no se trabaja con el PEBD, lo que lo convierte en un material con aplicaciones desconocidas aún por descubrir.

Entre las investigaciones más relevantes encontramos una serie de estudios sobre la adición de polímero termoplásticos a una matriz conglomerante. Entre estas citaremos una serie de artículos, como el desarrollado por la Escuela de Construcción Civil de la Universidad Católica de Chile en 2011 [14], sobre la influencia del PEAD usado como adición en mortero de cemento; así como el estudio colaborativo de Abdelhak Badache et al. de 2011 [15], sobre las características termo-físicas y mecánicas de compuestos de mortero de cementos ligeros, a base de arena con PEAD reciclado.

Respecto al primero de los estudios citados sobre la influencia de residuos de PEAD como aditivo de morteros de cemento, hemos de exponer que el principal fin que se perseguía fue analizar los cambios relevantes que sufriría el nuevo compuesto respecto al material de origen sin aditivos plásticos. Los porcentajes de adición que utilizan van de 0,2%-0,5%-0,8%. Como conclusión se obtiene una reducción de las capacidades mecánicas bastante notable tras sobrepasar el 0,8%. Respecto a la densidad, se consigue una destacable reducción respecto al material de origen a medida que aumenta la cantidad de plástico de la mezcla.

En líneas similares a este estudio, encontramos la aportación de Abdelhak Badache et al. quienes concluyen que tras la combinación de PEAD con mortero de cemento sustituyendo parte de la arena por el citado material en porcentajes de 0, 15, 30, 45 y 60%, se obtienen una reducción del peso de hasta un 25% en relación al material de referencia. Sin embargo, las propiedades mecánicas se vieron afectadas negativamente, lo cual puede llegar a compensarse con la mejora de aislamiento térmico que se consigue, pues esta prestación aumenta hasta un 41% respecto a la muestra sin adición.

A modo de primeras conclusiones sobre la fabricación de compuestos plásticos con matrices conglomerantes, podemos hacer referencia a las ventajas que se consiguen respecto a las muestras de origen, como son el aumento de las propiedades aislantes, así como una notable reducción de densidad, lo que mejoraría la ligereza y trabajabilidad del nuevo compuesto.

Sin embargo, las grandes damnificadas por la adición de residuos plásticos, son las propiedades mecánicas.

No obstante, para corroborar si dichos hechos afectan de manera similar a la matriz conglomerante independientemente del material con el que tratamos, cemento o yeso, se siguen una serie de investigaciones que se acercan más a nuestro objeto de estudio durante el TFG, compuestos con matriz de yeso a los que se le añaden residuos termoplásticos de distinta naturaleza, en relación con el peso del conglomerante.

Los plásticos más estudiados en mezclas de yeso son el PET y XPS, destacando la investigación que llevaron a cabo Sedat Karaman et al. de 2006 [16], sobre las nuevas propiedades que adquiere una matriz de yeso al añadirle partículas de botellas de PET. De dicho estudio se extraen como conclusiones, la disminución de las propiedades mecánicas y físicas de manera notable, lo cual se suplementa con el aumento de las propiedades como aislamiento térmico. Finalmente, se lanza la idea de la posible aplicación del compuesto resultante como aislante en paredes, techos y suelos.

Desde la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid, se persigue la investigación de materiales de construcción ligeros fabricados con yeso y residuos de XPS [17]. En 2012, San-Antonio-González, A et al. publican un artículo en el que se analiza la viabilidad de utilizar dicho residuo, obtenido de aislamiento térmico tras la demolición de edificios, como agregado ligero en compuestos de yeso.

Para el estudio, se utilizan probetas con diferentes porcentajes de residuos (1,2,3 y 4 %) y granulometría de adición (1-2 mm, 2-4 mm y 4-6 mm), con el fin de analizar las variaciones de densidad, dureza superficial, resistencia mecánica a flexión y compresión, así como el comportamiento térmico de dichas muestras.

Los resultados obtenidos muestran que es posible utilizar el residuo de XPS para aligerar compuestos de yeso, consiguiéndose reducir la densidad hasta en un 25,5% y mejorar la conductividad térmica en un 30%, lo cual irá acompañado de una significativa disminución de resistencia mecánica, que sigue cumpliendo los requerimientos mínimos para utilización, exigidos para este tipo de materiales.

Por último, siguiendo la misma línea de investigación que el artículo anterior, a modo de comparación, haremos referencia el artículo publicado en 2017, por Mercedes del Río Merino et al. sobre morteros de yeso ecológicos con adición de residuos de XPS y cerámicos para su aplicación como revestimientos de alta dureza [18]. Al igual que en las referencias citada anteriormente, no se consigue mejorar las capacidades mecánicas del material base, en este caso el conglomerante de yeso. Sin embargo, fijándonos en las ventajas que aportan los residuos poliméricos, añadidos en porcentajes de 1,2 y 3 %, encontramos la mejora del tipo de ruptura de unión en porcentajes por encima del 1%, al mismo tiempo que aumentan los valores de dureza superficial.

Como resultado, se obtiene un compuesto de yeso, aplicable como recubrimiento continuo, debido a sus óptimas propiedades de dureza, fuerza de unión y comportamiento al agua, esto último aportado sobre todo por la adición de material cerámico.

Tal y como queda referenciado en el marco teórico de nuestro trabajo se conducirán las futuras investigaciones sobre los plásticos reciclados aplicados a materiales de la construcción, a la necesidad de conseguir mejoras respecto a las propiedades mecánicas o al menos disminuir el porcentaje de reducción de estas.

Por otro lado, se hace evidente, la relación existente entre los distintos tipos de plástico, pues de los variados estudios podemos extraer resultados comunes en relación a disminución de resistencia a compresión y tracción, así como aumento de las propiedades aislantes del nuevo compuesto.

Finalmente, con este trabajo, se pretende indagar en el campo del Polietileno de Baja Densidad (PEBD), ya que como se citaba y se corrobora con el análisis del estado de la cuestión, pese a su extensa producción, y sus óptimas propiedades, no se han encontrado estudios exclusivos, que utilicen PEBD como aditivo a una matriz conglomerante de yeso, como objeto de investigación.

Este hecho, por tanto, nos deja un amplio campo de investigación, que se conducirá en la búsqueda de una aplicación final como del nuevo compuesto Yeso-PEBD como material de construcción, utilizando para el estudio diferentes porcentajes de adición, influenciados por los artículos analizados.



# 4

## HIPÓTESIS DE PARTIDA

#### 4. HIPÓTESIS DE PARTIDA

Tras investigar sobre el contexto teórico en que se enmarca nuestro objeto de estudio, podemos argumentar que tanto los artículos más globales, como aquellos que acotan más la temática estudiada, ofrecen unos datos muy parejos en el comportamiento de los nuevos materiales estudiados que permiten realizar conjeturas sobre los resultados que obtendremos con la investigación.

En base a los análisis realizados sobre la **densidad** de los materiales mezclados con residuos plásticos, podemos aventurar que obtendremos un compuesto más ligero que el original. Esta hipótesis se refuerza si tenemos en cuenta que el material utilizado para nuestra investigación es PEBD, el termoplástico con densidad más baja.

Otras de las cualidades sobre las que podemos predecir el comportamiento es la **conductividad térmica del nuevo compuesto**, para la que se prevén valores menores que los de la muestra sin alterar, hecho avalado por numerosos trabajos de investigación.

Por otro lado, nos encontramos con que la **absorción acústica** de los polímeros termoplásticos en compuestos con otros materiales es un parámetro que no ha sido tan sometido a examen, aun así, los datos con los que contamos nos permiten presuponer que también sufrirá un breve aumento de su valor.

Una de las propiedades que más se tienen en cuenta en la mayoría de los trabajos seleccionados es la **absorción de agua del material**. Lamentablemente no está previsto realizar pruebas sobre esta cualidad, pero es reseñable que en los análisis revisados es un valor que también mejora, logrando una mayor impermeabilización del material frente a los líquidos. Se trata de una circunstancia previsible atendiendo a los bajos valores que presenta el plástico en cuanto a la absorción de agua, lo cual puede podría tener gran relevancia al ser mezclado con un material tan débil frente al agua, como es el yeso.

Por último, destacan los datos recogidos con respecto a las **propiedades mecánicas** de los materiales mezclados con termoplásticos. En todos los estudios revisados el nuevo componente sufre minoraciones en su resistencia frente a las sollicitaciones estudiadas (compresión, flexión y tracción). Aunque supone una importante reducción de las capacidades del material, no es significativo dentro del estudio que se pretende realizar, ya que se enfoca en la mejora de propiedades de un material conglomerante como es el yeso, que no está pensado para asumir grandes cargas. Una mejora en los atributos del conglomerante yeso, en detrimento de sus capacidades mecánicas, es una alteración asumible teniendo en cuenta las prestaciones que obtendría en el resto de áreas.



# 5

## METODOLOGÍA DE TRABAJO

## 5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El planteamiento de utilizar un nuevo material en la construcción lleva ligado un largo procedimiento de ensayos para comprobar su adecuación para ser usado. Dicho procedimiento está regulado por las normas UNE-EN y tienen como finalidad caracterizar el nuevo material, en nuestro caso el compuesto Yeso-PEBD. Las propiedades estudiadas van desde el comportamiento físico y mecánico del nuevo material, en primera instancia; hasta sus propiedades de conductividad térmica y absorción acústica.

La caracterización de un material, mediante la realización de los diferentes ensayos citados, persigue como fin obtener una cantidad de información y datos suficientes, para prever el comportamiento que el nuevo material presentará a lo largo de su vida útil, intentando con ello, pronosticar los posibles fallos y trabajar por mejorar los puntos débiles del material.

La citada investigación se desarrollará siguiendo un esquema simple de trabajo, que se estructura en cinco fases:

1. Fase de análisis bibliográfico y estudio de conocimientos previos para poder elaborar una hipótesis de partida correctamente justificada sobre los elementos elegidos.
2. Fase de trabajo experimental en laboratorio
3. Fase de proceso de datos obtenidos en la experimentación
4. Fase de aplicación a un caso real
5. Fase de análisis, comparación y conclusión

En la fase inicial se desarrolla una investigación exhaustiva, con la que consigamos documentarnos correctamente sobre los estudios e información existente hasta la actualidad sobre el tema a tratar. La búsqueda se iniciará en el campo de los materiales plásticos, tomando conciencia del impacto de estos en el medio ambiente y las políticas que se están llevando a cabo para reducir su producción y aumentar su reciclaje. A continuación, se investigará sobre la forma de reciclaje de plásticos aplicados al ámbito de la construcción. De todo este proceso, obtendremos el material que liderará nuestro campo de estudio, los residuos de PEBD aplicados a una matriz de yeso. Extraeremos además de los artículos analizados información sobre los ensayos, propiedades y resultados obtenidos por investigadores en la materia, al utilizarlo como adición a otros materiales, sirviéndonos esto como precedente para establecer una serie de hipótesis de partida.

De forma paralela a la fase anterior, se da paso a la fase experimental, comenzando por la elaboración en grupo, de moldes para probetas de tres tipos (prismáticas A, B y cilíndricas C) para su posterior uso en ensayos mecánicos, térmicos y acústicos respectivamente.

A continuación, a partir de los moldes citados, se fabricarán inicialmente un total de 36 probetas, destinando 18 de ellas a ensayos mecánicos, 9 a ensayos de absorción térmica y los 9 restantes a ensayos de conductividad térmica. (Fig. 7-9)



Fig. 7 Probetas tipo A para ensayos mecánicos. (EP)



Fig. 8 Probetas tipo B para ensayo térmico. (EP)



Fig. 9 Probetas tipo C para ensayo acústico. (EP)

Las probetas se elaboran mediante la adición de un material plástico reciclado a una matriz conglomerante. En nuestro caso se opta por Polietileno de Baja Densidad procedente de bolsas de plástico comunes, el cual se unirá a una matriz de yeso, utilizando tres porcentajes diferentes de adición de residuo plástico (PEBD): 0,25% - 0,5% - 1%. El número de probetas de cada porcentaje será proporcional.

Una vez transcurrido el proceso de curado de las muestras (9 días en atmósfera de laboratorio, temperatura de  $23 \pm 2$  °C y una humedad relativa de  $50 \pm 5\%$ ) de acuerdo con la Norma UNE EN-13279-1:2009. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones*[19]; estas habrán adquirido su aspecto y trabajabilidad inicial, por lo que se someterán a continuación a una serie de ensayos de caracterización.

En primer lugar, se lleva a cabo el ensayo de densidad aparente tomando como referencia las probetas prismáticas tipo A, de acuerdo con la norma UNE EN-102402:2014. *Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos de ensayo* [20].

Seguidamente, se tomarán las mismas muestras para someterlas a ensayos de resistencia, tanto a flexión, como a compresión. Posteriormente se realizará una comparación entre los datos obtenidos de las probetas alteradas y los de referencia. Respecto a la norma reguladora de dichos ensayos, se tomará como referencia

la UNE EN-13279-2:2014. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo* [19].

En segundo lugar, serán en este caso las probetas prismáticas B las que se sometan a ensayos de conductividad térmica. Estos ensayos se enmarcan en la norma UNE-EN 12664:2002. *Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos secos y húmedos de baja y media resistencia térmica*[21].

Por otro lado, para terminar los ensayos de caracterización del nuevo compuesto Yeso-PEBD, se someterán las probetas cilíndricas C, a ensayos de absorción acústica. Para ello, se utilizará el método del Tubo de Kundt para la medición del coeficiente de absorción acústica. Dicho ensayo está regulado por la norma UNE-EN ISO 10534-1:2002. *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria* [22].

Finalmente, una vez se han completado todos los ensayos y se han obtenido los resultados pertinentes, dará comienzo la fase individual del trabajo. Se procederá a la creación de tablas y gráficas que recojan y pongan en relación todos estos datos. Este procedimiento nos permitirá desarrollar una comparativa entre los datos obtenidos para los tres tipos de muestras fabricados, en función de los porcentajes de adición de PEBD.

La finalidad de dicha comparativa, haciendo referencia a los distintos tipos de ensayo, es la de detectar la muestra que mejor comportamiento presente, para poder aplicarla a un uso real, principalmente como componente de la envolvente de un edificio. En caso de que los resultados no sean tan satisfactorios como se esperan, se plantearán alternativas de mejora para investigaciones futuras.



# 6

## PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

## 6. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

### 6.1. Introducción metodológica

Llegados a este punto, una vez han sido citados los objetivos y metodología, así como se ha descrito el estado de la cuestión sobre el tema a tratar, daremos comienzo a la segunda fase del trabajo de investigación, es decir, la fase experimental en el laboratorio.

Para no perder el rumbo del trabajo, recordamos que la intención de este es la caracterización de un nuevo material, cuya muestra se obtiene de la mezcla de partículas de Polietileno de Baja Densidad (PEDB) en distintos porcentajes, obtenidos a partir de bolsas de plástico recicladas, unidas a una matriz conglomerante, que en nuestro caso es el yeso.

Por tanto, el paso sucesivo será la formalización de los distintos tipos de probetas necesarias para los diferentes ensayos, mecánicos, térmicos y acústicos, seguidas de su control, acopio y secado.

Una vez se obtienen los resultados de caracterización, se procede como ya citábamos al análisis de estos, para poder comparar las distintas muestras y aplicar el producto más satisfactorio a un caso real.

Finalmente, se llevará a cabo la comparación y obtención de resultados concluyentes, para poder establecer líneas de aplicación del nuevo compuesto en el campo de la construcción.

### 6.2. Proceso de elaboración de probetas

Teniendo en cuenta que durante el estudio se llevarán a cabo tres tipos de ensayos diferentes, serán necesarios tres tipos de probetas, que denominaremos A, B y C, difiriendo en forma y dimensiones. Todas ellas comparten los mismos componentes: agua, yeso y Polietileno de Baja Densidad (PEBD).

La dosificación utilizada se basa en porcentajes de adición de plástico inferior al 1%, con relación al peso del yeso, debido al gran volumen que ocupa el PEBD con relación a su peso, dificultando mucho la producción de las muestras si se trabaja con porcentajes superiores. Se establecen, por tanto, porcentajes de 0,25-0,5-1% que siguen la regla de que uno siempre sea el doble del anterior.

Las mezclas se prepararán de forma manual, en el laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la propia ETS de Arquitectura de Sevilla.

Durante este proceso de elaboración de probetas, se utilizarán en el laboratorio una serie de instrumentos que nos permiten pesar y mezclar los elementos (*Fig. 10*)



*Fig. 10 Instrumentos básicos de trabajo. (EP)*

En primer lugar, se procederá a la preparación del material plástico para conseguir muestras con un aspecto y trabajabilidad adecuado. Para ello, se triturarán bolsas de plásticos comunes hasta alcanzar un tamaño de partícula inferior a 20,0 mm. Una vez alcanzado este tamaño procedemos a la caracterización del material de adición. Para ello, debemos de ampararnos bajo el marco de las normas UNE. Esta normativa no recoge ninguna determinación específica para el tipo de material plástico trabajado, por lo que haremos referencia a la que encontramos tiene mayor similitud, la norma UNE-EN-933-1-2012. *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos de tamizado* [23].



Fig. 12 Preparación del material plástico de adición: Triturado bolsas PEBD. (EP)



Fig. 11 Tamizado partículas PEBD. (EP)

Desarrollaremos, por tanto, una granulometría del Polietileno de Baja Densidad (PEBD), partiendo de una cantidad total de 100 g.

GRANULOMETRÍA POLIETILENO BAJA DENSIDAD		
Cantidad total (g)		100
TMP (mm)	Cantidad (g)	%Plástico retenido
20,0	3,48	3,48
10,0	56,19	56,19
4,00	29,79	29,79
1,00	8,69	8,69
	98,15	98,15

Tabla 2. Granulometría Polietileno de Baja Densidad (PEBD). (EP)

Tras la caracterización del material de adición, procedemos a trabajar con la matriz conglomerante, el yeso, el cual no necesita ningún tipo de tratamiento, ya que procede directamente de fábrica y se encuentra listo para su peso y uso. El yeso utilizado será de clasificación B1/50/2.

Una vez preparada la mezcla previa de Yeso y PEBD, solo restaría la adición del agua, la cual se dosificará teniendo como base la relación agua/yeso=0,55. Este líquido se trabajará en peso, al igual que el resto de los componentes de la mezcla.

La incorporación del agua a la mezcla previa debe realizarse de manera progresiva, de forma que se eviten grumos y se garantice la correcta humectación de todas las partículas. Paralelo a la incorporación del agua debe iniciarse el amasado, que se prolongará durante 2 minutos aproximadamente, hasta garantizar una muestra sin aglomeraciones y de aspecto uniforme, siempre teniendo en cuenta la velocidad de endurecimiento del yeso, para evitar que esta se dé antes del vertido de la mezcla en los moldes.

Llegada la hora del vertido en los moldes, hemos de tener en cuenta que previamente se ha proporcionado a estos de un material desencofrate, que permita un desmolde de probetas fácil y correcto.

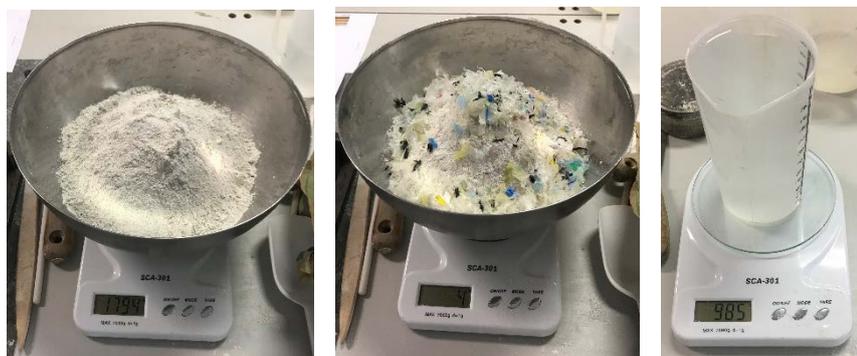


Fig. 13 Elaboración mezcla Yeso-PEBD. (EP)

Por último, cuando las muestras han endurecido lo suficientes, se procede a su extracción de los moldes, para a continuación depositarlas en bandejas o recipientes que permitan su correcto curado natural durante 9 días, según lo estipulado por normativa. Debemos garantizar que la cara de las diferentes probetas sea plana, para evitar un secado inadecuado, así como evitar cualquier fallo durante los ensayos, siendo la planeidad un requisito indispensable para las pruebas de absorción térmica.

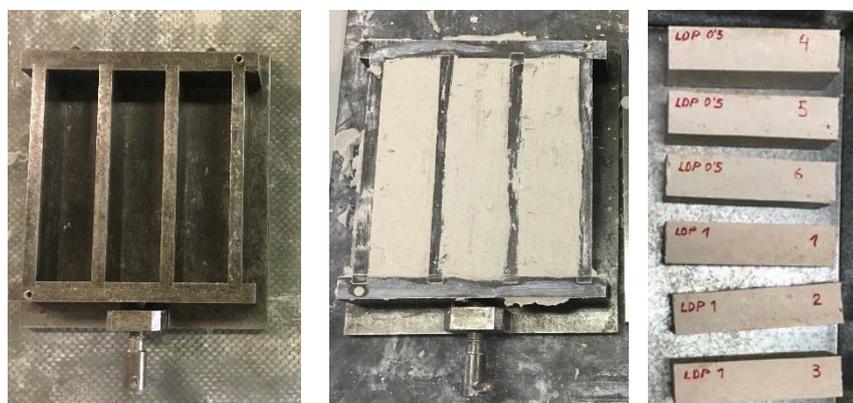


Fig. 14 Elaboración de muestras. (EP)

El ambiente no controlado que se debe garantizar en el laboratorio será en torno a 20-25 C°.

A modo de conclusión del proceso de elaboración de probetas, podemos decir que el resultado final se considera bastante satisfactorio, puesto que la apariencia de las probetas, previas a ensayo, es homogéneo, caras planas y sin fisura alguna tras el secado.

No obstante, hemos de añadir que, durante el amasado de las muestras, las sensaciones eran distintas según el porcentaje utilizado, siendo las del 1% de adición de PEDB, las más difíciles de trabajar y colocar en los moldes, por el gran volumen que ocupaba el plástico.

A pesar de ello, el resultado visual final es similar al de las demás probetas correspondientes a los porcentajes restantes.

### 6.3. Dimensiones de las probetas

Teniendo en cuenta que el tamaño de las partículas de LDPE que se usan como adición al yeso no variarán de unas muestras a otras, la diferencia la encontraremos en los porcentajes de adición de las mismas.

Sin embargo, como ya adelantábamos en anteriores apartados, durante esta investigación se llevan a cabo tres tipos de ensayos de diferente naturaleza para los que necesitamos tres tipos de probetas de distintas dimensiones y formas.

En primer lugar, se fabricarán una serie de 18 piezas prismáticas de 40x40x160mm utilizando moldes metálicos (*Fig.14*) que se nos facilitarán en laboratorio. Estas probetas están destinadas a ensayos mecánicos.



*Fig. 15 Moldes probetas ensayos mecánicos. (EP)*

Para la elaboración de dichas piezas, se trabaja la mezcla de manera manual, en un recipiente, teniendo en cuenta las correspondientes cantidades y porcentajes de adición recogidos en la *Tabla 3*.

Serie	Nº Probetas	Compuesto	Porcentaje sustitución en peso de yeso por LDPE (%)	Cantidad Residuo LDPE (g)	Cantidad Yeso (g)	Cantidad agua (g)
1	1	Ref	0	0	1800,00	990,00
2	6	LDPE 0,25%	0,25	4,50	1795,50	493,76
3	6	LDPE 0,5%	0,5	9,00	1791,00	492,53
4	6	LDPE 1%	1	18,00	1782,00	490,05

*Tabla 3. Elaboración de probetas ensayos mecánicos. (EP)*

Una vez conseguida una mezcla suficientemente homogénea se procede al vertido en los moldes (*Fig.16*), en forma de tongadas que poco a poco se van superponiendo y presionando manualmente hasta rellenar el molde, cerciorándonos de que la cara libre quede totalmente plana, sin imperfecciones.



Fig. 16 Vertido de la mezcla en moldes para ensayos mecánicos. (EP)

En segundo lugar, contamos con una serie de 9 probetas prismáticas de dimensiones 60x35x90 mm. En esta ocasión, los moldes serán de elaboración propia (Fig.17), a partir de tetrabriks de leche que se colocarán sobre una bandeja de plástico mediante cinta adhesiva, evitando de esta manera que la mezcla se diluya por algún hueco o las muestras se desplacen durante el proceso de curado. Las probetas resultantes se destinarán a ensayos de conductividad térmica.



Fig. 17 Moldes ensayos térmico (izquierda) y acústico (derecha). (EP)

Para la elaboración de estas nueve muestras, al igual que en el caso anterior se partirá de una mezcla fabricada manualmente en un recipiente, cuyos porcentajes se recogen en la *Tabla 4*.

Serie	Nº Probetas	Compuesto	Porcentaje sustitución en peso de yeso por LDPE (%)	Cantidad Residuo LDPH (g)	Cantidad Yeso (g)	Cantidad agua (g)
1	1	Ref	0	0	618,00	339,9
2	3	LDPE 0,25%	0,25	1,55	616,45	339,05
3	3	LDPE 0,5%	0,5	3,09	614,91	338,20
4	3	LDPE 1%	1	6,18	611,82	336,50

Tabla 4. Elaboración probetas ensayo térmico. (EP)

Tras obtener una mezcla suficientemente homogénea el procedimiento a desarrollar es el mismo que en caso anterior (Fig. 18). En este caso, resultará indispensable que al menos una de las caras de las probetas quede totalmente plana para que el ensayo térmico resulte satisfactorio.



Fig. 18 Vertido de la mezcla en moldes para ensayo térmico. (EP)

Por último, se elaborarán un conjunto inicial de 9 probetas cilíndricas de 95 mm de diámetro y 20 mm de espesor. Para la elaboración de estos moldes se piensa en un principio en utilizar cilindros recortados a partir del reciclaje de botellas de plásticos de productos de limpieza, que cumplan con el diámetro requerido. No obstante, durante el proceso de fabricación observamos que no se podrán conseguir muestras totalmente perfectas en cuanto a forma y espesor, ni similares entre sí, por lo que finalmente se utilizarán una serie de moldes de metacrilato, recogidos en la Fig. 19, para fabricar otras 7 probetas más (dos muestras por dopaje, más la de referencia), supliendo a las anteriores. Estos moldes nos garantizan que todas las muestras sean iguales y se puedan introducir perfectamente en el tubo de Kundt, método con el que se llevarán a cabo los ensayos de absorción acústica para los que están destinadas. Por tanto, se fabrican un total de 15 probetas, de las que solo se usará una por dopaje, aquellas que presenten las mejores prestaciones.



Fig. 19 Vertido de la mezcla en moldes para ensayo acústico. (EP)

El proceso de elaboración de dichas muestras sigue los mismos pasos que las anteriores, realizándose de forma manual, de acuerdo con los porcentajes de mezcla recogidos en la *Tabla 5*. Se expondrá el proceso de fabricación de las últimas siete probetas, pues son las únicas válidas para el ensayo.

Series	Nº Probetas	Compuesto	Porcentaje sustitución en peso de yeso por LDPE (%)	Cantidad Residuo LDPH (g)	Cantidad Yeso (g)	Cantidad agua (g)
1	1	Ref	0	0	140,3	77,17
2	2	LDPE 0,25%	0,25	0,70	279,90	153,94
3	2	LDPE 0,5%	0,5	1,40	279,20	153,56
4	2	LDPE 1%	1	2,81	277,79	152,79

Tabla 5. Elaboración probetas ensayo acústico. (EP)

El requisito indispensable para la elaboración de los diferentes tipos de probetas es que la mezcla una vez se ha vertido en los moldes quede suficientemente compactada, es decir, que no presente huecos ni imperfecciones. Por otro lado, para conseguir un desmolde adecuado es esencial utilizar desencofrante, previamente al vertido de la mezcla en los moldes.

## 6.4. Ensayos de caracterización

Para poder verificar la viabilidad de utilización del nuevo material que se propone en el ámbito de la construcción, se llevarán a cabo una serie de ensayos de caracterización de todas las probetas elaboradas de forma que obtengamos suficiente información para poder prever el comportamiento futuro del mismo.

### 6.4.1. Ensayos densidad aparente

El primero de los ensayos de caracterización que llevaremos a cabo será el referente a la densidad aparente. Dicho concepto se entiende como el "cociente entre la masa de la materia seca de un cuerpo poroso y su volumen aparente, expresado en gramos por centímetro cúbico; entendiendo el volumen aparente, como la suma de los volúmenes de la materia sólida, los poros abiertos y los poros cerrados dentro de un cuerpo poroso"[20]. Deducimos, por tanto, que la densidad aparente de las muestras analizadas dependerá de la cantidad de adición de plásticos utilizado para la mezcla.

#### a) Metodología

Los datos referentes a densidad aparente de las distintas probetas se han obtenido mediante la medición de cada una de las muestras prismáticas tipo A, para cada porcentaje, utilizando para ello una balanza de precisión para obtener los pesos exactos tras el desmolde. Respecto a las dimensiones de las probetas, se ha optado por la unificación de todas ellas, tomando como referencia las de porcentaje 0.

#### b) Resultados

Ulteriormente adjuntamos la *Tabla 6*, donde se muestran los datos obtenidos acerca de dimensiones, peso y densidades aparentes de las distintas probetas estudiadas.

Dopaje	Nº	DIMENSIONES (mm)			VOLÚMEN (cm³)	PESO (gr)	DENS. APARENTE (gr/cm³)
		Tizón	Grueso	Soga			
0%	1	40,0	40,0	160,0	256	308,77	1,21
	2	40,0	40,0	160,0	256	307,36	1,20
	3	40,0	40,0	160,0	256	311,72	1,22
	4	40,0	40,0	160,0	256	309,21	1,21
	5	40,0	40,0	160,0	256	304,4	1,19
	6	40,0	40,0	160,0	256	304,89	1,19
0,25 %	1	40,0	40,0	160,0	248,0	322,20	1,26
	2	40,0	40,0	160,0	252,8	322,61	1,26
	3	40,0	40,0	160,0	248,0	317,88	1,24
	4	40,0	40,0	160,0	232,4	323,83	1,26
	5	40,0	40,0	160,0	240,2	318,43	1,24
	6	40,0	40,0	160,0	252,8	321,69	1,26
0,5%	1	40,0	40,0	160,0	240,2	309,69	1,21
	2	40,0	40,0	160,0	241,7	312,25	1,22
	3	40,0	40,0	160,0	248,0	310,14	1,21
	4	40,0	40,0	160,0	252,8	309,97	1,21
	5	40,0	40,0	160,0	256,0	308,27	1,20
	6	40,0	40,0	160,0	241,7	310,38	1,21
1%	1	40,0	40,0	160,0	262,4	305,42	1,19
	2	40,0	40,0	160,0	256,0	305,25	1,19
	3	40,0	40,0	160,0	267,1	304,18	1,19
	4	40,0	40,0	160,0	259,1	306,18	1,20
	5	40,0	40,0	160,0	254,4	308,44	1,20
	6	40,0	40,0	160,0	259,1	308,71	1,21

Tabla 6. Resultados ensayo densidad aparente de las probetas tipo A. (EP)

### c) Análisis de resultados

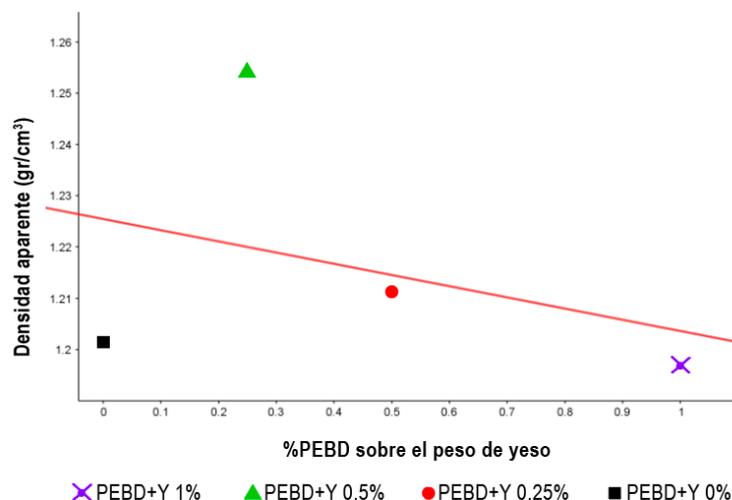
Una vez obtenidos los datos referentes a densidad aparente de las distintas muestras, expondremos un resumen de estos en la *Tabla 7*, indicando los intervalos de densidad en la que se mueven los valores anteriores, dependiendo del tipo de probeta según el porcentaje de adición de plástico.

De ello, observamos que no existe gran variación entre los valores de los distintos tipos de muestras, puesto que oscilan entre 1,19-1,26 gr/cm<sup>3</sup>.

Sin embargo, si atendemos a la relación existente entre los valores medios de densidad aparente y los distintos porcentajes de adición de PEBD de las probetas fabricadas (*Gráfica 1*), detectamos cómo se produce un fenómeno que en principio no se esperaba, puesto que la densidad aparente aumenta respecto de los valores de la probeta de referencia a medida que aumentamos la cantidad de plástico de las adiciones, 1,25 gr/cm<sup>3</sup> y 1,21 gr/cm<sup>3</sup>, para 0,25% y 0,5% respectivamente, hasta llegar al 1%, donde el fenómeno se revierte).

PROBETAS		DENSIDAD APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )
		Densidad aparente del material
0%	Intervalo Media	1,19-1,22 1,2014
0,25%	Intervalo Media	1,24-1,26 1,2543
0,5%	Intervalo Media	1,20-1,22 1,2112
1%	Intervalo Media	1,19-1,21 1,1967

*Tabla 7. Densidad aparente del material. Valores medios. (EP)*



\*Coeficiente correlación (r): -0.355

*Gráfica 1. Densidad / % PEBD probetas tipo A. (EP)*

Este fenómeno nos da indicios de que algo anormal está ocurriendo con las densidades de las muestras de 0,25% y 0,5 % de adición de plástico, lo cual ha podido deberse a una medida deficiente del volumen de las probetas, puesto que se unifican las dimensiones de las mismas.

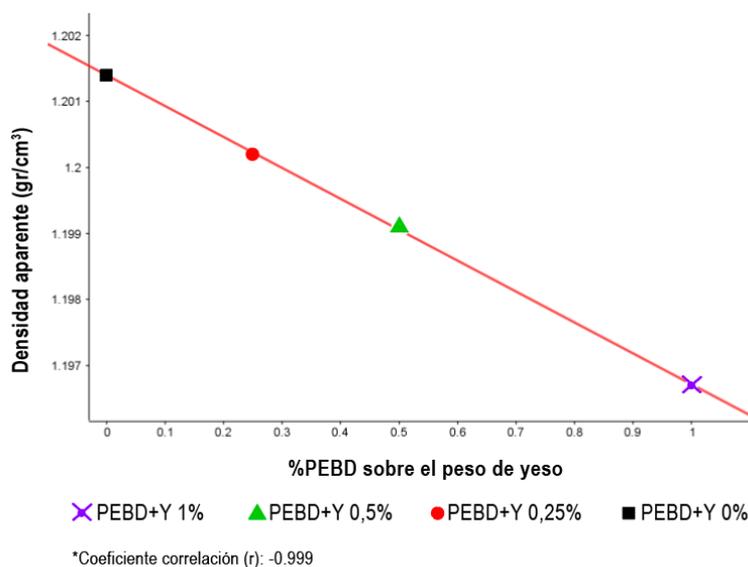
Ante esta situación, lo más coherente sería repetir la amasada para muestras con dopajes de 0,25% y 0,5%, realizando tras el desmolde de las mismas la medición de cada una de sus caras utilizando un pie de rey o calibre, de manera que obtengamos el volumen real de estas.

Existe otro factor que ha podido influir en las deficiencias respecto al volumen, el hecho de no haber tenido en cuenta la porosidad del compuesto resultante, ya que no contamos con datos de la porosidad del yeso de referencia, ni cómo esta se ve alterada al añadir PEBD a la mezcla. Dicho desconocimiento se debe a que para la realización de esta investigación no se prevén ensayos de porosimetría, que como deducimos, serían totalmente necesarios para futuras investigaciones que trabajen sobre esta línea.

No obstante, por falta de tiempo, se opta por tomar valores interpolados para ambos porcentajes (Tabla 8), partiendo de los datos de densidad media obtenidos para las muestras de 0% y 1%, que sí presentan un valor de correlación elevado.

PROBETAS		DENSIDAD APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )
		Densidad aparente del material
0%	Media	1,2014
0,25%	Media	1,2002
0,5%	Media	1,1991
1%	Media	1,1967

Tabla 8. Densidad aparente del material. Valores medios interpolados para 0,25% y 0,5%. (EP)



Gráfica 2. Densidad / % PEBD probetas tipo A (Valores interpolados para 0,25% y 0,5%). (EP)

Observamos, por tanto, que existe una relación directa entre el descenso de la densidad aparente del material, a medida que aumentamos el porcentaje de plástico adicionado. No obstante, el compuesto estudiado no presenta descensos relevantes hasta alcanzar el valor de dopaje de 1%, de lo cual se deduce que, para obtener resultados interesantes en el campo de la densidad, hemos de añadir cantidades de PEBD superiores a 1%. De esta manera conseguiríamos un material más ligero a causa del incremento de plásticos que provoca que las uniones entre partículas se debiliten, debido a la incapacidad de confinamiento de las partículas de PEBD, provocando que el material se vuelva más poroso, resultando de todo ello un material de gran volumen con relación a su masa.

## 6.4.2. Ensayos de comportamiento mecánico

Tomando como referente para este tipo de ensayo las probetas prismáticas tipo A, procederemos a la comprobación de cómo la adición de distintos porcentajes (0,25-0,5-1%) de PEBD a la matriz de yeso, han podido alterar la resistencia tanto a compresión, como a flexión del material de referencia, es decir, la matriz yeso sin ningún tipo de adición.

Para la realización de ambos ensayos, las normas UNE contiene una sección de obligada aplicación, UNE EN-13279-2:2014. Sobre "Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo".

No obstante, la descripción pormenorizada de procedimiento a seguir en ambos ensayos estará recogido en una de las normas de consulta reseñadas dentro de esta, la UNE EN-196:2005. *Métodos de ensayos de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas* [24].

### - Resistencia a flexión

A continuación, se describe el procedimiento de ensayo destinado a determinar la resistencia a flexión de las probetas prismáticas A, de dimensiones 40 x 40 x 160 mm realizadas para los tres tipos diferentes de porcentajes de adición de PEBD.

Dicho procedimiento consistirá en la aplicación sobre cada una de las muestras de una carga en tres puntos, hasta alcanzar su rotura, de acuerdo con la norma de referencia UNE citada.

#### a) Metodología

El ensayo de resistencia a flexión se realizará utilizando una prensa multiensayo de 300 KN, de la empresa Codein S.L, modelo MCO-30, número de serie 139. Mediante el software que controla este dispositivo, obtenemos resultados referentes a la carga de rotura de las probetas.

Dicho ensayo se conoce con el nombre de "Ensayo de tres puntos" y consiste en aplicar una carga máxima de 10 KN a una velocidad aproximad de 0,5 Mpa/s, de forma que la rotura se produzca entre los 30-90 s, cumpliendo por tanto con las especificaciones establecidas en la norma UNE EN-196-1:2005.



Fig. 20 Prensa multiensayo para realizar los ensayos de flexión y compresión. (EP)

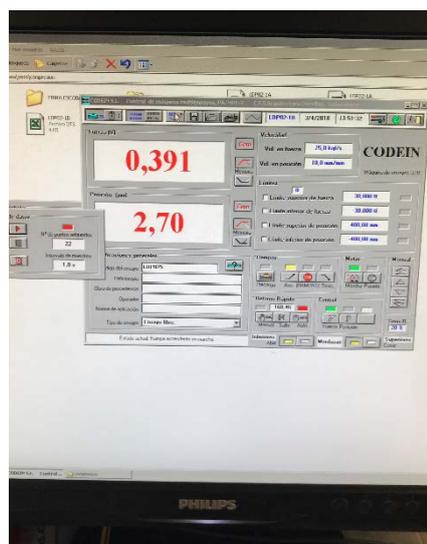


Fig. 21 Programa informático para la obtención de resultados mecánicos. (EP)

La prensa multiensayo está conformada por tres rodillos de apoyo en acero, dos de ellos de longitud 45 mm y diámetro 10 mm, separados entre sí 100 mm, y un tercero de carga, de la misma longitud y diámetro instalado centralmente entre los dos rodillos de apoyo. Los tres planos verticales son paralelos y permanecen en la misma posición durante todo el ensayo, entre sí y con la probeta colocada. Con el fin de evitar un esfuerzo de torsión, uno de los dos rodillos de apoyo, junto con el de carga podrán oscilar ligeramente, de manera que se consiga una distribución uniforme.

La norma UNE, anteriormente citada, determina que todas las probetas a ensayar hayan sido correctamente curadas, por ello, se han esperado 9 días después de la elaboración de las probetas para la realización del ensayo, así como han sido sometidas a secado en estufa.

Además, se ha prestado especial atención a la superficie de contacto entre las probetas y los rodillos, comprobando que no existiese ningún tipo de partícula adherida o imperfección.

Por último, tras someter las probetas a rotura y registrar los datos correspondientes, se guardarán las mitades restantes de las probetas rotas, para el posterior ensayo a compresión. Para obtener la resistencia final debemos aplicar la siguiente fórmula:  $f=1,5*(F \cdot l / b \cdot d \cdot 2)$ , donde b y d hacen referencia a la altura y anchura de las probetas respectivamente y F· l a la carga por longitud entre apoyos.



Fig. 22 Secado de las probetas tipo A en estufa. (EP)



Fig. 23 Rotura de la probeta a flexión. (EP)

## b) Resultados

De la metodología anteriormente descrita, obtendremos una serie de resultado, que se recogen a continuación (Tabla 8):

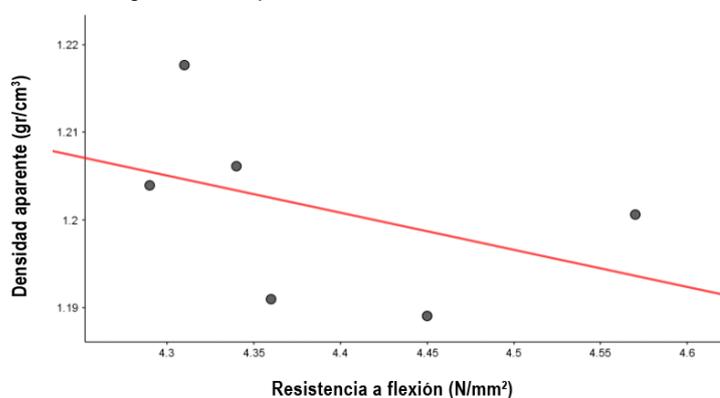
Nº	PROBETAS REF. 0% PEBD		PROBETAS 0,25 % PEBD		PROBETAS 0,5 % PEBD		PROBETAS 1 % PEBD	
	Peso	Resistencia Flexión	Peso	Resistencia Flexión	Peso	Resistencia Flexión	Peso	Resistencia Flexión
	g.	N/mm <sup>2</sup>	g.	N/mm <sup>2</sup>	Kg.	N/mm <sup>2</sup>	Kg.	N/mm <sup>2</sup>
1	308,77	4,34	322,20	4,27	309,44	4,55	305,42	3,09
2	307,36	4,57	322,61	4,88	312,25	4,08	305,25	2,91
3	311,72	4,31	317,88	3,19	310,14	3,82	304,18	2,60
4	309,21	4,29	323,83	4,17	309,97	3,35	306,18	3,02
5	304,4	4,45	318,43	4,52	308,27	4,55	308,44	2,79
6	304,89	4,36	321,69	4,17	310,38	3,63	308,71	3,96
<b>MEDIA</b>	<b>307,72</b>	<b>4,39</b>	<b>321,11</b>	<b>4,20</b>	<b>310,12</b>	<b>4,00</b>	<b>306,36</b>	<b>3,06</b>

Tabla 9. Resultados de resistencia a flexión probetas tipo A. (EP)

De acuerdo con los resultados obtenidos, en primera instancia podemos observar como los valores medios de rotura ( $N/mm^2$ ) para cada tipo de muestras es diferente, dependiendo de la cantidad de adición de plásticos. Sin embargo, para las probetas con un 0,25% de adición su valor de rotura a flexión,  $4,20 N/mm^2$ , se asemeja bastante al de las probetas con 0,5 % de adición,  $4,00 N/mm^2$  diferencias que resultan insignificantes con relación a la muestra de referencia  $4,39(N/mm^2)$ . Sin embargo, el valor desciende notablemente ( $3,06 N/mm^2$ ), para las muestras con una adición plástica del 1%.

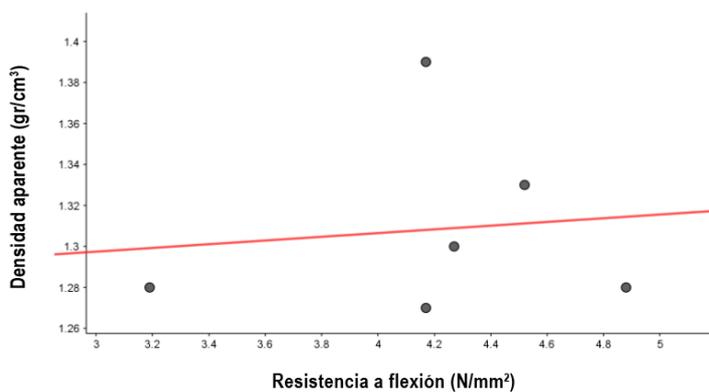
Ulteriormente, expondremos una serie de gráficas en las que se refleja la relación existente entre la densidad aparente y la resistencia a flexión de seis muestras por cada uno de los porcentajes trabajados. Esta comparativa tiene como fin buscar si existe alguna relación entre ambas variables, es decir si estas son o no dependientes, por lo cual prestaremos especial atención al factor de correlación "r".

Dicho factor no comienza a ser relevante hasta alcanzar el porcentaje 1, para el que  $r=0,624$ . Sin embargo, podría decirse que de forma general dichas variables son independientes, puesto que los valores de r se acercan más a 0, así como las rectas de regresión presenta distinto comportamiento (ascendente o descendente) según el porcentaje de adición, sin seguir orden aparente.



\*Coeficiente correlación (r): -0.4243

Gráfica 3. Densidad/flexión de las probetas tipo A de Ref. 0% PEBD. (EP)

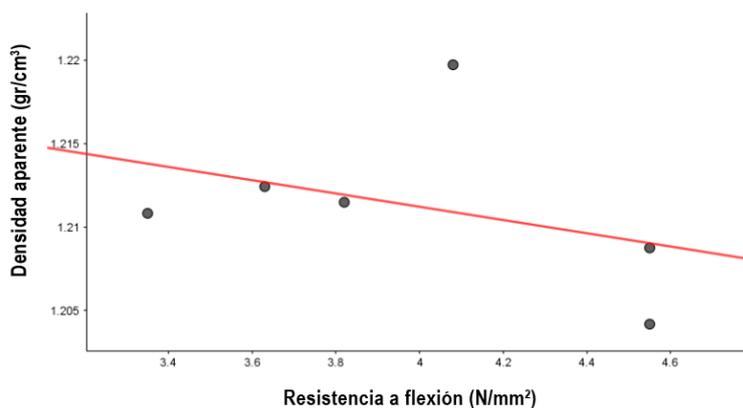


\*Coeficiente correlación (r): 0.503

Gráfica 5. Densidad/flexión de las probetas tipo A con 0,25% PEBD. (EP)



Fig. 24 Disposición partículas PEBD en probetas con 0,25% adición. (EP)

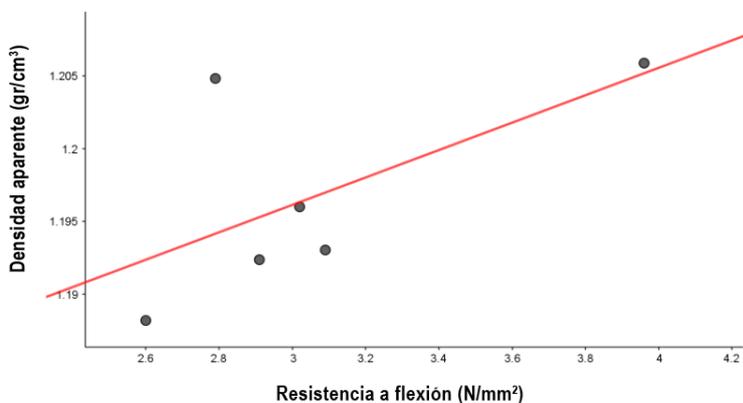


\*Coeficiente correlación (r): -0.383

Gráfica 6. Densidad/flexión de las probetas tipo A con 0,5% PEBD. (EP)



Fig. 25 Disposición partículas PEBD en probetas con 0,5% adición. (EP)



\*Coeficiente correlación (r): 0.624

Gráfica 7. Densidad/flexión de las probetas tipo A con 1% PEBD. (EP)



Fig. 26 Disposición partículas PEBD en probetas con 1% adición. (EP)

### c) Análisis de resultados

El primer análisis concluyente que podemos hacer sería atendiendo a la comparativa entre las imágenes donde se muestran las probetas rotas tras el ensayo a flexión, con su correspondiente gráfica según el porcentaje de adición. Estas muestran claramente, como la distribución heterogénea de las partículas plásticas en las muestras, provoca un comportamiento atípico de las mismas, que hacen que los datos obtenidos en el ensayo sean poco relevantes. Por ello, resulta de crucial importancia, de cara a futuros estudios sobre dicho compuesto Yeso-PEBD, llevar a cabo la elaboración de muestras de manera que se consiga una distribución homogénea del material plástico en estas, puesto que, si se consigue que exista cierta cantidad de plástico en la parte central inferior de la muestra, los resultados respecto a la resistencia a flexión mejorarían.

Muestra de esto último, lo observamos en *las Fig- 24-26*, comparadas con sus correspondientes *Gráficas 4-6*, nos revelan, como a medida que aumentamos el porcentaje de PEBD, la distribución en la muestra es más uniforme y los resultados comienzan a ser más relevantes.

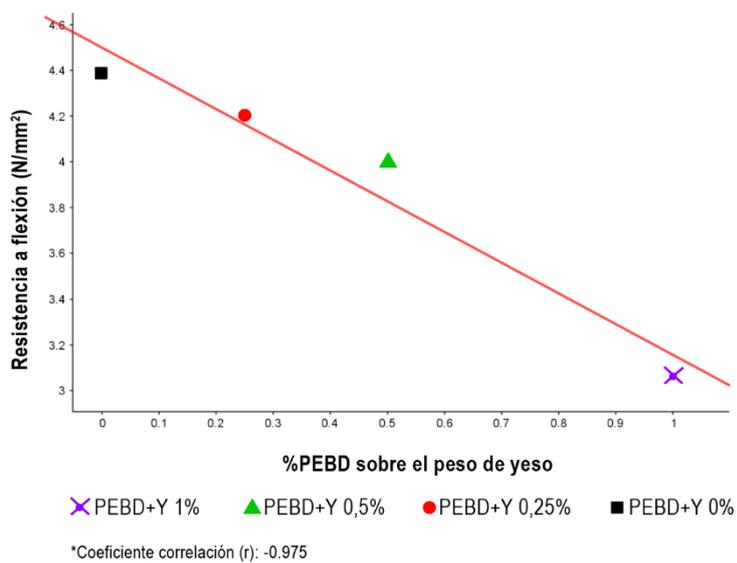
Por otro lado, si hacemos un análisis de los resultados obtenidos en el ensayo mecánico de resistencia a flexión, hemos de comentar que tal y como se preveía, la capacidad resistente del material disminuye conforme aumenta la adición de agregados plásticos (*Gráfica 7*). No obstante, no será hasta adiciones de 1% o superiores, donde las muestras sufran un descenso de resistencia considerable.

Por tanto, podríamos considerar que con porcentajes de adición inferiores a 1% se consiguen resultados aceptables en relación con la capacidad de resistencia a flexión.

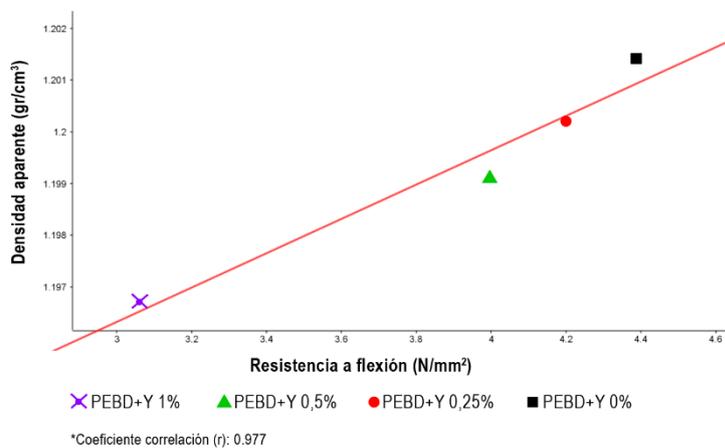
Por último, planteamos un estudio de la relación Densidad aparente/Resistencia a flexión, tomando los valores medios de cada dopaje. Respecto a los datos de densidad, se utilizarán los valores corregidos, resultantes de la interpolación que exponíamos en el apartado destinado a dicho ensayo.

Como se puede observar en la *Gráfica 8*, tal y como se preveía, existe una relación directa entre el descenso de la densidad del material estudiado a medida que aumentamos el porcentaje de adición de PEBD y la pérdida de resistencia a flexión.

Añadir que la disminución de densidad aparente del material con los porcentajes utilizados no es muy significativa, puesto que el descenso no alcanza si quiera el 0,5% respecto al material de control; mientras que, por el contrario, la pérdida de flexión desciende entorno al 30% en relación a la muestra de referencia.



Gráfica 8. Resistencia flexión/ % PEBD probetas tipo. (EP)



Gráfica 9. Densidad / Resistencia flexión probetas tipo A para diferentes % PEBD. (EP)

## - Resistencia a compresión

El contenido de este punto será la descripción pormenorizada del ensayo de compresión al que se someterán las probetas prismáticas A, de dimensiones 40x40x160mm realizadas para los tres tipos diferentes de porcentajes de adición de PEBD, una vez han sido rotas en el ensayo de resistencia a flexión, quedándonos por tanto dos mitades de cada una de las muestras.

El fin de determinar esta propiedad del nuevo material radica en la necesidad de conocer la durabilidad de dicho compuesto, así como su posible desgaste futuro, ya que la resistencia a compresión supone un indicativo de calidad.

### a) Metodología

Para llevar a cabo este ensayo, se utilizará con en el caso del ensayo a flexión, una prensa multiensayo de 300 KN, de la empresa Codein S.L., modelo MCO-30, número de serie 139. De esta manera, podremos obtener mediante el software de control datos referentes a la carga de rotura de las probetas.

La diferencia existente, por tanto, entre el ensayo de flexión anteriormente descrito y el ensayo de compresión recae en la manera en la que se aplica la carga. En este caso, para obtener resultados sobre resistencia a compresión, la carga no se aplicará en base a tres puntos, sino que será un rectángulo de 40 x 40 mm el que ejerza la presión en el centro de la pieza.

De acuerdo con la norma de referencia para este tipo de ensayo, UNE EN-196-1:2005, la máquina utilizada está conformada por dos platos de soporte de acero con una dureza Vickers mínima de 600 HV, determinada por la norma UNE-EN ISO 6507-1:2006 [25]. La rigidez de los platos, así como la forma de transferir la carga son tales que la deflexión cumple lo estipulado en la norma.

Por otro lado, hemos de añadir que uno de estos platos debe ser basculante, para poder adaptarse a la probeta, mientras que el segundo debe ser un bloque plano no basculante, que no presente desviaciones mayores a 0,05 mm respecto a la superficie plana.

Las probetas han de colocarse en dirección perpendicular a la cara de apoyo, tras haberse comprobado que el curado de las mismas es el correcto. En este caso, al haberse realizado previamente el ensayo de flexión con las mismas, tenemos certeza de que curado es el correcto y las muestras poseen peso constante. Se presta especial atención a que las superficies de contacto entre las probetas y los platos no presenten ninguna irregularidad o impureza, es decir, sean totalmente paralelas, colocándose estas en el centro del plano, para conseguir que su asiento sea uniforme.

En cuanto las características de aplicación para este ensayo, se suministra una carga máxima de 10 KN a una velocidad aproximada de 0,5 MPa/s, con intención de que la rotura se produzca en un tiempo no inferior a 1 min, cumpliendo de esta manera los requisitos establecidos en la norma UNE de aplicación.

Por último, una vez rotas las mitades de probetas y obtenidos los datos necesarios, se calculará la resistencia a compresión, utilizando para ello, la siguiente expresión:  $f = C / b^2$ , donde b hace referencia a la dimensión de la placa base y C a la carga obtenida de los resultados aportados por el software informático.



Fig. 27 Probetas resultantes ensayo flexión, que se utilizarán en ensayo compresión. (EP)



Fig. 28 Rotura de la probeta a compresión. (EP)

### b) Resultados

En la *Tabla 9* que se aporta a continuación, se recogen los resultados obtenidos tras aplicar la metodología anterior:

,Nº	PROBETA REF. 0 % PEDB		PROBETAS 0,25 % PEDB		PROBETAS 0,5 % PEDB		PROBETAS 1 % PEDB	
	Resistencia Compresión (Mitad A)	Resistencia Compresión (Mitad B)	Resistencia Compresión (Mitad A)	Resistencia Compresión (Mitad B)	Resistencia Compresión (Mitad A)	Resistencia Compresión (Mitad B)	Resistencia Compresión (Mitad A)	Resistencia Compresión (Mitad B)
	N/mm <sup>2</sup>							
1	10,78	10,90	11,85	13,55	11,26	11,20	7,81	9,27
2	10,39	10,44	13,41	13,15	10,92	11,66	8,46	9,09
3	10,83	10,11	12,64	13,16	11,11	11,78	8,90	9,85
4	10,57	10,69	12,76	13,86	10,73	11,12	9,09	9,00
5	9,49	10,77	12,69	14,27	11,84	10,61	9,19	9,05
6	10,06	10,58	13,14	15,18	10,57	12,37	8,58	9,75
MEDIA	10,35	10,58	12,75	13,86	11,07	11,45	8,67	9,34
	10,47		13,30		11,26		9,00	

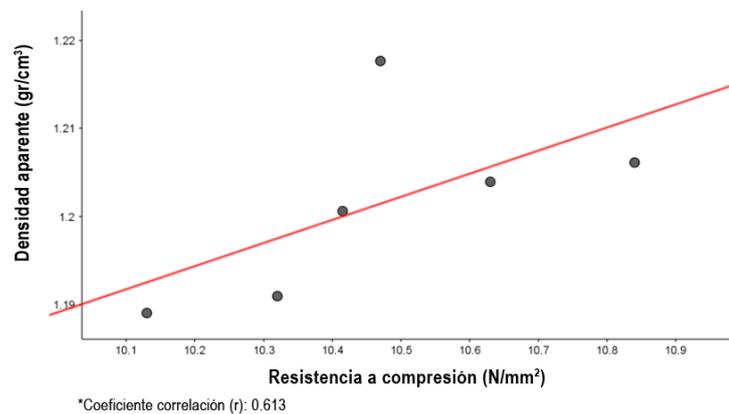
Tabla 10. Resultados de resistencia a compresión probetas tipo A. (EP)

Tras los resultados obtenidos, observamos en un primer análisis general, como a medida que aumentamos la adición de plástico, las muestras reducen su resistencia a compresión de manera notable, pasando de 13,30 N/mm<sup>2</sup> en probetas con 0,25% de adición a 9,00 N/mm<sup>2</sup> en aquellas con 1%.

Sin embargo, se consigue aumentar la resistencia a compresión respecto de la muestra de referencia con porcentajes de adición inferiores a 1%, obteniéndose en el caso de 0,25% de adición un aumento de 2,83 N/mm<sup>2</sup> respecto a la muestra sin adición.

Expondremos seguidamente, una serie de gráficas en las que se refleja la relación existente entre la densidad aparente del material y su resistencia a compresión, utilizando para ello 6 muestras por porcentaje. De este modo, se pretende comprobar si ocurre un fenómeno similar al ensayo para la resistencia a flexión, de forma que se puedan sacar conclusiones con fundamento.

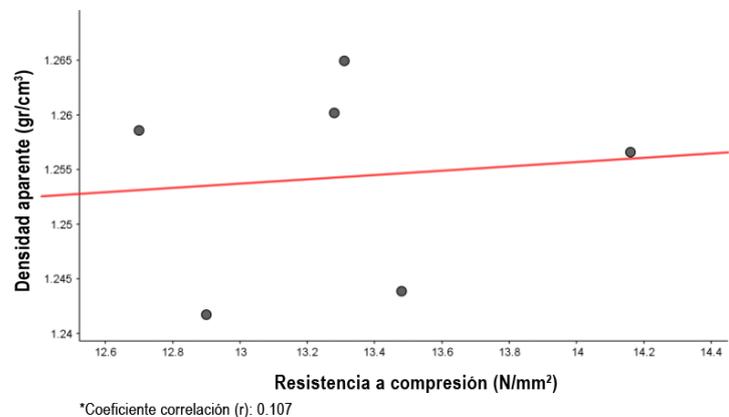
Nuevamente, observamos como el factor de correlación "r" de ambas propiedades es irrelevante, puesto que prácticamente es 0 para las distintas muestras con adición de plásticos. Esta falta de relación se debería nuevamente a la dispersión heterogénea de las partículas de PEBD en las diferentes muestras, lo cual influye de manera más relevante en la resistencia a compresión, puesto que para realizar dicho ensayo se parte de las dos mitades resultantes por probeta del ensayo a flexión (Fig. 29,31,33), las cuales no presentan la misma cantidad, ni disposición de partículas plásticas (Fig.30,32,34)



Gráfica 10. Densidad/compresión media de las probetas tipo A de Ref. con 0% PEBD. (EP)



Fig. 29 Disparidad entre probetas 0,25% PEBD sometidas a ensayo de compresión. (EP)



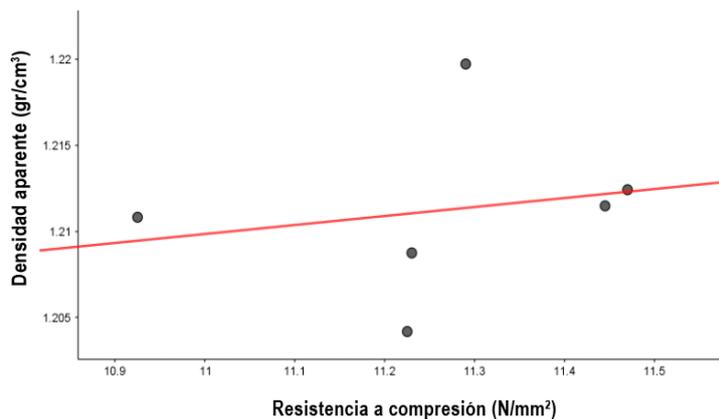
Gráfica 11. Densidad/compresión media de las probetas tipo A con 0,25% PEBD. (EP)



Fig. 30 Mitad A (izquierda.) y mitad B (derecha) de una probeta con 0,25% PEBD para mostrar distribución heterogénea partículas de plástico. (EP)



Fig. 31 Disparidad entre probetas 0,5% PEBD sometidas a ensayo de compresión. (EP)



\*Coeficiente correlación (r): 0.202

Gráfica 12. Densidad/compresión media de las probetas tipo A con 0, 5% PEBD. (EP)

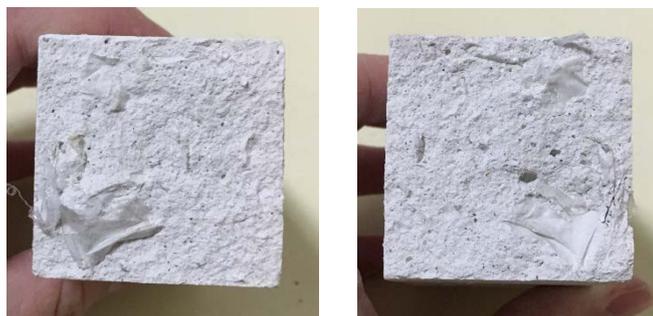
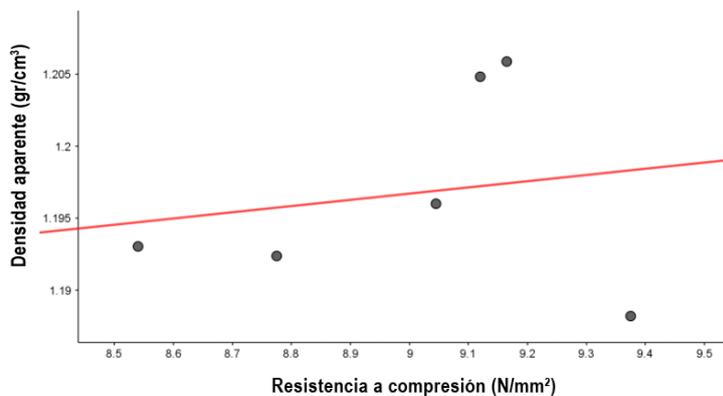


Fig. 32 Mitad A (izquierda.) y mitad B (derecha) de una probeta con 0,5% PEBD para mostrar distribución heterogénea partículas de plástico. (EP)



Fig. 33 Disparidad entre probetas 0,5% PEBD sometidas a ensayo de compresión. (EP)



\*Coeficiente correlación (r): 0.181

Gráfica 13. Densidad/compresión media de las probetas tipo A con 0,1% PEBD. (EP)



Fig. 34 Mitad A (izquierda.) y mitad B (derecha) de una probeta con 1% PEBD para mostrar distribución heterogénea partículas de plástico. (EP)

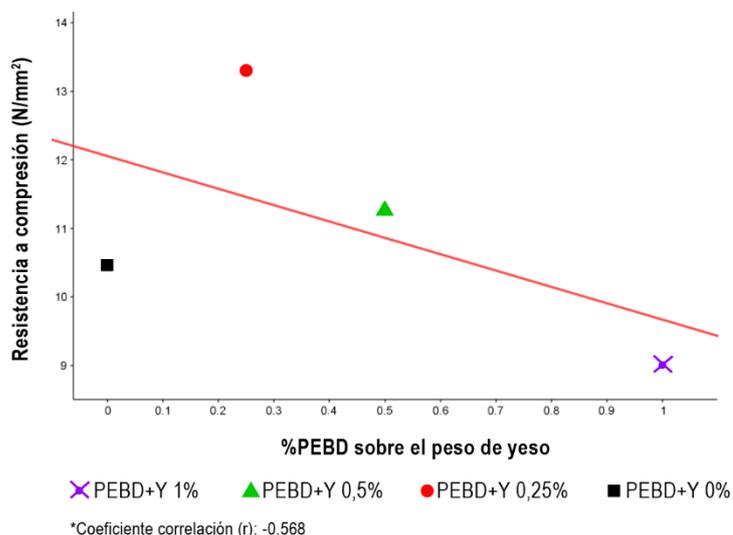
### c) Análisis de resultados

En la discusión de resultados haremos referencia en primer lugar al fenómeno que tiene lugar en el compuesto Yeso-PEBD a medida que aumentamos la adición de plástico (*Gráfica 13*). Se observa que, para un porcentaje de 0,25, la muestra sufre una mejora de su propiedad de resistencia a compresión, descendiendo dicha prestación a medida que aumentamos la adición de plástico a partir de este punto, que consideramos como un máximo.

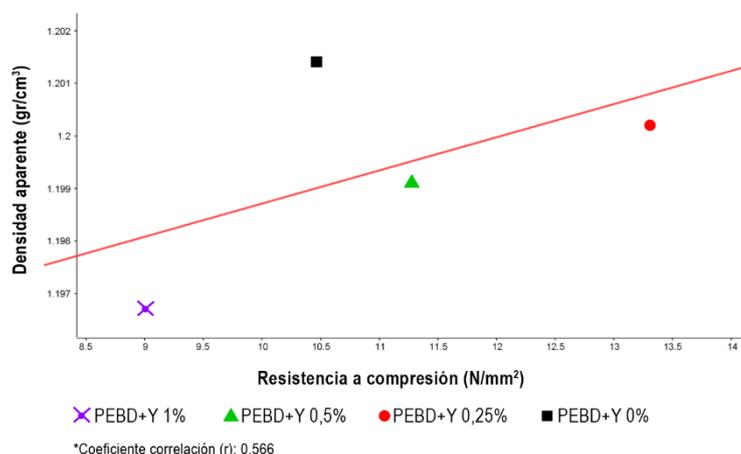
Dicho fenómeno se debe al confinamiento del material, ya que, al añadir mayor cantidad de plástico, dichas partículas no son capaces de unirse al material conglomerante, debilitándose por tanto las uniones del compuesto, disminuyendo de esta manera su capacidad mecánica.

Este aspecto anteriormente descrito queda latente en la *Gráfica 14*, donde se estudia la relación entre la densidad aparente y la resistencia a compresión medias de las probetas según el porcentaje de adición de PEBD. En esta, se muestra cómo pese al descenso de la densidad de las muestras, la incapacidad de confinamiento de las partículas no influye en la capacidad de resistencia a compresión del compuesto, hasta llegar a porcentajes por encima del 0,5%.

Por tanto, el nuevo compuesto Yeso-PEBD, presenta un comportamiento interesante respecto a sus propiedades mecánicas para porcentajes de adición iguales o inferiores al 0,5%, aumentando, aunque mínimamente dichas prestaciones, si lo comparamos con el material de referencia.



Gráfica 14. Resistencia compresión/ % PEBD probetas tipo A. (EP)



Gráfica 15. Densidad/compresión probetas tipo A para diferentes % PEBD. (EP)

### 6.4.3. Ensayos de comportamiento acústico

#### - Medición del coeficiente de absorción acústica

Para el ensayo de comportamiento acústico se tomarán como referentes las probetas cilíndricas tipo C, con el fin de analizar cómo la adición de distintos porcentajes (0,25-0,5-1%) de PEBD a la matriz de yeso influyen en la capacidad acústica del material base, es decir, la matriz de yeso sin ningún tipo de adición.

Para la realización del ensayo de técnica no destructiva, se deberán seguir las determinaciones pautadas por la norma UNE- EN ISO 10534-1:2002 [22]. *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria.*

#### a) Metodología

Este ensayo tiene como fin obtener el coeficiente  $\alpha$  de absorción acústica, que nos dará información de la capacidad aislante del material. Para ello, se llevará a cabo el método conocido como "Tubo de Kundt", para lo cual se utilizará un dispositivo formado por un tubo de ondas estacionarias cerrado por un porta-muestras rígido, un altavoz, un micrófono móvil que introduce una sonda en el tubo anterior y por último un aparato que analiza los resultados.



Fig. 35 "Tubo de Kund" para ensayo de absorción acústica. (EP)

Las muestras que seleccionadas para el ensayo serán únicamente 4, una por cada tipo de porcentaje de adición, más la de referencia con 0% de adición. Deberá de cumplirse que las dimensiones de estas no superen los 10 cm de diámetro ni los 4 cm de espesor, determinado por la dimensión del porta-muestras, de acuerdo con la norma pertinente.

El proceso que se sigue para la realización del ensayo se describe a continuación, siendo el mismo para cada una de las 4 muestras seleccionadas.

En primer lugar, se colocará la muestra en el porta-muestras rígido que cierra la parte posterior del tubo de ondas estacionarias. Seguidamente, se activará el altavoz, al cual se le aplicará una potencia de 132,0 dB $\mu$ V, dato que hace referencia al volumen de las frecuencias que se van a estudiar.

El siguiente paso será activar el aparato analizador, que será el que permita elegir las frecuencias de octavas en las que vamos a analizar el coeficiente de absorción. En este caso se tomarán 4 bandas centrales (250, 500, 1000 y 2000 Hz). Este dispositivo, además, nos mostrará la información obtenida por el micrófono tras introducir una sonda en el tubo de ondas estacionarias.

Los datos que se obtienen hacen referencia a máximos y mínimos de la onda estacionaria, de los cuales seleccionamos un máximo y un mínimo que utilizaremos para obtener el coeficiente  $\alpha$ , mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$P_{\text{máx}} / P_{\text{mín}} = n; \text{ a partir de la cual se obtiene: } \alpha_{\text{nor}} = 1 - r^2 = 4 \cdot n / (n+1)^2$$



Fig. 36 Colocación de probeta tipo C en porta-muestras. (EP)



Fig. 37 Disp. analizador de máx. y mín. onda estacionaria. (EP)

### b) Resultados

A continuación, se adjuntan una serie de *Tablas 11-14*, donde se recogen los valores obtenidos mediante la metodología de ensayo acústico, descrita anteriormente:

#### MUESTRA REF. 0% ADICIÓN

FRECUENCIA	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
P MÁX (mV)	25,80	25,30	4,02	0,208
P MÍN (mV)	0,85	1,01	0,797	0,0073
n	30,35	25,05	5,04	28,49
$\alpha_{\text{nor}}$	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,55</b>	<b>0,13</b>

Tabla 11. Resultados ensayo absorción acústica. Cálculo coeficiente absorción para muestra ref. 0% PEBD. (EP)

#### MUESTRA REF. 0,25% ADICIÓN

FRECUENCIA	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
P MÁX (mV)	26,50	24,60	3,55	0,206
P MÍN (mV)	0,860	0,896	0,665	0,0072
n	30,81	27,46	5,34	28,61
$\alpha_{\text{nor}}$	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>0,53</b>	<b>0,13</b>

Tabla 12. Resultados ensayo absorción acústica. Cálculo coeficiente absorción para muestra 0,25% PEBD. (EP)

**MUESTRA REF. 0,5% ADICIÓN**

FRECUENCIA	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
P MÁX (mV)	26,50	24,90	3,73	0,210
P MÍN (mV)	0,790	0,954	0,470	0,0076
n	33,54	26,10	7,94	27,63
$\alpha_{nor}$	0,11	0,14	0,40	0,13

Tabla 13. Resultados ensayo absorción acústica. Cálculo coeficiente absorción para muestra 0,5% PEBD. (EP)

**MUESTRA REF. 1% ADICIÓN**

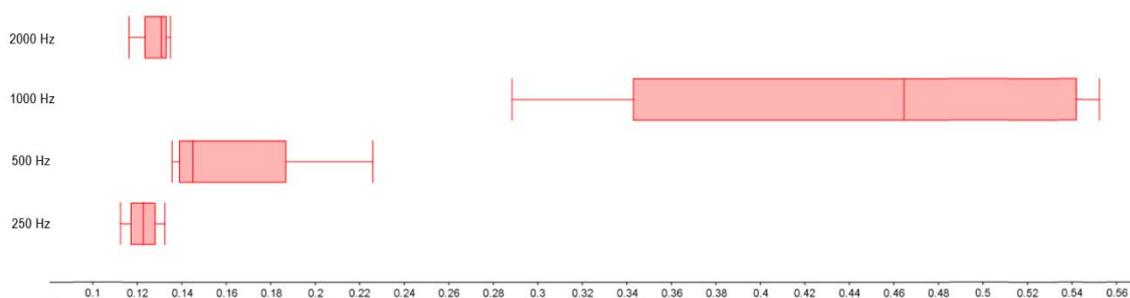
FRECUENCIA	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
P MÁX (mV)	27,20	25,20	5,47	0,204
P MÍN (mV)	0,965	1,61	0,464	0,0063
n	28,19	15,65	11,79	32,38
$\alpha_{nor}$	0,13	0,23	0,29	0,12

Tabla 14. Resultados ensayo absorción acústica. Cálculo coeficiente absorción para muestra 1% PEBD. (EP)

c) Análisis de resultados

% adición PEBD	FRECUENCIA (Hz)			
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
0%	0,1235	0,1477	0,55230	0,131
0,25%	0,1218	0,1356	0,5315	0,1305
0,5%	0,1124	0,1422	0,3975	0,1348
1%	0,1324	0,2258	0,2883	0,1162

Tabla 15. Coef. absorción acústica en función de la frecuencia (Hz). (EP)



Gráfica 16. Frecuencia / Coef. Absorción acústica. (EP)

Una vez analizados los resultados del ensayo de absorción acústica, podemos concluir que el nuevo compuesto estudiado presenta una particularidad interesante, ya que para medias bajas frecuencias tal y como se observan en las *Gráficas 16-17* el coeficiente de absorción acústica " $\alpha$ " aumenta a medida que aumentamos el porcentaje de adición de plástico en las muestras. Todo lo contrario, ocurrirá para las medias altas frecuencias 1000 y 2000 Hz (*Gráficas 18-19*), para las que la absorción acústica del material disminuye a medida que aumentamos la cantidad de plástico.

Además, se observa como las muestra con 0,5% de PEBD presentan un comportamiento independiente al resto de muestras, sobre todo a bajas frecuencias, es decir generalmente no está relacionado con la progresión del resto de compuestos. Además, se comprueba que, para una frecuencia de 2000 Hz, dicho dopaje es el único capaz de conseguir mejoras respecto a la muestra de referencia, corroborándose su comportamiento independiente al resto. (*Gráfica 19*)



Fig. 38 Muestra ensayo acústico 0,25% LDPE rota. (EP)



Fig. 39 Muestra ensayo acústico 0,5% LDPE rota. (EP)

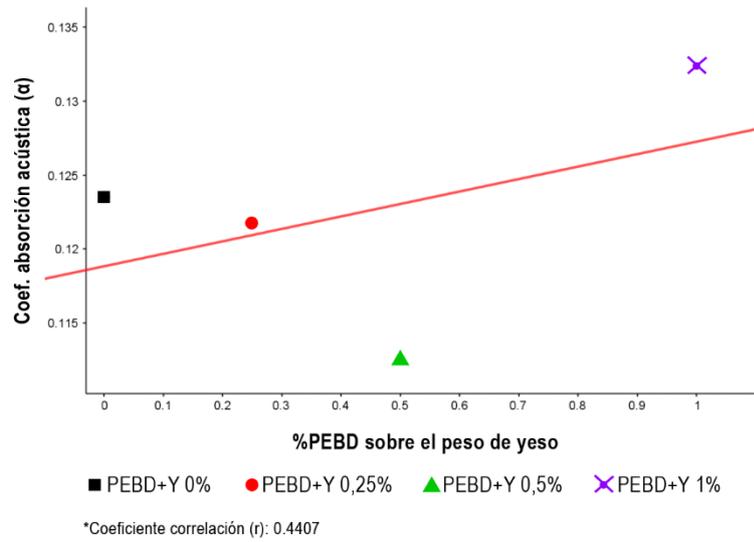


Fig. 40 Muestra ensayo acústico 1% LDPE rota. (EP)

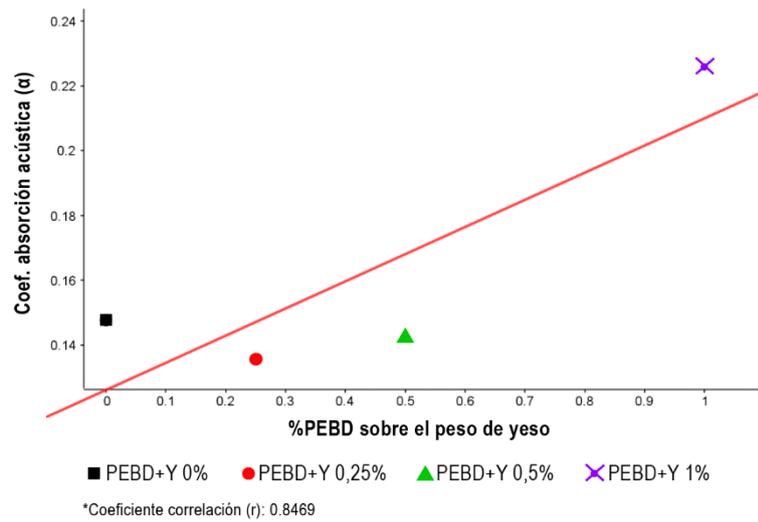
El comportamiento de la muestra con 0,5% de dopaje podría estar relacionado con el fenómeno que se observa en la *Fig. 39*, Las partículas de esta muestra aparecen más sueltas que las de dopaje de 0,25% (*Fig. 38*), donde apenas son perceptible, así como las de 1% (*Fig. 40*) donde al haber mayor cantidad están más compactadas y distribuidas. Suponemos que el hecho de que las partículas aparezcan más sueltas puede provocar que solo vibren para determinadas frecuencias, o lo hagan con mayor intensidad, en este caso 2000 Hz y por ello mejore el comportamiento del material respecto su coeficiente de absorción

Ante los citados resultados, podemos hacer una hipótesis para explicar el comportamiento acústico del compuesto estudiado Yeso-PEBD. Estaríamos ante un material que se comporta como una especie de filtro ante ciertas frecuencias, en este caso, es muy capaz de absorber las medias bajas 250 y 500 Hz, conforme el dopaje de las muestras aumenta, revirtiéndose el proceso para el caso de las medias altas frecuencias 1000 y 2000Hz, para las que las mayores absorciones se dan de manera imprevisible con dopajes inferiores a 0,5 %.

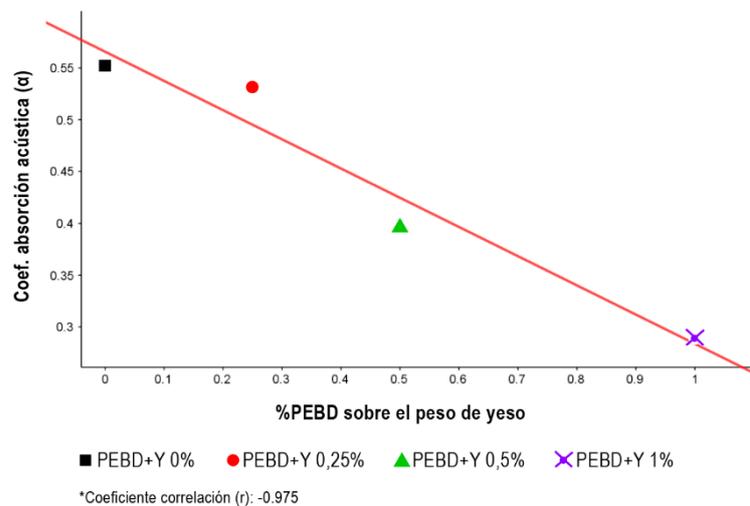
Además, vemos como para una frecuencia de 1000 Hz, el compuesto presenta un comportamiento muy diferente al resto de frecuencias estudiadas, obteniéndose para esta los coeficientes de absorción mayores. Este aspecto, muy claro en la *Gráfica 15*, nos estaría indicando las grandes posibilidades del material a frecuencias medias, debido a la gran sensibilidad que presenta el compuesto Yeso-PEBD. La citada propiedad permitía la modificación de la absorción del material con la adición de mayor o menor cantidad de plástico, lo cual resulta bastante interesante de cara a futuros estudios que se centren en la mejora de dicho aspecto.



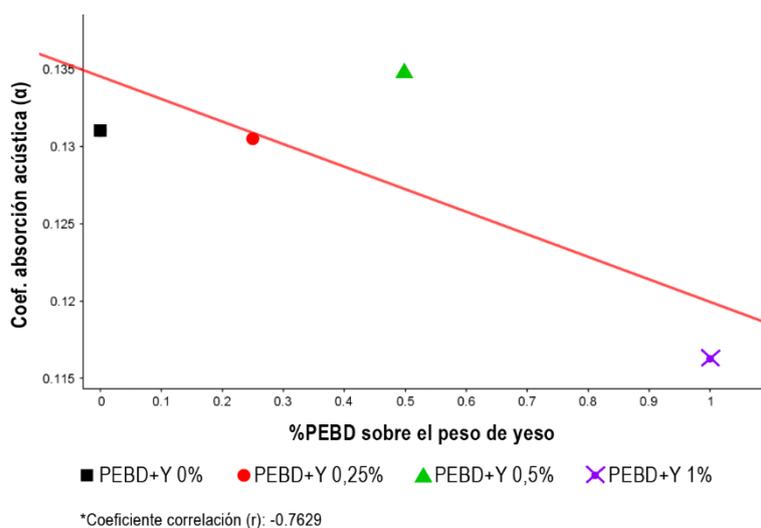
Gráfica 17. Coef. absorción acústica / % PEBD probetas tipo C. Frecuencia 250 Hz. (EP)



Gráfica 18. Coef. absorción acústica / % PEBD probetas tipo C. Frecuencia 500 Hz. (EP)



Gráfica 19. Coef. absorción acústica / % PEBD probetas tipo C. Frecuencia 1000 Hz. (EP)



Gráfica 20. Coef. absorción acústica / % PEBD probetas tipo C. Frecuencia 2000 Hz. (EP)

Por otro lado, a partir del coeficiente de absorción acústica obtenido en el ensayo de “Tubo de Kundt”, podemos obtener el **Coefficiente global de absorción sonora ponderado  $\alpha_w$** , índice de evaluación único cuyo valor no depende de las frecuencias y se utiliza para formular requisitos y describir las propiedades de absorción acústica de productos destinados a la construcción de edificios.

Por ello, será necesario para poder comparar las propiedades acústicas del nuevo compuesto Yeso-PEBD, con otros materiales que se comercializan actualmente en el mundo de la construcción.

Para determinar dicho valor, partiendo de los coeficientes de absorción obtenidos mediante el ensayo "Tubo de Kundt", no se encuentra una norma específica, por lo que tomaremos como referencia un método determinado por la Norma UNE-EN ISO 11654:1997. *Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica*. [26], que se aplica normalmente a productos de construcciones para los cuales se ha determinado el coeficiente de absorción acústica de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 354:2004. *Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante* [27].

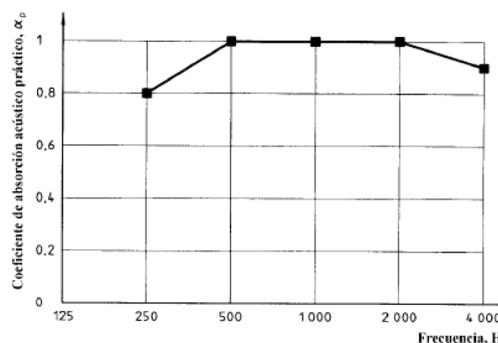
En primer lugar, ha de calcularse el valor del *Coefficiente de absorción sonora práctico* " $\alpha_p$ ", para cada porcentaje de adición de PEBD, es decir, el valor del coeficiente de absorción acústica dependiente de la frecuencia, basado en mediciones por bandas de un tercio de octava y calculado por bandas de octava. Sin embargo, del ensayo que hemos realizado en esta investigación, obtenemos únicamente 4 valores por porcentaje de dopaje que atiende a las bandas de octava de 250, 500, 1000 y 2000 Hz, por lo que partiremos de dichos valores (Tabla 16).

BANDAS DE OCTAVA					
		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
0%	$\alpha_p$	0,1235	0,1477	0,55230	0,131
0,25%	$\alpha_p$	0,1218	0,1356	0,5315	0,1305
0,5%	$\alpha_p$	0,1124	0,1422	0,3975	0,1348
1%	$\alpha_p$	0,1324	0,2258	0,2883	0,1162

Tabla 16. Coef. absorción sonora práctico. (EP)

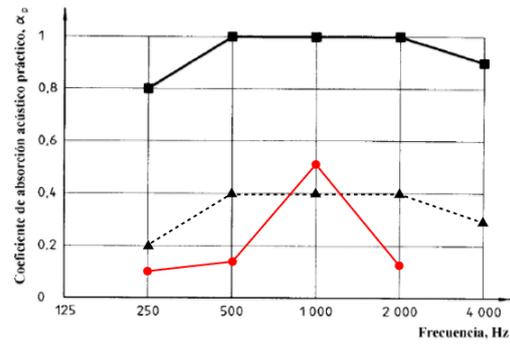
A continuación, calculamos el Coeficiente global de absorción sonora ponderado " $\alpha_w$ ", que se corresponde con un valor único independiente de la frecuencia, igual al valor de la curva de referencia a 500 Hz después de desplazarla tal y como se indica en la Norma UNE citada, por pasos de 0,05 hacia el valor medio hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea menor o igual que 0,10.

Existen además una serie de parámetros, denominados indicadores de forma (a frecuencia baja "L", media "M" y alta "H"), que habrá que colocar junto al valor del coeficiente  $\alpha_w$  del absorbente, cuando este excede de la curva de referencia desplazada más de 0,25 a 500 Hz., lo cual ocurre con las muestras estudiadas.



Frecuencia	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Valor	0,80	1,00	1,00	1,00	0,90

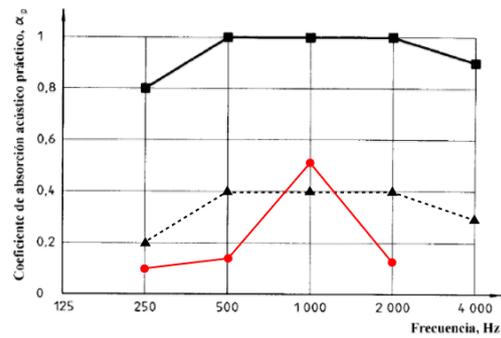
Gráfica 21. Curva de referencia para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado. (EP)



Frecuencia	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Valor c. ref.	0,20	0,40	0,40	0,40	0,50
Absorbente	0,10	0,15	0,55	0,15	-

\* $\alpha_w=0,4(MH)$  □ — Curva ref.,  
- - - Curva ref. desplazada  
— Curva absorbente 0%

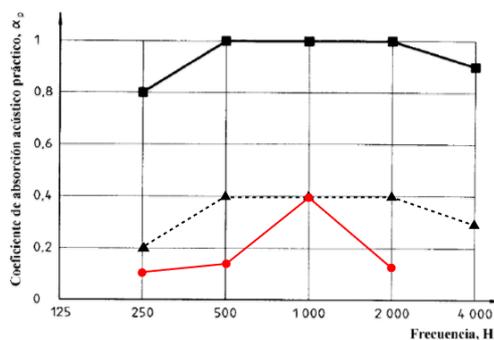
Gráfica 22. Curva referencia desplazada, para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado, ref. 0% adición PEBD. (EP)



Frecuencia	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Valor c. ref.	0,20	0,40	0,40	0,40	0,50
Absorbente <span style="color: red;">□</span>	0,10	0,15	0,55	0,15	-

\* $\alpha_w=0,4(MH)$  □ — Curva ref.,  
- - - Curva ref. desplazada  
— Curva absorbente 0,25%

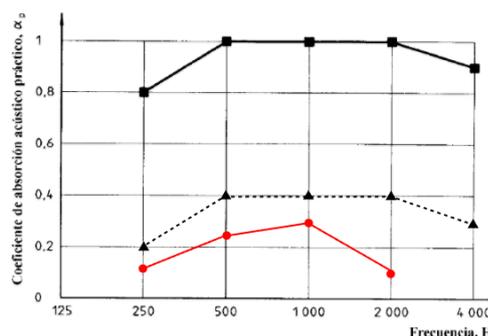
Gráfica 23. Curva referencia desplazada, para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado, 0,25% adición PEBD. (EP)



Frecuencia	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Valor c. ref.	0,20	0,40	0,40	0,40	0,50
Absorbente	0,10	0,15	0,40	0,15	-

\* $\alpha_w=0,4(MH)$  ■ — Curva ref.  
- - - Curva ref. desplazada  
— Curva absorbente 0,5%

Gráfica 24. Curva referencia desplazada, para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado, 0,5% adición PEBD. (EP)



Frecuencia	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Valor c. ref.	0,20	0,40	0,40	0,40	0,50
Absorbente <span style="color: red;">■</span>	0,15	0,25	0,30	0,10	-

\* $\alpha_w=0,4(H)$  ■ — Curva ref.  
- - - Curva ref. desplazada  
— Curva absorbente 1%

Gráfica 25. Curva referencia desplazada, para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado, 1% adición PEBD. (EP)

Finalmente concluimos que pese a los distintos porcentajes de adición de PEBD estudiados, el valor neto del Coef. de absorción sonora ponderado  $\alpha_w$ , no varía, siendo igual a 0,4. Por ello, si atendemos a la clasificación que la Norma UNE-EN ISO 11654:1997 hace de las clases de absorción acústica, el compuesto Yeso-PEBD para los porcentajes de dopaje analizados, se ubicaría en la Clase D.

#### 6.4.4. Ensayos de comportamiento térmico

##### - Conductividad térmica

En una concepción inicial del plan experimental que se expone en este estudio, se plantea realizar un ensayo para definir la conductividad térmica del nuevo compuesto Yeso-PEBD. Para ello se elaboran una serie de probetas prismáticas tipo B, utilizando distintos dopajes (0,25-0,5-1%) de PEBD que se añadirán a la matriz de yeso.

El método que se propone para obtener información sobre las propiedades de resistencia térmicas de las muestras es el ensayo de "Placa caliente", regulado por la Norma UNE-EN 12667:2002. *Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica.*

##### a) Metodología

Para llevar a cabo dicho ensayo sólo seleccionaremos dos probetas de las tres que se fabrican por porcentaje, eligiendo aquellas que presenten una superficie totalmente plana, aspecto fundamental para conseguir resultados satisfactorios.

El equipo a utilizar para la realización del ensayo de placa caliente será de "dos muestras", el cual consta de una placa central metálica, redonda o cuadrada, denominadas unidad calefactora, que se instala entre dos muestras idénticas, de igual superficie y espesor, cercanas entre sí, las cuales se someten al mismo gradiente de temperatura. De esta forma, prácticamente todo el flujo de calor generado por la placa caliente atraviesa el material a caracterizar, hacia otras placas planas isotermas, redondas o cuadradas (Fig. 41)[28].

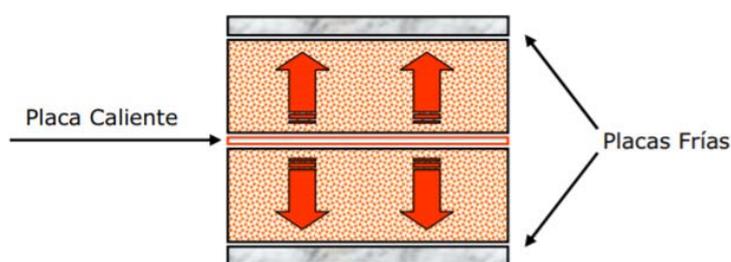


Fig. 41 Esquema procedimiento transmisión de calor mediante método Placa caliente.  
Fuente: J. Diez Campos et al. [28]

El mencionado equipo debe estar aislado térmicamente del exterior mediante un material aislante, para garantizar que las pérdidas de calor sean mínimas.

Además, ha de tenerse en cuenta que la conductividad térmica de los materiales cambia con la temperatura de trabajo, por lo que hemos de seleccionar un mínimo de tres temperaturas medias, en base a las exigencias de la norma, que indica que el incremento de temperatura entre la placa caliente y la placa fría sea de 30°C.

El método de placa caliente protegida está destinado a establecer en el interior de muestras homogéneas con caras planas paralelas en forma de planchas, una relación constante y una uniformidad en la relación de la densidad del flujo de calor. La parte del equipo donde ocurre esto, con una precisión aceptable es alrededor de su centro; el equipo se encuentra, por lo tanto, dividido en una sección de control de medida que es el lugar donde se realizan las mediciones y la sección que lo envuelve, aísla y protege.

Finalmente obtendríamos como resultado la conductividad térmica  $\lambda$  (W/m\*K) para las muestras con distintos dopajes analizadas.

## b) Resultados

Debido a la dificultad de conseguir el equipo térmico necesario para llevar a cabo la metodología descrita anteriormente, resulta imposible desarrollar el ensayo térmico de forma práctica, por lo que los datos que aportaremos a continuación en relación a las propiedades térmicas del compuesto estudiado serán resultado de una serie de hipótesis planteadas a partir de estudios o artículos desarrollados por otros investigadores.

Según investigaciones llevadas a cabo en 2015 por J.L. Ruiz-Herrero et al. sobre rendimiento mecánico y térmico de materiales de hormigón y mortero celular con adición de residuos plásticos de PEBD y PVC [29], existe un planteamiento para poder determinar de forma teórica aproximada la conductividad térmica  $\lambda$  (W/m\*K) que caracteriza a un material.

El procedimiento a seguir para determinar la conductividad térmica del nuevo compuesto, parte de la conductividad térmica de los materiales de referencia, en el caso del artículo analizado,  $\lambda$ (Mortero ref.),  $\lambda$ (Hormigón ref.),  $\lambda$ (PEBD) y  $\lambda$ (PVC).

A continuación, se supuso la posibilidad de conocer la conductividad térmica  $\lambda$  (W/m\*K) mediante una primera aproximación por un modelo de mezcla simple:

$$\lambda_{\text{COMPUESTO}} = \lambda_{\text{MATERIAL CONTROL}} * X_{\text{VOL. MATERIAL CONTROL}} + \lambda_{\text{PLÁSTICO}} * X_{\text{VOL. PLÁSTICO}}$$

La primera corrección que se propone incorporar al modelo es la porosidad, es decir, la fracción volumétrica de aire que influye en la mezcla, mostrada también por la presencia de partículas de plásticos irregulares.

$$\lambda_{\text{COMPUESTO}} = \lambda_{\text{MATERIAL CONTROL}} * X_{\text{VOL. MATERIAL CONTROL}} + \lambda_{\text{PLÁSTICO}} * X_{\text{VOL. PLÁSTICO}} + \lambda_{\text{AIRE}} * X_{\text{VOL. AIRE}}$$

Como conclusión del artículo descrito, hay que comentar que se produce una importante disminución de la conductividad térmica para los compuestos estudiados, que no depende únicamente de la presencia de plástico y porosidad, ya que la conductividad térmica podría predecirse con precisión usando la ecuación correspondiente a un modelo sólido celular, cuya matriz es el mortero u hormigón de control.

$$\lambda = \lambda_g \left( 1 - \frac{\rho_f}{\rho_s} \right) + C \left( \frac{\rho_f}{\rho_s} \right) \lambda_s$$

Por otro lado, comparamos otra serie de artículos, entre los que se destacan el desarrollado por Abdelhak Badache et al. en 2017, sobre características termofísicas y mecánicas de compuestos ligeros de arena de mortero y PEHD[15]; así como el estudio que lleva a cabo Antonella Costa Del Pozo en su tesina, sobre hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla[30]. Como conclusión general de ambos, podemos extraer la disminución notable de conductividad térmica que se produce en los nuevos compuestos, debido a que la  $\lambda$  del agregado plástico que se incorpora a la matriz cementosa en forma de arena es inferior a la del material por el que se sustituye, en este caso la arena. Por tanto, de ambas investigaciones se obtiene un material con mejores prestaciones de aislamiento térmico.

### c) Análisis de resultados

En este apartado expondremos las hipótesis resultantes de aplicar las conclusiones anteriores a nuestro caso de estudio.

En primer lugar, podríamos obtener la conductividad térmica  $\lambda$  (W/m\*K) del compuesto Yeso-PEBD, empleando el planteamiento teórico descrito anteriormente, aplicando la expresión:

$$\lambda_{\text{COMPUESTO}} = \lambda_{\text{YESO CONTROL}} * X_{\text{VOL. YESO CONTROL}} + \lambda_{\text{PEBD}} * X_{\text{VOL. PEBD}} + \lambda_{\text{AIRE}} * X_{\text{VOL. AIRE}}$$

No obstante, para desarrollar dicha operación sería necesario conocer la porosidad de las muestras estudiadas, para lo cual se necesitaría desarrollar un ensayo complementario a los ya realizados, una porosimetría por inyección de mercurio, regulado por la Norma ISO 15901-1:2016. *Evaluation of pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption -Part 1: Mercury porosimetry* [31].

Este ensayo se realiza mediante una técnica indirecta que consiste en inyectar mercurio a presión y registrar el volumen del mismo absorbido. Para cada intervalo de presión considerado, el volumen de mercurio absorbido nos indica el volumen de poros de la muestra que tienen un determinado intervalo de tamaño de acceso.

Por tanto, a expensas de realizar el ensayo de porosimetría, obtendríamos la siguiente expresión:

$$\lambda_{\text{COMPUESTO}} = [0,56 \text{ W/m}^*\text{K} * (X_{\text{VOL. YESO CONTROL}})] + [0,33 \text{ W/m}^*\text{K} * (X_{\text{VOL. PEBD}})] + [0,24 \text{ W/m}^*\text{K} * X_{\text{VOL. AIRE}}]$$

Finalmente, se prevé según las conclusiones de los últimos artículos analizados, una mejora de las prestaciones térmicas del nuevo compuesto, debido a que la conductividad térmica del plástico de adición, PEBD ( $\lambda=0,33$  W/m\*K), es menor que la del material por el que se sustituye en peso en la mezcla, Yeso de alta dureza ( $\lambda=0,56$  W/m\*K).

En línea con los análisis de estos últimos artículos, se propone una hipótesis, donde se expresa la posible reducción que supondría la adición del PEBD a una matriz conglomerante de yeso. Habrá que tener en cuenta que dicha suposición es teórica, y se supondrán capas uniformes de ambos materiales superpuestas.

Además, aunque es nuestro caso se obvia, resultaría imprescindible, como queda argumentado en el artículo de Abdelhak Badache et al., la necesidad de incorporar la porosidad del material en el estudio teórico de la conductividad térmica, para obtener resultados relevantes con suficiente fundamento. Dicho aspecto debería tenerse en cuenta, por tanto, de cara a futuras líneas de investigación que trabajen en este campo.

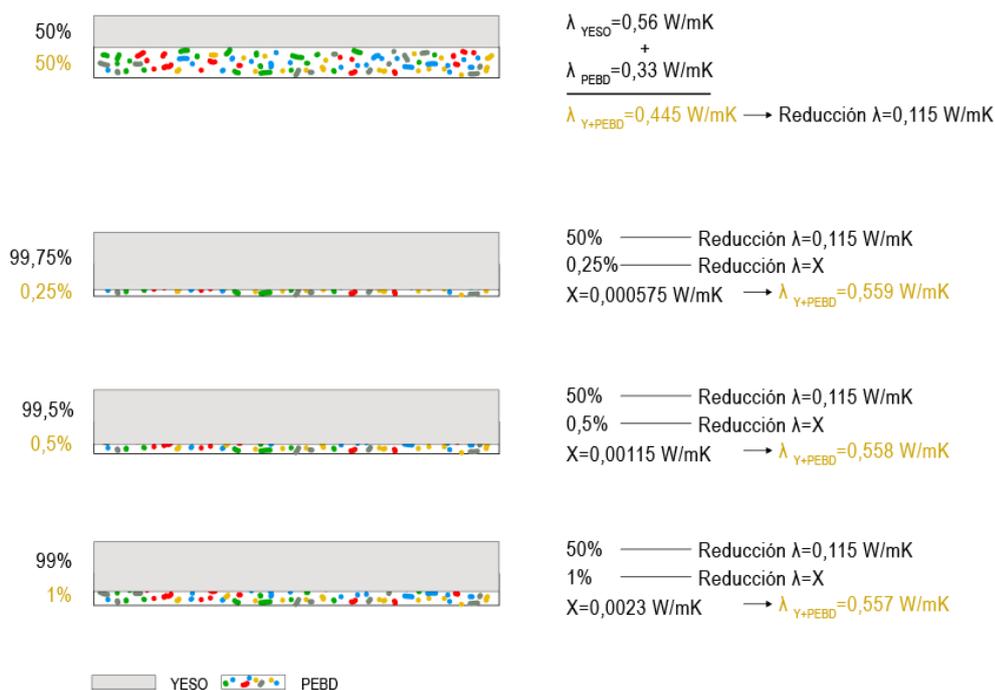


Fig. 42 Hipótesis reducción conductividad térmica del yeso con adición de PEBD. (EP)

Sobre las suposiciones que se exponen en la *Figura 42*, concluimos que a medida que se aumenta la adición de plásticos a la matriz conglomerante esta disminuye sus prestaciones como conductor térmico, es decir mejora sus propiedades aislantes.

Sin embargo, los porcentajes de dopaje estudiados no consiguen resultados relevantes en este ámbito, ya que la disminución de la conductividad térmica respecto a la muestra de referencia sería inferior al 1%. No obstante, estos resultados nos dan indicios de que el plástico como material de adición en sustitución de materias primas como el yeso, mejoraría las prestaciones térmicas del conglomerado base.

Para concluir con este apartado, exponer que actualmente, se están llevando a cabo una serie de pruebas en relación a la obtención de un aparato de medición de conductividad térmica, mediante sistema de placa caliente, que soporte las características de materiales conglomerantes como yesos y morteros, en el Centro de Investigación, Tecnología e Innovación de la Universidad de Sevilla (CITIUS), Sevilla.

Durante esta serie de pruebas se nos ofrece la oportunidad de aportar muestras para poder realizar las comprobaciones pertinentes al sistema de medición. De este ensayo no se obtienen resultados suficientemente pertinentes, debido a la ineficiente planeidad de las muestras de yeso - PEBD, que imposibilita la realización del ensayo para todos los porcentajes. No obstante, para dopaje de 0,25% obtenemos los resultados más certeros, con una conductividad térmica de 0,549 W/m k.

Al comparar la conductividad térmica de una muestra de yeso a la que se le añade un 0,25% de material polimérico PEBD, con la de la muestra de referencia sin aditivos, se observa que el valor de  $\lambda$  (W/m k) sufre un decrecimiento del 0,7%. Este hecho ratifica, por tanto, las hipótesis teóricas desarrolladas para prever el comportamiento térmico del nuevo compuesto.

# 7

## DISCUSIÓN RESULTADOS ENSAYOS

## 7. DISCUSIÓN RESULTADOS Y CONCLUSIONES ENSAYO

Para concluir con el análisis de resultados haremos a modo de conclusión sobre la discusión de resultados, un resumen de las principales propiedades del nuevo compuesto Yeso-PEBD.

Respecto a la densidad del compuesto, observamos como los mayores descensos se dan a partir del 1% de porcentaje de adición de PEBD, por lo que para conseguir resultados relevantes en este campo debemos utilizar dopajes superiores a los estudiados.

Sin embargo, respecto a las propiedades mecánicas se observa como resulta de vital importancia el proceso de elaboración de las probetas, ya que los resultados obtenidos de los ensayos son bastante dispares debido a la gran heterogeneidad observable en las muestras rotas.

Por tanto, de cara a futuras investigaciones que persigan esta línea, se debe prestar especial atención a esta fase dentro del proceso experimental. Se propone una elaboración individual de probetas, de manera que se garantice una mayor homogeneidad en las muestras, además del uso de partículas de menor dimensión, que hagan más fácil el amasado y distribución de las mismas.

Respecto a los dopajes utilizados, observamos como el aumento de adición plástica va en detrimento de las propiedades mecánicas del nuevo compuesto. No obstante, para muestras inferiores a 1%, especialmente con 0,25% de PEBD, se produce una mejora, aunque mínima, de la resistencia a flexión del material estudiado. Por ello, 0,25 y 0,5 % son los porcentajes que de manera global presentan el mejor comportamiento global respecto a capacidades mecánicas.

Por otro lado, acústicamente el compuesto Yeso-PEBD, se presenta como material con propiedades acústicas interesantes para frecuencias medias, 1000 Hz. Para esta frecuencia, el material presenta los mayores coeficientes de absorción y una sorprendente sensibilidad ante la adición de mayor o menor cantidad de plástico.

Los mayores resultados para dicha frecuencia se obtienen con porcentajes cercanos a la muestra de referencia, es decir, 0,25%, para el que la absorción prácticamente permanece inalterada, sin embargo, a medida que aumentamos la adición de plástico el coeficiente de absorción desciende.

Por otro lado, resulta característico del compuesto estudiado la inversión que sufre su capacidad de absorción acústica dependiendo de si se le somete a altas o bajas frecuencias, puesto que para las primeras el coeficiente de absorción mejora a medida que aumentamos los dopajes, así como para el caso de altas frecuencias ocurre lo contrario. Dicho aspecto sería interesante de cara a futuras investigaciones que trabajen en la búsqueda de materiales que funcionen como filtro acústico.

Por tanto, si dejamos a un lado las particularidades del material y nos centramos en las mejoras de absorción acústica, es decir, aumento del coeficiente " $\alpha$ " respecto al material de referencia, la muestra con dopaje 1% es la que mayores mejoras consigue para el caso de frecuencias medias bajas (250 y 500 Hz).

Finalmente, tras las hipótesis desarrolladas para estudiar el comportamiento térmico del compuesto Yeso-LDPE, exponemos la necesidad de aumentar los dopajes de adición, así como tener en cuenta la influencia de la porosidad en la disminución de la conductividad térmica del nuevo material propuesto.

Para concluir, podría decirse que existen dos campos principales de estudio, para aplicar las propiedades del compuesto Yeso-PEBD a un producto de uso constructivo en obras de edificación.

Por un lado, podrían explotarse las capacidades de la mezcla Yeso-PEBD con dopajes de 0,25% y 0,5%, es decir inferiores a 1%, para mejorar productos de yeso que tengan una aplicación donde las propiedades de resistencia a flexión y compresión resulten relevantes, por ejemplo, placas de yeso laminado para tabiquería o trasdosados autoportantes.

Sin embargo, existen otros aspectos a explotar del nuevo material, más interesantes que las anteriores, si tenemos en cuenta la aplicación más común del yeso en la actualidad, es decir, su uso como revestimiento con funciones de aislamiento térmico y acústico.

En esta línea, las muestras con dopajes de 1% de LDPE, son las que presentan los resultados más interesantes. Tanto acústicamente para frecuencias medias-bajas, como térmicamente, el plástico consigue aumentar las prestaciones del material como aislante, de manera que se puedan crear por ejemplo placas que necesiten menor espesor, para conseguir los mismos resultados de absorción acústica o en el caso contrario placas de mayor espesor para conseguir mejores resultados de aislamiento térmico, reduciendo al material aislante anexo.

# 8

## DISEÑO PRODUCTO PROPUESTO

## 8. DISEÑO PRODUCTO PROPUESTO

Como apartado final, con el que concluiremos la investigación desarrollada en este trabajo, expondremos la aplicación práctica que podría tener el nuevo material propuesto Yeso-PEBD en el mundo de la construcción de edificios, con relación a las líneas ya lanzadas en el apartado anterior.

Nos decantaremos por la línea de búsqueda de un producto con el que el nuevo compuesto consiga mejorar sus propiedades térmicas y acústicas. En esta línea, tomamos como referencia los paneles de revestimiento utilizados para construcción de trasdosados o falsos techos.

Como ya se referenció, para conseguir dicho objetivo, habremos de decantarnos por dopajes altos, en este caso 1%, que, aunque no mejoran las propiedades mecánicas del compuesto, sí que consiguen resultados que se mantienen dentro de los márgenes permitidos por la normativa pertinente UNE EN-520:2005+A1[32]. Se buscarán por tanto aplicaciones en las que dicha propiedad no necesite ser superior a los mínimos permitidos por normativa, para mejorar en contraposición otras propiedades del producto relacionadas con el aislamiento térmico y acústico.

En primer lugar, determinaremos las bases sobre las que se asienta el nuevo producto que propondremos, es decir, se presenta las principales propiedades que caracterizarán el nuevo compuesto Yeso-PEBD como material de construcción.

PROPIEDADES	VALOR (0%)				VALOR (1%)			
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	1206,7				1196,7			
Resistencia a flexión (N/mm <sup>2</sup> )	4,39				3,06			
Resistencia a compresión (N/mm <sup>2</sup> )	10,47				9,00			
Frecuencia(Hz)	250	500	1000	2000	250	500	1000	2000
Coefficiente absorción acústica	0,12	0,15	0,55	0,13	0,13	0,23	0,29	0,12
Coefficiente global de absorción acústica ponderado ( $\alpha_w$ )	0,4				0,4 (H)			
Transmitancia térmica (Hipótesis sin tener en cuenta porosidad) (W/mK)	0,56				0,557 (Hipótesis teórica)			

Tabla 17. Resumen propiedades de caracterización del dopaje seleccionado. (EP)

Por otro lado, debemos tener en cuenta que el compuesto Yeso-PEBD presenta un acabado heterogéneo debido a las dimensiones y distribución irregular de las partículas plásticas, por lo que, este hecho se tendrá en cuenta para buscar una aplicación práctica en la que dicha característica no sea relevante.

Teniendo en cuenta la caracterización del compuesto y tras analizar las posibles aplicaciones de estas según las ventajas y desventajas del mismo, se decide enfocar la investigación del nuevo producto a la línea de los aplacados de yeso laminado para conformación principalmente de trasdosados, aunque haremos también referencia a su aplicación para falsos techos.

Dentro de la familia de los trasdosados, encontramos tres tipos, directos, semidirectos y autoportantes, según su sistema de fijación y colocación. Para la aplicación del nuevo producto, nos decantaremos por los dos primeros, directos y semidirectos, ya que se le requiere menores prestaciones respecto a resistencia a flexión y compresión al no tener que ser autoportantes, sino que van adheridos o fijados mediante perfilera auxiliar al muro existente, solventándose de esta manera uno de los hándicaps del nuevo compuesto a base de Yeso-PEBD.

Para poder proponer un nuevo producto dentro de este sector, resulta esencial tener un conocimiento adecuado de las prestaciones que ofrecen las placas de yeso laminado que actualmente comercializan las principales empresas del mismo, como son Knauf, Placo y Pladur.

Por tanto, a continuación, se desarrollará una comparación entre diferentes tipos de placas (PYL) destinadas a la conformación de trasdosados, de cada una de las empresas y una teórica fabricada con el compuesto Yeso-PEBD. Las muestras que tomaremos de referencia de las distintas empresas serán una placa tipo estándar, otra placa a la que se le mejoran sus prestaciones acústicas y por último dos tipos de transformados de placas de yeso con aislamiento térmico/acústico. (Fig. 42)

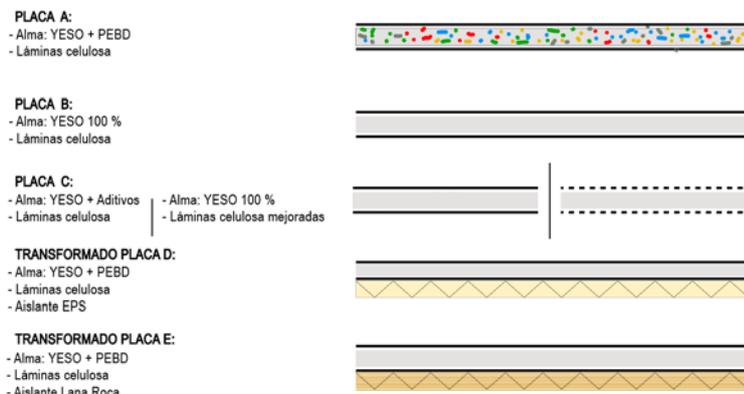


Fig. 43 Placas y transformados seleccionados para comparativa. (EP)

## TRASDOSADOS

- COMPARACIÓN CON SISTEMAS PLADUR

PLACAS DE YESO				TRANSFORMADOS PLACAS DE YESO CON AISLAMIENTO TÉRMICO/ACÚSTICO	
PROPIEDADES	Y+PEBD (1%)	PLADUR N 13	PLADUR FONIC 13	ENARIGY ISOPOP R 0,80	PLADUR LAN
Composición	Placa teórica: Alma de yeso-PEBD + láminas de celulosa	Alma yeso 100% natural + láminas celulosas especial	Alma yeso 100% natural + láminas celulosas mejoradas acústicamente	Panel N + Panel EPS	Panel N + Aislante (Lana de Roca)
Dimensiones (mm)	1200 x 2000-3200	1200 x 2000-3200	1200 x 2500-3000	1200 x 2500-2600	1200 x 2600
Espesor (mm)	12,5	12,5	12,5	40 (10 + 30)	42,5 (12,5 + 30)
Densidad aparente (Kg/m3)	1196,7	696	992	-	PYL (936) L.ROCA (90)
Peso aproximado (Kg/m2)	14,96	8,7	12,4	-	11,7
Resistencia a flexión (N/mm2)	X	>600(l) / >210(t)	>600(l) / >210(t)	>400(l) / >160(t)	>600(l) / >210(t)
Resistencia a compresión (N/mm2)	X	-	-	-	-
$\alpha_n$ 1000(Hz)	0,28	-	-	-	-
$\alpha_w$	0,4	-	-	-	-
$\lambda$ (W/mK)	Hipótesis teórica	<0,25	<0,25	-	<0,25 + 0,033
Reacción al fuego	X	A2-s1, d0	A2-s1, d0	B-s1, d0	A2-s1, d0
Dureza superficial (mm)	X	$\varnothing < 20$	$\varnothing < 15$	-	$\varnothing < 20$
Tipo placa según UNE EN-520	A	A	A	Clase 1	Clase 2
Mejoras respecto a la placa estándar	Estándar	Estándar	Acústicas	Térmicas	Acústicas y térmicas

Tabla 18. Comparativa entre producto Yeso-PEBD y placas yeso para trasdosados sistemas Pladur. (EP)

- COMPARACIÓN CON SISTEMAS PLACO

PLACAS DE YESO				TRANSFORMADOS PLACAS DE YESO CON AISLAMIENTO TÉRMICO/ACÚSTICO	
PROPIEDADES	Y+PEBD (1%)	PLACO BA STD	PLACOPHONIQUE	PLACOMUR PMS	
Composición	Placa teórica: Alma de yeso-PEBD + láminas de celulosa	Alma yeso 100% natural + láminas cartón	Alma yeso natural aditivada + láminas cartón	Panel STD + Panel EPS	
Dimensiones (mm)	1200 x 2000-3200	1200 x 2000-3200	1200 x 2000-3000	1200 x 2500-2600	
Espesor (mm)	12,5	12,5	12,5	40 (9,5 + 30)	
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	1196,7	664	960	PYL (842) EPS (15)	
Peso aproximado (Kg/m <sup>2</sup> )	14,96	8,3	12,00	8	
Resistencia a flexión (N/mm <sup>2</sup> )	X	>550(l) / >210(t)	>550(l) / >210(t)	>400(l) / >160(t)	
Resistencia a compresión (N/mm <sup>2</sup> )	X	-	-	-	
$\alpha_n$ 1000(Hz)	0,28	-	-	-	
$\alpha_w$	0,4	-	-	-	
$\lambda$ (W/mK)	Hipótesis teórica	0,25	0,25	0,25+0.038	
Reacción al fuego	X	A2-s1, d0	A2-s1, d0	A2-s1, d0	
Dureza superficial (mm)	X	-	$\emptyset < 15$	-	
Tipo placa según UNE EN-520	A	A	I-D-F	Clase 1	
Mejoras respecto a la placa estándar	Estándar	Estándar	Acústicas	Térmicas	

Tabla 19. Comparativa entre producto Yeso-PEBD y placas yeso para trasdosados sistemas Placo. (EP)

- COMPARACIÓN CON SISTEMAS KNAUF

PLACAS DE YESO				TRANSFORMADOS PLACAS DE YESO CON AISLAMIENTO TÉRMICO/ACÚSTICO	
PROPIEDADES	Y+PEBD (1%)	KNAUF STANDARD KS	KNAUF ACUSTIK	KNAUF POLYPLAC EPS 30	KNAUF WOOLPLAC LR
Composición	Placa teórica: Alma de yeso-PEBD + láminas de celulosa	Alma yeso 100% natural + láminas cartón	Alma yeso natural aditivada + láminas cartón	Panel KS + Panel EPS	Panel KS + Aislante (Lana de Roca)
Dimensiones (mm)	1200 x 2000-3200	1200 x 2000-3200	1200 x 2600	1200 x 2500-2600	1200 x 2600
Espesor (mm)	12,5	12,5	12,5	40 (9,5 + 30)	42,5 (12,5 + 30)
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	1196,7	>630	>860	PYL (779) EPS (15)	PYL (728) LANA ROCA (90)
Peso aproximado (Kg/m <sup>2</sup> )	14,96	8	11,0	-	-
Resistencia a flexión (N/mm <sup>2</sup> )	X	>560(l) / >210(t)	>560(l) / >210(t)	>400(l) / >160(t)	>400(l) / >160(t)
Resistencia a compresión (N/mm <sup>2</sup> )	X	>3,5	>3,5	-	-
$\alpha_n$ 1000(Hz)	0,28	-	-	-	-
$\alpha_w$	0,4	-	-	-	-
$\lambda$ (W/mK)	Hipótesis teórica	0,21	0,25	0,21+0.038	0,25+0,035
Reacción al fuego	X	A2-s1, d0	A2-s1, d0	B-s1, d0	A2-s1, d0
Dureza superficial (mm)	X	$\emptyset < 20$	$\emptyset < 15$	-	$\emptyset < 20$
Tipo placa según UNE EN-520	A	A	I-D-F	Clase 1	Clase 2
Mejoras respecto a la placa estándar	Estándar	Estándar	Acústicas	Térmicas	Acústicas y térmicas

Tabla 20. Comparativa entre producto Yeso-PEBD y placas yeso para trasdosados sistemas Knauf. (EP)

De esta comparativa pese a tomar como referencia de aplicación del nuevo producto una hipótesis de placa (PYL+PEBD) teórica, podemos extraer información relevante.

En primer lugar, si prestamos atención a la estructura de las tablas comparativas (Tabla 18,19,20) para seguir un orden, observamos que, tomando placas de igual espesor de los distintos fabricantes, la densidad aparente, al igual que el peso de estas, son más bajos que los de la placa teórica. Este fenómeno se debe a que, durante el proceso de fabricación de placas de yeso laminado, se añaden una serie de aditivos, entre ellos un espumante que, junto con el yeso natural, conforman el alma de las mismas. De esta forma, se consigue reducir tanto el peso, como la densidad de las placas, sin que esto vaya en detrimento de sus propiedades mecánicas, hecho que facilitará su puesta en obra, así como la disminución de las cargas aplicadas a la estructura.

Respecto al peso de las placas, se da un hecho interesante en el caso de los transformados de placa mediante la adherencia de un panel de EPS. En este caso, la rigidez del panel aislante permitirá reducir el espesor de la placa de yeso laminado, obteniéndose al mismo tiempo mejoras relevantes respecto a las prestaciones térmicas.

Para poder comparar de forma verosímil las prestaciones mecánicas del producto propuesto frente a los actualmente comercializados deberían haberse realizado una serie de ensayos similares a los descritos durante esta investigación, a una muestra tipo placa (Fig. 44), de acuerdo con la norma UNE EN-520:2005 +A1, para que los resultados fuesen comparables. El desarrollo del citado procedimiento resulta imposible, debido a la carencia de tiempo. En vista a futuras líneas de investigación sobre la temática, dichos ensayos serán el siguiente paso a ejecutar.

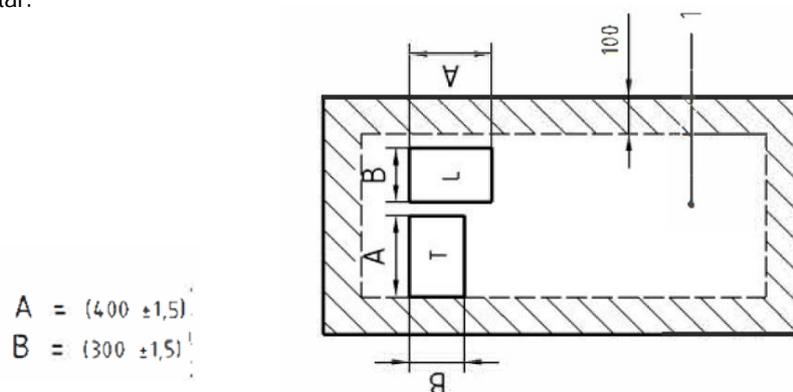


Fig. 44 Ejemplo muestra tipo placa para ensayo a flexión. Fuente: Norma UNE EN-520:2005

Por otro lado, pese a no poder recabar datos de los distintos fabricantes respecto a la absorción acústica de los distintos tipos de placas, sí que conocemos que, para mejorar dichas prestaciones de la placa estándar, se aplican aditivos al alma de yeso o bien se da tratamiento especial a las láminas de celulosa que emparedan al alma. Otra opción, es la de utilizar transformados de placas con aislamiento. En este caso, vemos que los mejores resultados se obtienen al usar lana de roca, adherida al panel estándar sin variar el espesor del mismo.

Teniendo en cuenta que el compuesto Yeso-PEBD presenta mejoras de absorción acústica, así como indicios de disminución de la conductividad térmica respecto del material de referencia, yeso sin aditivos, se abre un interesante abanico de ventajas, ya que podríamos utilizar paneles sin aditivos o tratamiento mínimo para conseguir las mismas prestaciones que los paneles comercializados. Así como, la posibilidad de reducir el espesor de dichas placas o del propio aislante.

Las mejoras más representativas que se conseguirían con la utilización del nuevo producto tendrían su mayor repercusión en el caso de los transformados de placas de yeso con aislamiento de EPS. Este material presenta muy buen comportamiento como aislante térmico, ya que su conductividad térmica es muy baja, sin embargo, no se comporta tan bien como aislante acústico. Este hecho se vería remitido en el caso de utilizar para la conformación del sistema placa-aislante, una placa de yeso laminado con adición de PEBD, ya que mejoraría la absorción acústica del sistema.

Finalmente, añadir que para la caracterización completa del producto que se está proponiendo resultaría esencial realizar todas las pruebas descritas en la norma UNE EN-520:2005+A1, a una muestra tipo placa o norma UNE EN-13950 [33], en caso de transformados de placa de yeso. De entre los ensayos destacaríamos como esenciales además de los descritos anteriormente, aquellos que califiquen la reacción al fuego y la dureza superficial de las placas.

## FALSOS TECHOS

La aplicación del nuevo compuesto Yeso-PEBD puede aportar mejoras importantes en su aplicación como falsos techos. Por ello, de la misma forma que se trabajaron los trasdosados, se desarrollará a continuación una comparativa entre diferentes tipos de placas de yeso laminado comercializadas por las principales empresas del sector Pladur, Placo y Knauf, y una teórica compuesta por un alma de Yeso-PEBD a la que se adhieren a ambas caras láminas de celulosa.

Las muestras que se toman como referencia de las distintas empresas serán placas para techos acústicos con distinto tipo de perforaciones, sin ningún tipo de material aislante adherido (Fig. 45).



Fig. 45 Placas yeso laminado para falso techo seleccionados para comparativa. (EP)

PROPIEDADES	Y+PEBD (1%)	PLADUR FON R		PLACO RIGITONE	KNAUF CKA
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	1196,7	-		-	>630
Resistencia a flexión (N/mm <sup>2</sup> )	X	-		>400(l) / >160(t)	>400(l) / >160(t)
Resistencia a compresión (N/mm <sup>2</sup> )	X	-		-	3,5
$\alpha_w$	0,4	0,55 (LM)	0,45 (LM)	0,50 (LM)	0,60
$\lambda$ (W/mK)	Hipótesis teórica	0,25	0,25	0,25	0,21
Porcentaje perforación	Sin perforaciones	11,20 % (Alternadas)	8,10 % (Aleatorias)	13,10% (Alternadas)	13,10% (Alternadas)

Tabla 21. Comparativa entre producto Yeso-PEBD y placas yeso laminado para falsos techos de marcas comerciales. (EP)

- PLADUR FON (plenum 200 mm): placa 1200 x 2400 e=13mm (Perforaciones circulares 8-12 mm)
- PLACO RIGITONE (plenum 200 mm): placa 2000 x 1200 e=12,5mm (Perf. circulares 8-12 mm)
- KNAUF CLEANEO AKUSTIC: placa 2000 x 1200 e=12mm (Perforaciones circulares 8-12 mm)

El dato más relevante que nos descubre la comparativa entre los diferentes tipos de placa seleccionadas, destinadas a configuración de falsos techos modulados, y el nuevo compuesto (Tabla 21), es el hecho de que la matriz de yeso a la que se añade PEBD en porcentajes de un 1% en peso, poseería unas propiedades de absorción acústica superiores al material de referencia, sin aditivos, ni perforaciones algunas.

Observamos como el coeficiente  $\alpha_w$  para placas de Yeso-PEBD sin perforaciones es 0,4. Si tenemos en cuenta que el coeficiente más alto al que se llega con las placas perforadas estándar que existen actualmente en el mercado, no superan un coeficiente  $\alpha_w = 0,6$ , podemos suponer que, si elaborásemos una serie de placas del nuevo compuesto, de igual espesor y criterio de perforación que el resto de las placas, los resultados serían bastante satisfactorios.

Para conseguir mejores prestaciones, hemos de decir que las perforaciones influyen en gran medida en el aumento de la absorción acústica de las placas y se consiguen mejores resultados a media que estas se hacen más grandes, uniformes y aumenta la distancia entre ellas, todo ello sin superar las limitaciones establecidas.

Por otro lado, pese a no tenerse datos suficientemente certeros sobre la capacidad térmica del nuevo compuesto, la hipótesis teórica elaborada, nos da indicios de las mejoras que la adición de PEBD generaría, respecto a la disminución de la conductividad térmica del material estudiado.

De este análisis podemos concluir que las prestaciones del nuevo material Yeso-PEBD, nos permitirían crear placas destinadas a falso techo con un espesor inferior a las comercializadas actualmente, o bien reducir e incluso eliminar la incorporación de aislamiento sobre estas, para conseguir los mismos resultados térmicos y acústicos. Este hecho, provocaría la disminución de los espesores de los falsos techos, en aumento del espacio libre de las edificaciones.

En esta línea, cabría mencionar que la propuesta del producto resultante de esta investigación podría tener cabida, incluso aventuraríamos a decir que sería de gran aceptación debido a las posibilidades que ofrece, dentro de un sector amplio de la construcción, como es la rehabilitación energética.

Como ya comentábamos, la capacidad de conseguir una mayor absorción acústica con un menor espesor, así como la mejora de las prestaciones de aislamiento térmico del material a medida que añadimos plástico a este serían puntos clave para potenciar el "Sistema de rehabilitación mediante trasdosado o aislamiento interior ". Este pese a ser menos eficiente que el sistema SATE, resulta la única solución factible en el caso de fachadas protegidas o intervenciones particulares en viviendas sin necesidad de intervenir en el edificio completo, en caso de viviendas plurifamiliares. Casos en los que resulta indispensables actuaciones que consigan los mejores resultados en el menor espacio posible.



# 9

## DISCUSIÓN CONCLUSIONES PRODUCTO

## 9. DISCUSIÓN RESULTADOS Y CONCLUSIONES SOBRE EL PRODUCTO

Desde los inicios de este trabajo de investigación se ha pretendido concienciar de la importancia de reducir las cantidades abrumadoras de residuos plásticos que inundan nuestro planeta, en especial, los millones de toneladas de bolsas que están convirtiendo nuestros mares en verdaderas islas de plástico.

En detrimento de este fenómeno se pretende aportar una forma de reutilización de los residuos plásticos derivados del PEBD, como son las bolsas de plástico, mediante la cual se consiga aprovechar verdaderamente este tipo de desecho, fomentando un reciclaje de calidad, ofreciéndole una segunda vida.

En línea con el valor ecologista que persigue este estudio sobre la creación de nuevos materiales de construcción mediante el aprovechamiento de residuos plásticos, la aplicación real que se pretende dar al nuevo producto Yeso-PEBD en forma de placas de yeso laminado, irá muy ligado a la promoción de edificios sostenible, mediante la mejora energética de edificaciones existentes.

El sector de la construcción en la actualidad ha dejado de estar liderado por la edificación de nueva planta, para pasar a la cabeza de este, la rehabilitación de edificios existentes.

Este suceso estuvo principalmente fomentado por la crisis que sobrevino al sector de la construcción en 2013 y que se extiende hasta la actualidad. No obstante, a raíz de esta situación, las investigaciones sobre edificación sostenible sufrieron un gran ascenso.

Ante la imposibilidad de construir nueva edificación debido a la situación económica, se potenciará la rehabilitación energética de edificios existente, fomentando las líneas investigadas sobre sostenibilidad de la edificación y la mejoras que este hecho genera respecto al planeta.

Serán las edificaciones y en especial las viviendas construidas en los 70, sobre las que se ponga el principal foco de atención. Estas según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) suponen el 60% de las más de 25 millones de viviendas que se registraron en España en 2013. La falta de concienciación sobre eficiencia energética y la inexistencia de normativa que obligase al aislamiento de las viviendas, provoca que las edificaciones de esta época supongan actualmente una verdadera ruina energética.

En España, se están tomando numerosas medidas, apoyadas económicamente por el Gobierno, que fomenten dicha rehabilitación de manera que se consiga llevar los límites de confort de la vivienda a valores aceptables por la normativa actual en vigor, el Código Técnico de la Edificación (CTE).

La mayoría de las actuaciones pasan por el uso del sistema SATE, es decir, sistema para el aislamiento térmico por el exterior, pues es el que consigue mejores rendimientos energéticos, al ser su actuación global para toda la fachada del edificio.

No obstante, como ya comentábamos son numerosos los edificios de esta época o anteriores, que poseen cierto grado de protección que impide cualquier intervención sobre fachada. Además, hay usuarios que deciden mejorar la eficiencia energética de su vivienda, sin por ello obligar a hacerlo al resto de viviendas del conjunto plurifamiliar. En este caso, existiría la opción de incorporar el sistema de aislamiento de fachada mediante trasdosado interior (SAETI).

Este, pese a no ser tan eficiente como el SATE, obtiene grandes mejoras energéticas. Sus principales desventajas serán los puentes térmicos debido a las discontinuidades creadas por los elementos estructuras, sin embargo, es un aspecto que únicamente necesita mayor estudio, pero se puede subsanar sin mucha dificultad. Por otro lado, encontramos la pérdida de espacio útil al incorporar trasdosados por el interior.

Si a esto le unimos aquellas rehabilitaciones energéticas y acústicas que pretenden aplicar el sistema "Caja dentro de caja", es decir revestir todos los paramentos tanto verticales, como horizontales, para así poder conseguir excelentes condiciones de confort acústico y térmicos, la problemática espacial aumenta y cada centímetro es bastante relevante.

Además, si analizamos las viviendas anteriores a la entrada en vigor del CTE, se detecta que los mayores problemas de estas se deben a la ausencia de aislamiento. Por un lado, observamos los derivados de la inexistencia de aislamiento térmico, cuya máxima repercusión es el derroche de energía que se produce a través de la envolvente, generándose un incremento de los gastos de climatización y acondicionamiento de

recintos habitados, así como una disminución notable del confort de estos. Por otro lado, detectamos una importante propagación de ruido aéreo entre viviendas por falta de aislamiento acústico adecuado, siendo la mayoría de este tipo de ruidos emitidos a medias bajas frecuencias, como son la voz humana (máxima energía entre 400-800 Hz), instrumentos musicales (50-1500 Hz),...[34].

Llegados a este punto, resulta latente la necesidad de utilizar sistemas de trasdosado para conseguir un correcto funcionamiento energético de este tipo de edificaciones, basado en la idea de conseguir mejoras respecto a acondicionamiento térmico y acústico, consumiendo el menor espacio posible.

Entraría por tanto en juego la aplicación de placas de Yeso-PEBD laminado para la configuración de trasdosados directos y semidirectos, debido a la disminución de las prestaciones mecánicas del nuevo material. La colocación mediante peldadas de adhesivo en cuadrícula de 40x40 cm directamente sobre el muro existente de las placas en el caso de trasdosados directos (Fig. 46), así como la fijación mecánica de las placas a perfiles omegas distanciados 40-60cm, previamente anclados al muro existente (Fig. 47), permite suplir la pérdida de resistencia a flexión de las nuevas placas.

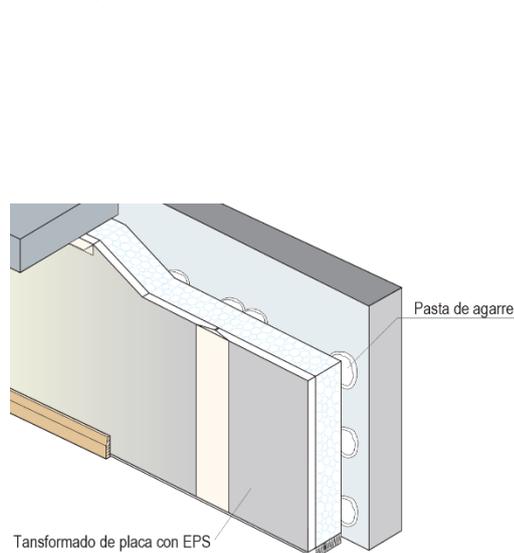


Fig. 46 Trasdoso directo.  
Fuente: Guía Instalación Pladur

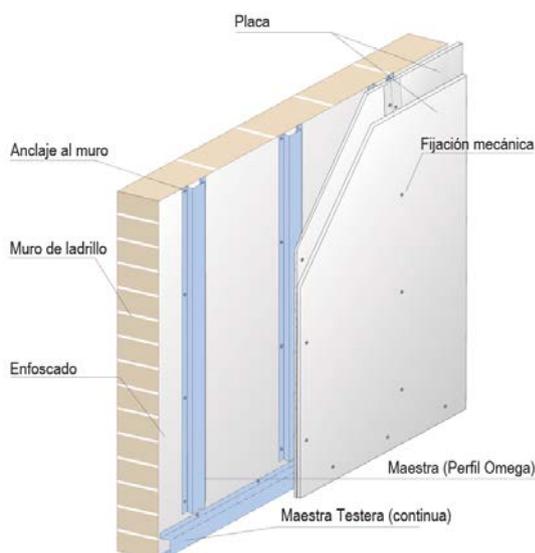


Fig. 47 Trasdoso semidirecto.  
Fuente: Guía Instalación Pladur

En el caso de sistemas directos, comúnmente son utilizadas placas de yeso laminado con alma aditivada o transformados de placas con aislamiento polimérico de EPS, consiguiéndose mejores resultados con estos últimos. Las ventajas de este tipo de trasdosado radican en la disminución del espacio ocupado, ya que se colocan directamente sobre los muros existentes mediante adhesivos y la eliminación de puentes térmicos. Sin embargo, su principal desventaja frente a los trasdosados semidirectos es que no ofrece espacio para el paso de las nuevas instalaciones, obligando a la ejecución de rozas en el muro existente.

Por su parte, los trasdosados semidirectos permiten ser colocados sobre muros cuyo acabado sea deficiente o presente pequeñas irregularidades que no garantizan la correcta adherencia de la pasta de agarre. Esta opción permite la creación de cámaras aireadas para la ocultación temporal de humedades o evitar la posible aparición de estas. El tipo de placa más utilizada en este caso son las de yeso con alma aditivada y transformados de placa con aislamiento de lana de roca, con lo que se consigue un sistema con elevadas prestaciones frente al fuego debido al comportamiento ignífugo de la lana mineral.

Una vez expuestas las ventajas y desventajas de ambos sistemas, podemos sacar una serie de conclusiones a mejorar posteriormente con el nuevo sistema de trasdosado con placas de Yeso-PEBD.

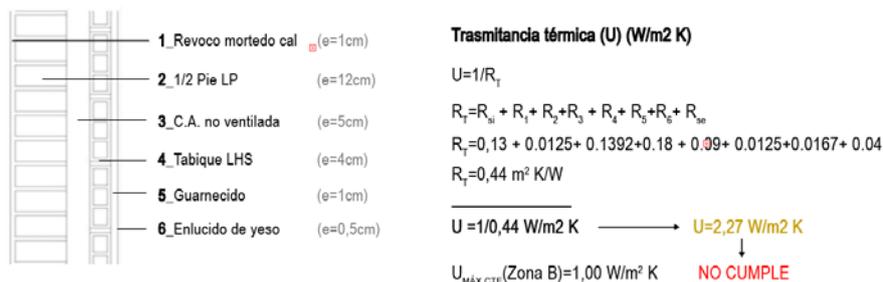
Tras el análisis comparativo realizado en el apartado anterior, verificamos que el sistema que presenta mejor comportamiento para acondicionamiento acústico y térmico sería el trasformado de placa con aislamiento de lana de roca. Sin embargo, es muy común que en el tipo de edificaciones con las que se está trabajando, años 70 o anteriores, las humedades estén muy presentes en los muros de fachada, provocando pérdidas de las capacidades del aislamiento de lana de roca, ya que este se clasifica como hidrófilo.

En este sentido, sería mucho mejor colocar un aislante de tipo polimérico como es el EPS, no hidrófilo, que pese a poseer una reducida conductividad térmica, inferior a la lana mineral, posee menor capacidad de aislamiento acústico que la lana mineral.

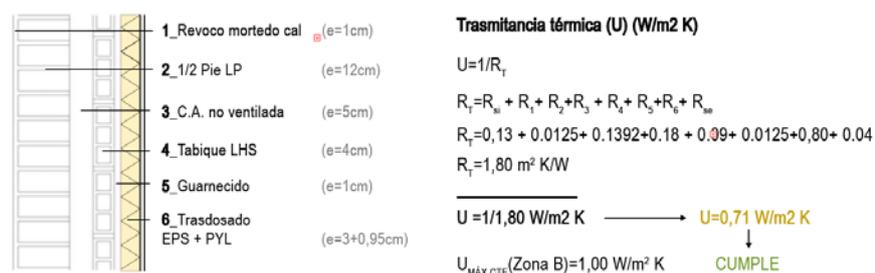
Al hilo de estas argumentaciones, podríamos hacer una serie de hipótesis de las posibles soluciones del nuevo sistema de aplacado de yeso-PEBD en forma de trasformado de placa con distinto tipo de aislamiento, aplicados a un mismo tipo de muro característico de la época de las edificaciones tratadas, de manera que evaluamos las posibles mejoras que conseguiríamos y la viabilidad de las mismas.

Para ello, tomaremos distintos ejemplos de muros, a los cuales se les calculará la transmitancia térmica y la variación de la misma tras la aplicación de la unidad de trasdosado directo y semidirecto, tomando como referencia el Catálogo de Rehabilitación Energética elaborado por el Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco [35]. Dichas soluciones se calcularán para una zona climática B, Ej.: Sevilla, de acuerdo con las indicaciones del CTE DB-HE 1 [36] y el Documento de Apoyo al DB HE-1 [37].

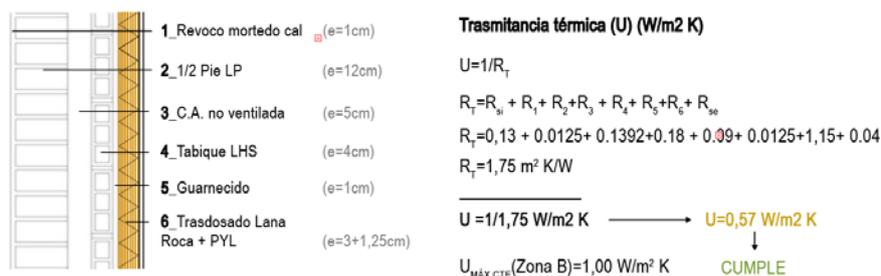
- **FACHADA DOBLE HOJA CON CÁMARA NO VENTILADA (CNV)**



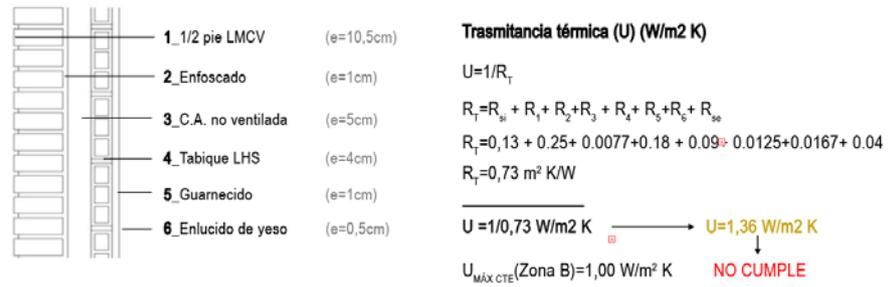
- **FACHADA DOBLE HOJA CON CNV+ TRASDOSADO DIRECTO**



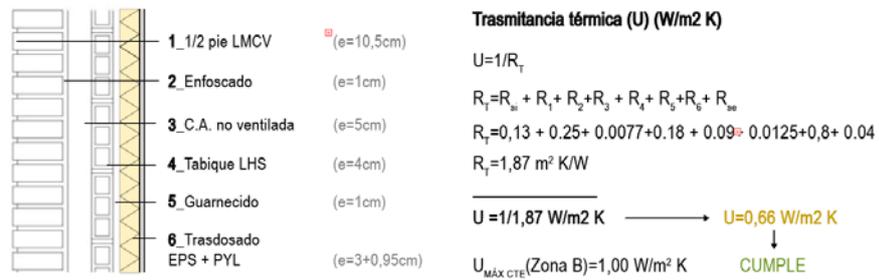
- **FACHADA DOBLE HOJA CON CNV+ TRASDOSADO SEMIDIRECTO**



- **FACHADA CARA VISTA, DOBLE HOJA CON CNV**



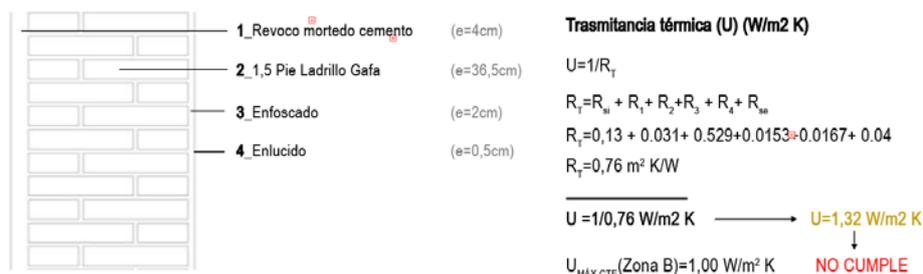
- **FACHADA CARA VISTA, DOBLE HOJA CON CNV+ TRASDOSADO DIRECTO**



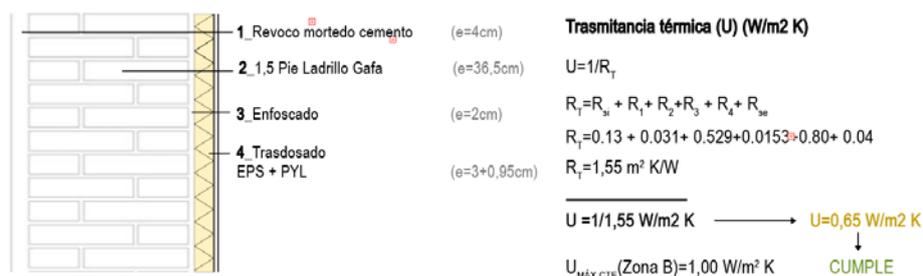
- **FACHADA CARA VISTA, DOBLE HOJA CON CNV + TRASDOSADO SEMIDIRECTO**



- **FACHADA 1 HOJA: 1,5 PIE LADRILLO GAFA**



- **FACHADA 1 HOJA: 1,5 PIE LADRILLO GAFA + TRASDOSADO DIRECTO**



- **FACHADA 1 HOJA: 1,5 PIE LADRILLO GAFA + TRASDOSADO SEMIDIRECTO**

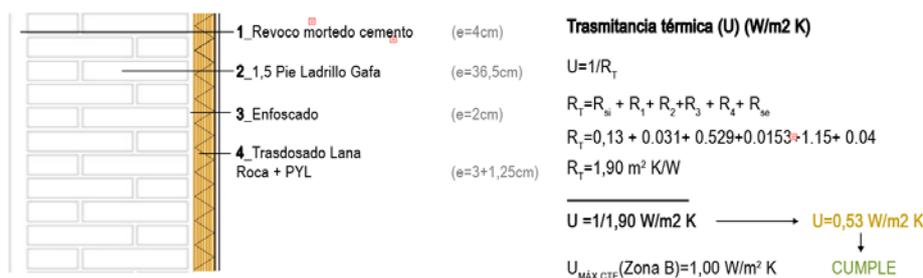


Fig. 48 Cálculo de transmitancias de distintas soluciones de fachada, para comparar la variación de estas tras la incorporación de trasdosados directos. Fuente: Elaboración propia

Con este análisis comparativo, queda constatado en primer lugar la deficiencia energética que presentan las fachadas de edificaciones anteriores a la entrada en vigor del CTE, así como las notables mejoras que se consiguen con la aplicación de un sistema de trasdosado directo o semidirecto, sin el cual no cumplirían las exigencias mínimas respecto a transmitancia térmica requeridas por normativa para garantizar mínimo confort.

Se observa como el utilizar un aislante natural, como la lana de roca, se consigue mejor comportamiento de la fachada, puesto que la transmitancia térmica del conjunto desciende más del 50% respecto a la solución original.

Teniendo en cuenta dichos resultados, podríamos configurar hipótesis que explicasen el posible funcionamiento del conjunto muro-trasdosado al aplicar la nueva solución basada en transformados de placas de yeso-PEBD con aislamiento.

Para ello, debido al buen funcionamiento que presentan los transformados con lana de roca que se comercializan actualmente, nos centraremos en mejorar las prestaciones que ofrecen los transformados de placas de yeso laminado con aislamiento polimérico, EPS.

Los principales objetivos respecto a la mejora de capacidades de este tipo de sistema recaen en la necesidad de aumentar su coeficiente de absorción acústica, así como la disminución del espesor del panel aislante de EPS, sin perder prestaciones.

Una de las conjeturas que podríamos desarrollar consistiría en la sustitución de la placa de yeso laminado que conforma el sistema de trasdosado directo por otra cuya alma esté compuesta por el nuevo material Yeso-PEBD emparedada por láminas de celulosa, de igual espesor (e=9,5 mm), a la que se adhiere un panel de EPS (e=30mm).

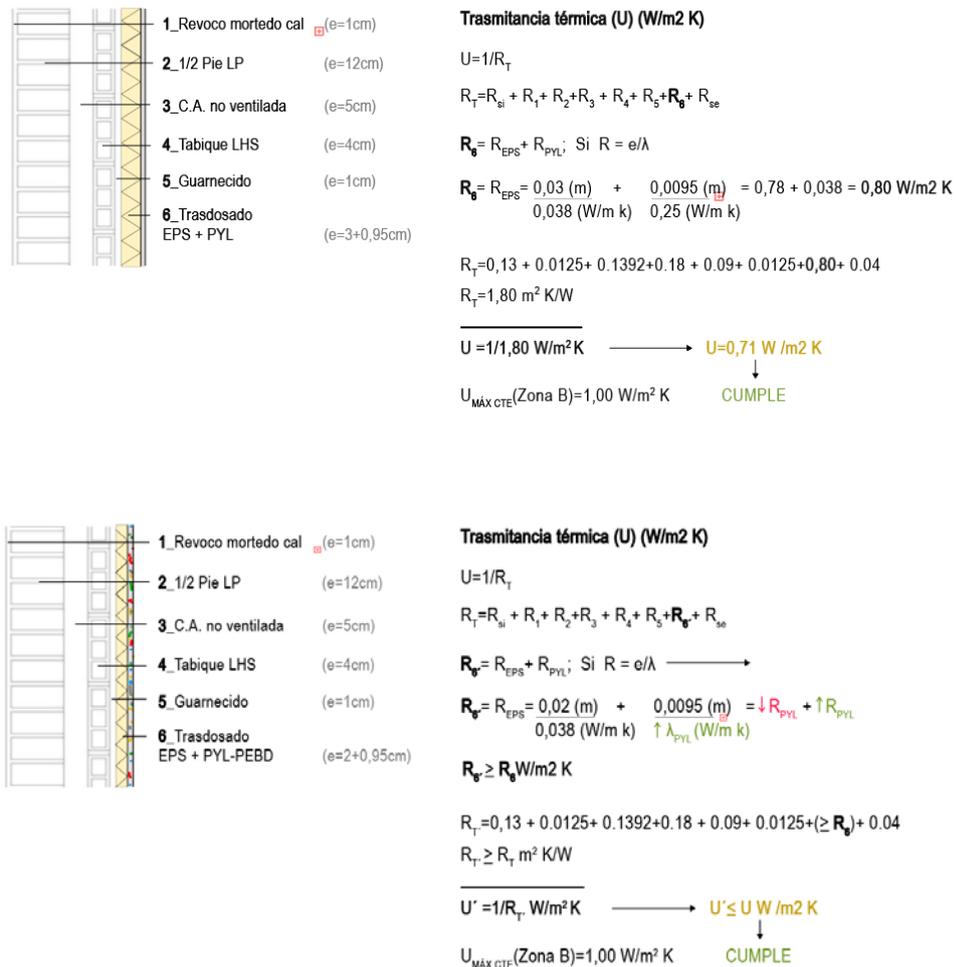


Fig. 49 Comparativa solución trasdosado utilizando transformado de yeso convencional con EPS y otro que utiliza placas de Yeso-PEBD. (EP)

Tomando como referencia los análisis comparativos desarrollados, los resultados que obtendríamos, resumidos en la Fig. 49, serían un mayor descenso de la transmitancia térmica del conjunto muro-trasdosado, ya que además del aporte de resistencia térmica que supone el EPS, ha de considerarse que el descenso de conductividad térmica que se prevé para el nuevo compuesto Yeso-PEBD generará una mayor resistencia térmica del material, respecto a las placas de yeso laminado de referencia.

Además, tal y como se ha verificado con los ensayos acústicos, el nuevo producto a base de Yeso-PEBD ofrece una mayor absorción acústica, lo cual sería una aportación bastante relevante en este tipo de aplicaciones, ya que mejoraría las prestaciones del sistema, que presentaba carencias respecto a acondicionamiento acústico, debido a la baja absorción acústica del EPS, en comparación con materiales de origen natural, como la lana de roca.

Por otro lado, tal y como citábamos, la transmitancia térmica que se consigue con el conjunto muro-trasdosado está muy por debajo del límite establecido por el CTE DB-HE, 1,00 m<sup>2</sup> K/W, por lo que contamos con un margen holgado que nos permitiría reducir el espesor del material aislante, EPS, para una placa de yeso-PEBD de igual espesor que en los casos estudiados (e=9,5 mm). Este hecho, pese a no conseguir

mejoras respecto a la transmitancia del conjunto original e incluso pudiendo aumentarla mínimamente, quedaría compensado por la reducción de producción de EPS, material polimérico de primera generación.

Por último, para concluir las hipótesis sobre el funcionamiento del nuevo producto en su aplicación como trasdosado directo y semidirecto, comentar que para trasdosados semidirectos conformados por transformados de placas de yeso-PEBD con aislamiento de lana de roca, la operación más interesante consistiría en la reducción del espesor de la placa de yeso, manteniendo el mismo espesor de aislamiento. De esta manera, conseguiríamos igualdad de prestaciones térmicas respecto al sistema original, así como mejoras en materia de absorción acústica debido a la aportación del nuevo material Yeso-PEBD. Además, todas las teorías descritas, tienen en común la reducción del espacio consumido por el sistema de trasdosado.

La disminución de la conductividad térmica, así como la mejora de la capacidad de absorción sonora a medias bajas frecuencias del nuevo compuesto, respecto a la matriz de yeso de referencia, supondrá una interesante aportación, que se verá apoyada por la conformación de un material más ligero. Este aspecto resulta interesante a la hora de aplicarlo a obras de rehabilitación, ya que en este tipo de intervenciones se actúa sobre un edificio existente, en condiciones de conservación más o menos deficientes, del que no tenemos certeza exacta de las nuevas cargas que pueda soportar. Por ello, en obras de este tipo siempre se aplican soluciones aligeradas de manera que no se sobrecargue el edificio y solo haya que reforzar este cuando sea realmente necesario.

Las teorías desarrolladas para los trasdosados podrían extrapolarse también al caso de los falsos techos. De manera superficial, sin entrar mucho en material podemos comentar que, en el caso este tipo de solución de revestimiento para techos, se consiguen mejores resultados a medida que aumentamos el plenum o cámara de aire. Esto resulta difícil en rehabilitación de viviendas donde la altura libre no es mucho mayor de 2,7 m. Por tanto, la reducción del espesor de las placas conformadas por Yeso-PEBD permitiría, pese a mantener el mismo espesor de aislamiento, disminuir el espesor de la placa, aumentando así el espesor del plenum, para obtener así mejores resultados.

Otra opción, sería mantener el mismo espesor que las placas convencionales, lo que permitiría disminuir o incluso eliminar el material aislante, descendiendo en este sentido el grosor del falso techo y la posibilidad de aumento del espesor de la cámara de aire sobre este, consiguiendo resultados óptimos de confort.

Para concluir, expondremos el progreso que supondría la incorporación del nuevo producto al sector de la construcción, ya que, a parte de las mejoras energéticas descritas anteriormente, la reutilización de un desecho tan abundante en el planeta para la fabricación de derivados de yeso implicaría una reducción de costes bastante significativa.

Datos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) revelan que, en los últimos datos cotejados, 2013, la obtención de materia prima, es decir yeso a pie de cantera, supone un coste de 7,03 €/t, incrementándose este valor en caso de exportación del material a 85,74 €/t. Si a esto le añadimos los gastos de transporte y procesamiento de la materia prima, para obtener productos derivados, como placas de yeso laminado para trasdosados o falsos techos, obtenemos un coste de 143,56 €/100 m<sup>2</sup>, precio que se acrecienta si hablamos de importación, 280,18 €/100 m<sup>2</sup> [38].



Fig. 50 Extracción del mineral de yeso en cantera "Los Yesares", Sorbas (Almería). Fuente: Placo

De este análisis estadístico obtenemos que, para la fabricación en España de una placa de yeso laminado estándar, de dimensiones 1200 x 2000 mm y e=12,5 mm, el coste total sería aproximadamente 3€. Si desglosamos este importe, tendríamos que la extracción de la materia prima supone 0,15 €, mientras que el transporte desde la cantera hasta la planta de producción y el tratamiento de materia prima para la elaboración de las placas tendría un valor de 2,8 €.

Finalmente, tal y como nos revelan datos extraídos de la empresa Placo, la placa llegaría a mercado con un valor de entre 5,25-11,05 €/ud.

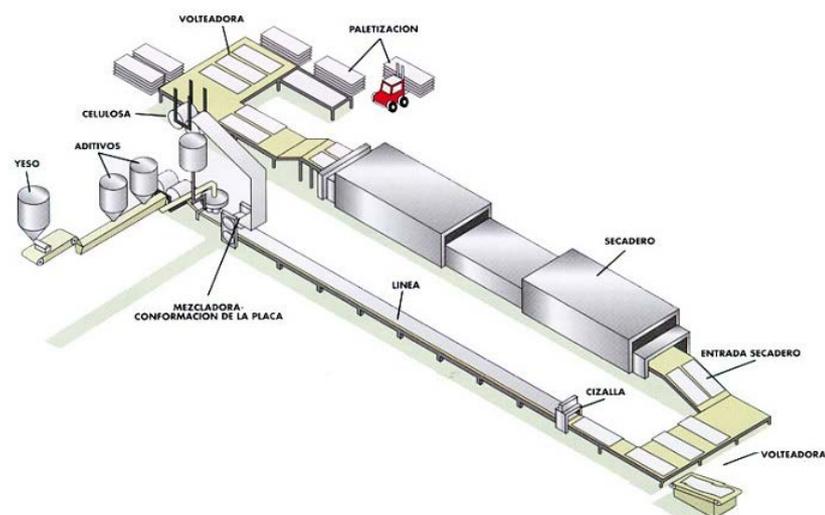


Fig. 51 Proceso industrial de fabricación en continuo de placas de yeso laminado. Fuente: Placo

Por tanto, teniendo en cuenta que el nuevo producto que se propone necesita para su producción menor cantidad de materia prima, ya que parte de esta se sustituye en peso por residuos de PEBD proveniente de bolsas de plástico, los costes de producción descenderán. El uso de uno de los residuos más abundantes a nivel mundial, cuyo reciclaje es prácticamente nulo con relación a su producción, en sustitución de materia prima, ofrece la ventaja de gastos de producción prácticamente nulos, puesto que no se necesita extraer, simplemente triturarlo para obtenerlo en forma de partículas, para su correcta mezcla con la matriz conglomerante.

Al mismo tiempo, si se consiguen reducir los costes de producción de una placa de yeso laminado estándar, su precio de mercado descenderá, sin ir esto en detrimento de las empresas, ya que se seguiría consiguiéndose el mismo margen de ganancias.

Finalmente, concluiremos con las ventajas medioambientales que supondrían la fabricación de este nuevo producto a base de Yeso y PEBD. El utilizar como material de adición en sustitución parcial de un mineral, como es el yeso, cuando trabaja como una matriz conglomerante, uno de los residuos plásticos más abundantes del planeta, las bolas de plástico (PEBD), supondrá una mejora ambiental de magnitudes indescriptibles.

Buscar un nuevo uso a esos millones de toneladas de bolsas que inundan nuestros mares reduciría el impacto ambiental que la producción de plástico está provocando en el planeta. Al mismo tiempo, con la disminución de la cantidad de yeso necesario para la fabricación de aplacados, se reduciría la producción de este, disminuyéndose por tanto la emisión de gases de efecto invernadero, derivador de su cocción con gas natural, así como la reducción de este recurso no renovable.

Si a este hecho le añadimos la posibilidad de reducir los espesores de aislamiento al utilizar un polímero de primera generación como es el EPS, estaríamos minorando las toneladas que se producen de este tipo de plástico anualmente. En Europa se registró en 2016 una producción entorno al 1,3 mT de EPS (2,9% de la producción anual de plástico de Europa), de los cuales el 80% se destina al sector de la construcción[39]. Teniendo en cuenta la gran utilización debido a las numerosas ventajas de ligereza y aislamiento que ofrece este material, así como el reducido impacto ambiental que genera, la solución no pasa por eliminar su uso, peso sí por la reducción de este, con las medidas que se proponen, de forma que consigamos disminuir su huella ecológica.

En línea con las diferentes conclusiones descritas anteriormente, podríamos decir que el hilo conductor sería la contribución de mejora medioambiental que supone la utilización de este nuevo compuesto. Por tanto, resultaría interesante iniciar líneas futuras de investigación, que trabajen en el estudio de la viabilidad ambiental del reciclaje de PEBD junto a una matriz conglomerante de yeso, estudiando el ciclo de vida de dicho material.

*Fig. 52 Esquema resumen propuesta producto ecoeficiente para aplicación en trasdosados directos*

# 10

## APÉNDICE

## 10. APÉNDICE

### -ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Fig. 1 Imagen logotipo de la convención anual Politalk, 2018. Fuente: PlasticsEurope</i> .....	3
<i>Fig. 2 Gráfica comparativa consumo plástico por país en Europa (2015-2016). Fuente: PlasticsEurope</i> .....	10
<i>Fig. 3 Impacto de bolsas de plástico en la fauna marina. Fuente: Greenpeace</i> .....	11
<i>Fig. 4 Modelo economía circular. Fuente: Aimplas</i> .....	12
<i>Fig. 5 Impacto bolsas plástico en el mar. Fuente: Clean Ocean Project</i> .....	13
<i>Fig. 6 Gráfica comparativa producción plástico anual a nivel mundial y europeo (1950-2016). Fuente: Statista, PlasticsEurope</i> .....	21
<i>Fig. 7 Probetas tipo A para ensayos mecánicos. (EP)</i> .....	34
<i>Fig. 8 Probetas tipo B para ensayo térmico. (EP)</i> .....	34
<i>Fig. 9 Probetas tipo C para ensayo acústico. (EP)</i> .....	34
<i>Fig. 10 Instrumentos básicos de trabajo. (EP)</i> .....	39
<i>Fig. 12 Tamizado partículas PEBD. (EP)</i> .....	40
<i>Fig. 11 Preparación del material plástico de adición: Triturado bolsas PEBD. (EP)</i> .....	40
<i>Fig. 13 Elaboración mezcla Yeso-PEBD. (EP)</i> .....	41
<i>Fig. 14 Elaboración de muestras. (EP)</i> .....	41
<i>Fig. 15 Moldes probetas ensayos mecánicos. (EP)</i> .....	42
<i>Fig. 16 Vertido de la mezcla en moldes para ensayos mecánicos. (EP)</i> .....	43
<i>Fig. 17 Moldes ensayos térmico (izquierda) y acústico (derecha). (EP)</i> .....	43
<i>Fig. 18 Vertido de la mezcla en moldes para ensayo térmico. (EP)</i> .....	44
<i>Fig. 19 Vertido de la mezcla en moldes para ensayo acústico. (EP)</i> .....	45
<i>Fig. 20 Prensa multiensayo para realizar los ensayos de flexión y compresión. (EP)</i> .....	49
<i>Fig. 21 Programa informático para la obtención de resultados mecánicos. (EP)</i> .....	49
<i>Fig. 22 Secado de las probetas tipo A en estufa. (EP)</i> .....	50
<i>Fig. 23 Rotura de la probeta a flexión. (EP)</i> .....	50

Fig. 24 Disposición partículas PEBD en probetas con 0,25% adición. (EP) .....	51
Fig. 25 Disposición partículas PEBD en probetas con 0,5% adición. (EP) .....	52
Fig. 26 Disposición partículas PEBD en probetas con 1% adición. (EP) .....	52
Fig. 27 Probetas resultantes ensayo flexión, que se utilizarán en ensayo compresión. (EP) .....	56
Fig. 28 Rotura de la probeta a compresión. (EP).....	56
Fig. 29 Disparidad entre probetas 0,25% PEBD sometidas a ensayo de compresión. (EP) .....	57
Fig. 30 Mitad A (izquierda.) y mitad B (derecha) de una probeta con 0,25% PEBD para mostrar distribución heterogénea partículas de plástico. (EP) .....	57
Fig. 31 Disparidad entre probetas 0,5% PEBD sometidas a ensayo de compresión. (EP) .....	58
Fig. 32 Mitad A (izquierda.) y mitad B (derecha) de una probeta con 0,5% PEBD para mostrar distribución heterogénea partículas de plástico. ....	58
Fig. 33Disparidad entre probetas 0,5% PEBD sometidas a ensayo de compresión. (EP) .....	58
Fig. 34 Mitad A (izquierda.) y mitad B (derecha) de una probeta con 1% PEBD para mostrar distribución heterogénea partículas de plástico. (EP) .....	58
Fig. 35 "Tubo de Kund" para ensayo de absorción acústica. (EP) .....	60
Fig. 36 Colocación de probeta tipo C en porta-muestras. (EP).....	61
Fig. 37 Disp. analizador de máx. y mín. onda estacionaria. (EP) .....	61
Fig. 38 Muestra ensayo acústico 0,25% LDPE rota. (EP).....	63
Fig. 39 Muestra ensayo acústico 0,5% LDPE rota. (EP).....	63
Fig. 40 Muestra ensayo acústico 1% LDPE rota. (EP).....	63
Fig. 41 Esquema procedimiento transmisión de calor mediante método Placa caliente. Fuente: J. Díez Campos et al. [28].....	69
Fig. 42 Hipótesis reducción conductividad térmica del yeso con adición de PEBD. (EP).....	72
Fig. 43 Placas y transformados seleccionados para comparativa. (EP) .....	80
Fig. 44 Ejemplo muestra tipo placa para ensayo a flexión. Fuente: Norma UNE EN-520:2005 .....	83
Fig. 45 Placas yeso laminado para falso techo seleccionados para comparativa. (EP) .....	84
Fig. 46 Trasdosado directo. Fuente: Guía Instalación Pladur .....	90
Fig. 47 Trasdosado semidirecto. Fuente: Guía Instalación Pladur.....	90
Fig. 48 Cálculo de transmitancias de distintas soluciones de fachada, para comparar la variación de estas tras la incorporación de trasdosados directos. Fuente: Elaboración propia.....	93

*Fig. 49 Comparativa solución trasdosado utilizando transformado de yeso convencional con EPS y otro que utiliza placas de Yeso-PEBD. (EP)..... 94*

*Fig. 50 Extracción del mineral de yeso en cantera "Los Yesares", Sorbas (Almería). Fuente: Placo..... 96*

*Fig. 51 Proceso industrial de fabricación en continuo de placas de yeso laminado. Fuente: Placo ..... 96*

*Fig. 52 Esquema resumen propuesta producto ecoeficiente para aplicación en trasdosados directos..... 98*

## -ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Comparativa propiedades materiales termoplásticos. Elaboración propia (EP)</i> .....	23
<i>Tabla 2. Granulometría Polietileno de baja densidad (PEBD). (EP)</i> .....	40
<i>Tabla 3. Elaboración de probetas ensayos mecánicos. (EP)</i> .....	42
<i>Tabla 4. Elaboración probetas ensayo térmico. (EP)</i> .....	44
<i>Tabla 5. Elaboración probetas ensayo acústico. (EP)</i> .....	45
<i>Tabla 6. Resultados ensayo densidad aparente de las probetas tipo A. (EP)</i> .....	46
<i>Tabla 7. Densidad aparente del material. Valores medios. (EP)</i> .....	47
<i>Tabla 8. Densidad aparente del material. Valores medios interpolados para 0,25% y 0,5%. (EP)</i> .....	48
<i>Tabla 9. Resultados de resistencia a flexión probetas tipo A. (EP)</i> .....	50
<i>Tabla 10. Resultados de resistencia a compresión probetas tipo A. (EP)</i> .....	56
<i>Tabla 11. Resultados ensayo absorción acústica. Cálculo coeficiente absorción para muestra ref. 0% PEBD. (EP)</i> .....	61
<i>Tabla 12. Resultados ensayo absorción acústica. Cálculo coeficiente absorción para muestra 0,25% PEBD. (EP)</i> .....	61
<i>Tabla 13. Resultados ensayo absorción acústica. Cálculo coeficiente absorción para muestra 0,5% PEBD. (EP)</i> .....	62
<i>Tabla 14. Resultados ensayo absorción acústica. Cálculo coeficiente absorción para muestra 1% PEBD. (EP)</i> .....	62
<i>Tabla 15. Coef. absorción acústica en función de la frecuencia (Hz). (EP)</i> .....	62
<i>Tabla 16. Coef. absorción sonora práctico. (EP)</i> .....	66
<i>Tabla 17. Resumen propiedades de caracterización del dopaje seleccionado. (EP)</i> .....	79
<i>Tabla 18. Comparativa entre producto Yeso-PEBD y placas yeso para trasdosados sistemas Pladur. (EP)</i>	80
<i>Tabla 19. Comparativa entre producto Yeso-PEBD y placas yeso para trasdosados sistemas Placo. (EP)</i>	81
<i>Tabla 20. Comparativa entre producto Yeso-PEBD y placas yeso para trasdosados sistemas Knauf. (EP)</i>	82
<i>Tabla 21. Comparativa entre producto Yeso-PEBD y placas yeso laminado para falsos techos de marcas comerciales. (EP)</i> .....	84

## -ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Densidad / % PEBD probetas tipo A. (EP).....	47
Gráfica 2. Densidad / % PEBD probetas tipo A (Valores interpolados para 0,25% y 0,5%). (EP).....	48
Gráfica 3. Densidad/flexión de las probetas tipo A de Ref. 0% PEBD . (EP).....	51
Gráfica 4. Densidad/flexión de las probetas tipo A con 0,25% PEBD. (EP) .....	51
Gráfica 5. Densidad/flexión de las probetas tipo A con 0,5% PEBD. (EP) .....	52
Gráfica 6. Densidad/flexión de las probetas tipo A con 1% PEBD. (EP) .....	52
Gráfica 7. Resistencia flexión/ % PEBD probetas tipo . (EP).....	54
Gráfica 8. Densidad / Resistencia flexión probetas tipo A para diferentes % PEBD. (EP) .....	54
Gráfica 9. Densidad/compresión media de las probetas tipo A de Ref. con 0% PEBD. (EP).....	57
Gráfica 10. Densidad/compresión media de las probetas tipo A con 0,25% PEBD. (EP).....	57
Gráfica 11. Densidad/compresión media de las probetas tipo A con 0, 5% PEBD. (EP).....	58
Gráfica 12. Densidad/compresión media de las probetas tipo A con 0,1% PEBD. (EP).....	58
Gráfica 13. Resistencia compresión/ % PEBD probetas tipo A. (EP) .....	59
Gráfica 14. Densidad/compresión probetas tipo A para diferentes % PEBD. (EP).....	59
Gráfica 15. Frecuencia / Coef. Absorción acústica. (EP).....	62
Gráfica 16. Coef. absorción acústica / % PEBD probetas tipo C. Frecuencia 250 Hz. (EP).....	64
Gráfica 17. Coef. absorción acústica / % PEBD probetas tipo C. Frecuencia 500 Hz. (EP).....	64
Gráfica 18. Coef. absorción acústica / % PEBD probetas tipo C. Frecuencia 1000 Hz. (EP).....	65
Gráfica 19. Coef. absorción acústica / % PEBD probetas tipo C. Frecuencia 2000 Hz. (EP).....	65
Gráfica 20. Curva de referencia para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado. (EP) .....	66
Gráfica 21. Curva referencia desplazada, para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado, ref. 0% adición PEBD. (EP) .....	67
Gráfica 22. Curva referencia desplazada, para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado, 0,25% adición PEBD. (EP) .....	67
Gráfica 23. Curva referencia desplazada, para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado, 0,5% adición PEBD. (EP).....	68
Gráfica 24. Curva referencia desplazada, para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado, 1% adición PEBD. (EP).....	68



# 11

## BIBLIOGRAFÍA

## 11. BILIOGRAFÍA

- [1] PlasticEurope; EPRO, "Plásticos, situación en 2017," 2017. [Online]. Available: <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/363-plasticos-situacion-en-2017>. [Accessed: 08-Apr-2018].
- [2] "Ecoembes." [Online]. Available: <https://www.ecoembes.com/es>. [Accessed: 08-Apr-2018].
- [3] Greenpeace España, "Plásticos-ES," *Plásticos-ES*. [Online]. Available: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/>. [Accessed: 08-Apr-2018].
- [4] Comisión Europea- Medio Ambiente, "Corregir malos hábitos," 2017. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/waste/breaking-bag-habits\\_es](https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/waste/breaking-bag-habits_es). [Accessed: 08-Apr-2018].
- [5] Comisión Europea- Medio Ambiente, "Nuevas propuestas para reducir el uso de bolsas de plástico." [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/new-proposals-reduce-plastic-bag-use\\_es](https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/new-proposals-reduce-plastic-bag-use_es). [Accessed: 08-Apr-2018].
- [6] Parlamento Europeo, "DIRECTIVA (UE) 2015/720 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 29 de abril de 2015 por la que se modifica la Directiva 94/62/CE en lo que se refiere a la reducción del consumo de bolsas de plástico ligeras," *D. Of. la Unión Eur.*, vol. 2015, p. 5, 2015.
- [7] Comisión Europea, "Residuos plásticos: una estrategia europea para proteger el planeta, defender a los ciudadanos y capacitar a las industrias," 2018.
- [8] "PlasticsEurope. Productores de Materias Plásticas." [Online]. Available: <https://www.plasticseurope.org/es/about-us/who-we-are>. [Accessed: 02-Jul-2018].
- [9] "Horizonte 2020. En vertedero, plástico cero." PlasticsEurope, 2013.
- [10] "Los plásticos en la construcción, otra forma de contribuir a la protección climática - Plástico." [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/19796-Los-plasticos-en-la-construccion-otra-forma-de-contribuir-a-la-proteccion-climatica.html>. [Accessed: 08-Apr-2018].
- [11] A. Arulrajah, E. Yaghoubi, Y. C. Wong, and S. Horpibulsuk, "Recycled plastic granules and demolition wastes as construction materials: Resilient moduli and strength characteristics," *Constr. Build. Mater.*, vol. 147, pp. 639–647, Aug. 2017.
- [12] R. Gaggino, "LADRILLOS Y PLACAS PREFABRICADAS CON PLÁSTICOS RECICLADOS APTOS PARA LA AUTOCONSTRUCCIÓN," *Rev. INVI*, vol. 63, no. 23, pp. 137–163, 2008.
- [13] G. Wypych and G. Wypych, "LDPE low density polyethylene," in *Handbook of Polymers*, Elsevier, 2016, pp. 178–184.
- [14] A. Gómez, A. M. Carvajal, and V. Santelices, "Influencia del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) usado como adición en el mortero de cemento," 2011.
- [15] A. Badache, A. S. Benosman, Y. Senhadji, and M. Mouli, "Thermo-physical and mechanical characteristics of sand-based lightweight composite mortars with recycled high-density polyethylene (HDPE)," *Constr. Build. Mater.*, vol. 163, pp. 40–52, Feb. 2018.
- [16] . S. K., . S. S., . H. G., and . I. O., "Stabilization of Waste Pet Bottles with Gypsum," *J. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 5, pp. 1119–1122, May 2006.
- [17] P. San-Antonio-Gonzalez, A.; Del Rio Merino, M.; Viñas Arrebola, M.; Villoria Sáez, "MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN LIGERO FABRICADO CON YESO Y RESIDUO DE POLIESTIRENO EXTRUIDO," in *II International and IV National Congress on Sustainable Constuction and Eco-Efficient Solutions*, 2015, pp. 443–451.

- [18] M. del Río Merino, J. Santa Cruz Astorqui, P. Villoria Sáez, R. Santos Jiménez, and M. González Cortina, "Eco plaster mortars with addition of waste for high hardness coatings," *Constr. Build. Mater.*, vol. 158, pp. 649–656, Jan. 2018.
- [19] "UNE-EN 13279-1 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones.," <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), p. 24, 2009.
- [20] "UNE 102042:201. Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos de ensayo.," <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2014.
- [21] "UNE-EN 12664:2002 Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor del flujo de calor. Productos secos y húmedos de baja y media resistencia térmica.," <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2002.
- [22] AENOR, "UNE-EN ISO 10534-1:2002 Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria.," <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2002.
- [23] "UNE-EN 933-1:2012 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.," <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2012.
- [24] "UNE-EN 196-1:2005 Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.," <http://www.aenor.es/>, 2005.
- [25] "UNE-EN ISO 6507-1:2006 ERRATUM:2011 Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 1: Método de ensayo.," <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2006.
- [26] "UNE-EN ISO 11654:1998 Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica.," <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 1998.
- [27] "UNE-EN ISO 354:2004 Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.," <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2004.
- [28] J. Diez Campos, E. García Breijo, I. Pérez Clemente, J. V Ros Lis, J. Soto Camino, and J. L. Vivancos Bono, "DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN," in *XI Congreso Intrnacional de Ingeniería de Proyectos*, 2007.
- [29] J. L. Ruiz-Herrero *et al.*, "Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste," *Constr. Build. Mater.*, vol. 104, pp. 298–310, Feb. 2016.
- [30] A. Costa, D. Pozo, J. Avellaneda, and D. Grande, "Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla," p. 107, 2012.
- [31] "ISO 15901-1:2016 - Evaluation of pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption -- Part 1: Mercury porosimetry." [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/56005.html>. [Accessed: 21-May-2018].
- [32] "UNE-EN 520:2005+A1:2010 Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.," <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

- [33] "UNE-EN\_13950:2014 Transformados de placa de yesos con aislamiento térmico/acústico." Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2014.
- [34] C. Hoppe, J. Perojo, I. Lombillo, and L. Villegas, "ANÁLISIS DEL CONTROL DEL RUIDO EN LOS EDIFICIOS," in *Congresso Construção 2007-3º Congresso Nacional, Coimbra, Portugal. Universidad de Coimbra*, 2007.
- [35] Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco-Área Térmica, "Catálogo de Rehabilitación Energética." Universidad del País Vasco, p. 65, 2014.
- [36] "CTE-Documento Básico HE Ahorro de energía." Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2017.
- [37] "DA DB-HE 1: Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente." Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2015.
- [38] IGME (Instituto geológico y minero de España), "1 yeso 2013." IGME, pp. 1–9, 2013.
- [39] PlasticEurope, "Plastics-the facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data." PlasticsEurope, 2017.

#### OTROS DOCUMENTOS CONSULTADOS

- [40] "Guía de instalación Pladur. Rehabilitación, reforma y obra pequeña." Pladur, pp. 21–29, 2016.
- [41] M. E. Merino, "Thermal insulation solutions for listed buildings with special architectural or historic interest. Example of use." Kursaal. Rehabilitaciones Intgraes, 2014.



12

ANEXO



# FICHAS TÉCNICAS

# PLADUR® N - TERMINACIÓN NORMAL

01a01001ES - Rev. 10/2015



## DESCRIPCIÓN

Placa de yeso laminado. Está formada por un **alma de yeso 100%** natural recubierta en sus dos caras por una lámina de celulosa especial.

## CAMPO DE APLICACIÓN

- La placa PLADUR® N(\*) se emplea para la construcción en seco de sistemas de albañilería interior que no requieren prestaciones especiales: tabiques y particiones, techos continuos (fijos y suspendidos), trasdosados (directos y autoportantes) o elementos decorativos.
- Está indicada para su uso con estructuras metálicas PLADUR® o estructuras de madera(\*\*).
- No es apta para zonas de humedad permanente ni tabiques que tengan conducciones de agua en su interior.

(\*) Las placas Pladur® N de 6,5 y 9,5 mm de espesor están indicadas únicamente para unidades laminadas de decoración sin carácter resistente y por tanto no están indicadas para unidades verticales u horizontales formados por una sola placa, sea cual sea la modulación de su estructura portante. En caso de unidades o elementos decorativos normales o curvos el mínimo de placas a utilizar por cada cara del tabique son dos. Cuando sean aplicables las especificaciones de los documentos básicos del Código Técnico, tampoco la placa Pladur® N de 12,5 mm estará indicada para unidades verticales formados por una sola placa.

(\*\*) No disponibles ensayos con estructuras de madera.

## DATOS TÉCNICOS

PROPIEDAD	VALORES				
Color	Cara - Gris claro Dorso - Marrón (kraft)				
Borde longitudinal Borde transversal	BA (afinado) BCT (cortado)				
Espesor (mm)	6,5	9,5	12,5	15	18
Peso (kg/m <sup>2</sup> ) aprox.	5,8	7,8	8,7	10,6	13,8
Resistencia a la flexión (N)	Longitudinal				
	≥280	≥400	>600	>750	>1000
	Transversal				
	≥110	≥170	≥210	>260	>400
Conductividad térmica (λ) (W/mK)	≤0,25	≤0,25	≤0,25	≤0,25	≤0,25
Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
Dilatación lineal (m/m °C)	15x10 <sup>-6</sup>	15x10 <sup>-6</sup>	15x10 <sup>-6</sup>	15x10 <sup>-6</sup>	15x10 <sup>-6</sup>
Radio mínimo de curvatura (mm)	600	1000	1500	-	-
Dureza superficial (huella) (mm)	Ø≤20	Ø≤20	Ø≤20	Ø≤20	Ø≤20
Permeabilidad al aire [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .s.Pa)]	1,4x10 <sup>-6</sup>	1,4x10 <sup>-6</sup>	1,4x10 <sup>-6</sup>	1,4x10 <sup>-6</sup>	1,4x10 <sup>-6</sup>
Permeabilidad al vapor de agua (factor de resistencia)	10	10	10	10	10
Reacción al fuego	A2 s1 d0				
Normativa aplicable/certificaciones	EN-520 CE NF N				
Clasificación (según EN-520)	A				

## DIMENSIONES (MM)

ESPESOR	LARGO x ANCHO
6,5	3000 x 1200
9,5	2500x1200 / 3000x1200
12,5	2000x600 / 2500x600 / 2000x800 / 2000x1200 / 2500x1200 / 2600 x 1200 / 2700 x 1200 / 2800x1200 / 3000x1200 / 3200x1200
15	2000x1200 / 2500x1200 / 2600x1200 / 2700x1200 / 2800x1200 / 3000x1200
18	2500x1200 / 2600x1200 / 2800x1200 / 3000x1200

## Tolerancias (según EN-520)

- **Longitud:** +0 / -5 mm
- **Anchura:** +0 / -4 mm
- **Espesor:** ±0 / ±0,4 mm

(\*) Las tolerancias de la placa de espesor 6,5 mm son de +4/-2,5 mm en su longitud y +2/3 mm en su anchura.

La tolerancia del espesor de la placa de 18 mm es de ±0,4 mm x espesor (mm).

## PRESENTACIÓN

### Marcado de placa y palet

- **Borde afinado:** Logo PLADUR®, tipo la placa, tipo de borde, marcado CE y sellos de calidad.
- **Canto:** Código EAN, tipo de placa, dimensiones y tipo de borde.
- **Dorso:** PLADUR® denominación de placa, Placa Yeso Laminado, tipo de placa según EN-520, espesores, EN-520, tipo de borde, reacción al fuego, made in Spain, fecha fabricación.
- **Palet:** Logo PLADUR®, logo NF, tipo de placa, dimensiones y tipo de borde.



## Embalaje

ESPESOR	UDS / LOTE	OTROS
6,5	66	Los lotes apoyan sobre calas de lino. La cantidad de calas varía según el espesor y las dimensiones de las placas.
9,5	54	
12,5 (ancho 1200 mm)	42 o 50 <sup>(1)</sup>	
12,5 (ancho 800 mm)	48	
12,5 (ancho 600 mm)	96	
15	36	
18	28	

## PLADUR® FONIC

01a07001ES - Rev. 04/2017



### DESCRIPCIÓN

Placa de yeso laminado. Está formada por un **alma de yeso 100% natural**, recubierta en sus dos caras por una lámina de celulosa y tratada especialmente para dotarla de mayores prestaciones en aislamiento acústico.

### CAMPO DE APLICACIÓN

- La placa PLADUR® FONIC se emplea para la construcción en seco de sistemas de albañilería interior que requieren un mayor aislamiento acústico: tabiques y particiones, techos continuos (fijos y suspendidos), trasdosados (directos y autoportantes).
- Está indicada para su uso con estructuras metálicas PLADUR® o estructuras de madera(\*).
- No es apta para zonas de humedad permanente ni tabiques que tengan conducciones de agua en su interior.

(\* No disponibles ensayos con estructuras de madera.

### DATOS TÉCNICOS

PROPIEDAD	VALORES
Color	Cara - Azul Dorso - Marrón (kraft)
Borde longitudinal Borde transversal	BA (Afinado) BCT (Cortado)
Espesor (mm)	12,5
Peso (kg/m <sup>2</sup> ) aprox.	12,4
Resistencia a la flexión (N)	Longitudinal
	>600
	Transversal
	>210
Conductividad térmica (λ) (W/mK)	0,15
Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	0,08
Dilatación lineal (m/m °C)	15x10 <sup>-6</sup>
Dureza superficial (huella) (mm)	Ø≤15
Permeabilidad al aire [m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> .s.Pa)]	1,4x10 <sup>-6</sup>
Permeabilidad al vapor de agua (factor de resistencia)	6,7
Ganancia acústica (dB)	3(*)
Reacción al fuego	A2 s1 d0
Normativa aplicable / certificacione	EN-520 
Clasificación (según EN-520)	A

(\* Ensayo en sistema 72/48 LV. Diferencias obtenidas entre el uso de la placa PLADUR® Fonic y la placa PLADUR® N.

### DIMENSIONES (MM)

ESPESOR	LARGO x ANCHO
12,5	2500x1200 / 2700x1200 / 3000x1200

### Tolerancias (según EN-520)

- **Longitud:** +0 / -5 mm
- **Anchura:** +0 / -4 mm
- **Espesor:** ±0,5 mm

### PRESENTACIÓN

#### Marcado de placa y palet

- **Borde afinado** Logo PLADUR®, tipo de placa, tipo de borde, marcado CE y sellos de calidad.
- **Canto:** Código EAN, tipo de placa, dimensiones y tipo de borde.
- **Dorso:** PLADUR® Denominación de placa, Placa Yeso Laminado, tipo de placa según EN-520, espesores, EN-520, tipo de borde, reacción al fuego, made in Spain, fecha fabricación..
- **Palet:** Logo PLADUR®, logo NF, tipo de placa, dimensiones y tipo de borde.



### Embalaje

ESPESOR	UDS / LOTE	OTROS
12,5	28 o 32 <sup>(1)</sup>	Los lotes apoyan sobre calas de lino. La cantidad de calas varía según el espesor y las dimensiones de las placas.

<sup>(1)</sup> 3000x1200: 28 uds/lotte

### INSTALACIÓN

- Se debe respetar en todo momento la normativa vigente aplicable en el territorio en el que se realice la instalación.
- Atendemos a las consultas sobre instalación y ofrecemos soporte técnico a través de nuestro teléfono de Atención al Cliente y Asistencia Técnica **+34 902 023 323** y en la dirección de correo electrónico **consultas@pladur.com**.

## PLADUR® LAN

01b01001ES - Rev. 10/2015



### DESCRIPCIÓN

Panel transformado con altas prestaciones térmicas y acústicas. Está compuesto por una **placa PLADUR® N** y un **panel de lana de roca** de 90 Kg/m<sup>3</sup> de densidad e incombustible, adherido a su dorso.

### CAMPO DE APLICACIÓN

- Los paneles PLADUR® LAN se emplean en la ejecución de trasdosados de muros (fachadas o interiores) con exigencias específicas de aislamiento térmico o acústico.
- En unidades verticales que únicamente precisan propiedades de aislamiento acústico. Se fijarán al muro soporte mediante pelladas de pasta de agarre especial aislantes (Pladur® MH).
- No es apta para zonas de humedad permanente ni trasdosados que tengan conducciones de agua en su interior.

### DATOS TÉCNICOS

PROPIEDAD	VALORES
Color	Cara - Gris claro Dorso - Amarillo
Borde longitudinal Borde transversal	BA (Afinado) BCT (Cortado)
Espesor (mm)	12,5 +30
Peso (kg/m <sup>2</sup> ) aprox.	11,7
Resistencia a la flexión (N)	Longitudinal >600
	Transversal ≥210
Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	0,95
Resistencia a la compresión (θ/m)	-
Ganancia acústica (dB))	Depende de la unidad base sobre la que se trasdosa. Para más información consulte a nuestro Dpto. Técnico a través del Servicio de Atención al Cliente.
Permeabilidad al vapor de agua (g/m <sup>2</sup> .H.mm.Hg)	2,57
Reacción al fuego	A2 s1 d0
Normativa aplicable / certificaciones	EN-13950 <b>CE</b>
PLACA PLADUR® N	
Espesor (mm)	12,5
Conductividad térmica (λ) (W/mK)	≤ 0,25
Dureza superficial (huella) (mm)	Ø ≤ 20
Clasificación (según EN-520)	A
LANA DE ROCA	
Espesor (mm)	30
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	90
Conductividad térmica (λ) (W/mK)	0,033
Reacción al fuego	A1

### DIMENSIONES (mm)

ESPESOR	LARGO x ANCHO
12,5 + 30	2600 x 1200

### TOLERANCIAS (según EN-13950)

- Longitud: +0 / -5 mm
- Anchura: +0 / -4 mm
- Espesor: ±3 mm

### PRESENTACIÓN

#### Marcado de placa y palet

- **Borde afinado:** -
- **Canto:** Precinto con indicador del tipo de la placa base, espesor, logotipo PLADUR® y certificaciones
- **Palet:** -



### Embalaje

ESPESOR	UDS / LOTE	OTROS
12,5 +30	26	Los lotes apoyan sobre 3 calas de poliestireno de 1200x400x75 y y quedan protegidos por una funda plástica con inhibidor solar que garantiza su protección frente a los rayos durante 12 meses.

### INSTALACIÓN

- Se debe respetar en todo momento la normativa vigente aplicable en el territorio en el que se realice la instalación.
- Atendemos a las consultas sobre instalación y ofrecemos soporte técnico a través de nuestro teléfono de Atención al Cliente y Asistencia Técnica **+34 902 023 323** y en la dirección de correo electrónico **consultas@pladur.com**.

## ENAIRGY ISOPOP®, SIMPLIFICA EL AISLAMIENTO

- Más fácil de elegir
- Según su resistencia térmica
- Clasificada de menor a mayor aislamiento



**STANDARD R 0,55-2,15**  
Reformas o complemento de aislamiento



**ADVANCED  $2,15 \leq R \leq 3,15$**   
Aislamiento medio-alto



**EFFICIENT R  $\geq 3,15$**   
Aislamiento muy alto

STANDARD	Espesor de placa (mm)	Espesor de aislante (mm)	Tipo de Aislante	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> .K/W)
ENAIRGY ISOPOP® R0,55	10	20	Isopop® 38	0,55
ENAIRGY ISOPOP® R0,65	13	20	Isopop® 32 *	0,65
ENAIRGY ISOPOP® R0,80	10	30	Isopop® 38	0,80
ENAIRGY ISOPOP® R1,10	10	40	Isopop® 38	1,10
ENAIRGY ISOPOP® R1,30	13	40	Isopop® 32 *	1,30
ENAIRGY ISOPOP® R1,60	10	60	Isopop® 38	1,60
ENAIRGY ISOPOP® R1,90	13	60	Isopop® 32 *	1,90
ENAIRGY ISOPOP® R2,15	10/13	80	Isopop® 38	2,15
<b>ADVANCED</b>				
ENAIRGY ISOPOP® R2,55	10/13	80	Isopop® 32 *	2,55
ENAIRGY ISOPOP® R2,65	10/13	100	Isopop® 38	2,65
ENAIRGY ISOPOP® R3,15	10/13	100	Isopop® 32 *	3,15
<b>EFFICIENT</b>				
ENAIRGY ISOPOP® R3,80	13	120	Isopop® 32 *	3,80
ENAIRGY ISOPOP® R4,40	13	140	Isopop® 32 *	4,40





## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

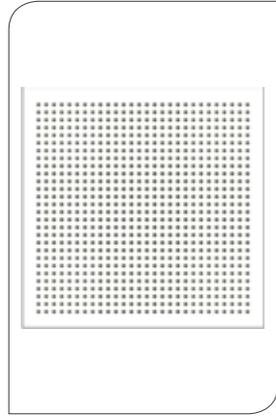
TIPO DE PLACA	MODELO	PLÉNIMUM DE 600 mm				PÁGINA
		CON LANA MINERAL DE 80 mm				
		PORCENTAJE DE PERFORACIÓN	aw	cm	NRC	
<b>PLADUR® FON+ REGISTRABLE</b> A Canto Recto E24 Canto Regular 24 mm E15 Canto Regular 15 mm Espesor x ancho x largo (mm)* 13 x 600 x 600	FON+ R 8/18 N.º1	11,20	0,60	0,62	0,60	93
	FON+ L 5 x 80 N.º 16	10,90	0,50 L	0,53	0,55	96
	FON+ R Aleat. 8-15-20 N.º 1	8,10	0,50	0,52	0,55	97

TIPO DE PLACA	MODELO	PLÉNIMUM DE 200 mm												PÁGINA
		SIN LANA MINERAL						CON LANA MINERAL DE 60 mm						
		PORCENTAJE DE PERFORACIÓN	aw	cm	NRC	CLASE	REFERENCIA DE ENSAYO	aw	cm	NRC	CLASE	REFERENCIA DE ENSAYO		
<b>PLADUR® FON+ REGISTRABLE</b> A Canto Recto E24 Canto Regular 24 mm E15 Canto Regular 15 mm Espesor x ancho x largo (mm)* 13 x 600 x 600	FON+ C 3/8 N.º1	10,20	0,50 LM	0,62	0,70	D	AC17-26069028/2	0,60 LM	0,75	0,80	C	AC17-26069028/1	88	
	FON+ C 3/8 N.º2	8,70	0,40 LM	0,55	0,55	D	AC16-AC161017-2a	0,45 LM	0,58	0,60	D	AC16-AC161017-2b	88	
	FON+ C 3/8 N.º3	7,30	0,35 LM	0,52	0,55	D	AC16-AC161017-3a	0,40 LM	0,53	0,60	D	AC16-AC161017-3b	89	
	FON+ C 8/18 N.º1	14,30	0,65 L	0,68	0,70	C	AC14-26053711/37	0,75 L	0,75	0,75	C	AC14-26053711/44	89	
	FON+ C 8/18 N.º3	12,20	0,60 L	0,63	0,65	C	AC15-26055261-22a	0,65 L	0,65	0,70	C	AC15-26055261-22b	90	
	FON+ C 12/25 N.º1	16,40	0,65 L	0,70	0,70	C	AC14-26053711/40	0,75 L	0,75	0,80	C	AC14-26053711/41	90	
	FON+ C 12/25 N.º2	13,10	0,55 L	0,62	0,65	D	AC14-26053711/39	0,65 L	0,67	0,70	C	AC14-26053711/42	91	
	FON+ C 12/25 N.º3	9,80	0,40 LM	0,55	0,60	D	AC15-26055261-23a	0,55 L	0,60	0,65	D	AC15-26055261-23b	91	
	FON+ C 12/25 N.º4 L	13,10	0,50 LM	0,62	0,60	D	AC15-26055261-24a	0,65 L	0,65	0,70	C	AC15-26055261-24b	92	
	FON+ C 12/25 N.º4 C	10,50	0,50 L	0,57	0,60	D	AC14-26053711/35	0,55 L	0,57	0,60	D	AC14-26053711/45	92	
	FON+ R 8/18 N.º1	11,20	0,55 L	0,62	0,65	D	AC14-26053711/34	0,65 L	0,68	0,70	C	AC14-26053711/46	93	
	FON+ R 8/18 N.º3	9,60	0,50 L	0,57	0,60	D	AC15-26055261-26a	0,60 L	0,62	0,65	C	AC15-26055261-26b	94	
	FON+ R 12/25 N.º1	10,40	0,55 L	0,57	0,60	D	AC14-26053711/38	0,55 L	0,58	0,60	D	AC14-26053711/43	94	
	FON+ R 12/25 N.º2	6,90	0,40 LM	0,57	0,60	D	AC15-26055261-27a	0,45 L	0,57	0,60	D	AC15-26055261-27b	95	
	FON+ L 5 x 80 N.º 12	8,20	0,35 LM	0,47	0,50	D	AC15-26055261-25a	0,45 L	0,50	0,55	D	AC15-26055261-25b	95	
	FON+ L 5 x 80 N.º 16	10,90	0,45 LM	0,53	0,55	D	AC14-26053711/33	0,55 L	0,58	0,60	D	AC14-26053711/47	96	
	FON+ R Aleat. 8-15-20 N.º 1	8,10	0,45 L	0,53	0,55	D	AC14-26053711/32	0,55	0,53	0,55	D	AC14-26053711/48	97	
	FON+ R Aleat. 8-15-20 N.º 3	6,90	0,40 LM	0,53	0,55	D	AC15-26055261-28a	0,45 L	0,53	0,60	D	AC15-26055261-28b	98	

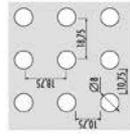
PRODUCTO ESPESOR	DIMENSIONES (mm)* ancho x largo	CANTO	REACCIÓN AL FUEGO	UNIDADES CAJA	UNIDADES PALÉ	NORMATIVA	CERTIFICACIÓN
						EN 14190	
PLADUR® FON+ TR 13	600 x 600	A / E 24 / E 15	A2-s1, d0	6	192	EN 14190	CE/A+
PLADUR® FON+ Decor 13	600 x 600	A / E 24 / E 15	B-s1, d0	6	192	EN 14190	CE/A+

\* Para verificar dimensiones y tolerancias consultar fichas técnicas de producto.

## FON+ R 8/18 N.º 1 - PLÉNium 600 mm



Diseño de perforado



Perforación 11,20 %

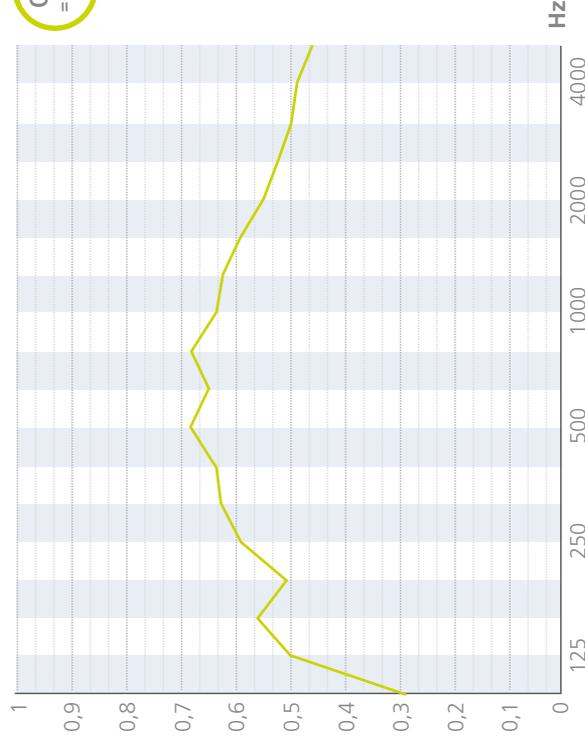
Valores con lana mineral

$\alpha_{fm}$  0,62 - NRC 0,60 - Clase C

CON LANA MINERAL

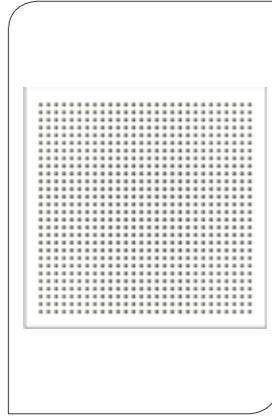
ENSAYO	CTA 353/12/R	
	1/3 OCTAVA	OCTAVA
Hz	$\alpha_s$	$\alpha_p$
100	0,29	0,45
125	0,50	
160	0,56	0,60
200	0,51	
250	0,59	0,65
315	0,63	
400	0,64	0,65
500	0,68	
630	0,65	0,55
800	0,68	
1000	0,64	0,50
1250	0,63	
1600	0,59	0,50
2000	0,55	
2500	0,53	0,46
3150	0,50	
4000	0,49	0,46
5000	0,46	

$\alpha_s$

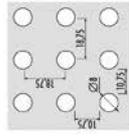


PRODUCTO

## FON+ R 8/18 N.º 1 - PLÉNium 200 mm



Diseño de perforado



Perforación 11,20 %

Valores sin lana mineral

$\alpha_{fm}$  0,62 - NRC 0,65 - Clase D

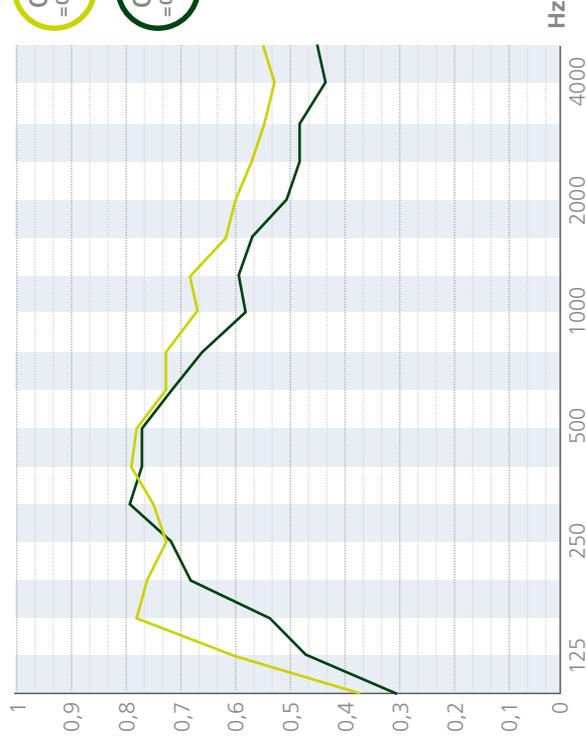
Valores con lana mineral

$\alpha_{fm}$  0,68 - NRC 0,70 - Clase C

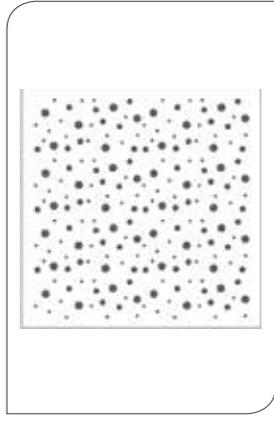
SIN LANA MINERAL

ENSAYO	AC14-26053711/34		CON LANA MINERAL	
	1/3 OCTAVA	OCTAVA	1/3 OCTAVA	OCTAVA
Hz	$\alpha_s$	$\alpha_p$	$\alpha_s$	$\alpha_p$
100	0,31	0,45	0,37	0,60
125	0,47		0,60	
160	0,54	0,75	0,78	0,75
200	0,68		0,76	
250	0,72	0,79	0,73	0,75
315	0,79		0,75	
400	0,77	0,75	0,79	0,75
500	0,77		0,78	
630	0,72	0,66	0,73	0,70
800	0,66		0,73	
1000	0,58	0,60	0,67	0,60
1250	0,59		0,68	
1600	0,57	0,50	0,62	0,60
2000	0,51		0,57	
2500	0,48	0,45	0,55	0,55
3150	0,48		0,53	
4000	0,44	0,45	0,55	0,55
5000	0,45		0,55	

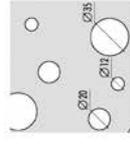
$\alpha_s$



### FON+ R Aleat. 8-15-20 N.º 1 - PLÉNUM 600 mm



Diseño de perforado

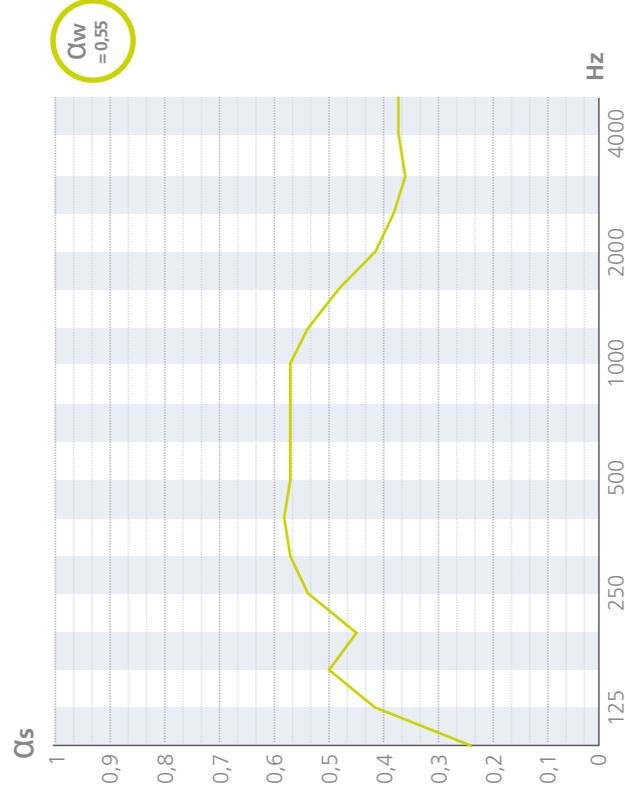


Perforación 8,10 %

Valores con lana mineral

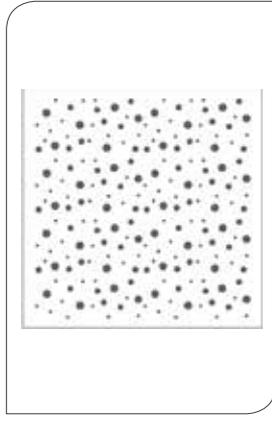
$\alpha_{fm}$  0,52 - NRC 0,55 - Clase D

ENSAYO	CON LANA MINERAL CTA 349/12/R	
	1/3 OCTAVA	OCTAVA
Hz	$\alpha_s$	$\alpha_p$
100	0,24	0,40
125	0,42	
160	0,50	0,50
200	0,45	
250	0,54	0,55
315	0,57	
400	0,58	0,55
500	0,57	
630	0,57	0,45
800	0,57	
1000	0,57	0,35
1250	0,54	
1600	0,48	0,37
2000	0,42	
2500	0,38	0,37
3150	0,36	
4000	0,37	0,37
5000	0,37	

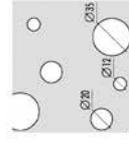


PRODUCTO

### FON+ R Aleat. 8-15-20 N.º 1 - PLÉNUM 200 mm



Diseño de perforado



Perforación 8,10 %

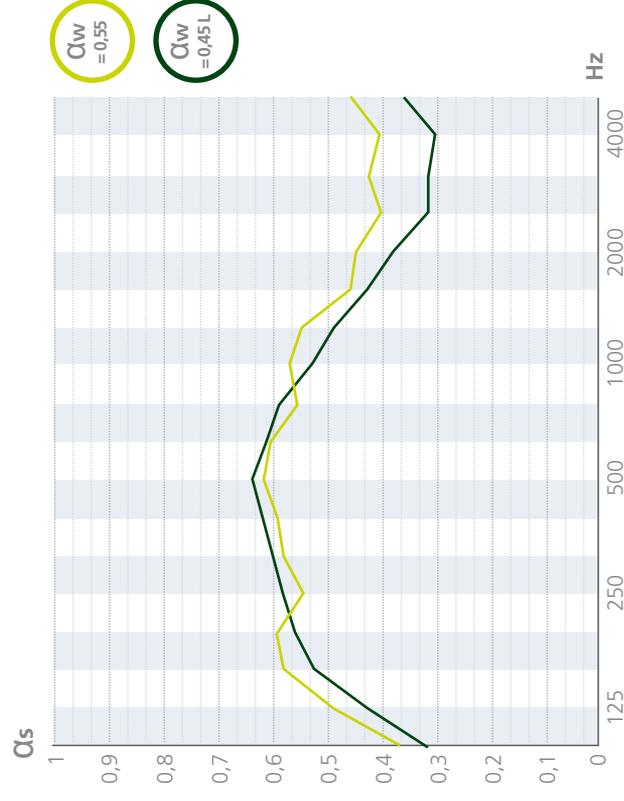
Valores sin lana mineral

$\alpha_{fm}$  0,53 - NRC 0,55 - Clase D

Valores con lana mineral

$\alpha_{fm}$  0,53 - NRC 0,55 - Clase D

ENSAYO	SIN LANA MINERAL AC14-26053711/32		CON LANA MINERAL AC14-26053711/48	
	1/3 OCTAVA	OCTAVA	1/3 OCTAVA	OCTAVA
Hz	$\alpha_s$	$\alpha_p$	$\alpha_s$	$\alpha_p$
100	0,32	0,45	0,37	0,50
125	0,43		0,49	
160	0,53	0,60	0,58	0,55
200	0,56		0,59	
250	0,58	0,65	0,55	0,60
315	0,60		0,58	
400	0,62	0,61	0,59	0,55
500	0,64		0,62	
630	0,62	0,56	0,61	0,45
800	0,59		0,56	
1000	0,53	0,55	0,57	0,45
1250	0,49		0,55	
1600	0,43	0,40	0,46	0,45
2000	0,38		0,45	
2500	0,32	0,41	0,41	0,43
3150	0,32		0,43	
4000	0,31	0,35	0,41	0,45
5000	0,36		0,68	





# FICHAS TÉCNICAS

### DESCRIPCIÓN:

Placa de Yeso Laminado con cartón a doble cara y alma de yeso de origen natural, fabricada mediante proceso de laminación en continuo.

### CAMPOS DE APLICACIÓN:

Construcción de sistemas de obra seca en interiores:

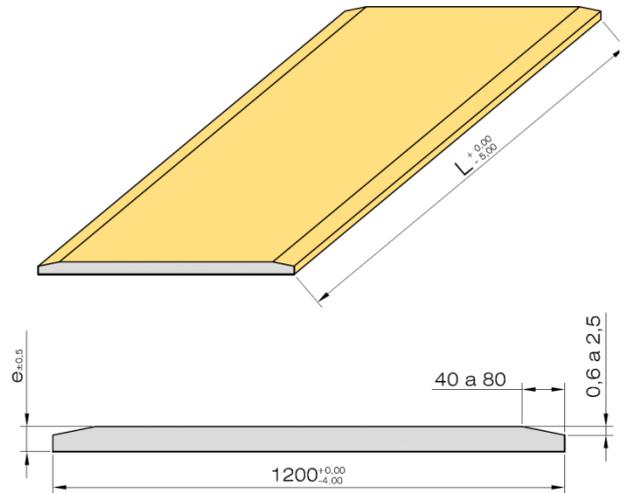
- Tabiquería / particiones.
- Trasdados autoportantes / directos.
- Techos continuos
- Elementos decorativos

Apto para:

- Viviendas de nueva construcción o rehabilitación
- Colegios, hospitales, edificios comerciales e industriales, oficinas, etc.

### VENTAJAS:

- Facilidad y rapidez en la instalación.
- Flexibilidad en la construcción, que permite adaptarse a cualquier tipo de proyecto, permitiendo tanto formas regulares como redondeadas.
- Presenta un acabado listo para pintar.
- Conformar aislamiento acústico eficaz.
- Conformar aislamiento térmico elevado.



Cotas expresadas en mm.

### DATOS TÉCNICOS:

- **Cartón cara:** Beige
- **Cartón dorso:** Gris
- **Tipo de borde longitudinal:** Borde afinado (BA)
- **Tipo de borde transversal:** Borde cuadrado (BC)
- **Coef. conductividad térmica:** 0,25 W / mK
- **Resistencia al vapor de agua (μ):** 10 (EN 12524)
- **Reacción al fuego:** A2 - s1 - d0
- **Anchura:** 1.200 mm
- **Designación:** Tipo A (EN 520)

#### • Espesores (e) (mm):

#### • Longitudes (L) (mm):

#### • Peso aprox. (kg/m<sup>2</sup>)

#### • Rotura a flexión (N) > : Long/trans

#### • Acondicionamiento: (Placas/lote)

	6	9,5	12,5	15	18
3.000		2.500 3.000	2.000 2.500 2.600 2.700 2.800 3.000	2.000 2.500 2.600 2.700 2.800 3.000	2.500 3.000
6,0	7,5	8,3	10,5	13,0	
258	400	550	650	774	
100,8	160	210	250	302,4	
60	48	36	30	24	

Las Placas de Yeso Laminado se suministran en los lotes indicados en la presente Hoja de datos de producto, estando las calas separadoras entre lotes adheridas a la placa inferior de cada uno de los lotes.

### NORMATIVA:

- UNE-EN 520
- Marcado CE según EN 520
- Marca "N" de AENOR.

### COMPORTAMIENTO AL FUEGO / ACÚSTICO:

Estos conceptos no dependen del producto, sino del Sistema completo. Consultar catálogos correspondientes al sistema para cada caso.

### ALMACENAJE Y CONSERVACION:

Almacenar las placas sobre superficies planas y nunca a la intemperie, manteniéndolas a cubierto, resguardadas de la luz solar y de la lluvia.

### PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS:

Perfilería, Pastas de Justas y Agarre, Tornillos, Cintas, Herramientas y demás Accesorios PLACO.

### MANIPULACIÓN:

Cuando las placas sean transportadas por carretillas elevadoras, las uñas de la carretilla deberán estar abiertas al máximo. Se recomienda especial atención con las placas de 3.000 mm.

### FORMA DE MONTAJE:

Consultar el Manual del Instalador.

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de SAINT-GOBAIN PLACO IBERICA S.A. de sus productos, cuando son correctamente almacenados, manejados e instalados en situaciones normales, y dentro de su vida útil. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. SAINT-GOBAIN PLACO IBERICA S.A. se reserva el derecho de cambiar las especificaciones técnicas del producto sin previos avisos. Es responsabilidad del usuario conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite.



A - EN 520

AENOR



Producto Certificado

**DESCRIPCIÓN:**

Placa de Yeso Laminado con cartón a doble cara y alma de yeso de origen natural, que en su proceso de fabricación es aditivada convenientemente para dotarla de unas mejores prestaciones acústicas. Se fabrica mediante proceso de laminación en continuo.

**CAMPOS DE APLICACIÓN:**

Construcción de sistemas de obra seca en interiores

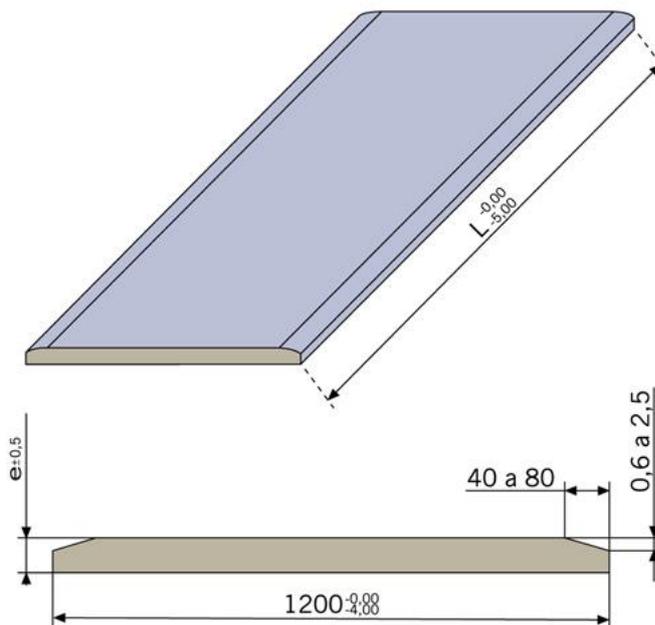
- Tabiquería / Particiones.
- Trasdados autoportantes.
- Techos continuos.

Apto para:

- Viviendas de nueva construcción o rehabilitación.
- Colegios, hospitales, edificios comerciales e industriales, oficinas, etc....

**VENTAJAS:**

- Incrementa el aislamiento acústico de los sistemas constructivos hasta 3 dB.
- Altas prestaciones frente al fuego.
- Elevada dureza superficial.
- Facilidad y rapidez de instalación.
- Presenta un acabado listo para pintar.
- Conformar aislamiento acústico eficaz.
- Conformar aislamiento térmico elevado.



Cotas expresadas en mm

**DATOS TÉCNICOS:**

- **Cartón Cara:** Azul
- **Cartón Dorso:** Gris
- **Tipo de borde long.:** Borde Afinado (BA)
- **Tipo de borde trans.:** Borde cuadrado (BC)
- **Coef. Conduc. Térmica:** 0,25 W/mK.
- **Dureza superficial** Huella  $\leq 15$  mm  $\varnothing$
- **Resis. al vapor de agua:** 10 $\mu$  (según EN 520)
- **Reacción al fuego:** A2, s1, d0
- **Anchura:** 1.200 mm
- **Clasificación** Tipo I-D-F (Según EN 520)

- **Espesores (e) (mm):**
- **Longitudes (L) (mm):**
- **Peso aprox. (kg/m<sup>2</sup>)**
- **Rotura a flexión (N) > : Long/trans**
- **Acondicionamiento: (Placas/lote)**

	12,5	15
	2.000	2.000
	2.500	2.500
	2.600	2.600
	3.000	3.000
	12,00	14,5
550	210	650
		250
	30	24

**NORMATIVA:**

- UNE – EN 520
- Marcado CE según EN -520
- Marcado "N" de Aenor

**ALMACENAJE Y CONSERVACION:**

Almacenar las placas sobre superficies planas y nunca a la intemperie, manteniéndolas a cubierto, resguardadas de la luz solar y de la lluvia.

**MANIPULACIÓN:**

Cuando las placas sean transportadas por carretillas elevadoras, las uñas de la carretilla deberán estar abiertas al menos 1 m, prestando especial cuidado en

**COMPORTAMIENTO AL FUEGO / ACÚSTICO:**

Consultar los catálogos correspondientes en los que se indica la Resistencia al fuego y el Aislamiento acústico al ruido aéreo de los sistemas contruidos con placa Placo Phonique.

**PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS:**

Perfilería, Accesorios y Tornillos PYL. Pastas de juntas.

**FORMA DE MONTAJE:**

Consultar el Manual de Instalador Placo.

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de SAINT-GOBAIN PLACO IBERICA S.A. de sus productos, cuando son correctamente almacenados, manejados e instalados en situaciones normales, y dentro de su vida útil. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. SAINT-GOBAIN PLACO IBERICA S.A. se reserva el derecho de cambiar las especificaciones técnicas del producto sin previos avisos. Es responsabilidad del usuario conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copia de las cuales se mandarán a quien las solicite.

### DESCRIPCIÓN:

Panel de aislamiento térmico formado por una Placa de Yeso Laminado con cartón a doble cara y alma de yeso de origen natural, más poliestireno expandido.

### CAMPOS DE APLICACIÓN:

Construcción de sistemas de obra seca en interiores:

- Trasdosados directos.

Se utilizará principalmente en sistemas constructivos con necesidad de aislamiento térmico.

### VENTAJAS:

- Facilidad y rapidez en la instalación.
- Presenta un acabado listo para pintar.
- Aislamiento térmico eficaz.

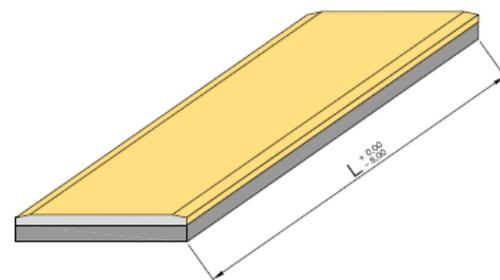
### DATOS TÉCNICOS:

- **Cartón cara:** Beige
- **Dorso:** Poliestireno - EPS-EN 13163-T1-L1-W1-S1-P3-BS115-DS(N)5
- **Tipo de borde longitudinal:** Borde afinado (BA)
- **Tipo de borde transversal:** Borde cuadrado (BC)
- **Coef. conductividad térmica placa:** 0,25 W / mK
- **Coef. conductividad térmica aislante:** 0,038 W / mK
- **Reacción al fuego cara vista:** A2 s1 d0
- **Densidad del poliestireno:** 15 kg/m<sup>3</sup> (± 10 %)
- **Anchura:** 1200 mm

- **Denominación:**
- **Espesores (e + e') (mm):**
- **Longitudes (L) (mm):**
- **Peso aprox. (kg/m<sup>2</sup>)**
- **Acondicionamiento: (Placas/lote)**

	10+20	10+30	10+40	10+60
<b>Espesores (e + e') (mm):</b>	9,5+20	9,5+30	9,5+40	9,5+60
<b>Longitudes (L) (mm):</b>	2500 2600	2500 2600	2500 2600	2500 2600
<b>Peso aprox. (kg/m<sup>2</sup>)</b>	7,8	8	8,2	8,6
<b>Acondicionamiento: (Placas/lote)</b>	38	28	22	16

Las Placas de Yeso Laminado se suministran en los lotes indicados en la presente Hoja de datos de producto, estando las calas separadoras entre lotes adheridas a la placa inferior de cada uno de los lotes.



### NORMATIVA:

- UNE-EN 13.950

### ALMACENAJE Y CONSERVACION:

Almacenar las placas sobre superficies planas y nunca a la intemperie, manteniéndolas a cubierto, resguardadas de la luz solar y de la lluvia.

### MANIPULACIÓN:

Cuando las placas sean transportadas por carretillas elevadoras, las uñas de la carretilla deberán estar abiertas al máximo. Se recomienda especial atención con las placas de 3000 mm.

### COMPORTAMIENTO AL FUEGO / ACÚSTICO:

Estos conceptos no dependen del producto, sino del Sistema completo. Consultar catálogos correspondientes al sistema para cada caso.

### PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS:

Pasta de agarre MAP, cinta de juntas y otros accesorios PLACO.

### FORMA DE MONTAJE:

Consultar el Manual del Instalador.

## HOJA TECNICA

### PLACA KNAUF WOOLPLAC LR (Tipo MW)

Placa Standard que lleva pegada una lámina de Lana de Roca de 90 Kg/m<sup>3</sup> de densidad.

**Identificación:** Lleva en una cara Lana de Roca de color amarillo. En sus bordes lleva una banderola con la inscripción "Woolplac". **Utilización:** Para trasdosar tabiques y muros.

#### Propiedades:

	PLACA 12,5 mm.
Densidad superficial (Kg./m <sup>2</sup> )	9,1
Densidad volumetrica (Kg./m <sup>3</sup> )	728
Carga de rotura a flexión en sentido transversal (N)	≥ 160
Carga de rotura a flexión en sentido longitudinal (N)	≥ 400
Humedad aproximada	0,5%
Dilatacion termica	5x10 <sup>-6</sup> mm
Resistividad al vapor de agua	45-60 MN s/g m (0,039-0,052 mm Hg m <sup>2</sup> día/g cm)
Radio de curvatura	>1000 mm
Dureza superficial	huella ø<20 mm
Clasificacion al fuego	A2 – s1,d0
Conductividad termica	0,25 W/m.K
Resistencia térmica Rt	0,05 m <sup>2</sup> .K/W

	LANA DE ROCA	
Espesor	30 mm.	40 mm.
Densidad	90 Kg/m <sup>3</sup>	
Conductividad térmica λ	0,035 W/m.K	
Resistencia térmica Rt	0,85 m <sup>2</sup> .K/W	1,15 m <sup>2</sup> .K/W

	CONJUNTO	
Aislamiento acústico	Δ R (A) ≤ 8 db(A)	Δ R (A) ≤ 13 db(A)
Resistencia térmica Rt	0,90 m <sup>2</sup> .K/W	1,20 m <sup>2</sup> .K/W

\*Mejora de aislamiento acústico a ruido aéreo dependerá del tipo de soporte.

#### Dimensiones:

Espesor: 12,5 + LR

Ancho: 1200 mm.

Las longitudes de serie según la tarifa en vigor.

#### Tolerancias:

± 3 mm.

+0 - 4 mm.

+0 - 5 mm-

#### Campo de uso:

Se utiliza en trasdosados, para lograr aislamiento acústico y térmico.

#### Calidad constatada:

La regularidad con que son sometidas a ensayo los materiales en los laboratorios de nuestra fábrica, garantiza una calidad constante desde el control de calidad de las materias primas a la vigilancia permanente de la producción. Nuestra amplia gama de productos ofrece siempre la garantía de estar todos fabricados bajo norma UNE EN 13950 y lleva el marcado CE.



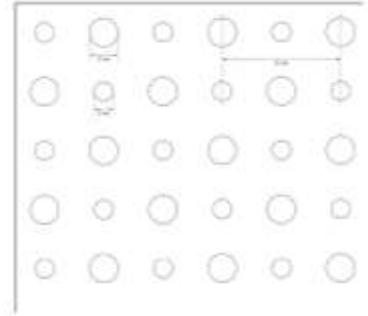
**DESCRIPCIÓN:**

Techo continuo fonoabsorbente fabricado en base a Placa de Yeso Laminado, con perforaciones realizadas mediante punzonado, y tecnología Activ´Air en su fabricación.

**CAMPOS DE APLICACIÓN:**

Ejecución de techos fonoabsorbentes y decorativos en:

- Edificios Comerciales, Hoteles, Oficinas, Auditorios, Edificios públicos, Colegios, Hospitales, Restaurantes, Museos, etc.
- Salones de actos, salas de reuniones, salas de conferencias o exposiciones, etc.
- Locales donde se quiera realizar una corrección acústica, disminuyendo el tiempo de reverberación.



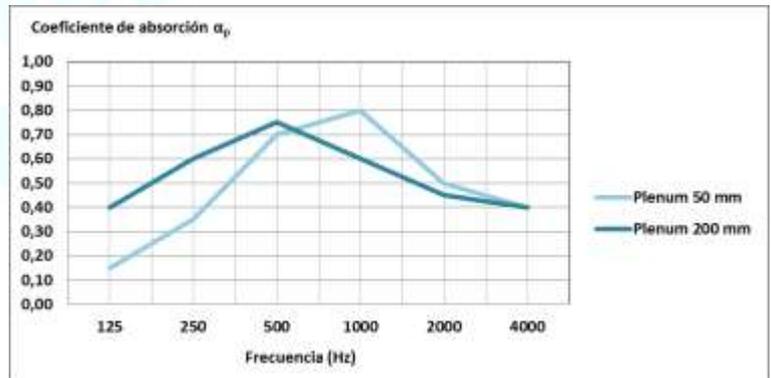
**VENTAJAS:**

- Elimina los COVS (familia aldehídos) del aire gracias a la tecnología Activ´Air.
- Facilidad y rapidez en la instalación.
- El velo de tisú fonoabsorbente adherido en su reverso, detiene las altas frecuencias, e impide la caída de partículas desde el plenum.
- Sus 4 bordes cuadrados evitan que se aprecien las juntas.
- Permite numerosas variaciones en el diseño, pudiéndose ejecutar tanto techos planos como curvos.
- La superficie final admite su pintado posterior.



**DATOS TÉCNICOS:**

- **Espesor nominal:** 12,5 mm
- **Longitud nominal:** 2.000 mm
- **Ancho:** 1.200 mm
- **Tipo de borde longitudinal:** Cuadrado
- **Tipo de borde transversal:** Cuadrado
- **Tipo de perforaciones:** Circulares
- **Diámetro perforaciones:** 8 y 12 mm
- **Separación entre centros perforaciones igual Φ:** 50 mm
- **Perforaciones:** 13,1 %
- **Peso:** 10,0 kg/m<sup>2</sup>
- **Reacción al fuego:** A2-s1, d0
- **Coef. conductividad térmica:** 0,25 W / mK
- **Color del velo de tisú:** Negro
- **Acondicionamiento:** Palets de 20 placas



Frec Hz	125	250	500	1000	2000	4000	$\alpha_w$ UNE EN ISO 11654	NRC	$\alpha_m$ DB HR
$\alpha_p$	0,15	0,35	0,70	0,80	0,50	0,40	0,55 (M)	0,60	0,65
$\alpha_p$	0,40	0,60	0,75	0,60	0,45	0,40	0,50 (LM)	0,60	0,60

**PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS:**

Perfilería, Accesorios y Tornillos Rigi. Sellador Rikombi, Pasta de juntas Vario y Guía de montaje 8-12/50.

**ALMACENAJE Y CONSERVACION:**

Almacenar las placas sobre superficies planas y nunca a la intemperie, manteniéndolas a cubierto, resguardadas de la luz solar y de la lluvia.

**MANIPULACIÓN:**

Cuando las placas sean transportadas por carretillas elevadoras, las uñas de la carretilla deberán estar abiertas al máximo.

**FORMA DE MONTAJE:**

Consultar el Manual de Instalador Placo y el Manual de Soluciones Constructivas en Techos.

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de SAINT-GOBAIN PLACO IBERICA S.A. de sus productos, cuando son correctamente almacenados, manejados e instalados en situaciones normales, y dentro de su vida útil. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. SAINT-GOBAIN PLACO IBERICA S.A. se reserva el derecho de cambiar las especificaciones técnicas del producto sin previos aviso. Es responsabilidad del usuario conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite.



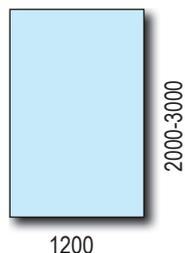
**EN 14190**



FICHAS TÉCNICAS

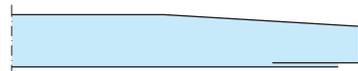
## Datos técnicos

### ■ Formato de placas (en mm)



### ■ Tipos de bordes

- Longitudinal: revestido con cartón **BA**



### ■ Tipos de bordes

- Transversal: sin cartón **BC**



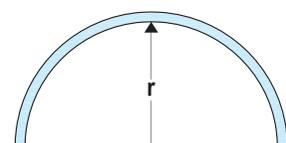
### ■ Tolerancias

- Ancho +0 / -4 mm
- Longitud +0 / -5 mm
- Espesor:
  - Placa 12,5 y 15 mm. +0,5 / -0,5 mm
  - Placa 18 mm. +0,7 / -0,7 mm
- Ortogonalidad ≤2,5 mm / m

### ■ Radios de curvatura mínimo

- Placa 9,5 mm.
  - Seco  $r \geq 2000$  mm
  - Húmedo  $r \geq 500$  mm
- Placa 12,5 mm.
  - Seco  $r \geq 2750$  mm
  - Húmedo  $r \geq 1000$  mm

No se recomienda el curvado de placas de mayor espesor.



### Placa tipo

Placa tipo	STD				
	A		UNE EN 520		
Reacción al fuego UNE EN 13501-1	A2-s1,d0 (B)		UNE EN 520		
Factor de resistencia al vapor de agua $\mu$			UNE EN ISO 10456		
■ Seco	10				
■ Húmedo	4				
Conductividad térmica $\lambda$	W/(m.K)	0,21	UNE EN ISO 10456		
Hinchamiento y retracción					
■ Por c/ 1% de variación de H rel. A:	mm/m	0,005 - 0,008			
■ Por °K de variación de temperatura:	mm/m	0,013 - 0,02			
■ Absorción de agua (superficial)	g/m <sup>2</sup>	≤ 180			
■ Absorción de agua (total)	%	> 40			
Secado (después de 2 hs. de inmersión)	hs.	70			
Absorción capilar después de un tiempo de inmersión:					
■ Después de 24 hs.		210 mm.			
■ Después de 20 días		380 mm.			
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	≥ 630			
Calor específico	J/(kg.°K)	1000			
Dureza superficial (huella)	mm	< 20			
Permeabilidad al aire	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .s.Pa)	1,4 x10 <sup>-6</sup>			
Dilatación térmica	1/°C	5 x10 <sup>-6</sup>			
Medidas:					
■ Espesores	mm	9,5, 12,5, 15, 18 y 25			
■ Anchura	mm	1200			
■ Longitudes	mm	Varias			
Peso aprox.:					
■ Placa de 9,5 mm.	kg/m <sup>2</sup>	6,5			
■ Placa de 12,5 mm.	kg/m <sup>2</sup>	8,0			
■ Placa de 15 mm.	kg/m <sup>2</sup>	10,9			
■ Placa de 18 mm.	kg/m <sup>2</sup>	13,0			
■ Placa de 25 mm.	kg/m <sup>2</sup>	19,4			
Resist. característica a compresión $f_{c,90,K}$ (de la propia placa)	N/mm <sup>2</sup>	≥ 3,5	DIN 1052		
Módulo medio de elasticidad $E_{med}$ (de la propia placa)					
■ longitudinal:	N/mm <sup>2</sup>	2800			
■ transversal:	N/mm <sup>2</sup>	2200			
Temperatura máxima de uso	°C	≤ 50 (puntualmente hasta 60)			
Carga de rotura a flexión (N) UNE EN 520					
Placa tipo	9,5 mm	12,5 mm	15 mm	18 mm	25 mm
■ longitudinal:	≥ 400	≥ 560	≥ 650	≥ 774	≥ 1500
■ transversal:	≥ 160	≥ 210	≥ 250	≥ 774	≥ 1500

Las placas de Yeso Laminado, al absorber agua, aumentan su peso. Con un aumento del 10% de su peso, experimentan una pérdida del 70% de su resistencia.

Esta placa no tiene tratamiento hidrófugo. En contacto con el agua, tarda aprox. 2 hs., para llegar a un aumento de su peso del 10%.

### Knauf

Teléfono de contacto:

► Tel.: 902 440 460

► Fax: 91 766 13 35

► [www.knauf.es](http://www.knauf.es)

**Sistemas de Construcción en Seco** Avda. Manoteras, 10 - Edificio C, 28050 Madrid

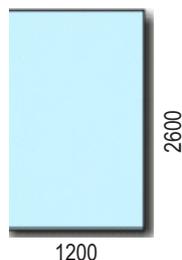
**La documentación técnica está sujeta a constantes actualizaciones, es necesario consultar siempre la última versión desde nuestra página Web. [www.knauf.es](http://www.knauf.es)**



Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial, sin la autorización de Knauf GmbH España. Garantizamos la calidad de nuestros productos. Los datos técnicos, físicos y demás propiedades consignados en esta hoja técnica, son resultado de nuestra experiencia utilizando sistemas Knauf y todos sus componentes que conforman un sistema integral. Los datos de consumo, cantidades y forma de trabajo, provienen de nuestra experiencia en el montaje, pero se encuentran sujetos a variaciones, que puedan provenir debido a diferentes técnicas de montaje, etc. Por la dificultad que entraña, no ha sido posible tener en cuenta todas las normas de la edificación, reglas, decretos y demás escritos que pudieran afectar al sistema. Cualquier cambio en las condiciones de montaje, utilización de otro tipo de material o variación con relación a las condiciones bajo las cuales ha sido ensayado el sistema, puede alterar su comportamiento y en este caso, Knauf no se hace responsable del resultado de las consecuencias del mismo.

### Datos técnicos

#### ■ Formato de placas (en mm)



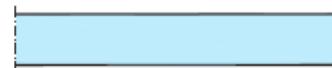
#### ■ Tipos de bordes

- Longitudinal: revestido con cartón **BA**



#### ■ Tipos de bordes

- Transversal: sin cartón **BC**



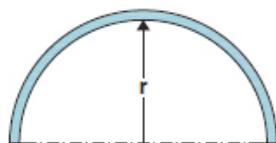
#### ■ Tolerancias

- Ancho +0 / -4 mm
- Longitud +0 / -5 mm
- Espesor:
  - Placa 12,5. +0,5 / -0,5 mm
  - Ortogonalidad ≤2,5 mm / m

#### ■ Radios de curvatura mínimo

##### Placa 12,5 mm.

- Seco  $r \geq 2750$  mm
- Húmedo  $r \geq 1000$  mm



Placa tipo	DFI	UNE EN 520
Reacción al fuego UNE EN 13501-1	A2-s1,d0 (B)	UNE EN 520
Factor de resistencia al vapor de agua $\mu$		UNE EN ISO 10456
■ Seco	10	
■ Húmedo	4	
Conductividad térmica $\lambda$	W/(m.K)	0,25
		UNE EN ISO 10456
Hincharse y retracción		
■ Por $c/1\%$ de variación de H rel. A::	mm/m	0,005 - 0,008
■ Por $^{\circ}K$ de variación de temperatura	mm/m	0,013 - 0,02
■ Absorción de agua (superficial)	g/m <sup>2</sup>	≤ 180
■ Absorción de agua (total)	%	> 30
Secado (después de 2 hs. de inmersión)	hs.	72
Absorción capilar después de un tiempo de inmersión:		
■ Después de 24 hs.		210 mm.
■ Después de 20 días		380 mm.
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	≥ 860
Calor específico	J/(kg.°K)	1000
Dureza superficial (huella)	mm	< 15
Permeabilidad al aire	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .s.Pa)	1,4 x10 <sup>-6</sup>
Dilatación térmica	1/°C	5 x10 <sup>-6</sup>
Medidas:		
■ Espesores.	mm	12,5
■ Anchura.	mm	1200
■ Longitud	mm.	2600
Peso aprox.:		
■ Placa de 12,5 mm.	kg/m <sup>2</sup>	11,0
Resist. característica a compresión $f_{c,90,K}$ (de la propia placa)	N/mm <sup>2</sup>	≥ 3,5
		DIN 1052
Módulo medio de elasticidad $E_{med}$ (de la propia placa)		
■ longitudinal:	N/mm <sup>2</sup>	4000
■ transversal:	N/mm <sup>2</sup>	3200
Temperatura máxima de uso	°C	≤ 50 (puntualmente hasta 60)
Carga de rotura a flexión (N) UNE EN 520 (kg/m <sup>2</sup> )		
Placa tipo	12,5 mm	15 mm
■ longitudinal:	≥ 560	≥ 650
■ transversal:	≥ 210	≥ 250

Las placas de Yeso Laminado, al absorber agua, aumentan su peso. Con un aumento del 10% de su peso, experimentan una pérdida del 70% de su resistencia.

Esta placa no tiene tratamiento hidrófugo. En contacto con el agua, tarda aprox. 2 hs., para llegar a un aumento de su peso del 10%.

Knauf

Atención al cliente:  
- Tel.: 902 440 460  
- Fax.: 91.766 13 35

www.Knauf.es

Knauf GmbH España, Av. de Manoteras, 10 - edificio C - 28050 Madrid

El coste de la llamada es de 0,0887 €/min. durante el primer minuto y 0,0688 €/min. los restantes, llamando desde un teléfono fijo desde España. Las llamadas desde un móvil o internacionales, son las fijadas por el operador.

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial, sin la autorización de Knauf GmbH España. Garantizamos la calidad de nuestros productos. Los datos técnicos, físicos y demás propiedades consignados en esta hoja técnica, son el resultado de nuestra experiencia utilizando sistemas Knauf y todos sus componentes que conforman un sistema integral. Los datos de consumo, cantidades y forma de trabajo, provienen de nuestra experiencia en el montaje, pero se encuentran sujetos a variaciones, que puedan provenir debido a diferentes técnicas de montaje, etc. Por la dificultad que entraña, no ha sido posible tener en cuenta todas las normas de la edificación, reglas, decretos y demás escritos que pudieran afectar al sistema. Estas normas de utilización, deben ser tenidas en cuenta por quienes harán uso del mismo. Cualquier cambio en las condiciones de montaje, utilización de otro tipo de material o variación con relación a las condiciones bajo las cuales ha sido ensayado el sistema, puede alterar su comportamiento y en este caso, Knauf no se hace responsable del resultado de las consecuencias del mismo.

Código: xxxxxxxxxxxx  
Edición: 08/2016

Los detalles constructivos, así como los datos físicos, estáticos y propiedades de nuestros sistemas, se pueden garantizar solamente utilizando productos comercializados o recomendados por Knauf GmbH.



## HOJA TECNICA

### PLACA DE YESO LAMINADO TRANSFORMADA KNAUF POLYPLAC EPS 38

#### Datos comerciales:

Esesor de placa:	9,5 mm.
Esesor del poliestireno:	20, 30, 40, 50 y 60 mm. (otras medidas bajo pedido)
Ancho:	1200 mm.
Longitudes:	2500 y 2600 mm.
Bordes:	Afinados
Color:	Cara aparente blanca

#### Datos técnicos:

Placa compuesta, conformada por una placa Knauf Standard de 9,5 mm. de espesor, que lleva adherida una lámina de poliestireno expandido blanco.

La adherencia del poliestireno a esta placa se realiza por medio de una cola blanca de Polisilicato de Vinilo.

#### Características

	PYL Knauf	Poliestireno expandido				
	9,5 mm.	20 mm.	30 mm.	40 mm.	50 mm.	60 mm.
Densidad del material (Kg/m <sup>3</sup> )	779	15				
Conductividad térmica $\lambda$ (W/m.K)	0,21	0,038				
Resistencia térmica útil material $R_t$ (m <sup>2</sup> .K/W)	0,05	0,53	0,79	1,05	1,32	1,58
<b>Resistencia térmica útil del conjunto <math>R_t</math> (m<sup>2</sup>.K/W)</b>		<b>0,55</b>	<b>0,80</b>	<b>1,10</b>	<b>1,35</b>	<b>1,60</b>
Factor de resistencia al vapor de agua, $\mu$	Seco 10 Húmedo 4	Seco 70 Húmedo 30				
Durabilidad: sin límites, siempre que no esté en contacto con humedades.						

\*En transformados, el redondeo se hace al 0.5 inferior.

#### Campo de uso:

Trasdosados de tabiques y muros, para lograr un mayor aislamiento térmico y acústico.

#### Normativa

UNE EN 13950

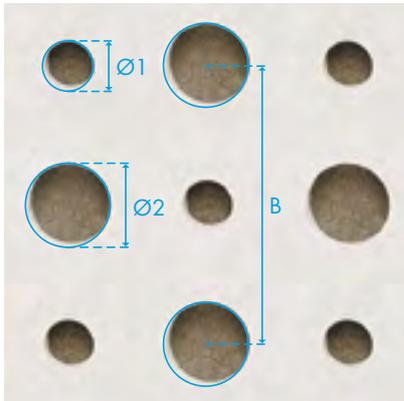
#### Calidad constatada:

La regularidad con que son sometidas a ensayo los materiales en los laboratorios de nuestra fábrica, garantiza una calidad constante desde el control de calidad de las materias primas a la vigilancia permanente de la producción. Nuestra amplia gama de productos ofrece siempre la garantía de estar todos fabricados bajo norma UNE EN 13950 y llevan el marcado CE.





## PERFORACIONES



DESCRIPCIÓN	PERFORACIÓN ( $\varnothing_1/\varnothing_2$ )	DISTANCIA E/E (B)	% PERFORACION	$\alpha_w^{**}$	$\alpha_m^{**}$
Velo Blanco*	8/12	50	13,1	0,60	0,58
	12/20	66	19,6	0,60 (L)	0,65

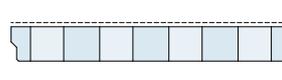
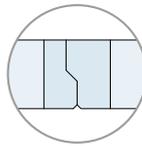
\* Velo negro bajo pedido

\*\*  $\alpha_w$  y  $\alpha_m$  para techo suspendido 200mm sin lana mineral. Más datos acústicos página 58

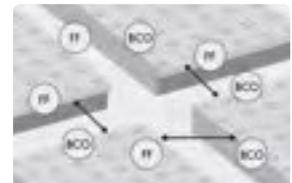
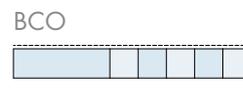
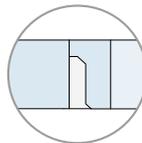
## BORDES

Según perforación

BORDE LINEAR  
12/20/66



BORDE FF + BCO  
8/12/50  
12/20/66



	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	BORDE LINEAR	BORDE FF
Cleneo Akustik alternada	8/12/50 R	1.200x2.000 mm		✓
	12/20/66 R	1.188x1.980 mm	✓	✓

