

## **PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:**

PANEL MODULAR FONOAORSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO



TRABAJO FIN DE GRADO

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

Realizado por: Alejandro Revilla Sánchez

Tutor: Diego Frustaglia

Grupo Docente: Paloma Rubio – Enrique Fernández

Grupo y Curso: TFG H 2022/2023



\*Este trabajo es individual. Sin embargo, desde el punto **1. Introducción** hasta el punto **6. Planteamiento Experimental**, ha sido elaborado en grupo formado por Alejandro Revilla Sánchez y Valentín López Pareja.

## **PRÓLOGO**

---

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN. PALABRASS CLAVE	2
ABSTRACT. KEY WORDS	2

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	3
	1.1. Los plásticos y sus propiedades	
	1.2. Tipos de plásticos	
	1.3. Problemas de los plásticos e impacto medioambiental. Reciclaje como solución.	
2.	ESTADO DE LA CUESTIÓN	11
	2.1. Origen y evolución de las espumas de poliuretano	
	2.2. Composición y propiedades de las espumas de poliuretano	
	2.3. Aplicación de las espumas de poliuretano en el sector automovilístico en la actualidad	
	2.4. Problemática ambiental de las espumas de poliuretano en el sector automovilístico y reciclaje	
	2.5. Estudios de referencia	
3.	OBJETIVOS	27
	3.1. Objetivos generales	
	3.2. Objetivos específicos	
4.	HIPÓTESIS DE PARTIDA	28
5.	METODOLOGÍA DE TRABAJO	29
6.	PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL. ENSAYO ACÚSTICO	30
	6.1. Introducción y normativa de aplicación	
	6.2. Metodología	
	6.3. Análisis de resultados	
	6.4. Conclusiones del ensayo	
	6.5. Cumplimiento normativa vigente	
7.	PRODUCTO PROPUESTO	51
	7.1. Diseño del producto	
	7.2. Características acústicas	
	7.3. Normativa aplicable	
8.	APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO	57
	8.1. CEIP Nuestra Señora de Linares	
	8.2. Exigencias técnicas del producto: cumplimiento CTE DB HR	
	8.3. Impacto medioambiental de la solución	
9.	CONCLUSIONES	68
	BIBLIOGRAFÍA	69
	ANEXOS	75



## **AGRADECIMIENTOS**

---

*A mi tutor, Diego Frustaglia, y grupo docente, Paloma Rubio y Enrique Fernández, y al resto de docentes que han participado en esta investigación y me han guiado a lo largo del camino.*

*A mi compañero, Valentín López Pareja, con el que he tenido el placer de compartir la primera parte de la realización del trabajo.*

*A todas y cada una de las personas que me han acompañado a lo largo de estos años, en especial amigos y familia.*

## **RESUMEN. PALABRAS CLAVE**

En la sociedad actual, los vehículos se han convertido en un elemento esencial de nuestra vida cotidiana. Resulta impensable concebir nuestra realidad tal y como la conocemos sin su presencia. "Sin embargo, el aumento del uso de los vehículos ha generado una gran cantidad de residuos, muchos de ellos considerados peligrosos por la Unión Europea (UE)"

Resulta fundamental contar con un conocimiento riguroso sobre el tratamiento y la gestión de este tipo de residuos, con el objetivo de minimizar su impacto en el medio ambiente. En este sentido, se hace necesaria la adopción de políticas y medidas que promuevan una gestión más eficiente de tales residuos, a través de procesos de reciclaje y tratamiento que permitan reducir su impacto ambiental.

De este modo, se presenta la propuesta de un panel modular fonoabsorbente aplicable en el sector de la construcción cuyo relleno está compuesto de espumas de poliuretano extraídas de los centros de tratamientos autorizados (CAT). Estas espumas son utilizadas como relleno de asientos y tapicerías en automóviles y otros tipos de vehículos generando anualmente, una gran cantidad de residuos de espuma de poliuretano que no es reciclada ni tratada.

Con esta propuesta no solo logramos favorecer el comportamiento acústico del recinto de aplicación, llegando a igualar los valores de absorción acústica obtenidos por los productos convencionales utilizados actualmente, sino que se reduce el proceso de fabricación, reduciendo el impacto medioambiental y haciendo de este producto un producto sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

**Automóvil – Plástico – Espuma de Poliuretano – Absorción acústica – Panel fonoabsorbente - Reciclaje**

## **ABSTRACT. KEY WORDS**

In today's world, vehicles have become an essential element of our daily lives. It is unthinkable to conceive our reality as we know it without their presence. "However, the increase in the use of vehicles has generated a large amount of waste, many of which are considered dangerous by the European Union (EU)."

It is essential to have rigorous knowledge about the treatment and management of this type of waste, with the aim of minimizing its impact on the environment. In this sense, the adoption of policies and measures that promote more efficient management of such waste through recycling and treatment processes that reduce their environmental impact is necessary.

In this way, the proposal is presented for a sound-absorbent modular panel applicable in the construction sector whose filling is made up of polyurethane foams extracted from Authorised Treatment Centres (CAT). These foams are used as filling for seats and upholstery in cars and other types of vehicles, generating a large amount of polyurethane foam waste each year that is neither recycled nor treated.

With this proposal we not only manage to improve the acoustic performance of the application area, reaching the same acoustic absorption values obtained by the conventional products currently used, but we also reduce the manufacturing process, reducing the environmental impact and making this product a sustainable and environmentally friendly product.

**Automotive – Plastic – Polyurethane foam – Sound absorption – Acoustic panel – Recycling**

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Los plásticos y sus propiedades

---

El origen etimológico del término "plástico" proviene del griego "plastikos", el cual hace referencia a la capacidad del material para ser moldeado. Esto se refiere a su maleabilidad o plasticidad durante el proceso de fabricación, permitiendo que pueda ser fundido, prensado o extruido en diferentes formas y tamaños.

El término "plástico" se utiliza comúnmente para referirse a una amplia variedad de materiales sintéticos o semisintéticos que se utilizan en una gran cantidad de aplicaciones en la vida moderna, haciendo que esta sea más fácil, limpia y agradable. El plástico se encuentra en envases, prendas de vestir, edificios, dispositivos médicos, automóviles, teléfonos móviles, y muchos otros objetos cotidianos.

"Los plásticos son materiales orgánicos, igual que la madera, el papel o la lana. Las materias primas que se utilizan para producir plástico son productos naturales como la celulosa, el carbón, el gas natural, la sal y, por supuesto, el petróleo." [1]

El plástico es un material muy versátil que se puede utilizar en una amplia variedad de aplicaciones industriales y de consumo gracias a sus propiedades. Se trata de un material de baja densidad, lo que lo hace ligero y fácil de transportar. Además, tienen excelentes propiedades de aislamiento térmico, acústico y eléctrico. Son resistentes a la corrosión y duraderos, lo que los hace ideales para aplicaciones exigentes y pueden ser transparentes.

Los plásticos, se pueden moldear fácilmente para crear formas complejas y se pueden combinar con otros materiales para crear productos específicos. Si un plástico no cumple con todas las propiedades necesarias para una aplicación en particular, se pueden modificar sus propiedades con rellenos, colores, agentes espumantes, retardantes de llama y plastificantes para satisfacer los requisitos específicos.

## 1.2. Tipos de plásticos

---

" El plástico se fabrica a partir de materiales naturales como la celulosa, el carbón, el gas natural, la sal y el petróleo mediante un proceso de polimerización o policondensación." [2]

Los plásticos se pueden agrupar en tres grandes grupos:

- Los **termoplásticos**: Son un tipo de polímeros que tienen la capacidad de fundirse y endurecerse varias veces sin perder sus propiedades. A diferencia de otros materiales, cuando los termoplásticos se congelan, se vuelven vítreos y se quiebran.

Este comportamiento reversible es lo que les da su nombre y los hace mecánicamente reciclables. Esto significa que, gracias a su capacidad para ser moldeados y remodelados repetidamente, los termoplásticos pueden ser reciclados mecánicamente para crear nuevos productos.

Encontramos en este grupo el Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), el policarbonato (PC), el polietileno (PE), el polietileno tereftalato (PET), el policloruro de vinilo (PVC), el polimetilmetacrilato (PMMA), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el poliestireno expandido (EPS), etc.

- Los **termoestables**: Son un tipo de polímeros que únicamente puede ser fundido y moldeado una vez, y que no puede volver a ser transformado una vez enfriado. A diferencia de los termoplásticos, este tipo de plástico no puede cambiar su estructura cuando se vuelve a calentar, sino que se quema.

El motivo es que, al aplicar temperatura para moldearlos por primera vez, las moléculas se enlazan de manera permanente. En consecuencia, los termoestables son materiales sólidos y altamente resistentes al calor.

Encontramos en este grupo el Poliuretano (PUR), el Epóxido (EP), el Fenol-formaldehído (PF), las Resinas de poliéster insaturado (UP), etc.

- Los **elastómeros**: Son un tipo de polímeros altamente elásticos y viscosos que están compuestos por moléculas largas con forma de cadena, compuestas principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno o silicio. Estas moléculas tienen estructuras químicas con enlaces cruzados intermoleculares, lo que les permite recuperar su forma original después de haber sido estirados o deformados. Sin embargo, la mayoría de este tipo de plásticos se consideran termoestables.

Encontramos en este grupo el caucho (tanto natural como sintético), el neopreno y las siliconas.

### 1.3. Problemas de los plásticos e impacto medioambiental. Reciclaje como solución

La problemática de los plásticos y su impacto medioambiental es una cuestión que ha tomado gran importancia en los últimos años. Los plásticos se han convertido en un material fundamental para la producción de una gran variedad de productos debido a su bajo coste y a sus características versátiles. Sin embargo, el uso excesivo de este material ha provocado una gran cantidad de residuos que han generado un grave problema para el medio ambiente.

En su informe anual sobre la situación de los plásticos, la asociación Plastics Europe presenta datos relevantes acerca de la producción, demanda y gestión de estos materiales. En el año 2021, se registró un aumento en la producción de plásticos a nivel mundial, alcanzando un total de 390,7 millones de toneladas, tras un período de estancamiento debido a la pandemia de la COVID-19 el año anterior [Figura 1]. De esa producción, el 90,2% es de origen fósil, mientras que los plásticos reciclados después del consumo y los plásticos de origen biológico representan tan solo el 8,3% y el 1,5% respectivamente. [Figura 2]

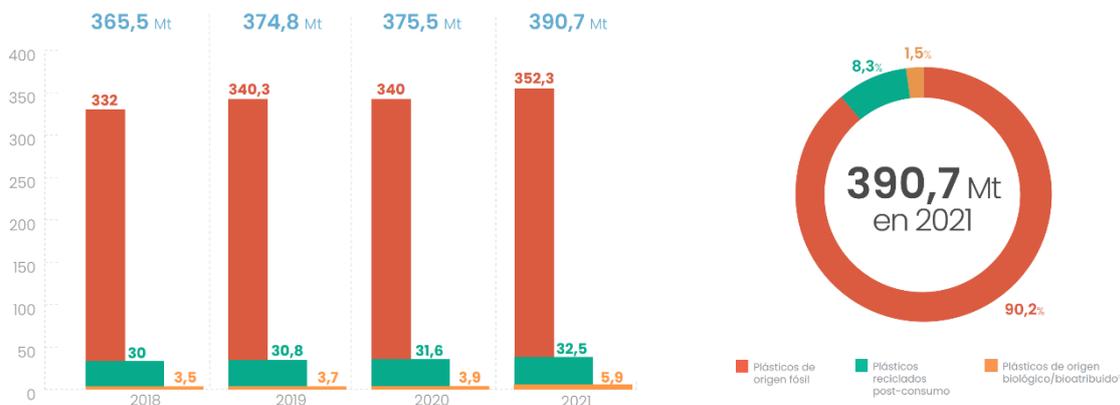


Figura 1. Evolución de la producción mundial de plásticos. Fuente: Plastics Europe. «Plásticos – Situación en 2022»

Figura 2. Producción mundial de plásticos en 2021. Fuente: Plastics Europe. «Plásticos – Situación en 2022»

En 2021, China incrementó su cuota de mercado hasta representar casi un tercio de la producción mundial de plásticos.

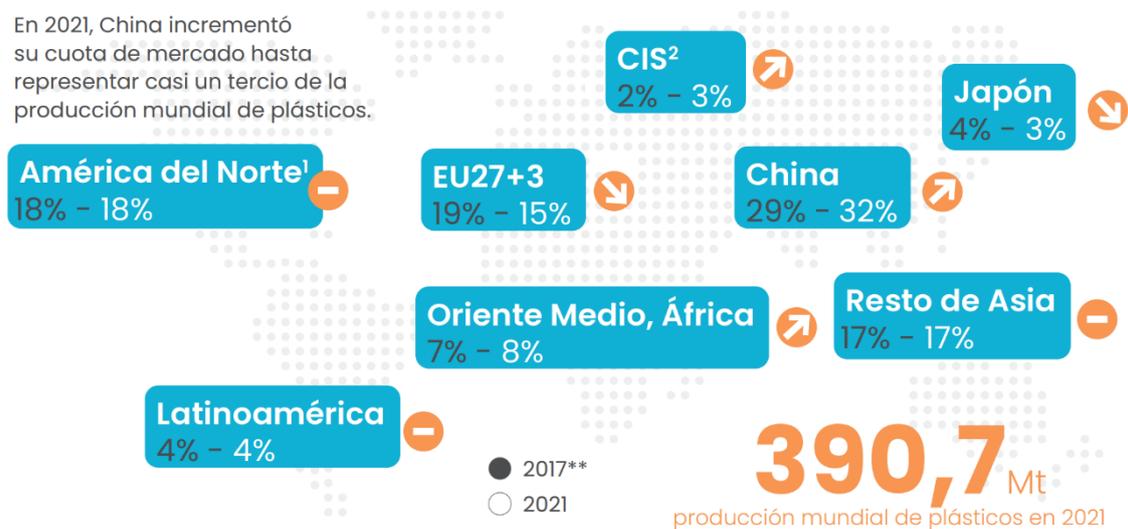


Figura 3. Distribución de la producción mundial de plásticos. Fuente: Plastics Europe. «Plásticos – Situación en 2022»

Según esta información, Europa tiene una participación del 15% en la producción global de plásticos, lo que supone una disminución del 1% con respecto al año anterior y una disminución de hasta un 4% en comparación con el año 2017. Por otro lado, se observa un incremento del 3% en la producción de plásticos en China, representando casi un tercio de la producción mundial. [Figura 3]

La demanda de plásticos en Europa en 2019 *está* liderada por las poliolefinas (PE y PP), que representa el 49,2% del total de plástico fabricado en la UE (19,4% de PP, 17,4% de PE-LD y 12,4% de PE-HD).

En cuanto a su categoría, la producción global de materiales plásticos está predominantemente encabezada por los termoplásticos, los cuales conforman el 77,7% del total. El Poliuretano (PUR) únicamente representa el 5,5% del conjunto, y junto con otros termoestables, alcanzan un total del 12,6%. En términos de plásticos circulares, estos conforman el 9,8% de la producción global de plásticos.

[Figura 4]

Con relación a los mercados de uso final, se puede apreciar que la fabricación de envases ocupa el primer lugar en cuanto a producción se refiere, seguida por la construcción y la edificación, y finalmente el sector de la automoción. Este es un aspecto importante que considerar para entender la distribución y relevancia de la producción industrial en diferentes sectores económicos. [Figura 5]

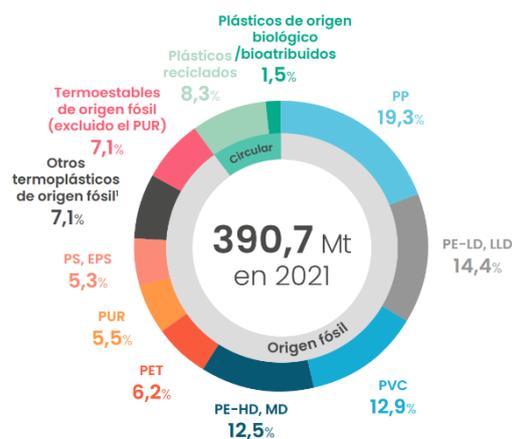


Figura 4. Distribución de la producción mundial de plásticos por tipo. Fuente: Plastics Europe. «Plásticos – Situación en 2022»



Figura 5. Distribución de la producción mundial de plásticos por aplicación. Fuente: Plastics Europe. «Plásticos – Situación en 2022»

## PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:

PANEL MODULAR FONOABSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

Al deshacernos de los plásticos, existen diversas formas de disposición, tales como el vertedero, la incineración o el reciclaje. A pesar de ello, la exposición a factores climáticos como el viento y la lluvia puede propiciar que estos residuos lleguen al océano, inclusive cuando son descartados correctamente en la basura. Este fenómeno representa un grave problema ambiental.

En la actualidad, únicamente se ha reciclado el 9% de la cantidad total de plástico producido y consumido a nivel mundial hasta la fecha, mientras que el 12% ha sido incinerado. La abrumadora mayoría del 79% restante ha acabado en vertederos o en el medio ambiente.

Uno de los principales problemas asociados al uso de los plásticos es su lenta degradación. La mayoría de los plásticos tardan siglos en descomponerse, lo que implica que permanecen en el medio ambiente durante mucho tiempo. Además, muchos de estos materiales no son biodegradables y, por tanto, no pueden ser descompuestos por los microorganismos del suelo o del agua. [Figura 6] Resulta complicado calcular el tiempo que le toma al plástico degradarse en los océanos; no obstante, se presume que su descomposición es significativamente más lenta que en los entornos terrestres.



Figura 6. Tiempo de descomposición de los plásticos.  
Fuente: Greenpeace

Otro problema asociado a los plásticos es su impacto en la fauna marina y terrestre. Muchos animales confunden los plásticos con comida, lo que puede provocar su asfixia o sufrir daños internos graves. Además, algunos productos químicos utilizados en la producción de los plásticos son tóxicos y pueden ser perjudiciales para la salud de los animales que los ingieren.

Asimismo, el problema de los microplásticos se ha convertido en una amenaza cada vez mayor para la salud del planeta y sus habitantes. Estos pequeños fragmentos de plástico, de menos de 5 mm de tamaño, se encuentran en todos los rincones del mundo. Este problema se agrava por el hecho de que son prácticamente indestructibles y no biodegradables, lo que significa que persisten en el medio ambiente durante cientos de años.

En términos generales, tanto los microplásticos como los nanoplásticos representan un riesgo para la salud humana. La evidencia obtenida de estudios clínicos sugiere que estos materiales pueden ingresar al cuerpo humano a través de la ingestión, la inhalación y la absorción por medio de la piel, y posteriormente acumularse en los órganos. [Figura 7]

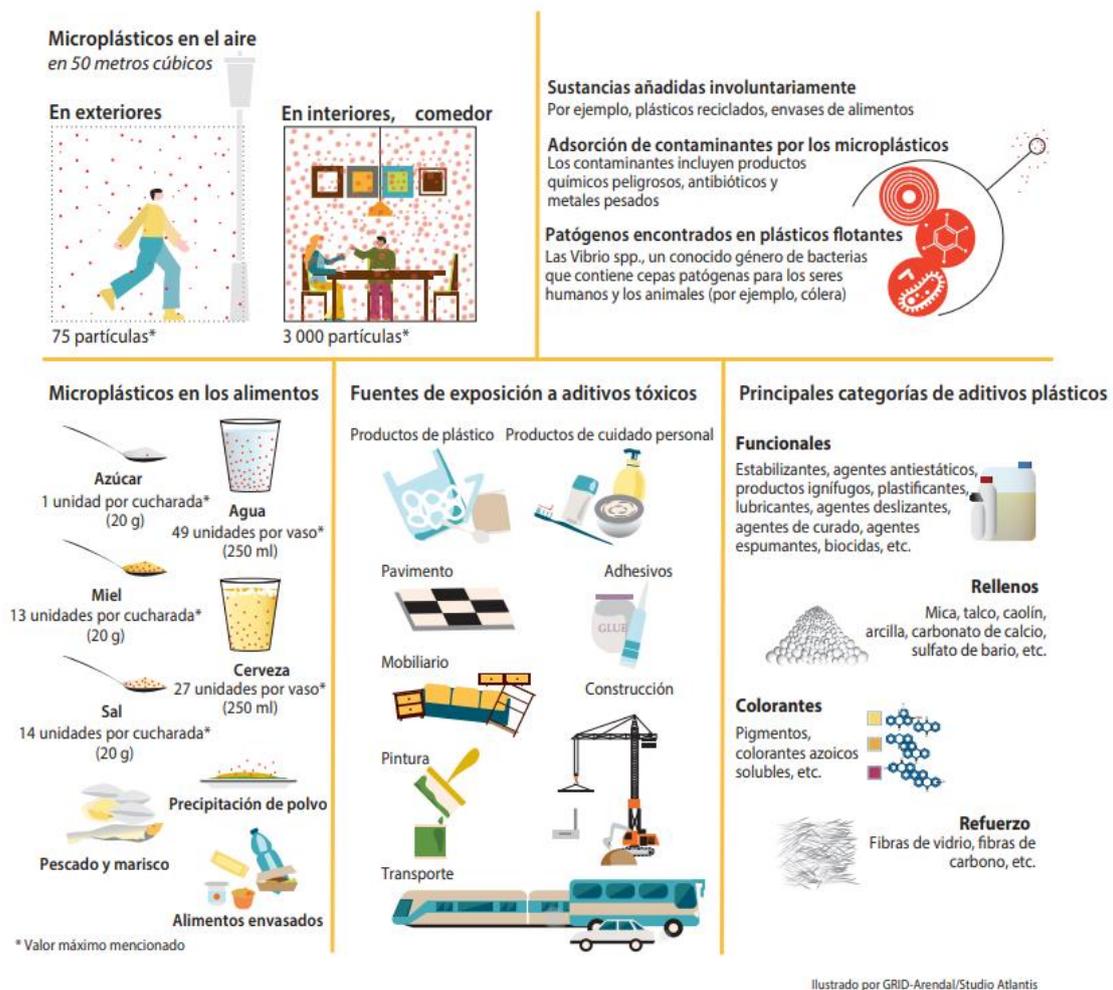


Figura 7. Exposición humana a partículas de plástico y productos químicos conexos. Fuente: PNUMA (2021). «De la contaminación a la solución. Una evaluación global de la basura marina y la contaminación por plásticos»

## PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:

PANEL MODULAR FONOAORSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

Para abordar esta problemática, se han propuesto diversas soluciones, como la reducción en el consumo de plásticos, la utilización de materiales biodegradables y la mejora en la gestión de residuos.

La sensibilización y la educación de la sociedad con relación al uso responsable de los plásticos, así como su reciclaje también son medidas fundamentales para reducir el impacto medioambiental.

En su informe anual, la organización Plastics Europe destaca la economía circular de los plásticos como una solución clave al problema cada vez más preocupante de la producción de este material.

"La economía circular y climáticamente neutra de los plásticos es un sistema en el que los plásticos se producen, transforman, utilizan y gestionan de forma sostenible." [3]

Para lograr una economía circular y climáticamente neutra, se requiere invertir e innovar en todos los aspectos de la cadena de valor de los plásticos. Es necesario desarrollar nuevos modelos de negocio que fomenten la reutilización y la producción de más plásticos reciclados, así como de materias primas alternativas que no dependan tanto del petróleo y el gas de origen fósil. Esto supone un gran desafío, pero también una oportunidad para transformar la industria y promover un futuro más sostenible.

[Figura 8]

Según el informe, en el año 2021, la UE27+3 empleó 5,5 millones de toneladas de plásticos reciclados para la producción de nuevos productos y componentes. Esta cantidad equivale aproximadamente al 10% del total de materiales reciclados en la transformación de plásticos, lo que representa un aumento del 20% en comparación con el año anterior, 2020.

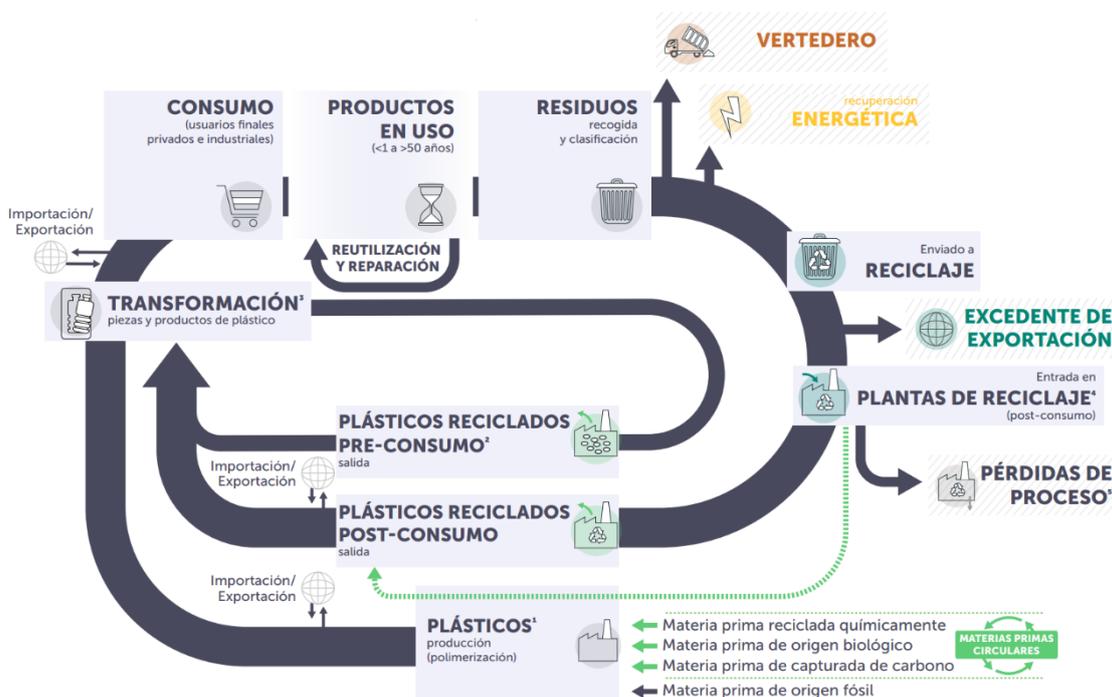


Figura 8. La circularidad de los plásticos. Fuente: Plastics Europe. «Plásticos – Situación en 2022» & «La economía circular de los plásticos. Una visión europea»

El informe "La economía circular de los plásticos. Una visión europea" ofrece información significativa acerca de los desechos derivados de envases de plástico. Durante el año 2020, se enviaron más de 10 millones de toneladas de desechos de plástico post-consumo para su reciclaje, y 4,6 millones de toneladas se utilizaron en la producción de nuevos productos de plástico, lo que representa el 8,5% del total y un aumento del 1,3% en comparación con el año 2018. La cantidad de plásticos reciclados utilizados en envases, construcción y agricultura, ganadería y jardinería también experimentó un aumento del 43%, 15% y 3%, respectivamente, en comparación con el año 2018 [Figura 9]. A pesar de estos avances, todavía existe una proporción del 65% de estos residuos que no forman parte de la economía circular en la UE27+3. Además, se ha comprobado que los índices de reciclaje de residuos plásticos son 13 veces mayores cuando se realizan recolecciones selectivas en comparación con los sistemas de recolección mixtos.

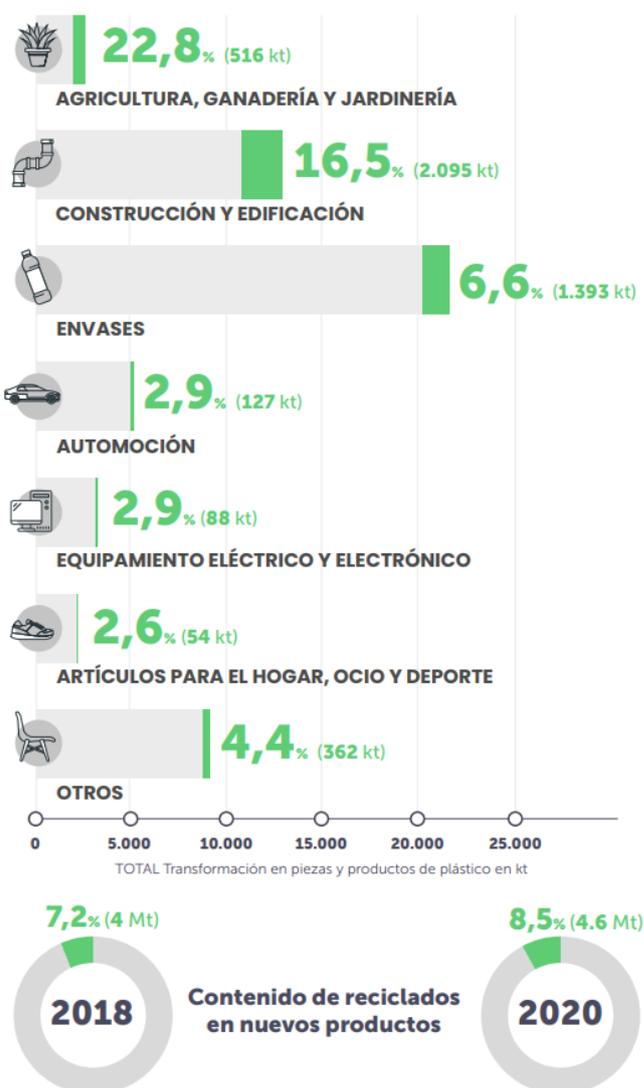


Figura 9. Índices de contenido en reciclado por aplicación de los plásticos. Fuente: Plastics Europe. «La economía circular de los plásticos. Una visión europea»

## 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 2.1. Origen y evolución de las espumas de poliuretano

En su búsqueda por crear una fibra sintética con características similares a la poliamida, el químico Otto Bayer llevó a cabo una investigación en la que utilizó un grupo reactivo capaz de generar uretanos al entrar en contacto con alcoholes. Este hallazgo fue el punto de partida para la creación de los poliuretanos, lo que llevó a que en 1937 Bayer obtuviera la patente correspondiente a este proceso.

A pesar de las expectativas, los primeros intentos no produjeron las fibras esperadas, sino más bien una espuma cuyos poros se generaron debido a la producción de dióxido de carbono como subproducto.

Paralelamente a los trabajos en el laboratorio, el inventor y su equipo se enfocaron en identificar las posibles aplicaciones para las espumas, fibras y elastómeros del nuevo plástico. En las patentes registradas hasta 1948, se puede dilucidar la enorme creatividad de los investigadores, quienes describieron diversas utilidades de su invención:

"Los materiales porosos y livianos pueden utilizarse como soporte estructural en la construcción de aviones y barcos, como aislante térmico y acústico, para la fabricación de muebles, ruedas, juguetes, construcción de edificios, prótesis, suelas de calzado y vendajes de tracción". [4]

"El Profesor Otto Bayer nació en Frankfurt, Alemania, en 1902. Como químico capacitado, estableció una reputación como un destacado investigador a una edad temprana y posteriormente se convirtió en el director de investigación en Bayer. Se le atribuye la invención de materiales basados en poliuretano, una familia revolucionaria de plásticos que siguen siendo críticos para muchos aspectos de nuestra vida cotidiana. Después de su muerte a los 79 años en 1982, una disposición generosa en su testamento aseguró que se pudiera establecer el Premio Otto Bayer en su memoria" [5]



Figura 10. Otto Bayer, descubrimiento de los poliuretanos. Fuente: Bayer Foundation

A partir de 1952 se inició la producción a escala industrial del poliuretano, impulsada por el rápido progreso en la química y la tecnología de transformación después de la Segunda Guerra Mundial. En ese año, la fábrica de Bayer en Leverkusen comenzó a producir unas 100 toneladas de materias primas de poliuretano anualmente. Desde entonces, la demanda por este material aumentó significativamente, y en la actualidad se estima que el consumo mundial anual de poliuretano alcanza los nueve millones de toneladas. Estas cifras fueron mencionadas por primera vez en octubre de 1997 durante el "Polyurethanes World Congress" de Amsterdam.

El año 1960 fue un momento crucial para la historia del poliuretano, ya que se presentó por primera vez una espuma rígida con capas metálicas superpuestas, que hoy conocemos como paneles metálicos tipo sándwich. Esto supuso un gran avance en la industria de la construcción, ya que estos paneles se convirtieron en un material de construcción ligero y resistente que permitía la creación de edificios más eficientes energéticamente.

Además, las espumas flexibles conquistaron el mundo del mueble y de los asientos de coche, proporcionando comodidad y seguridad a los usuarios. En la industria frigorífica, la espuma de poliuretano se empezó a utilizar como aislante térmico, proporcionando una eficaz protección contra la pérdida de temperatura en las cadenas del frío.

A pesar de las crisis del petróleo de la década de 1970, el consumo de poliuretano siguió creciendo, y en la década de 1980 se empezó a dar cada vez más importancia a las propiedades a medida del cliente. En el sector de la automoción, se combinaron dos durezas distintas para proporcionar un mayor confort y funcionalidad a los asientos y, además, se utilizaban espumas absorbentes de energía en los habitáculos de los automóviles para proteger a los ocupantes en caso de colisiones laterales.

La década de 1990 se caracterizó por la expansión global del poliuretano, con la creación de redes mundiales de centros de asesoramiento, distribución y servicio técnico para prestar apoyo a los clientes y proporcionar suministros rápidos y flexibles. En esta década también se introdujeron las espumas viscoelásticas, que ofrecen una gran adaptabilidad y confort al usuario al recuperar su forma inicial de forma lenta.

Con el inicio del nuevo milenio se da lugar a la creación de materiales compuestos con bajo peso y alta rigidez, que ofrecen diversas aplicaciones en campos como la industria automotriz y sanitaria. Las tendencias globales, como el cambio climático, plantean desafíos en cuanto a aislamiento térmico y construcción de vehículos eficientes y sostenibles.

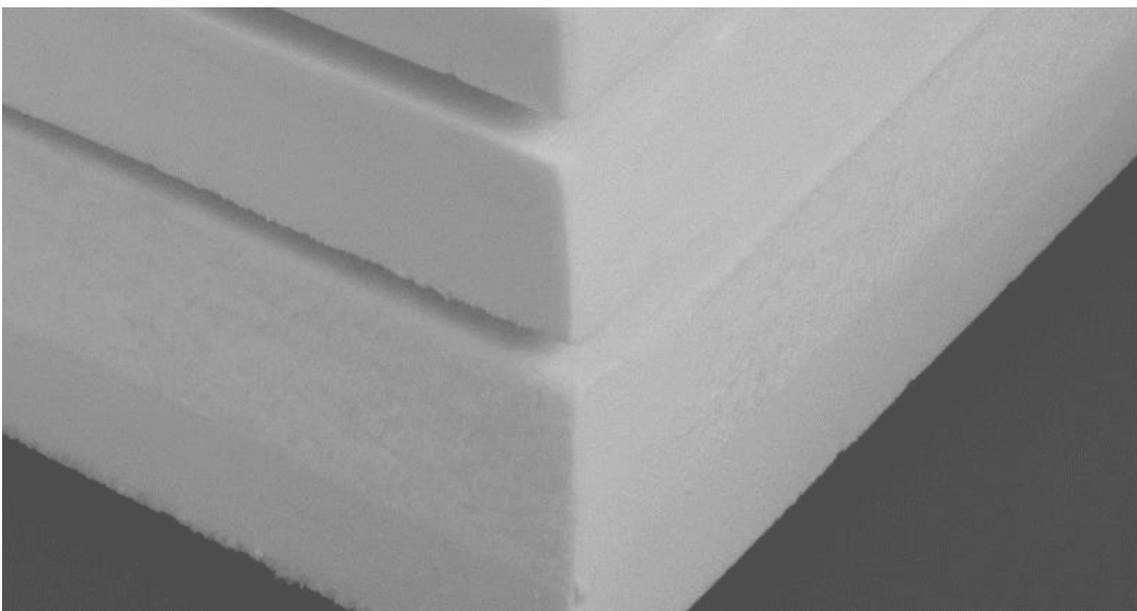


Figura 11. Espumas de poliuretano. Fuente: Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido (IPUR)

## 2.2. Composición y propiedades de las espumas de poliuretano

Las espumas de poliuretano son materiales ampliamente utilizados en diferentes industrias debido a su excelente combinación de propiedades mecánicas, térmicas y de aislamiento acústico. Estas espumas se componen de dos componentes principales: el polioliol y el isocianato, que al mezclarse reaccionan y forman la estructura celular de la espuma. La cantidad y tipo de componentes utilizados, así como las condiciones de la reacción, influyen en las propiedades finales de la espuma.

Las espumas de poliuretano flexibles tienen estructuras celulares elásticas de celdas abiertas, las cuales, en comparación con las espumas de caucho natural y látex SBR, tienen una menor inflamabilidad y una mejor resistencia a la oxidación y el envejecimiento. Estas espumas son ampliamente utilizadas en aplicaciones de amortiguación y materiales de tapicería debido a sus propiedades únicas. Además, son ampliamente utilizadas para resolver problemas de aislamiento térmico y acústico debido a sus propiedades excepcionales como aislante.

Según el sistema de fabricación se pueden dividir los tipos de espuma de poliuretano en dos tipos:

- **Espumas en caliente:** Son un tipo de espuma que libera calor durante su reacción, y se fabrican en piezas de gran tamaño que se destinan a ser cortadas posteriormente. Estas espumas suelen ser las más económicas y también las más utilizadas.
- **Espumas en frío:** Son un tipo de espuma que liberan una cantidad mínima de calor durante su reacción. Su aplicación principal es la creación de piezas mediante moldes y como relleno en otros productos, como aislantes, entre otros usos. En general, se considera que las espumas en frío tienen una mayor calidad y durabilidad que las espumas en caliente, aunque su precio es significativamente superior.

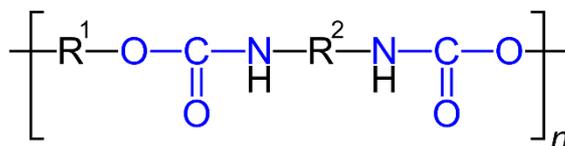


Figura 12. Grupo uretano, eslabón de las cadenas poliméricas en los poliuretanos. Fuente: Wikipedia

## 2.3. Aplicación de las espumas de poliuretano en el sector automovilístico en la actualidad

La capacidad del poliuretano (PU) para ser producido en diversas formas, tales como espumas flexibles con una densidad de 30 kg/m<sup>3</sup> o plásticos duros y rígidos con una densidad de 1.220 kg/m<sup>3</sup>, es parte fundamental de su éxito. Además, durante la fase de desarrollo se pueden ajustar diversas propiedades para cumplir con las necesidades específicas de cada fabricante de automóviles, y así garantizar que se cumplan los requerimientos para diferentes aplicaciones.

En la fabricación de automóviles, los poliuretanos son ampliamente utilizados debido a sus múltiples beneficios en términos de confort, protección y conservación de energía. Estos materiales se encuentran comúnmente en los asientos, reposacabezas y reposabrazos de la mayoría de los coches debido a sus propiedades de amortiguación, que ayudan a reducir la fatiga y el estrés asociados con la conducción.

Además, la durabilidad y peso ligero de los poliuretanos los hacen ideales para su uso en los cuerpos de los automóviles, ya que sus propiedades de aislamiento proporcionan protección contra el calor y el ruido del motor. Como resultado, su uso no solo mejora la eficiencia del combustible, sino también el desempeño ambiental del automóvil.

## 2.4. Problemática ambiental de las espumas de poliuretano en el sector automovilístico y reciclaje

### Industria automovilística española.

España es uno de los principales productores de automóviles a nivel mundial. Según datos facilitados por la Dirección General de Tráfico (DGT), el parque automovilístico español estaba integrado por una cifra considerada de **25.222.554 turismos** en el año 2022.

A estas cifras hay que añadir que, la edad media del parque vuelve a aumentar en 2021 y alcanza los 13,49 años de antigüedad, tal y como señala el último Informe Anual 2021 elaborado por la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC). España continúa teniendo uno de los parques más envejecidos de Europa superando la media de edad del continente de 11,5 años. Según ANFAC, en el último año por cada turismo nuevo matriculado, se han vendido cerca de 1,4 turismos de más de 10 años, desviando el mercado hacia vehículos de mayor antigüedad, más contaminantes, retrasando la renovación del parque y lastrando el cumplimiento de los objetivos de descarbonización marcados en el PNIEC.

El número de nuevas matriculaciones desde el año 2015 hasta el año 2022 y, aunque actualmente la cifra haya bajado considerablemente, se sitúa por encima de los 8.000.000 de unidades. [Figura 13]

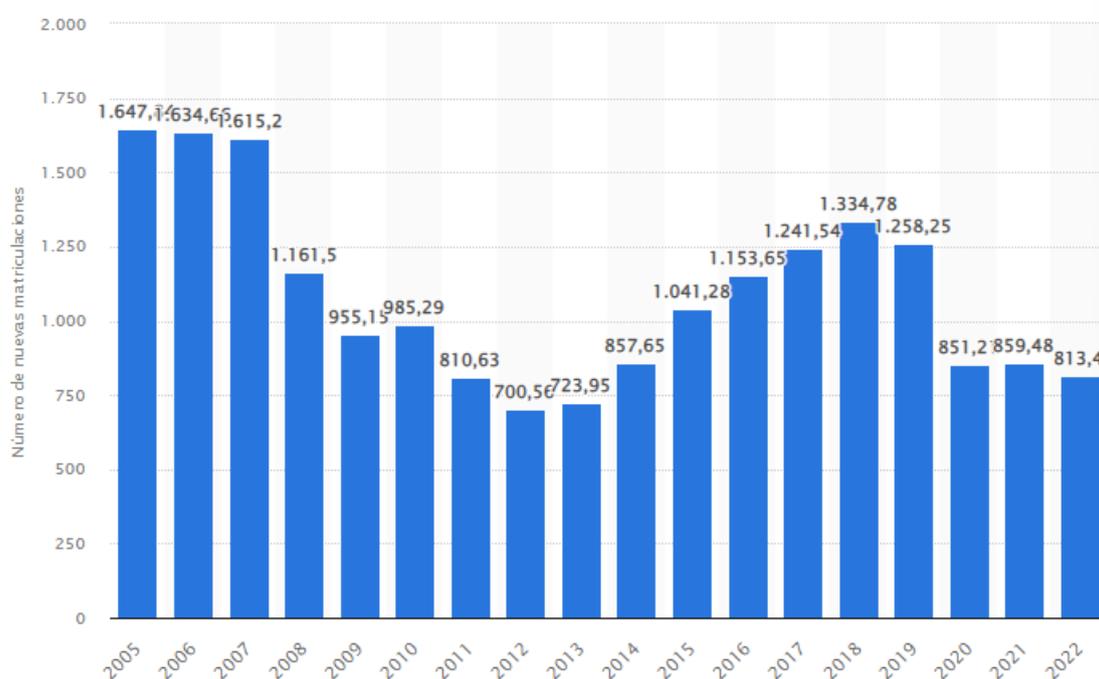


Figura 13. Evolución del número de automóviles matriculados en España entre 2005 y 2022. Fuente: Statista

Por otro lado, el número de vehículos dados de baja en el último año fue aproximadamente **980.000 unidades**. Esto lo tendremos en cuenta para calcular una estimación de la cantidad de residuos generados anualmente. [Figura 14]

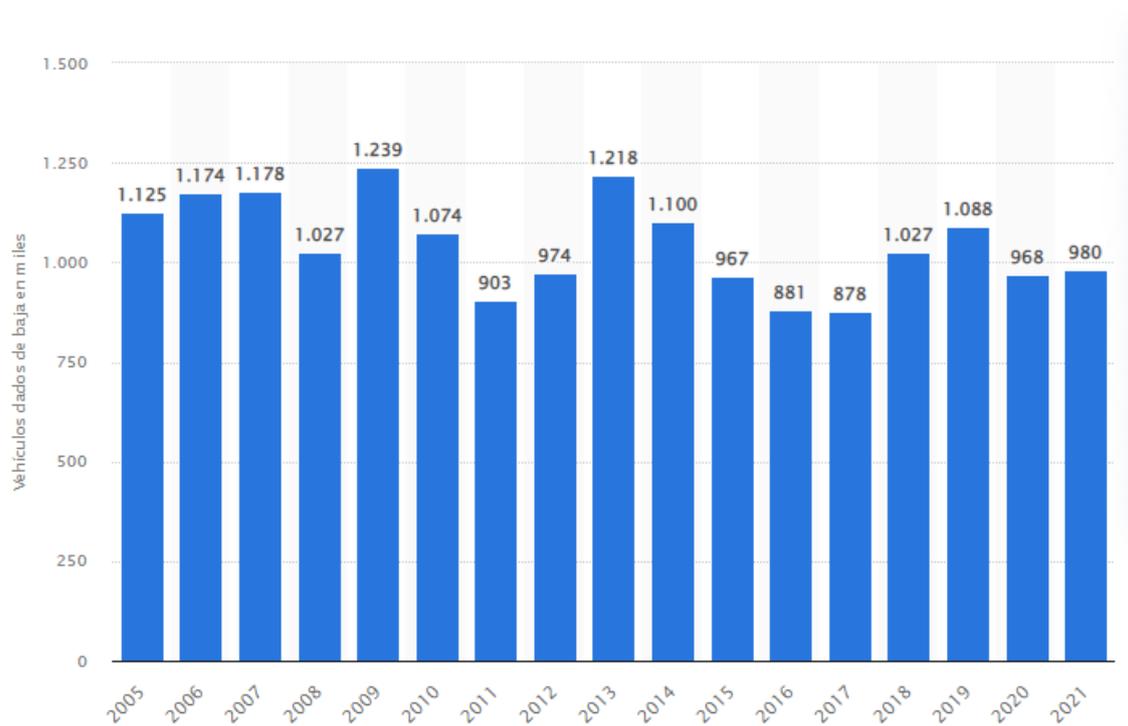


Figura 14. Evolución anual del número total de vehículos que se dieron de baja en España entre 2005 y 2021.  
Fuente: Statista

### Presencia del poliuretano dentro del automóvil.

Según datos de IPUR (Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido) un automóvil típico de 1000 kg de peso total contiene 100 kg de plásticos, de los cuales alrededor de **15 kg son poliuretano**.

Conociendo estos datos calculamos una aproximación de los kilos de poliuretano desechados anualmente:

$$980.000 \text{ unidades} \times 15\text{kg PUR} = 14.700.000 \text{ Kg PUR}$$

Obteniendo la cantidad aproximada por año de **47.000 Tn** de espuma de poliuretano al año.

## Vida útil automóvil

En líneas generales, la vida útil de un coche en años depende de muchos factores, lo cual hace que la cifra varíe. Pero, según el Informe Anual 2019 de la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC), la edad media del parque de vehículos en España es de 13,5 años. Por lo tanto, se puede estimar la vida útil media de los coches en unos 14 años aproximadamente.

Comparado con la vida útil de la espuma de poliuretano que se sitúa en los 50 años, se observa que sólo se está aprovechando el 28% de su vida útil. Pero ¿Qué pasa con la espuma cuando el ciclo de vida del automóvil llega a su fin?

Los VFU (vehículos al final de su vida útil) son aquellos vehículos que se han convertido en residuos y por lo tanto pasan a ser tratados como tales en cuestión de normativa, reciclaje y tratamiento.

Este tipo de residuo se rige por el Real Decreto 20/2017, de 20 de enero, sobre los vehículos al final de su vida útil y por el Real Decreto 265/2021, de 13 de abril, sobre los vehículos al final de su vida útil.

Los CAT son los únicos centros autorizados para descontaminar los vehículos y extraer piezas y componentes de vehículos que previamente hayan causado baja definitiva en el Registro de vehículos de la Dirección General de Tráfico. Para dar cumplimiento al principio de jerarquía de residuos, estos centros deberán separar las piezas y componentes que se puedan preparar para la reutilización.

Según un estudio de la ETSEIAT (Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica Terrassa) UPC, el porcentaje de recuperación de los plásticos perteneciente a un automóvil ronda el 33%. Un porcentaje bajo respecto a otros elementos del automóvil como el metal o el vidrio cuyo porcentaje de recuperación es del 99% y el 85% respectivamente.

Si aplicamos ese porcentaje a las toneladas de espuma de poliuretano desechadas al año nos quedan **31.490 Tn** anuales que no se reciclan. [Figura 15] El objetivo de este trabajo es la búsqueda de una solución a esas toneladas de espuma, encontrando posibles aplicaciones en el sector de la construcción.

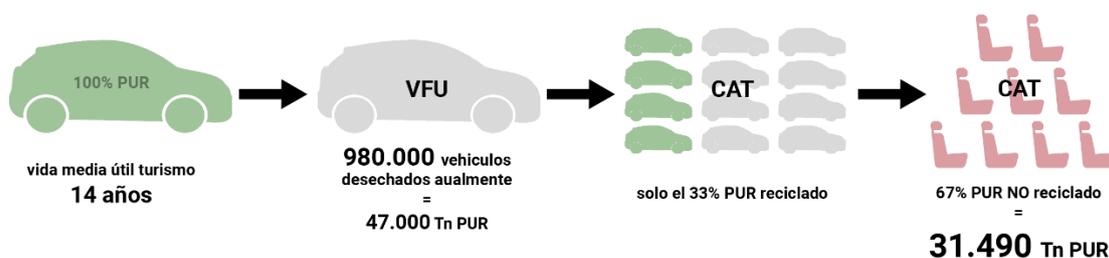


Figura 15. Esquema resumen de los datos aportados. Fuente: Elaboración propia

## 2.5. Estudios de referencia

### Una adaptación acústica sostenible de materiales porosos abiertos utilizando plásticos reciclados [6]

En este artículo se presenta un método experimental para producir espumas de célula abierta sostenibles que posean características de absorción acústica adaptables. La adaptación de estas propiedades se logra mediante la variación del tipo y del contenido de microplásticos en una matriz biológica como lo es el alginato (polisacárido aniónico lineal extraído de algas pardas), así como la presencia o ausencia de un plastificante.

Los plásticos proceden de desechos industriales y domésticos, como el tereftalato de polietileno (PET) de botellas y espumas rígidas, así como poliestireno expandido (PS) rígido y expandido. El polvo de PET se obtuvo triturando espumas de PET rígida; el polvo de PS triturando PS rígido; y los copos de PET triturando botellas.

Durante la producción las espumas obtenidas presentaban dos lados diferenciados debido al proceso; el inferior, en contacto con el molde (identificado con la letra B de "Bottom") aparece más suave y uniforme, mientras que el superior, en contacto con el aire (identificado con la letra A de "Aire") aparece más áspero. [Figura 16]

En cuanto a los plásticos, los copos de PET tendieron a hundirse hacia el fondo del molde (claramente visibles en el lado B); mientras que, los polvos, tanto de PET como de PS, permanecieron suspendidos y están, por consiguiente, distribuidos de una forma más homogénea en las espumas. [Figura 17 y Figura 18]



Figura 16: Lados A y B de la muestra 1 (sin glicerol) y muestra 7 (3.2ml glicerol) Fuente: Estudio de referencia [6]

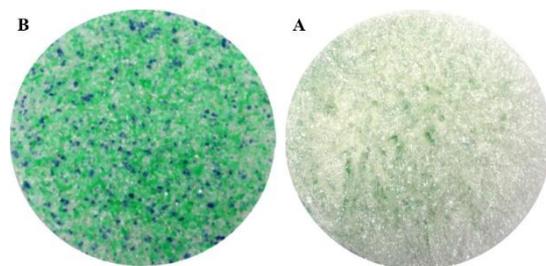


Figura 17: Lados A y B de la muestra 13, siendo visibles los copos de PET en el fondo (lado B) y polvos PET/PS en el lado superior (lado A) Fuente: Estudio de referencia [6]



Figura 18: Lados superiores de la muestra 8 (polvo PS) y muestra 1 (polvo PET) Fuente: Estudio de referencia [6]

Los principales hallazgos se pueden resumir de la siguiente manera:

- Las espumas producidas proporcionan muy buenos rendimientos de absorción de sonido en la mayoría de los casos.
- El rendimiento de absorción acústica es adaptable, capaz de proporcionar diferentes picos de absorción en función del tipo y forma de los microplásticos incluidos.
- Aumentar la concentración de alginato en la matriz aumenta el rendimiento y la rigidez de las muestras, con diferencias sustanciales entre el lado donde se depositan los microplásticos (capa resistente al sonido) y el otro.
- El plastificante también actúa para mejorar el rendimiento en ambos lados y, notablemente, los cambios de pico de frecuencia son posibles en el lado de la capa resistente.
- La adición de PS a las composiciones mixtas de polvo de microplásticos (PS y PET) mejora la absorción de sonido por la estructura porosa abierta que enfrenta las ondas sonoras. Al cambiar al otro lado, se observa un cambio en la frecuencia de pico, lo que sugiere que es posible ajustar el rendimiento general.
- La forma de los microplásticos influye en el resultado final. Específicamente, la absorción de sonido puede mejorarse agregando una pequeña cantidad de copos de microplásticos en lugar de polvo cuando no se opone una capa resistente al sonido a las ondas sonoras. En todos los demás casos, las escamas de microplásticos ejercen una influencia negativa en el rendimiento general.

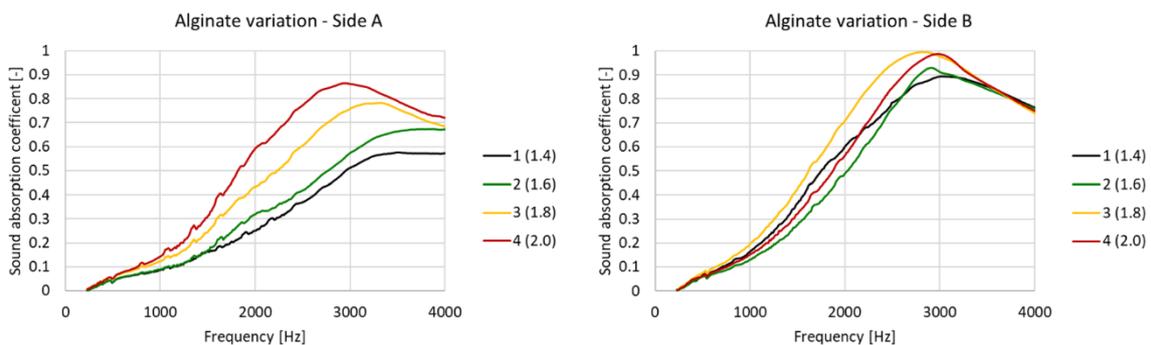


Figura 19: Coeficiente de absorción en ambas caras de la muestra incrementando las concentraciones de alginato. Fuente: Estudio de referencia [6]

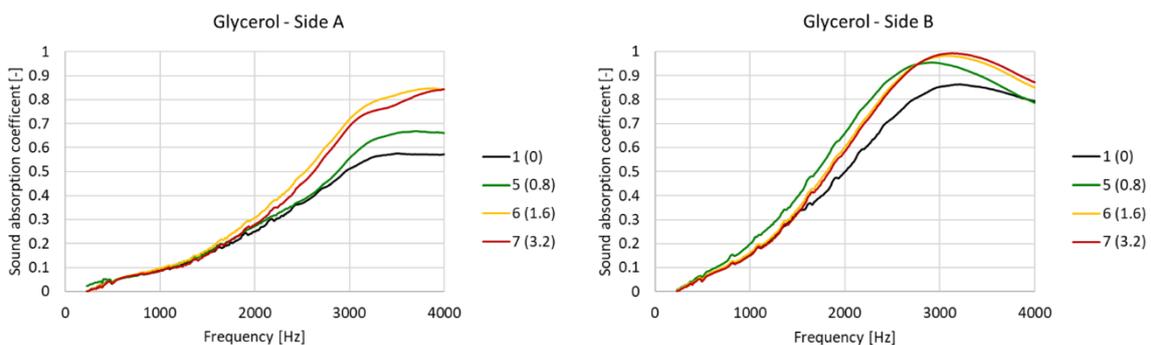


Figura 20: Coeficiente de absorción en ambas caras de la muestra incrementando las concentraciones de glicerina. Fuente: Estudio de referencia [6]

## PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:

PANEL MODULAR FONOAORSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

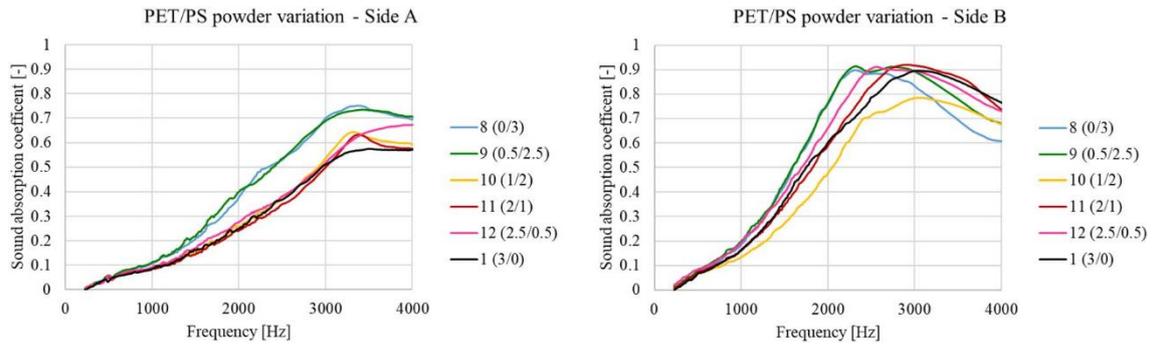


Figura 21: Coeficiente de absorción en ambas caras de la muestra variando la proporción de polvo de microplásticos añadidos. Fuente: Estudio de referencia [6]

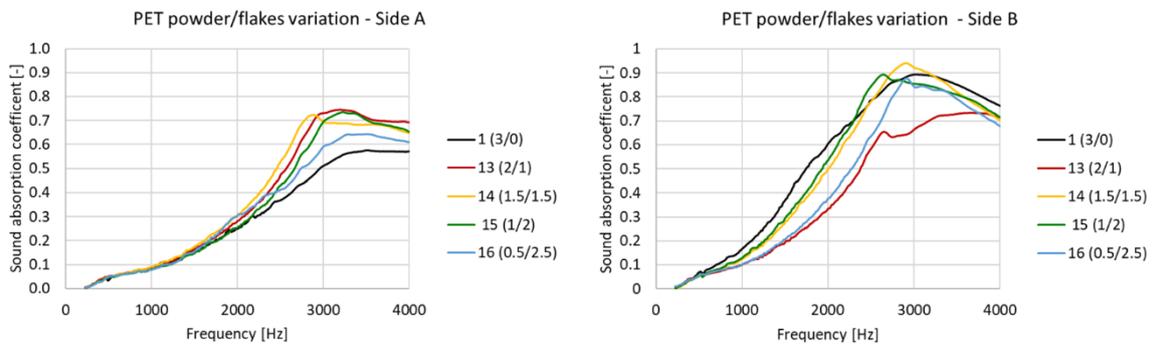


Figura 22: Coeficiente de absorción en ambas caras de la muestra variando la proporción, tanto de polvos, como de copos, de microplásticos añadidos. Fuente: Estudio de referencia [6]

Los resultados obtenidos evidencian que es factible producir espumas sostenibles de células abiertas para su uso en aplicaciones acústicas.

[6] Caniato, Marco & Cozzarini, Luca & Schmid, Chiara & Gasparella, Andrea. (2022). A sustainable acoustic customization of open porous materials using recycled plastics. Scientific Reports. 12. 10955. 10.1038/s41598-022-14009-z

## Desarrollo e investigación de estructuras de metamaterial compuesto reciclable hechas de residuos de plástico y caucho para reducir el ruido y la reverberación en interiores [7]

En este artículo se plantea la creación de estructuras a partir de metamaterial\* con plástico y se estudia, por sus propiedades de absorción de sonido, en un tubo de impedancia.

\*Se entiende como metamaterial es cualquier material artificial creado a partir de arreglos microscópicos de elementos existentes en una estructura que le da al material propiedades no convencionales, especialmente cuando se usa para manipular ondas de luz o sonido

Un diseño combinado, compuesto por un resonador de 100 mm de largo con una perforación de 2,0 mm y una placa de yeso de 20 mm de espesor con dos disposiciones distintas, ortogonal y central. Independientemente de si se trataba de un resonador en forma de "X" o de "O", se logró un buen pico de absorción de sonido a 315 Hz de 0,94. Cuando se compararon las estructuras combinadas de diseños en forma de "X" y "O" de 50 mm de largo, se lograron diferentes picos de absorción de sonido a altas frecuencias. Se logró un pico de absorción de sonido ligeramente mejor de 0,95 a 500 Hz con el resonador en forma de "O" y 0,93 a 630 Hz con el resonador en forma de "X".

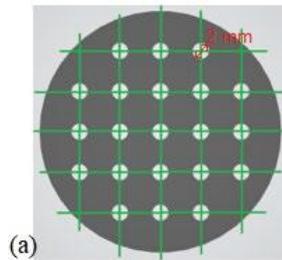


Figura 23: Disposición ortogonal de las placas de yeso perforadas utilizadas en los ensayos. Fuente: Estudio de referencia [7]

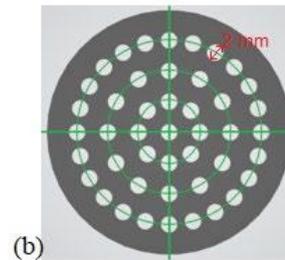


Figura 24: Disposición central de las placas de yeso perforadas utilizadas en los ensayos. Fuente: Estudio de referencia [7]

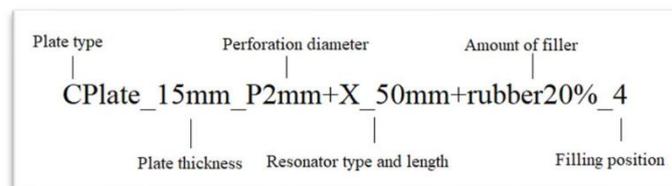


Figura 25: Nomenclatura de ejemplo para muestras combinadas. Fuente: Estudio de referencia [7]



Figura 26: Gránulos de caucho de fracción gruesa utilizados como absorbente. Fuente: Estudio de referencia [7]

**PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:**

PANEL MODULAR FONOAORSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

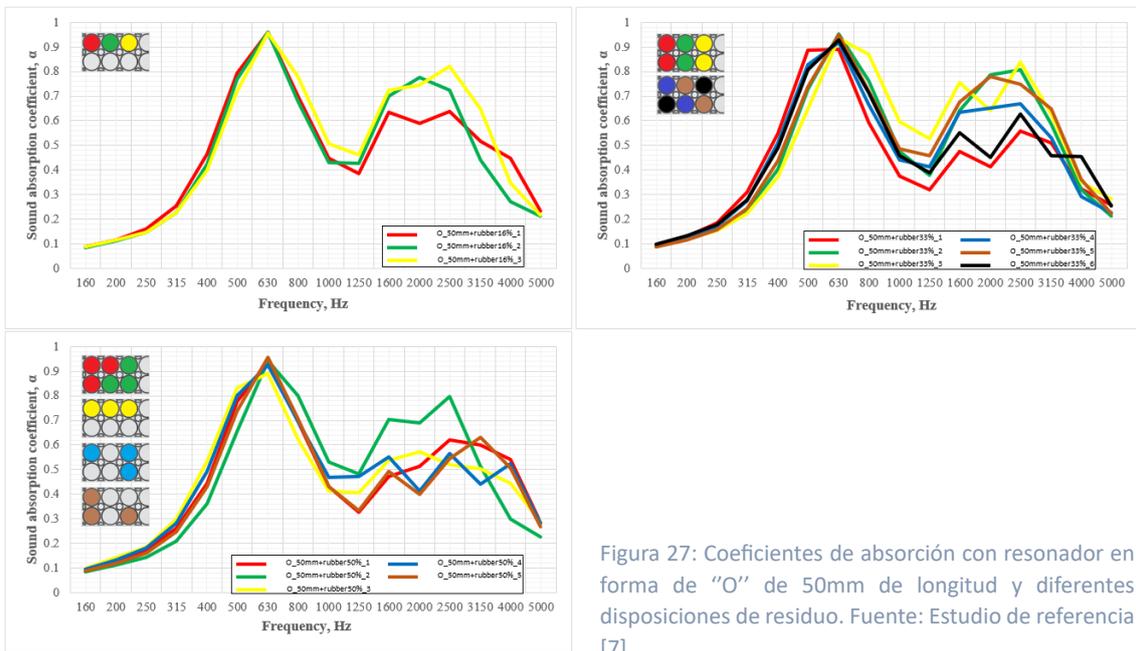


Figura 27: Coeficientes de absorción con resonador en forma de "O" de 50mm de longitud y diferentes disposiciones de residuo. Fuente: Estudio de referencia [7]

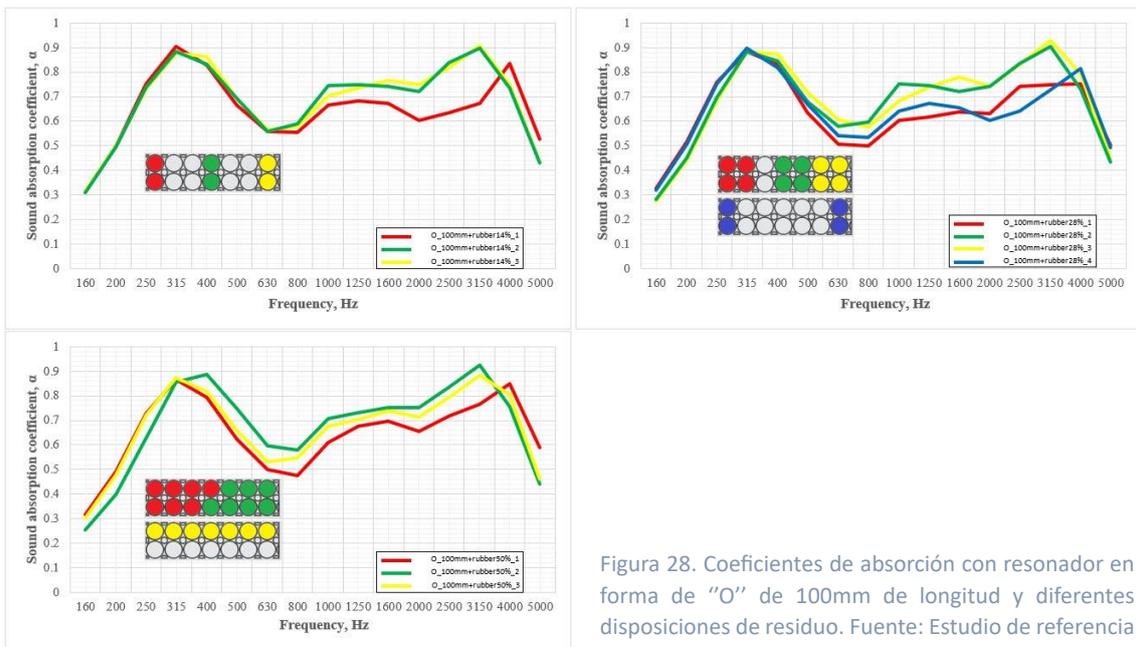


Figura 28. Coeficientes de absorción con resonador en forma de "O" de 100mm de longitud y diferentes disposiciones de residuo. Fuente: Estudio de referencia [7]

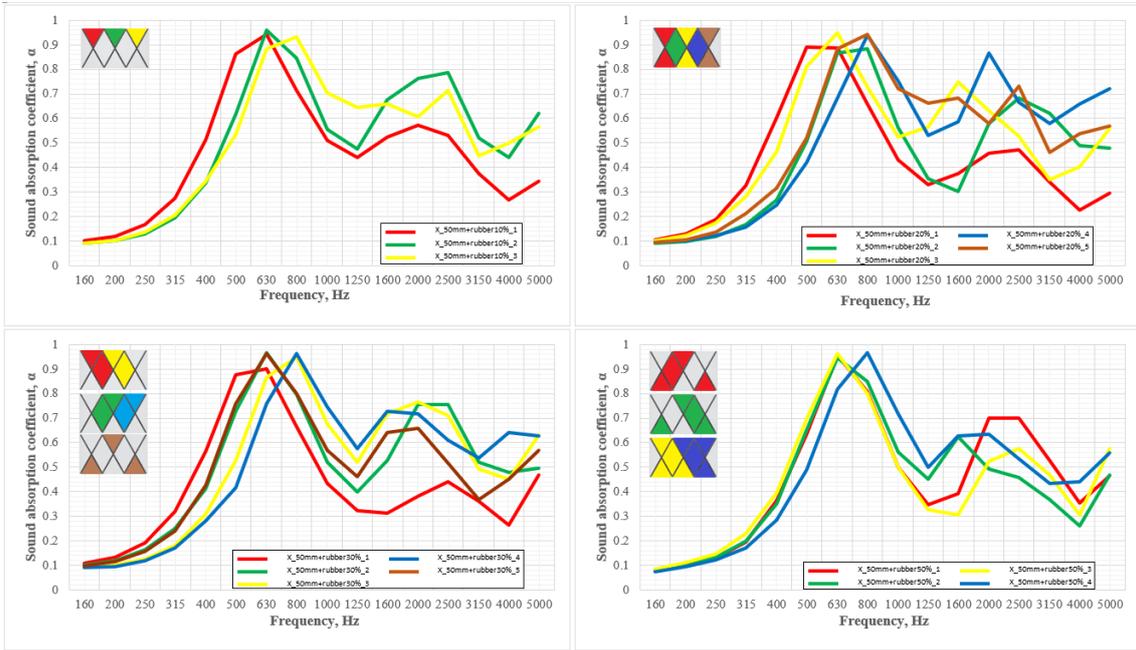


Figura 29. Coeficientes de absorción con resonador en forma de "X" de 50mm de longitud y diferentes disposiciones de residuo. Fuente: Estudio de referencia [7]

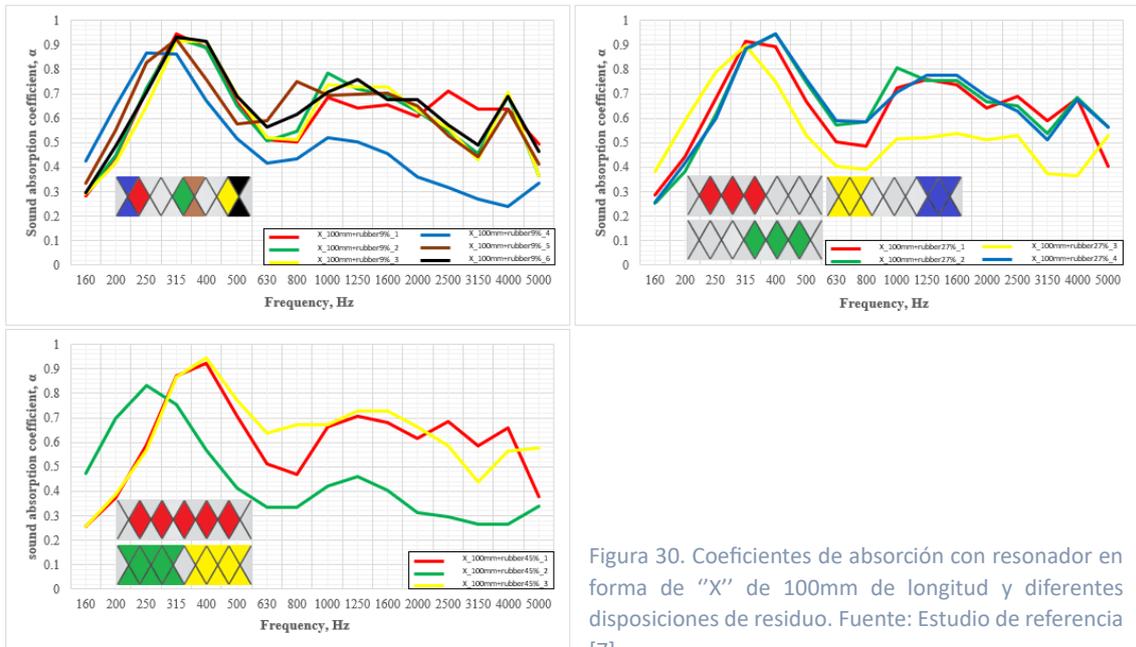


Figura 30. Coeficientes de absorción con resonador en forma de "X" de 100mm de longitud y diferentes disposiciones de residuo. Fuente: Estudio de referencia [7]

## PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:

PANEL MODULAR FONOAORSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

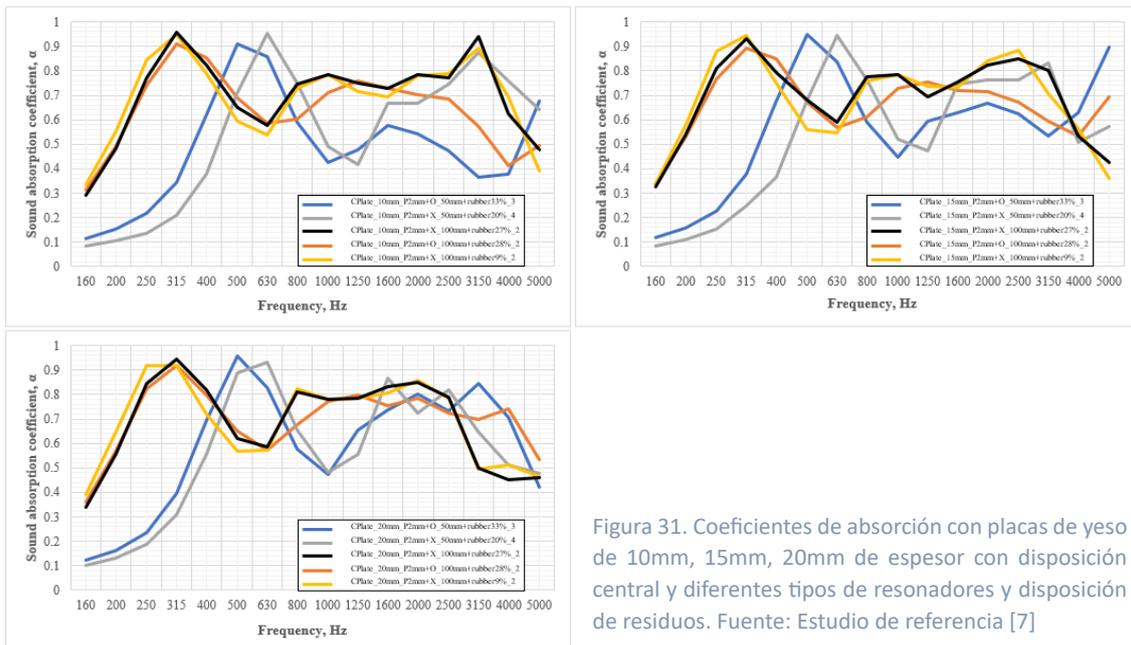


Figura 31. Coeficientes de absorción con placas de yeso de 10mm, 15mm, 20mm de espesor con disposición central y diferentes tipos de resonadores y disposición de residuos. Fuente: Estudio de referencia [7]

Tras estudiar varias disposiciones y combinaciones de resonadores, absorbente y placas de yeso de diferente espesor, los resultados muestran que las estructuras combinadas de plástico y caucho pueden integrarse en la construcción de los edificios y usarse como una alternativa para mejorar la acústica en el interior y reducir el ruido y la reverberación.

[7] Naimušin, Andrej & Janusevicius, Tomas. (2023). Development and Research of Recyclable Composite Metamaterial Structures Made of Plastic and Rubber Waste to Reduce Indoor Noise and Reverberation. Sustainability. 15. 1731. 10.3390/su15021731

## Caracterización de materiales de aislamiento acústico ecoeficientes (tradicionales e innovadores) [8]

Se ha realizado un estudio de investigación centrado en los materiales aislantes más utilizados a nivel europeo en la construcción y rehabilitación. Se presenta la caracterización a nivel de energía incorporada, comportamiento acústico y costos de estos materiales, de manera que se pueda seleccionar y aplicar el más ecoeficiente. De todos los estudios que se realizan nosotros nos centraremos en analizar los que tienen relación con el comportamiento acústico.

La elección de los materiales a analizar fue precedida por la lectura de fichas técnicas de materiales alternativos con similar ámbito de aplicación, con el fin de comparar con materiales ya en uso.

Los materiales aislantes tradicionales que se seleccionaron fueron los siguientes: espuma de poliuretano, lana de roca, lana de vidrio, poliestireno expandido y extruido.

Por otra parte, los materiales innovadores propuestos fueron: aglomerados de caucho reciclado, aglomerado de corcho expandido, fibras de coco, fibras de cáñamo, fibras de celulosa, fibras textiles recicladas, lana de oveja, lana de madera, esteras de lino y paja.

Descripción	Espesor [mm]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	NRC	EE [MJ/kg]	Coste [€/m <sup>2</sup> ]
Espuma de poliuretano	50	30	0,67	135	11.00
Lana de roca	50	80	0,64	20	3.57
Lana de vidrio	50	50	0,68	35	3.15
EPS	50	28	0.50	125	3.16
XPS	50	25	0.33	130	9.58

Figura 32. Características de sostenibilidad de los materiales comúnmente utilizados. Fuente: Estudio de referencia [8]

Descripción	Espesor [mm]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	NRC	EE [MJ/kg]	Coste [€/m <sup>2</sup> ]
Aglomerado de caucho reciclado	30	1400	0.52	Dakota del Norte	Dakota del Norte
Aglomerado de corcho expandido	50	105	0.41	4	9.45
Estera de fibras de coco	35	70	0.52	42	11.25
Estera de cáñamo	40	40	0.57	40	6.10
estera de celulosa	50	28	0.70	19	4.60
Fibras textiles recicladas	50	50	0,95	dieciséis	10.00
Estera de lana de oveja	60	25	0.52	29	11.90
Estera de lana de madera aglomerada con cemento	50	470	0.51	28	12.00
estera de lino	35	43	0.71	50	12.75
Paja	50	80	0.70	14.5	0,95

Figura 33. Características de sostenibilidad de los materiales alternativos. Fuente: Estudio de referencia [8]

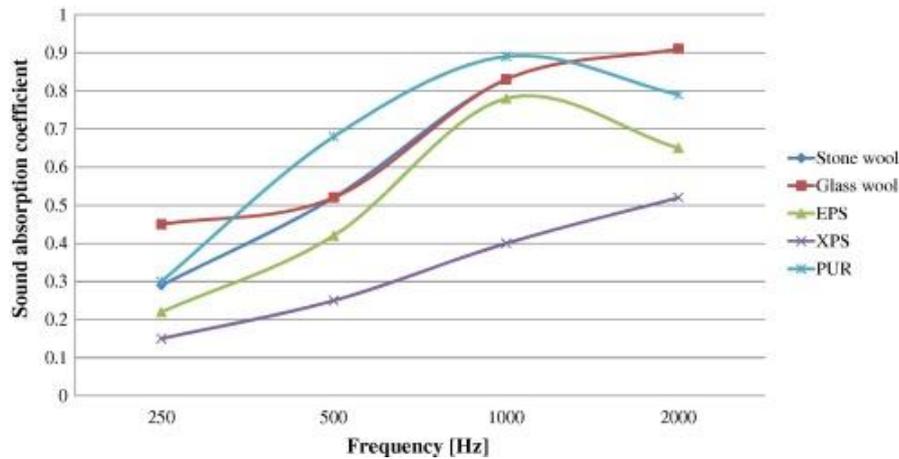


Figura 34. Coeficientes de absorción acústica de los materiales tradicionales.  
Fuente: Estudio de referencia [8]

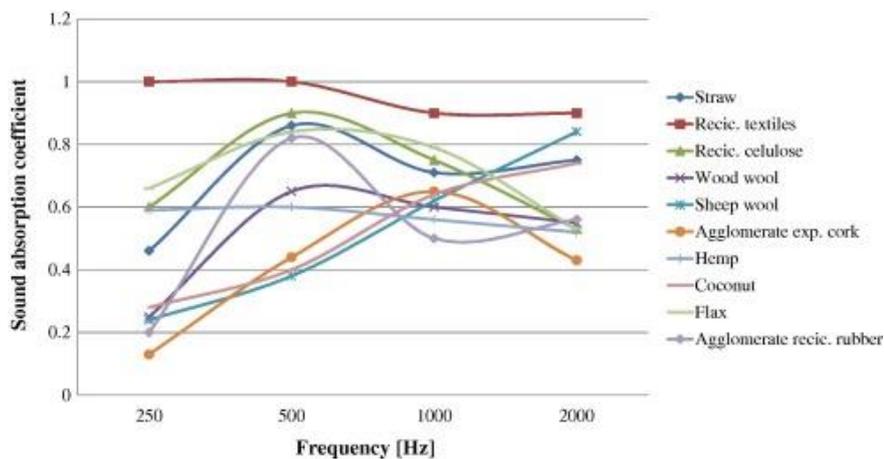


Figura 35. Coeficientes de absorción acústica de los materiales innovadores.  
Fuente: Estudio de referencia [8]

Como conclusión podemos observar que el poliuretano es uno de los materiales que mayores valores de absorción acústica presenta, llegando a ser el mejor entre frecuencias de 300Hz y 1500Hz con su máximo en torno a los 1000Hz.

En segundo lugar, destacar que, como se muestra en la figura 32, los materiales innovadores están a la altura de los materiales tradicionales, mejorando incluso sus propiedades. Siendo sustitutos perfectamente viables.

[8] M. Pedroso, J. de Brito, J.D. Silvestre. (2017). Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials (traditional and innovative). Construction and Building Materials. Volume 140, 1 June 2017, Pages 221-228

### 3. OBJETIVOS

---

Este trabajo de investigación aborda el problema creciente que supone el desecho de vehículos en desguaces y la preocupante realidad de que solamente un tercio del poliuretano (PUR) que proviene de esta industria es reciclado. Se propone una solución para el reciclaje de este residuo plástico, a través de su reutilización en el mundo de la construcción, reduciendo, de esta forma, el impacto negativo de este tipo de residuos en el medio ambiente.

#### 3.1. Objetivos generales

---

Se establecen los siguientes objetivos generales:

- Proponer un producto innovador y ecoeficiente para su aplicación en la construcción, utilizando como base productos plásticos reciclados.
- Realizar una investigación exhaustiva sobre la producción y reciclaje del plástico, con el fin de disminuir el impacto ambiental que estos materiales generan. Se explorarán nuevas alternativas de reutilización y aprovechamiento de los residuos plásticos para encontrar soluciones innovadoras y sostenibles.
- Analizar el uso y propiedades de las espumas de poliuretano en profundidad, así como su impacto en el medio ambiente.

#### 3.2. Objetivos específicos

---

Con el propósito de elaborar la propuesta de un nuevo producto ecoeficiente, se han establecido los siguientes objetivos concretos y precisos:

- Analizar los efectos del uso de este material en la industria automotriz, con el objetivo de prolongar su vida útil y disminuir su impacto medioambiental.
- Analizar el comportamiento del residuo en términos de su capacidad para funcionar como aislante acústico y térmico.
- Analizar las diversas aplicaciones que se pueden dar a las espumas de poliuretano, como material constructivo para la absorción acústica en distintos tipos de espacios

#### **4. HIPÓTESIS DE PARTIDA**

---

Luego de un estudio detallado sobre la composición y características de las espumas de poliuretano, así como su uso en la industria automotriz y su impacto ambiental, es posible prever su comportamiento. Debido a que es un material altamente poroso, de células abiertas y baja densidad, se puede suponer que será muy efectivo para mejorar las propiedades acústicas. Por lo tanto, se ha llevado a cabo una investigación enfocada en este campo.

Después de revisar y analizar los resultados de diferentes estudios de referencia que utilizan materiales plásticos para mejorar las condiciones acústicas en espacios interiores, se ha comprendido mejor el comportamiento de estos materiales, incluyendo las variables que afectan su función como absorbentes de diferentes frecuencias de emisión.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se realizarán ensayos acústicos que consideren dichas variables, como son la densidad del residuo en la muestra y el tamaño de su corte, así como el porcentaje de área perforado de la placa de yeso utilizada como falso techo.

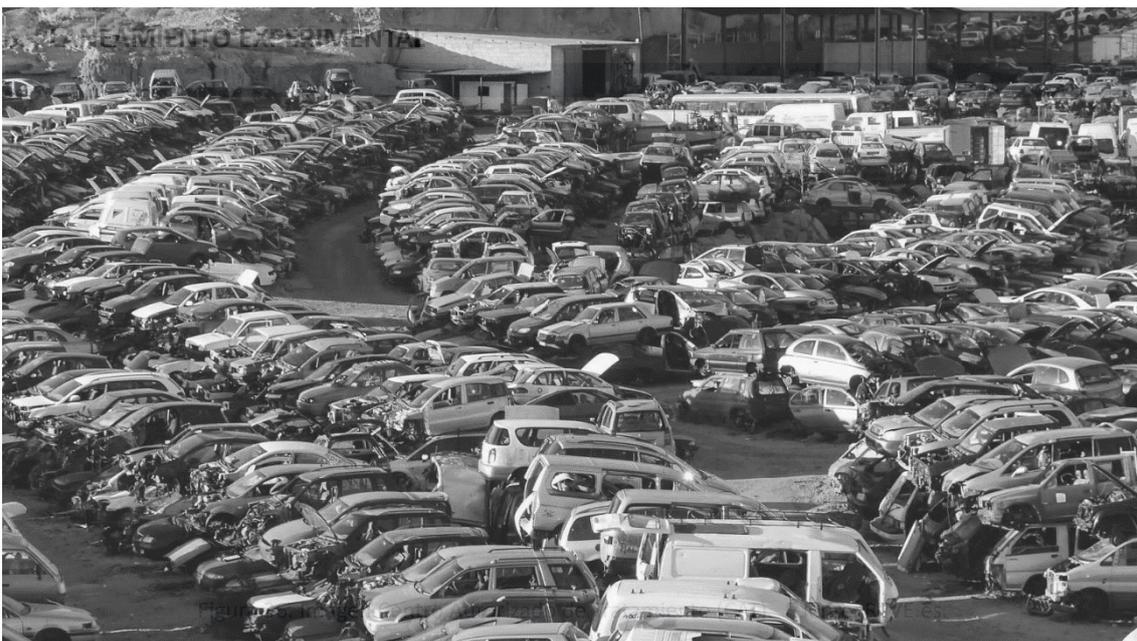
El objetivo de estos ensayos será obtener los valores finales del coeficiente de absorción acústica y proponer un producto específico para su aplicación en un caso práctico teórico.

## 5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el desarrollo de este trabajo se ha realizado un proceso de investigación sobre el material a tratar, en este caso espuma de poliuretano, y su aparición dentro de la industria automovilística. Estudiamos así la problemática de este material que se acaba convirtiendo en residuo al final de la vida útil de cada automóvil y del que solo acaba reciclándose un pequeño porcentaje. A continuación, elaboraremos una serie de probetas las cuales, a través de los ensayos acústicos realizados en laboratorio, obtendremos los datos necesarios para finalmente crear un producto sostenible y aplicarlo a un caso real. Por último, compararemos nuestro producto con otros de mercado y llegaremos a una conclusión.

La investigación sobre el proceso de aplicación se desarrollará de la siguiente forma:

1. Análisis bibliográfico y estudio del estado actual, adquiriendo unos conocimientos previos con la finalidad de elaborar un análisis contextualizado y justificado.
2. Realización de ensayos previos a laboratorio para el conocimiento básico del comportamiento del material.
3. Elaboración de fase experimental en laboratorio, con la realización de probetas y ensayos.
4. Recopilación de datos obtenidos en esa fase experimental.
5. Aplicación del producto a un caso real.
6. Análisis, comparación y conclusión.



## 6.1. Introducción y normativa de aplicación

Una vez realizado el estudio previo, procedemos a someter a ensayo las muestras de nuestro material recogidas en un Centro Autorizado de Tratamiento (CAT). Dichos ensayos los realizaremos en el laboratorio del departamento de Física de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla (ETSA) mediante el Tubo de Kundt facilitado (Modelo xxx) el cual incluye un portamuestras cilíndrico de 98mm de diámetro interior y 50mm de fondo. [Figura 37] Con este instrumento, podemos determinar el coeficiente de absorción acústica en las diferentes configuraciones de nuestro material. La norma reguladora de este ensayo es la *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.* [9]

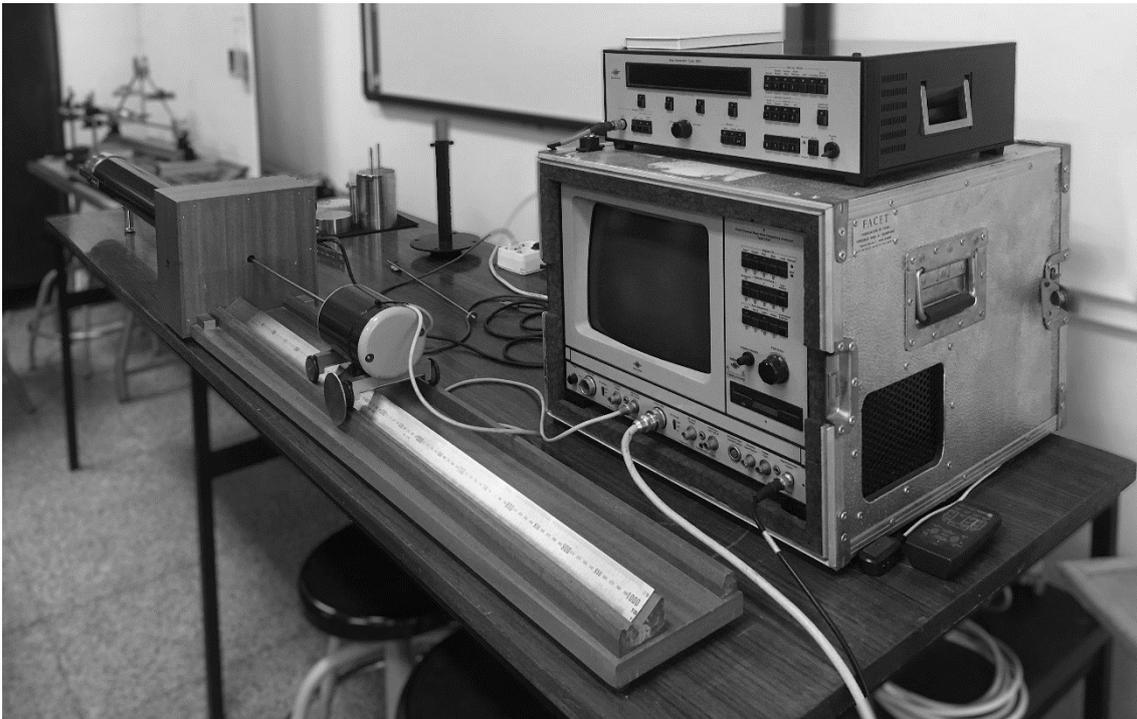


Figura 37. Imagen tubo de Kundt. Laboratorio de Física. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla (ETSA). Fuente: Elaboración propia.

[9] 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. <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

## 6.2. Metodología

Nuestra finalidad a la hora de realizar el ensayo es simular el comportamiento acústico que tendría un falso techo fonoabsorbente compuesto por una placa de yeso perforada y un relleno de espuma de poliuretano. Antes de realizar el ensayo debemos realizar un pequeño análisis de los dos materiales para determinar la configuración que presentaran ambos.

### Placa de yeso perforada

#### – Formatos

Para llevar a cabo los experimentos en el laboratorio se utilizarán probetas perforadas previamente realizadas por una compañera de otro año para su proyecto de fin de máster.

Para obtener resultados precisos, es necesario elegir dos muestras en blanco sin perforaciones como referencia, así como dos muestras con las mismas perforaciones para medir cada absorbente dos veces y tener en cuenta pequeños errores, obteniendo una media de los resultados. Aunque para un estudio más exhaustivo sería necesario realizar múltiples mediciones adicionales, dada la escasez de tiempo para este trabajo, esta cantidad de mediciones será suficiente para llevar a cabo una propuesta coherente con los resultados obtenidos.

Entre las distintas probetas, se observa que las que tienen 19 y 9 perforaciones presentan los acabados y la disposición de los huecos más uniformes. Por lo tanto, se debe elegir entre estas dos para llevar a cabo los ensayos. Para ello, se aplicará la fórmula correspondiente a los Resonadores de Helmholtz para determinar la frecuencia de resonancia orientativa de cada muestra, teniendo en cuenta el área perforada de cada una.

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{p}{L d}}$$

$$p = S/S_0 < 0.25 !!$$

$$L \rightarrow L_{eq} = L + 1.6 r$$

Donde,

**C** se refiere a la velocidad del sonido en función de la temperatura, para el cálculo se toma una temperatura media de referencia de 20°C (343,2 m/s)

**S** es el área perforada de la probeta (343,295 mm<sup>2</sup> para 9 perforaciones)

(731,0678 mm<sup>2</sup> para 19 perforaciones)

**S<sub>0</sub>** es el área total de la probeta (7.852,5 mm<sup>2</sup>)

**L** se refiere a la longitud equivalente de la probeta (0,0196 m)

**D** se refiere a la longitud correspondiente al volumen ocupado por el material absorbente (0,025 m)

A partir de los datos recopilados, se elabora una hoja de cálculo utilizando el software Microsoft Excel, versión 2023, y se determinó la frecuencia de resonancia orientativa para cada una de las muestras con diferentes perforaciones.

PROBETA 9 PERFORACIONES		
Dato	Valor	Unidad
S	346.2953	mm·
So	7852.5	mm·
p	0.0441	
L	0.014	m
Leq	0.0196	m
d	0.025	m
fo	612.4986	Hz

Figura 38. Tabla de datos y frecuencia de resonancia orientativa para la muestra de 9 perforaciones. Fuente: Elaboración propia.

PROBETA 19 PERFORACIONES		
Dato	Valor	Unidad
S	731.0678	mm·
So	7852.5	mm·
p	0.0931	
L	0.014	m
Leq	0.0196	m
d	0.025	m
fo	889.9399	Hz

Figura 39. Tabla de datos y frecuencia de resonancia orientativa para la muestra de 19 perforaciones. Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar los resultados, se decide seleccionar la probeta con 9 perforaciones, ya que presentaba una frecuencia de resonancia relativa que resultaba más interesante para aplicaciones prácticas, debido a su mayor presencia. Esta elección también se vio respaldada por trabajos previos de compañeros de años anteriores, quienes han realizado experimentos similares con un mayor número de perforaciones, por lo que se considera conveniente ampliar el campo de experimentación a frecuencias más bajas con este material.

El conocimiento de la frecuencia de resonancia aproximada de la muestra nos permite prever que se obtendrá el coeficiente de absorción más alto en valores cercanos a dicha frecuencia. Esta información resulta muy valiosa para los ensayos acústicos subsiguientes, así como para el diseño del producto propuesto y su aplicación en un caso real.



Figura 40. Probetas de referencia (sin perforaciones) y con 9 perforaciones para la realización de ensayos acústicos. Fuente: Elaboración propia.

### – Proceso de fabricación

Dado que se han utilizado las muestras ya existentes en el laboratorio, elaboradas en años anteriores, no se tiene constancia del proceso de fabricación. Sin embargo, se conoce este proceso, por lo que se va a explicar brevemente, haciendo uso de las imágenes de un TFG de una compañera del año 2021/2022 [10]

Estas probetas se fabricaron utilizando un molde circular de plástico con un diámetro de 9,8 cm y un grosor de 1,5 cm, con 9 perforaciones de 7 mm de diámetro. Están compuestas de una mezcla de yeso y agua que imita el comportamiento de los falsos techos acústicos que se pueden encontrar en los catálogos de los fabricantes.

La elaboración de estas probetas requirió de diversas herramientas y materiales, tales como yeso, agua, filtros de cigarrillos (para dar forma a las perforaciones), una balanza de precisión, un recipiente para mezclar, varillas, espátulas y una pieza para compactar.



Figura 41. Proceso de fabricación de las probetas de yeso para la realización de ensayos acústicos. Fuente: TFG año 2021/2022 [10]



Figura 42. Proceso de fabricación de las probetas de yeso para la realización de ensayos acústicos. Fuente: TFG año 2021/2022 [10]

Aunque las muestras ya estaban fabricadas, se conoce la proporción de yeso y agua utilizada, que fue de 0,55. Para una cantidad de 150 g de yeso se agregaron 82,5 g de agua, siendo el yeso B1/50/2. Es importante tener en cuenta el área perforada de los agujeros realizados en las probetas. Sabiendo el número de perforaciones (9 perforaciones) y su diámetro ( $\varnothing 7\text{mm}$ ), se puede calcular el área perforada, que es de 346,295 mm.

Con esta información, se puede determinar la cantidad de yeso necesaria para preparar la muestra con las perforaciones, que es de 143,1 g, junto con 78,7 g de agua correspondientes. Para hacer los huecos, se utilizaron los moldes plásticos para insertar los filtros de cigarrillos antes de verter la mezcla. Los filtros de cigarrillos fueron elegidos por su facilidad de extracción una vez que la mezcla se endurece debido a su material, textura y forma cilíndrica.



Figura 43. Proceso de fabricación de las probetas de yeso para la realización de ensayos acústicos.  
Fuente: TFG año 2021/2022 [10]

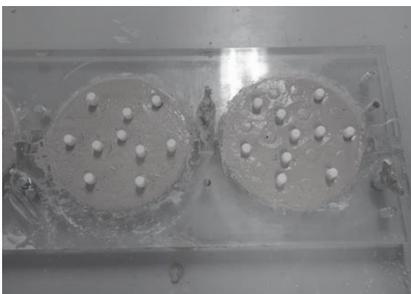


Figura 44. Proceso de fabricación de las probetas de yeso para la realización de ensayos acústicos.  
Fuente: TFG año 2021/2022 [10]

[10] Rivero Valero, Rubio de Hita, P., Frustaglia, D. C., & Fernández Nieto, E. D. (2022). Propuesta de panel de yeso acústico ecoeficiente con adición de espuma de poliuretano procedente de esponjas de baño: TFG junio 2022, H.

## Relleno espuma poliuretano

### – Formatos

Para el relleno de espuma de poliuretano se han tenido en cuenta los 7mm de las perforaciones de la placa de yeso y que no se pueda producir la pérdida del relleno a través de estas. Se ha optado por dos formatos diferentes, el primero está compuesto por piezas cúbicas de 5mm de arista mientras que, en el segundo, las piezas serán de 10mm de arista. Según ensayos realizados anteriormente con otras espumas y teniendo en cuenta el diámetro de las perforaciones de la placa de yeso, creemos que estos dos tamaños propuestos pueden tener un buen comportamiento a la hora de realizar nuestro ensayo.



Figura 45. Imagen formato I. Pieza de espuma de poliuretano de 5mm. Fuente: Elaboración propia.

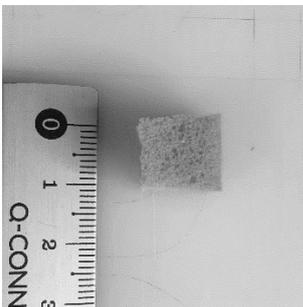
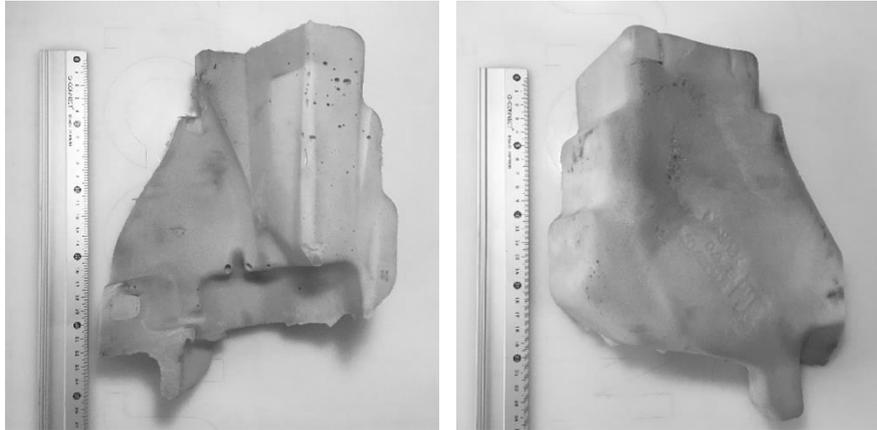


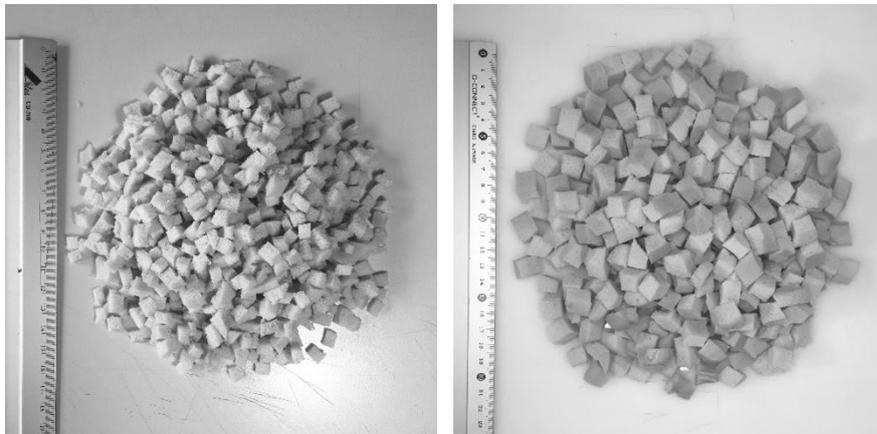
Figura 46. Imagen formato II. Pieza de espuma de poliuretano de 10mm. Fuente: Elaboración propia.

– **Proceso de fabricación**

Partiendo de la pieza base de espuma de poliuretano recogida en el Centro de Tratamiento Autorizado, se ha realizado un proceso de corte hasta conseguir los dos formatos finales de 5mm Y 10mm. Posteriormente se ha comprobado que las piezas cumplen con la medida indicada.



Figuras 47 y 48. Imágenes muestra original de espuma de poliuretano recogida en CAT. Fuente: Elaboración propia.



Figuras 49 y 50. Imágenes muestra de espuma de poliuretano tras proceso de corte. Fuente: Elaboración propia.

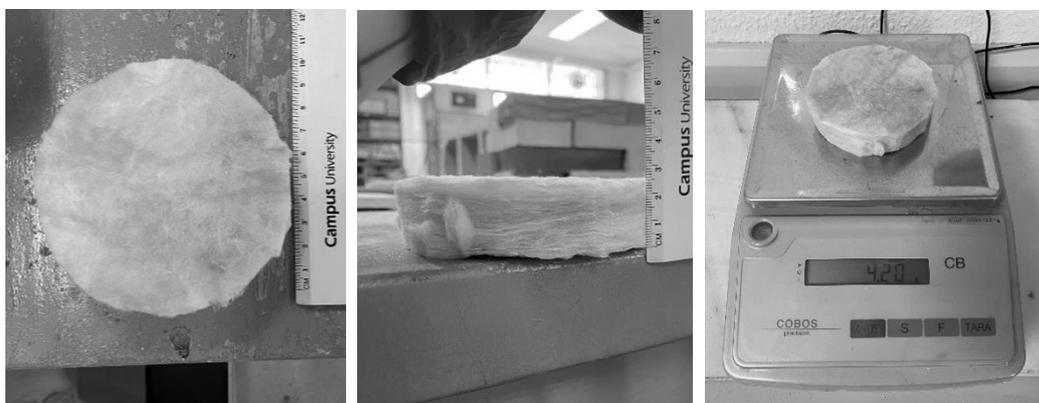
## Relleno lana de roca

### – Formatos

Como comparación de un material real utilizado actualmente en rellenos para falso techo fonoabsorbente hemos preparado una muestra de lana de roca fabricada por la marca comercial ISOVER. Esta muestra es un disco de 4.21g de peso, 25mm de espesor y 98mm de diámetro.

### – Proceso de fabricación

Tras utilizar las medidas de protección oportunas, se ha procedido al corte de la pieza hasta obtener las medidas necesarias para el ensayo.



Figuras 51, 52 y 53. Imágenes muestra de lana de roca tras proceso de corte.

Fuente: Elaboración propia.

### Configuración de las probetas

Una vez preparadas las muestras de los dos materiales, podemos realizar cada una de las distintas configuraciones de las probetas que vamos a someter a ensayo.

Todas las probetas deberán tener un diámetro  $\varnothing_P = 98\text{mm}$  para que puedan entrar en el portamuestras cilíndrico que incluye el tubo de Kundt. Las muestras fabricadas a partir de Yeso tendrán un espesor  $e_V = 15\text{mm}$  mientras que el espesor de los rellenos será  $e_R = 25\text{mm}$ . Sumados estos dos espesores nos da un espesor total  $e_{P=} = 40\text{mm}$ . Para el relleno de espuma de poliuretano tomaremos el valor  $V$  como el volumen contenido en el cilindro con  $\varnothing_P = 98\text{mm}$  y  $e_R = 25\text{mm}$ .

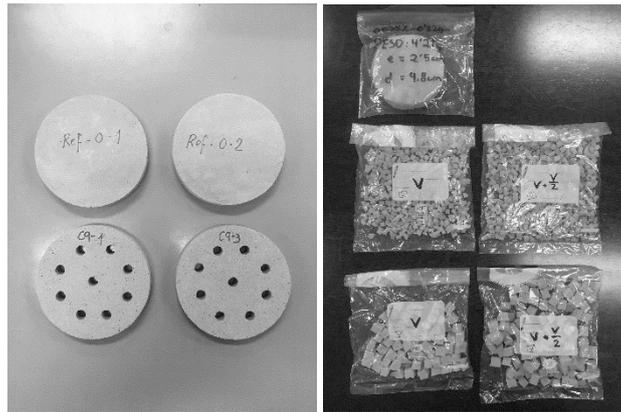
Conociendo estos datos, elaboraremos cada una de las probetas siguiendo el siguiente esquema:



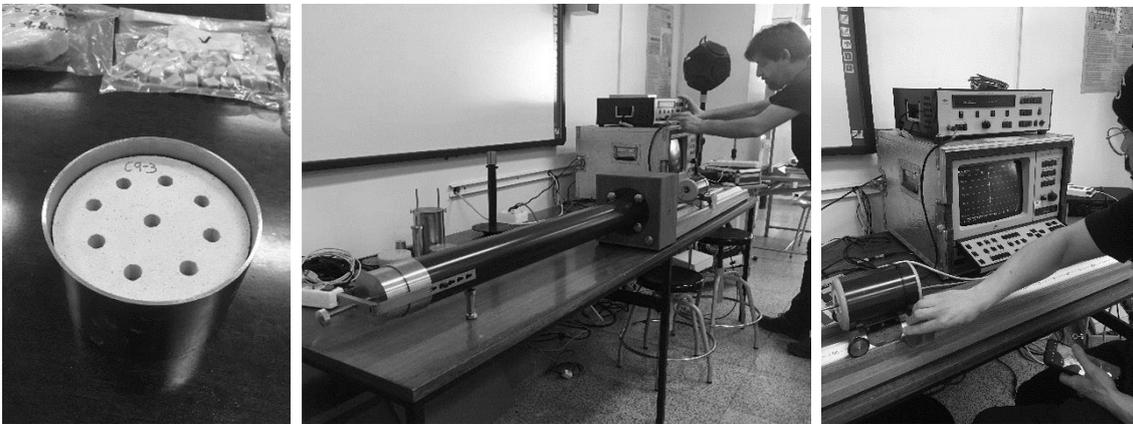
Figura 54. Esquema configuración probetas. Fuente: Elaboración propia.

## Realización del ensayo

Una vez preparadas todas las muestras de cada material [Figuras 55 y 56] podemos proceder a la realización del ensayo. Para ello, configuraremos cada una de las probetas según el esquema realizado anteriormente y las colocaremos en el portamuestras. Una vez colocadas, lo introducimos en el tubo de Kundt y lo sellamos. Por último, mediremos los valores máximos y mínimos de la onda estacionaria para cada una de las cuatro frecuencias: 250Hz, 500Hz, 100Hz y 200Hz.



Figuras 55 y 56. Preparación de las muestras.  
Fuente: Elaboración propia.



Figuras 57, 58 y 59. Elaboración de ensayo acústico mediante tubo de Kundt. Fuente: Elaboración propia.

### 6.3. Análisis de los resultados

Los valores obtenidos se refieren a los valores máximos y mínimos de la onda estacionaria, los cuáles serán seleccionados para obtener el coeficiente  $\alpha$  de absorción acústica, con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\frac{P_{max}}{P_{mín}} = n$$

A partir de la cual se obtiene el coeficiente de absorción acústica  $\alpha$  :

$$\alpha = \frac{4n}{(n + 1)^2}$$

Para llevar a cabo los cálculos necesarios, se emplea el software Microsoft Excel, versión 2023, para construir tablas. En estas tablas se ingresarán tanto los datos obtenidos como las fórmulas correspondientes para obtener los resultados de los parámetros " n " y "  $\alpha$  ".

Para una mejor organización y la posibilidad de ser útiles en el futuro, se incluirán también en estas tablas los errores observados durante la medición de los valores máximos y mínimos de la onda estacionaria. Cabe mencionar que se realizarán varias tablas, cada una correspondiente a la frecuencia de emisión que se esté midiendo.

	PLACA YESO	AISLAMIENTO	FRECUENCIA 1 - 250 Hz						n	$\alpha$
			VALOR MIN	ERROR	UNIDAD	VALOR MÁX	ERROR	UNIDAD	Pmax/Pmin	4n/(n+1) <sup>2</sup>
1	BLANCO A	SIN AISLAMIENTO	3,34	±0.02	mv	33,9	±0.1	mv	10,150	0,327
2	BLANCO B	SIN AISLAMIENTO	4,03	±0.02	mv	28,4	±0.1	mv	7,047	0,435
3	9 PERF A	SIN AISLAMIENTO	779	±8	uv	26,5	±0.1	mv	34,018	0,111
4	9 PERF B	SIN AISLAMIENTO	1,11	±0.01	mv	26,9	±0.1	mv	24,234	0,152
5	9 PERF A	LANA DE ROCA	1,05	±0.01	mv	23,9	±0.1	mv	22,762	0,161
6	9 PERF B	LANA DE ROCA	1,56	±0.01	mv	25,3	±0.1	mv	16,218	0,219
7	9 PERF A	V PU 5mm	1,3	±0.01	mv	25,4	±0.1	mv	19,538	0,185
8	9 PERF B	V PU 5mm	1,21	±0.01	mv	25,4	±0.1	mv	20,992	0,174
9	9 PERF A	V+V/2 PU 5mm	1,64	±0.01	mv	25,1	±0.1	mv	15,305	0,230
10	9 PERF B	V+V/2 PU 5mm	1,72	±0.01	mv	25	±0.1	mv	14,535	0,241
11	9 PERF A	V PU 10mm	1,27	±0.01	mv	26,2	±0.1	mv	20,630	0,176
12	9 PERF B	V PU 10mm	1,39	±0.01	mv	26,1	±0.1	mv	18,777	0,192
13	9 PERF A	V+V/2 PU 10mm	1,44	±0.01	mv	25,4	±0.1	mv	17,639	0,203
14	9 PERF B	V+V/2 PU 10mm	1,62	±0.01	mv	25,3	±0.1	mv	15,617	0,226

Figuras 60. Tabla de datos y resultados para la frecuencia 1 – 250 Hz. Fuente: Elaboración propia.

	PLACA YESO	AISLAMIENTO	FRECUENCIA 2 - 500 Hz						n	$\alpha$
			VALOR MIN	ERROR	UNIDAD	VALOR MÁX	ERROR	UNIDAD	Pmax/Pmin	$4n/(n+1)^2$
1	BLANCO A	SIN AISLAMIENTO	2,56	±0.01	mv	29,3	±0.1	mv	11,445	0,296
2	BLANCO B	SIN AISLAMIENTO	3,56	±0.01	mv	28,1	±0.1	mv	7,893	0,399
3	9 PERF A	SIN AISLAMIENTO	9,2	±0.02	mv	41,6	±0.1	mv	4,522	0,593
4	9 PERF B	SIN AISLAMIENTO	8,71	±0.01	mv	41	±0.1	mv	4,707	0,578
5	9 PERF A	LANA DE ROCA	15,2	±0.1	mv	27,1	±0.1	mv	1,783	0,921
6	9 PERF B	LANA DE ROCA	15,1	±0.1	mv	28,6	±0.1	mv	1,894	0,905
7	9 PERF A	V PU 5mm	13,5	±0.1	mv	37	±0.1	mv	2,741	0,783
8	9 PERF B	V PU 5mm	5,5	±0.5	mv	41,4	±0.1	mv	7,527	0,414
9	9 PERF A	V+V/2 PU 5mm	15	±0.1	mv	31	±0.1	mv	2,067	0,879
10	9 PERF B	V+V/2 PU 5mm	15,4	±0.1	mv	28,5	±0.1	mv	1,851	0,911
11	9 PERF A	V PU 10mm	13,4	±0.1	mv	41,1	±0.1	mv	3,067	0,742
12	9 PERF B	V PU 10mm	13,4	±0.1	mv	37,1	±0.1	mv	2,769	0,780
13	9 PERF A	V+V/2 PU 10mm	14,8	±0.1	mv	31,9	±0.1	mv	2,155	0,866
14	9 PERF B	V+V/2 PU 10mm	15	±0.1	mv	31,4	±0.1	mv	2,093	0,875

Figuras 61. Tabla de datos y resultados para la frecuencia 2 – 500 Hz. Fuente: Elaboración propia.

	PLACA YESO	AISLAMIENTO	FRECUENCIA 3 - 1000 Hz						n	$\alpha$
			VALOR MIN	ERROR	UNIDAD	VALOR MÁX	ERROR	UNIDAD	Pmax/Pmin	$4n/(n+1)^2$
1	BLANCO A	SIN AISLAMIENTO	282	±1	uv	6,17	±0.01	mv	21,879	0,167
2	BLANCO B	SIN AISLAMIENTO	392	±1	uv	6,31	±0.01	mv	16,097	0,220
3	9 PERF A	SIN AISLAMIENTO	950	±1	uv	10,3	±0.1	mv	10,842	0,309
4	9 PERF B	SIN AISLAMIENTO	1,24	±0.01	mv	12	±0.1	mv	9,677	0,340
5	9 PERF A	LANA DE ROCA	1,3	±0.1	mv	8,65	±0.01	mv	6,654	0,454
6	9 PERF B	LANA DE ROCA	1,46	±0.01	mv	8,89	±0.01	mv	6,089	0,485
7	9 PERF A	V PU 5mm	1,51	±0.01	mv	8,48	±0.01	mv	5,616	0,513
8	9 PERF B	V PU 5mm	1,34	±0.01	mv	10,7	±0.1	mv	7,985	0,396
9	9 PERF A	V+V/2 PU 5mm	1,43	±0.01	mv	7,86	±0.01	mv	5,497	0,521
10	9 PERF B	V+V/2 PU 5mm	1,21	±0.01	mv	8,56	±0.01	mv	7,074	0,434
11	9 PERF A	V PU 10mm	1,47	±0.01	mv	9,59	±0.01	mv	6,524	0,461
12	9 PERF B	V PU 10mm	1,07	±0.01	mv	9,77	±0.01	mv	9,131	0,356
13	9 PERF A	V+V/2 PU 10mm	1,47	±0.01	mv	8,73	±0.01	mv	5,939	0,493
14	9 PERF B	V+V/2 PU 10mm	1,27	±0.01	mv	9,15	±0.01	mv	7,205	0,428

Figuras 62. Tabla de datos y resultados para la frecuencia 3 – 1000 Hz. Fuente: Elaboración propia.

**PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:**

PANEL MODULAR FONOAORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

	PLACA YESO	AISLAMIENTO	FRECUENCIA 4 - 2000 Hz						n	$\alpha$
			VALOR MIN	ERROR	UNIDAD	VALOR MÁX	ERROR	UNIDAD	Pmax/Pmin	4n/(n+1) <sup>2</sup>
1	BLANCO A	SIN AISLAMIENTO	14,5	±0.5	uv	283	±1	uv	19,517	0,185
2	BLANCO B	SIN AISLAMIENTO	15,5	±0.5	uv	286	±1	uv	18,452	0,195
3	9 PERF A	SIN AISLAMIENTO	13,5	±0.5	uv	288	±1	uv	21,333	0,171
4	9 PERF B	SIN AISLAMIENTO	9,5	±0.5	uv	300	±1	uv	31,579	0,119
5	9 PERF A	LANA DE ROCA	15,1	±0.5	uv	297	±1	uv	19,669	0,184
6	9 PERF B	LANA DE ROCA	14,5	±0.5	uv	299	±1	uv	20,621	0,176
7	9 PERF A	V PU 5mm	14,2	±0.5	uv	298	±1	uv	20,986	0,174
8	9 PERF B	V PU 5mm	10,4	±0.5	uv	300	±1	uv	28,846	0,130
9	9 PERF A	V+V/2 PU 5mm	15,5	±0.5	uv	297	±1	uv	19,161	0,189
10	9 PERF B	V+V/2 PU 5mm	16,5	±0.5	uv	296	±1	uv	17,939	0,200
11	9 PERF A	V PU 10mm	15	±0.5	uv	301	±1	uv	20,067	0,181
12	9 PERF B	V PU 10mm	17,5	±0.5	uv	297	±1	uv	16,971	0,210
13	9 PERF A	V+V/2 PU 10mm	14,5	±0.5	uv	296	±1	uv	20,414	0,178
14	9 PERF B	V+V/2 PU 10mm	13,5	±0.5	uv	302	±1	uv	22,370	0,164

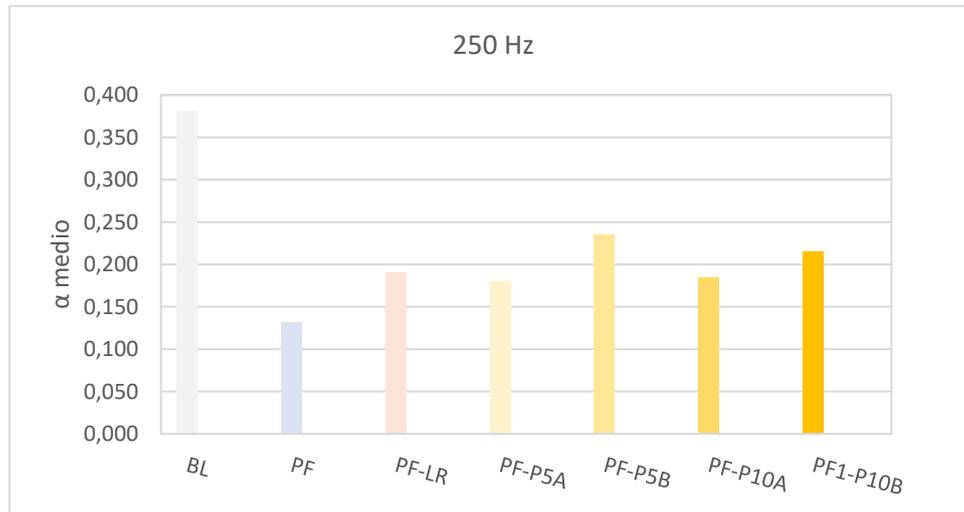
Figuras 63. Tabla de datos y resultados para la frecuencia 4 – 2000 Hz. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se han elaborado las tablas previas y se han obtenido los valores de "  $\alpha$  medio ", se procede a crear una tabla resumen que muestra este valor para cada caso. Dicho valor es de gran importancia para el análisis de los resultados a través de gráficas, así como para la formulación de las conclusiones del ensayo.

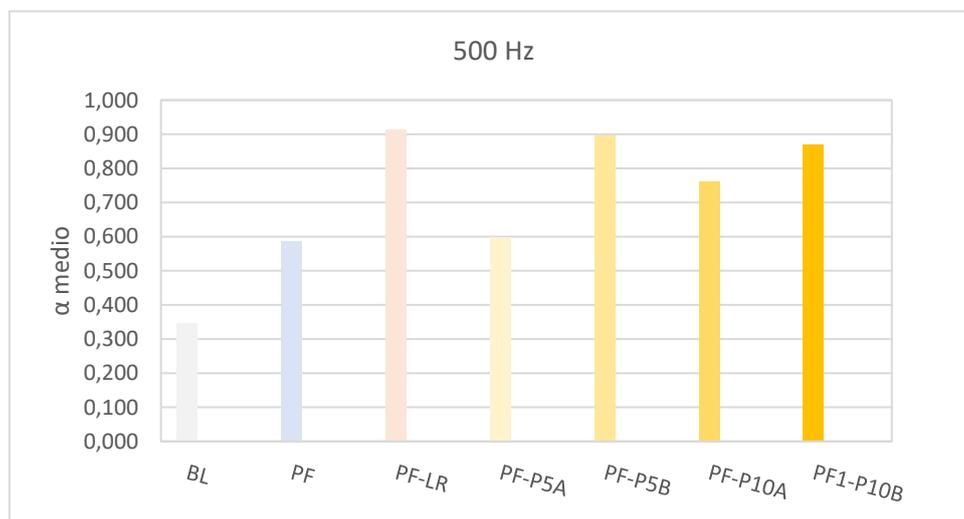
<b><math>\alpha</math> medio</b>						
PLACA YESO	AISLAMIENTO	DENOMINACIÓN	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
SOLIDO	SIN AISLAMIENTO	BL	0.381	0.347	0.194	0.190
9 PERF	SIN AISLAMIENTO	PF	0.132	0.586	0.324	0.145
9 PERF	LANA MINERAL	PF-LR	0.190	0.913	0.469	0.180
9 PERF	V PU 5mm	PF-P5A	0.179	0.599	0.454	0.152
9 PERF	V+V/2 PU 5mm	PF-P5B	0.236	0.895	0.477	0.194
9 PERF	V PU 10mm	PF-P10A	0.184	0.761	0.408	0.196
9 PERF	V+V/2 PU 10mm	PF1-P10B	0.215	0.870	0.461	0.171

Figuras 64. Tabla resumen de resultados del coeficiente de absorción acústica para las diferentes frecuencias de emisión. Fuente: Elaboración propia.

La anterior tabla resumen se utiliza para generar diversos gráficos que resultan de interés para comparar los coeficientes de absorción acústica obtenidos para cada tipo de absorbente y configuración en el estudio.



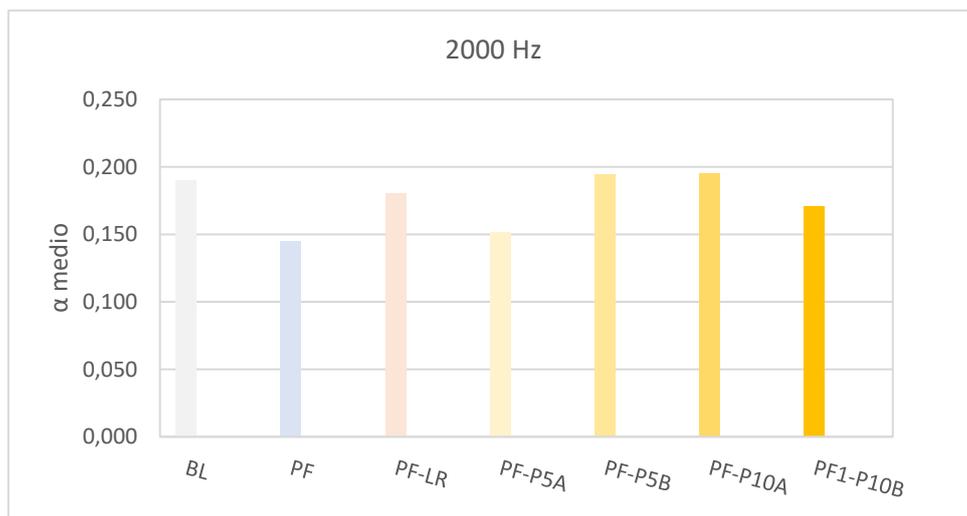
Figuras 65. Gráfico de resultados del coeficiente de absorción acústica para los diferentes absorbentes y configuraciones para la frecuencia 1 – 250 Hz. Fuente: Elaboración propia.



Figuras 66. Gráfico de resultados del coeficiente de absorción acústica para los diferentes absorbentes y configuraciones para la frecuencia 1 – 500 Hz. Fuente: Elaboración propia.



Figuras 67. Gráfico de resultados del coeficiente de absorción acústica para los diferentes absorbentes y configuraciones para la frecuencia 1 – 1000 Hz. Fuente: Elaboración propia.



Figuras 68. Gráfico de resultados del coeficiente de absorción acústica para los diferentes absorbentes y configuraciones para la frecuencia 1 – 2000 Hz. Fuente: Elaboración propia.

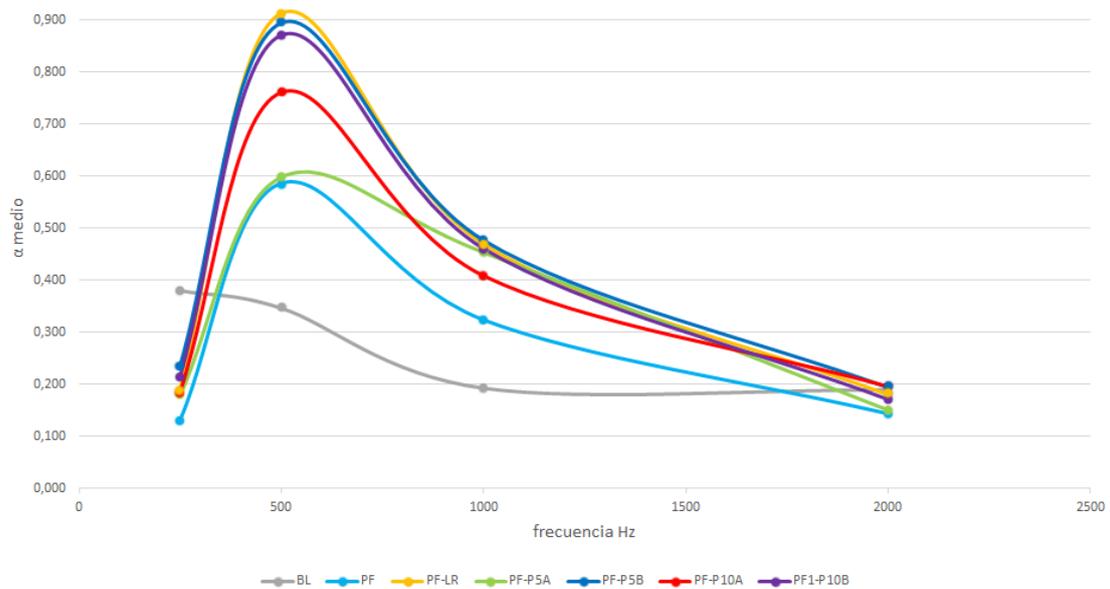


Figura 69. Gráfico de resultados del coeficiente de absorción acústica para los diferentes absorbentes y configuraciones para las distintas frecuencias. Fuente: Elaboración propia.

Al observar los resultados obtenidos, se puede confirmar que la Lana Mineral de Roca (PF-LR), utilizada como material de comparación con el residuo seleccionado para este estudio, logra el coeficiente de absorción acústica más alto en torno a los 500 Hz. Este comportamiento se explica por la frecuencia de resonancia orientativa de la probeta con 9 perforaciones, la cual se determinó en el punto 6.2 de la metodología, al momento de seleccionar las probetas de yeso. Esta frecuencia de resonancia se sitúa alrededor de los 612 Hz. Es por esto mismo que, de igual forma, la muestra perforada sin absorbente (PF) presenta el valor más alto de absorción acústica en torno a los 500Hz.

No obstante, se ha comprobado que las muestras con una mayor densidad (PF-P5B & PF1-P10B) presentan coeficientes de absorción acústica muy similares al material de referencia, en este caso la Lana Mineral de Roca (PF-LR). Además, se ha observado que el residuo PUR cortado en menor dimensión (5 mm) (PF-P5B) presenta ligeramente mejores resultados en comparación con el residuo PUR cortado en una dimensión mayor (10 mm) (PF1-P10B)

Por otro lado, las muestras con menores densidades (PF-P5A & PF-P10A) presentan valores de absorción acústica menores que los anteriores. Las muestras de baja densidad con residuo cortado en mayores dimensiones (10 mm) (PF-P10A) se acercan más a los valores de las muestras de alta densidad.

No obstante, resulta especialmente interesante observar cómo, a medida que nos alejamos de la frecuencia de resonancia orientativa para la probeta de 9 perforaciones, los valores del coeficiente de absorción acústica tienden a igualarse para las distintas configuraciones de las muestras.

Finalmente, se ha constatado que la muestra sin perforaciones ni material absorbente, también conocida como muestra en blanco (BL), obtiene el valor más elevado en los 250 Hz.

#### 6.4. Conclusiones del Ensayo

---

Del análisis de los resultados obtenidos se pueden sacar varias conclusiones:

- A medida que aumenta la densidad del residuo en la muestra, también se incrementan los valores del coeficiente de absorción acústica: Este fenómeno se debe a que el material es muy poroso, como se pudo observar durante la investigación, y, por tanto, el coeficiente de absorción acústica se ve favorecido por un mayor grado de porosidad. Al aumentar la densidad del residuo en la muestra, se reduce el espacio de aire entre las partículas, lo que mejora su capacidad de absorción acústica.
- El fenómeno previamente descrito sugiere que, en general, las muestras con una mayor densidad presentan mejores resultados cuando el residuo se corta en una dimensión menor. Por otro lado, en muestras con una menor densidad, se obtienen mejores resultados al cortar el residuo en una dimensión mayor. Esto se debe a que, al disminuir el espacio de aire entre los residuos, se mejora la absorción acústica de la muestra.
- Conforme nos alejamos de la frecuencia de resonancia orientativa para la probeta con 9 perforaciones, se observa una tendencia a la igualación de los valores del coeficiente de absorción acústica. Esto se refleja en que todas las configuraciones presentan valores de absorción similares a partir de los 1000 Hz.

## 6.5. Cumplimiento normativa vigente

### UNE-EN ISO 11654:1997 Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica. [11]

#### "1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma internacional determina un método que permite convertir en un índice de evaluación único los valores del coeficiente de absorción acústica dependientes de las frecuencias. Antes de llevar esto a cabo, los valores en bandas de un tercio de octava del coeficiente de absorción acústica, medidos conforme a la norma ISO 354, se convierten en bandas de una octava...

1.2 El índice de evaluación único especificado en esta norma internacional puede utilizarse para formular requisitos y para describir las propiedades acústicas de absorción acústica de productos destinados a oficinas corrientes, pasillos, aulas, hospitales, etc...

Esta norma internacional se utiliza solamente cuando las aplicaciones abarcan la totalidad del espectro de frecuencias de la curva de referencia. Si sólo una parte de este espectro resulta de interés, entonces puede ser más conveniente tratar de encontrar productos con una buena absorción acústica dentro de dicho espectro exclusivamente. Los indicadores de forma descritos en esta Norma Internacional dan algunas orientaciones para la identificación de tales productos que pueden tener un índice de evaluación único relativamente bajo, pero un potencial mucho más elevado si se considera un espectro de frecuencias más restringido..."

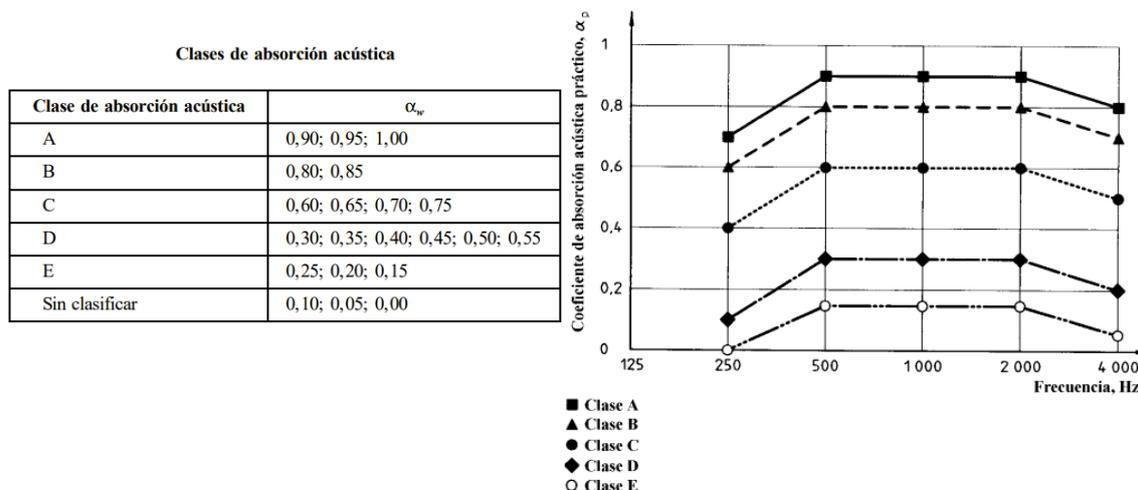


Figura 70: Representación de las curvas de referencia que fijan los límites de las diferentes clases de absorción acústica. Fuente: UNEEN. ISO (1997).

Para comprender este cálculo, comenzaremos definiendo dos conceptos clave recogidos en la norma:

“- **Coefficiente de absorción sonora práctico,  $\alpha_p$** : Valor del coeficiente de absorción acústica dependiente de la frecuencia, basado en mediciones por bandas de un tercio de octava de acuerdo con la Norma ISO 354, y calculado por bandas de octava de acuerdo con esta norma internacional.

- **Coefficiente de absorción acústica ponderado,  $\alpha_w$** : Valor único independiente de la frecuencia, igual al valor de la curva de referencia a 500 Hz después de desplazarla, tal y como se especifica en esta Norma Internacional”

Para comprender este cálculo, comenzaremos definiendo dos conceptos clave recogidos en la norma:

“- **Coefficiente de absorción sonora práctico,  $\alpha_p$** : Valor del coeficiente de absorción acústica dependiente de la frecuencia, basado en mediciones por bandas de un tercio de octava de acuerdo con la Norma ISO 354, y calculado por bandas de octava de acuerdo con esta norma internacional.

- **Coefficiente de absorción acústica ponderado,  $\alpha_w$** : Valor único independiente de la frecuencia, igual al valor de la curva de referencia a 500 Hz después de desplazarla, tal y como se especifica en esta Norma Internacional”

Una vez definidos estos conceptos vamos a aplicarlos a nuestro caso práctico, en este caso seleccionamos solo las muestras que contienen relleno de poliuretano:

<b><math>\alpha_p</math> práctico</b>						
PLACA YESO	AISLAMIENTO	DENOMINACIÓN	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
9 PERF	V PU 5mm	PF-P5A	0,179	0,599	0,454	0,152
9 PERF	V+V/2 PU 5mm	PF-P5B	0,236	0,895	0,477	0,194
9 PERF	V PU 10mm	PF-P10A	0,184	0,761	0,408	0,196
9 PERF	V+V/2 PU 10mm	PF1-P10B	0,215	0,870	0,461	0,171

Figura 71: Coeficiente de absorción sonora práctico para las muestras con espuma de poliuretano. Fuente: elaboración propia.

A continuación, calculamos el coeficiente de absorción acústica ponderado,  $\alpha_w$ , que según la norma UNE ISO 11654: 1996, será igual a la curva de referencia en 500 Hz pero desplazándola en intervalos de 0,05 hacia el valor medio hasta el momento en el que la suma de las desviaciones desfavorables sea menor o igual a 0,10.

<b><math>\alpha_w</math> ponderado</b>						
PLACA YESO	AISLAMIENTO	DENOMINACIÓN	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
9 PERF	V PU 5mm	PF-P5A	0,200	0,600	0,450	0,150
9 PERF	V+V/2 PU 5mm	PF-P5B	0,250	0,900	0,500	0,200
9 PERF	V PU 10mm	PF-P10A	0,200	0,800	0,400	0,200
9 PERF	V+V/2 PU 10mm	PF1-P10B	0,200	0,850	0,450	0,170

Figura 72: Coeficiente de absorción sonora ponderado para las muestras con espuma de poliuretano. Fuente: elaboración propia.

Estos resultados los compararemos con la curva de referencia para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado:

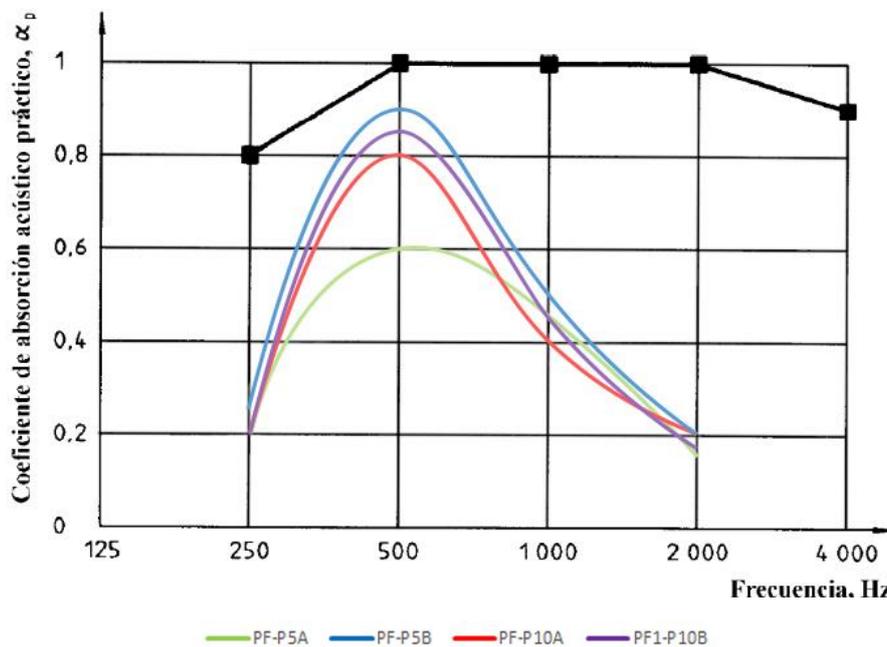


Figura 73. Curva de referencia para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado según UNE-EN ISO 11654:1997. Fuente: elaboración propia.

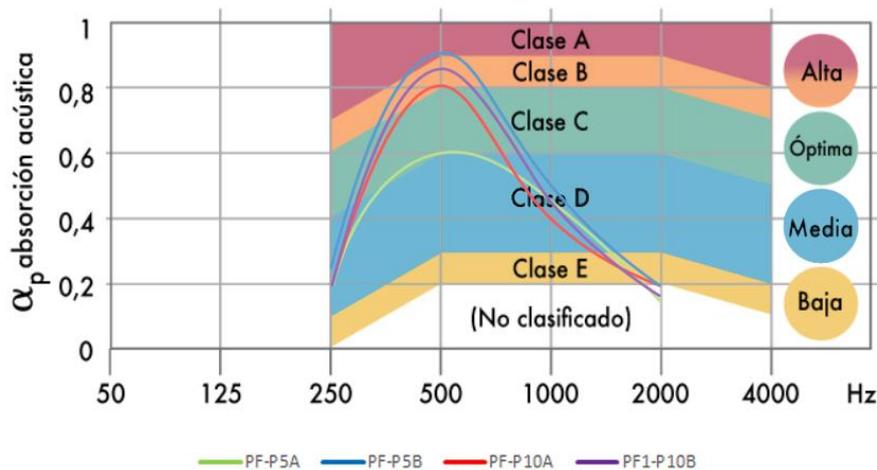


Figura 74: Tabla de clasificación del material en función de  $\alpha_w$  según las clases UNE-EN ISO 11654:1997. Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar, debido al comportamiento disparado de nuestro material en las diferentes frecuencias de referencia, el método establecido por la norma UNE-EN ISO 11654:1997 no es válido para la clasificación de nuestro producto.

**CTE DB-HR. Protección frente al ruido. [12]**

*“4.1 Características exigibles a los productos*

...

*c) el coeficiente de absorción acústica,  $\alpha$ , al menos, para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz y el coeficiente de absorción acústica medio  $\alpha_m$ , en el caso de productos utilizados como absorbentes acústicos.”*

Para la obtención del coeficiente de absorción acústica medio ( $\alpha_w$ ) realizaremos la media de los coeficientes de absorción de cada muestra para las frecuencias 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz. Obtenemos:

PLACA YESO	AISLAMIENTO	DENOMINACIÓN	$\alpha_m$ medio
9 PERF	V PU 5mm	PF-P5A	0,346
9 PERF	V+V/2 PU 5mm	PF-P5B	0,451
9 PERF	V PU 10mm	PF-P10A	0,387
9 PERF	V+V/2 PU 10mm	PF1-P10B	0,429

Figura 75. Tabla coeficiente de absorción acústica medio.

Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar al hacer la media de las cuatro frecuencias analizadas el valor del coeficiente de absorción acústica baja bastante respecto al obtenido para frecuencias medias de 500Hz.

Como conclusión, pensamos que a la hora de desarrollar nuestro producto buscaremos una solución técnica adaptada a la banda de octavas de 500 Hz para optimizar sus prestaciones.

[11] UNE-EN ISO 354:2004. Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354:2003). (ISO 11654:1997). Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). <http://www.aenor.es/>

[12] CTE- DB HR. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Protección frente al Ruido. <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DBHR.pdf>

## 7. PRODUCTO PROPUESTO

La última parte de este trabajo de investigación será la propuesta de un producto, aplicable en el sector de la construcción, fabricado a partir de los residuos de espuma de poliuretano generados en la industria automovilística.

Después de haber realizado los ensayos acústicos de las distintas probetas generadas a partir de la muestra de espuma extraída del Centro Autorizado de Tratamiento y tras haber analizado los resultados y calculado el coeficiente de absorción acústica para cada una de ellas, podemos determinar que nuestro producto debe cumplir con las siguientes características:

- La placa de yeso estará compuesta de yeso 100% sin aditivos, con un espesor de 15mm y un porcentaje de perforación del 4.37%. El diámetro de las perforaciones será de 7mm.
- El relleno de espuma de poliuretano cumplirá las características de la muestra PF 1-P10B con cubos de 10mm de arista y una densidad de 0.19kg/m<sup>3</sup>.
- Se llevará acabo su aplicación en recintos donde predomine la banda de octavas de 500Hz optimizando así su funcionamiento.

A partir de esta serie de pautas establecidas, elaboraremos el producto final, paneles acústicos prefabricados modulares, aplicables tanto a paramentos verticales, como horizontales.

Este tipo producto ya lo fabrican distintas casas comerciales reconocidas como Knauf o PLADUR, incluyendo un amplio catálogo de productos que ayudan mejorar el acondicionamiento acústico del recinto en que se apliquen, sin embargo, la mayoría de estos productos utilizan un relleno de lana de roca o lana mineral cuyo proceso de fabricación es bastante perjudicial para el medio ambiente.

Al crear nuestro producto a partir de un material reciclado pretendemos aportar una mejor solución a la hora de contribuir con el medio ambiente. Sustituyendo el relleno de lana mineral o lana de roca por la espuma de poliuretano obtenemos una doble ventaja, en primer lugar, se les da una nueva vida a los residuos de espuma de poliuretano desechados y en segundo lugar se reduce el impacto medioambiental que se está produciendo en el proceso de fabricación hasta la fecha.

## 7.1. Diseño del producto

### Placa 100% yeso perforada

Placa de yeso 100% sin aditivos con una proporción de 0.55 gramos de agua por cada gramo de yeso. Dimensiones de la placa 120x60cm. Espesor placa 15mm. Diámetro de las perforaciones 7mm. Separación entre ejes 19mm. Bandas laterales de 27 mm sin perforar para fijaciones del panel.

Para su diseño se ha usado de referencia las propiedades de las probetas utilizadas en el estudio acústico. Al ser la probeta de estudio circular, se ha establecido una relación de áreas para una superficie rectangular [Figura 75]. A partir aquí se ha obtenido la separación vertical y horizontal entre ejes de las perforaciones de 29mm. A partir de los parámetros establecidos conformado la placa final.

En cuanto al material, también se ha utilizado la misma configuración de yeso que las probetas del estudio, con una proporción de 0.55 gramos de agua por cada gramo de yeso y un espesor de 15mm.

Al ser una placa de yeso 100% sin aditivos, el tamaño de las placas será de 120x60cm, se ha considerado hacer este formato un poco más reducido que el tamaño estándar que presentan algunas casas comerciales (240x120cm) ya que al no estar reforzadas con fibra de vidrio se evitan posibles roturas de las piezas.



Figura 75: Relación de áreas entre probeta circular y cuadrada. Fuente: elaboración propia.

### Relleno espuma de PUR reciclada

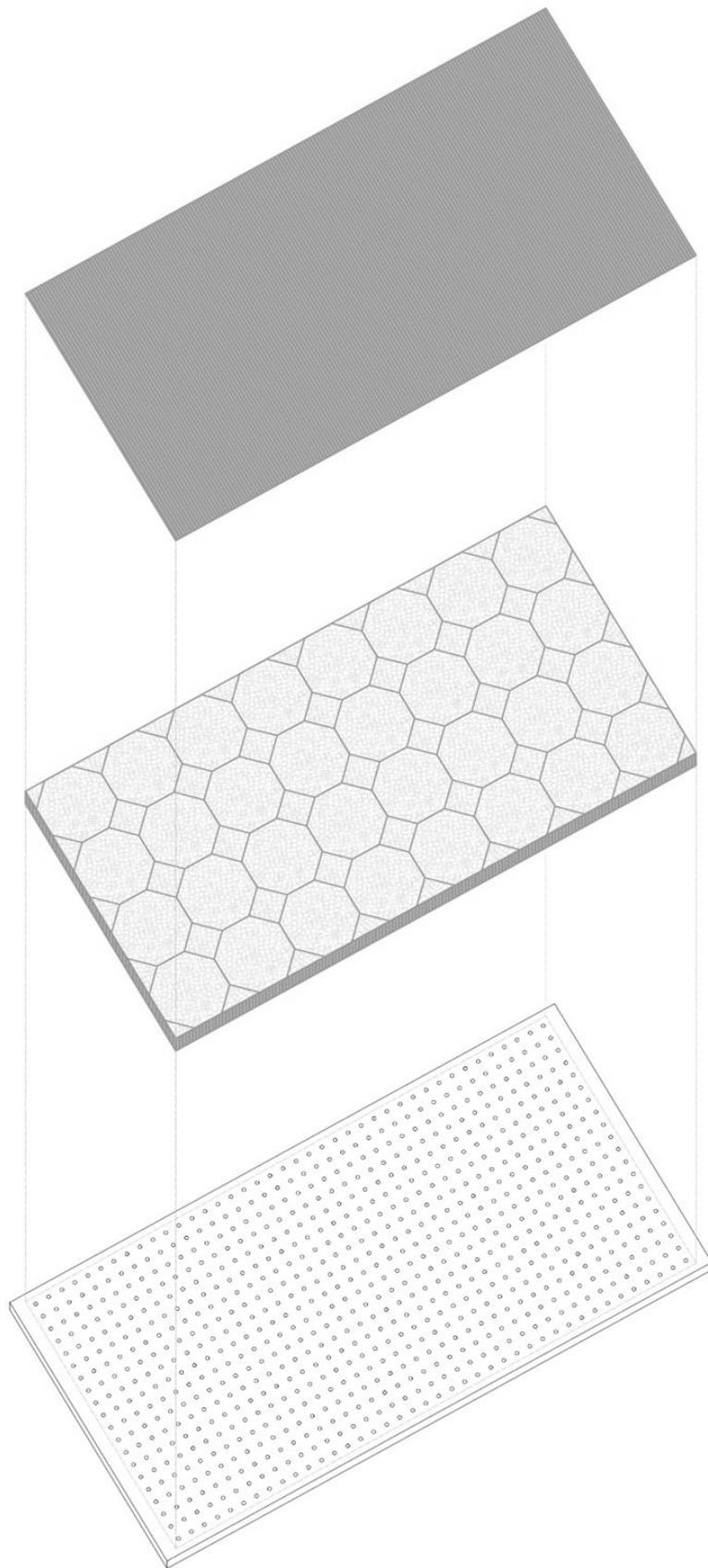
Relleno espuma de poliuretano formada por cubos de 10mm arista. Densidad de la espuma  $0.19\text{kg/m}^3$ . Estructura de cartón reciclado. Espesor 25mm.

Para el relleno hemos utilizado la configuración de espuma de 10mm con mayor densidad. Esta configuración nos ha dado unos valores de absorción acústica similares a los de lana de roca obteniendo muy buenos resultados. Se optado por colocar cubos de 10mm en lugar de 5mm ya que, al obtener resultados prácticamente similares, cuanto mayor es la dimensión de los cubos se optimiza el proceso de fabricación y montaje.

La subestructura que aloja la espuma será de cartón reciclado de 25mm de espesor, y estará compuesta por 23 celdas octogonales que le darán rigidez y resistencia manteniendo la ligereza del producto. Esta malla de octágonos ha sido especialmente diseñada para que ninguna de sus aristas coincida con las perforaciones pueda alterar los resultados obtenidos.

### Relleno espuma de PUR reciclada

Para poder contener la espuma en el interior de las celdas y evitar que se salga se añade una lámina de cartón reciclado de espesor 1mm.



**3** LÁMINA DE CARTÓN RECICLADO.

**2** RELLENO ESPUMA DE POLIUREANO RECICLADA.

**1** PLACA 100% YESO PERFORADA.

Figura 76: Despiece panel modular fonoabsorbente. Fuente: elaboración propia.

**PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:**

**PANEL MODULAR FONOABSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO**

Los paneles serán totalmente prefabricados y seguirán la modulación estandarizada de 120x60cm facilitando así su transporte e instalación en obra Para su colocación, se fijarán previamente unos perfiles de acero galvanizado cada 120cm y sobre estos se anclarán los paneles. Por último, se sellarán, se lijarán y se dará un acabado a las juntas perimetrales. Este sistema de montaje es válido para paramentos verticales y horizontales.

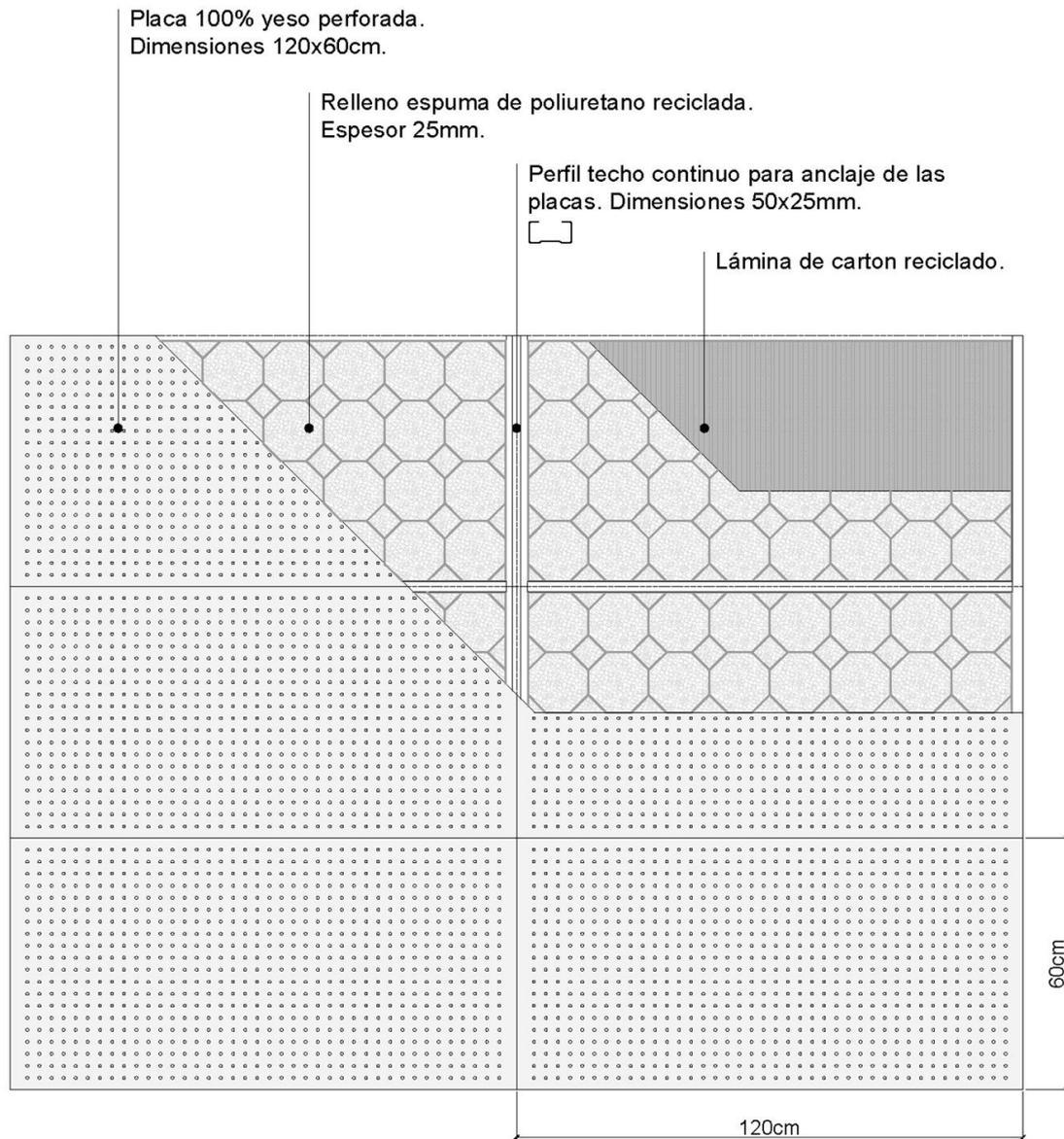


Figura 77: Montaje panel modular fonoabsorbente. Fuente: elaboración propia.

Los paneles han sido diseñados a partir de la configuración de la probeta PF1-P10B, en este caso no existe separación entre el relleno del panel y el paramento sobre el que se monta. Si en un futuro se quisiera añadir una cámara de aire entre los paneles y el paramento, se tendrán que volver a calcular los coeficientes de absorción acústica para cada una de las nuevas configuraciones.

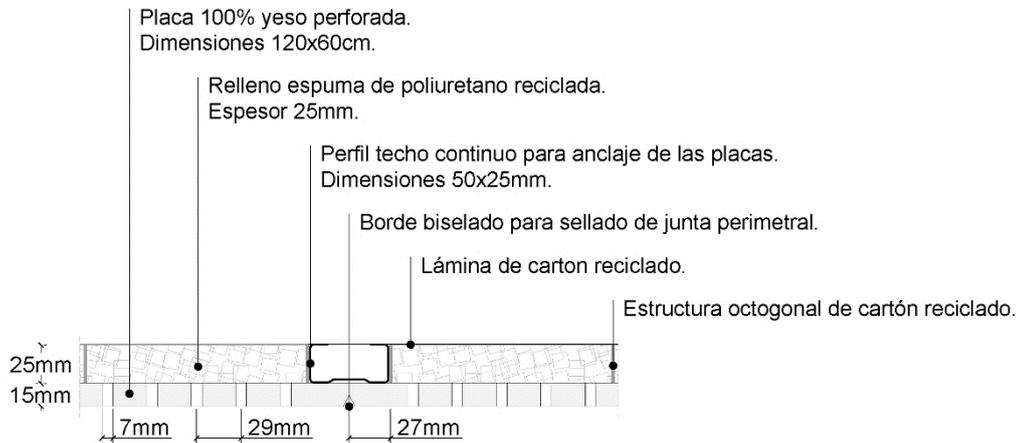
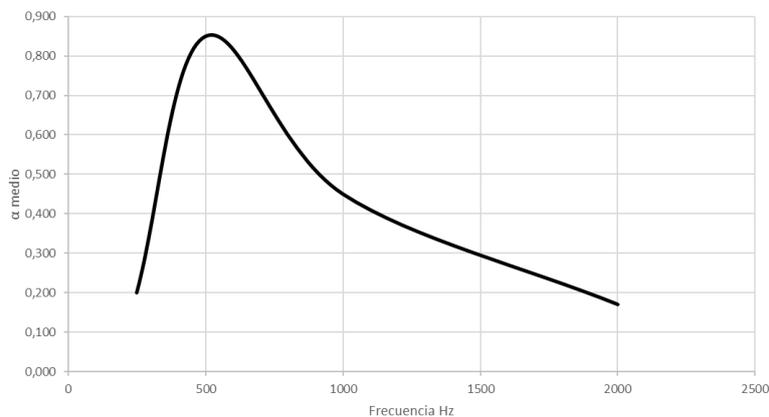


Figura 78: Detalle constructivo panel modular fonoabsorbente. Fuente: elaboración propia.

## 7.2. Características acústicas

A continuación, se muestran las características acústicas del producto final. Destacar que, como ya se ha mencionado anteriormente, debido a los datos obtenidos, se buscará aplicar este producto en recintos donde predomine la banda de octavas de 500Hz optimizando así su funcionamiento



$\alpha_w$				$\alpha_m$	% PERF.
250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz		
0,200	0,850	0,450	0,170	0,420	4,4%

Figura 79: Características acústicas. Fuente: elaboración propia.

### 7.3. Normativa de aplicación

---

Por último, la normativa aplicable al producto para controlar su calidad y la correcta aplicación del mismo en el sector de la construcción será la siguiente:

**NE-EN 520:2005/A1:2010** - Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. [13]

**UNE EN 13279 2005** - Yeso de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. [14]

**UNE-EN 13963 2006** - Material de juntas para placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. [15]

**UNE-EN 102043** - Montaje de los sistemas constructivos con placa de yeso. Tabiques, techos y trasdosados. Definiciones, especificaciones y recomendaciones. [16]

**UNE-EN 13950:2014** - Placa de yeso con aislamiento térmico/acústico. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. [17]

**UNE EN ISO 12354** - Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. [18]

**CTE DB HR** - Protección frente al ruido. [19]

**CTE- DB HE** - Ahorro de energía. [20]

**CTE- DB HS** - Salubridad. [21]

**ETC- DB SI** - Seguridad en caso de incendio. [22]

[13] UNE-EN 520:2005/A1:2010. Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en: <http://www.aenor.es/>

[14] UNE-EN 13279-1:2009. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en: <http://www.aenor.es/>

[15] UNE-EN 13963:2006. Material de juntas para placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en: <http://www.aenor.es/>

[16] UNE-EN 102043. Montaje de los sistemas constructivos con placa de yeso. Tabiques, techos y trasdosados. Definiciones, especificaciones y recomendaciones. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en: <http://www.aenor.es/>

[17] UNE-EN 13950:2014. Placa de yeso con aislamiento térmico/acústico. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en: <http://www.aenor.es/>

[18] UNE-EN ISO 12354-1:2018 (Versión corregida en fecha 2019-04-03). Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. (ISO 12354-1:2017). Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en: [http://www.aenor.es](http://www.aenor.es/)

[19] CTE- DB HR. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Protección frente al Ruido. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DBHR.pdf>

[20] CTE- DB HE. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Ahorro de Energía. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

[21] CTE- DB HS. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Salubridad. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>

[22] CTE- DB SI, Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad en caso de Incendio. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadIncendio/DBSI.pdf>

## 8. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO

Una vez definido el nuevo producto ecoeficiente, se procede a la aplicación en un espacio arquitectónico real el que nos permitirá comprobar su eficacia. La elección del tipo de espacio se ha determinado en función de las conclusiones extraídas de los ensayos y de las características de los paneles de aislamiento acústico propuestos.

En cuanto a los aspectos deducidos tras el análisis de los resultados, recordamos principalmente que nuestro producto tiene el mayor nivel de coeficiente de absorción acústica en la banda de octavas de 500 Hz. Por lo tanto, será la mejor opción en un espacio donde los sonidos en esa frecuencia sean dominantes.

La figura 80 representa gráficamente el nivel de presión sonora de la voz humana en varias frecuencias, según se emita en tono bajo o alto. Podemos ver que los niveles más altos de presión sonora se dan en la banda de octavas de 500 Hz para voces bajas, normales, altas e incluso muy altas. Solo las voces con un volumen de 'grito' tienen los puntos de presión de sonido más altos en frecuencias más altas (alrededor de 1500 Hz). Por lo tanto, nuestros productos funcionan bien en habitaciones donde el habla humana se lleva a cabo en casi la totalidad de los registros.

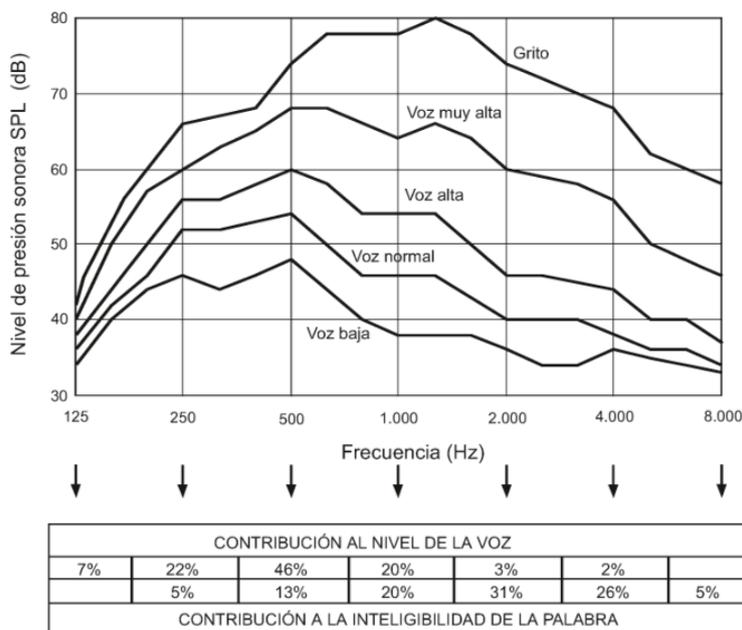


Figura 80: Contribución frecuencial al nivel de la voz y la inteligibilidad de la palabra. Fuente: Carrión Isbert, Antoni. (1998). Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Edicions UPC.

## 8.1. CEIP Nuestra Señora de Linares

---

En el corazón del tradicional barrio de Valdeolleros ubicado en Córdoba, ciudad que ocupa una depresión a orillas de las fértiles tierras del valle del Guadalquivir y al pie de Sierra Morena, se encuentra el Centro de Educación Infantil y Primera Nuestra Señora de Linares.

El Colegio se encuentra en una parcela que ocupa una manzana completa, rodeado de las calles Don Lope de los Ríos, Espejo Blancas, De los Olivos y Platero Bernabé de los Reyes.

El programa del nuevo edificio del CEIP Nuestra Señora de Linares es tipo C1, planteándose en una parcela de 1.696,72 m<sup>2</sup> en un entorno de edificaciones de viviendas en manzana cerrada de cuatro plantas.

La propuesta consiste en un volumen muy compacto alineado a la calle de Los Olivos, dejando el espacio libre de la parcela en la fachada sur-este en la que se sitúan las aulas de infantil y primaria para contar con la mejor orientación posible. Este volumen será horadado para permitir la iluminación y ventilación del centro en planta primera y segunda.





Figuras 81,82,83,84 y 85: Fotografías CEIP Nuestra Señora de Linares. Fuente: [estudio rosa palacios arquitectura](#).

**PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:**

PANEL MODULAR FONOABSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

Dentro del programa de necesidades del centro, el recinto donde se aplicará el producto desarrollado será comedor ubicado en planta baja, frente a la pista deportiva. Un espacio diáfano de 107m<sup>2</sup> de superficie y 3m de altura libre. Se ha elegido el comedor ya que es un espacio de convivencia entre niños y trabajadores del centro aportando distintos registros de voz en el cual el ruido procederá de conversaciones en un tono de voz normal o ligeramente elevado siendo necesario lograr un adecuado acondicionamiento acústico.

Actualmente el comedor cuenta con un falso techo fonoabsorbente de la casa comercial PLADUR modelo PLADURFON+ R12/25 cumpliendo así con las exigencias del CTE BD-HR. Nuestro objetivo es la simular la sustitución de este falso techo por los nuevos paneles fonoabsorbentes diseñados en el punto anterior y estudiar su viabilidad en cuanto al cumplimiento de la normativa exigible.



Figura 86: Fotografía comedor CEIP Nuestra Señora de Linares. Fuente: [estudio rosa palacios arquitectura](#).

## 8.2. Exigencias técnicas del producto: cumplimiento CTE DB HR

“El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE)”. [23]

Al igual que el resto de aspectos proyectuales, constructivos, de mantenimiento y conservación relativos a las obras edificadas en España, el acondicionamiento acústico también está regulado por el CTE, concretamente en el Documento Básico de Protección frente al ruido (CTE DB HR) [24]. A continuación, se procede a consultar dicha normativa.

### 2.2 Valores límite de tiempo de reverberación

- 1 En conjunto los elementos constructivos, acabados superficiales y *revestimientos* que delimitan un aula o una sala de conferencias, un comedor y un restaurante, tendrán la absorción acústica suficiente de tal manera que:
  - a) El *tiempo de reverberación* en aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario), cuyo volumen sea menor que 350 m<sup>3</sup>, no será mayor que 0,7 s.
  - b) El *tiempo de reverberación* en aulas y en salas de conferencias vacías, pero incluyendo el total de las butacas, cuyo volumen sea menor que 350 m<sup>3</sup>, no será mayor que 0,5 s.
  - c) El *tiempo de reverberación* en restaurantes y comedores vacíos no será mayor que 0,9 s.

Figura 87: Extracto CTE DB HR. Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el recinto objeto de estudio se trata de un comedor se debe cumplir que el tiempo de reverberación sea mayor a 0.9 s. Para realizar los cálculos se atenderá al siguiente apartado:

#### 3.2.2 Método de cálculo general del tiempo de reverberación

- 1 El *tiempo de reverberación*, T, de un *recinto* se calcula mediante la expresión:

$$T = \frac{0,16 V}{A} \quad [\text{s}] \quad (3.25)$$

siendo

V volumen del *recinto*, [m<sup>3</sup>];

A absorción acústica total del *recinto*, [m<sup>2</sup>];

- 2 La absorción acústica, A, se calculará a partir de la expresión:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m}_m \cdot V \quad (3.26)$$

siendo

$\alpha_{m,i}$  coeficiente de absorción acústica medio de cada paramento, para las bandas de tercio de octava centradas en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz;

$S_i$  área de paramento cuyo coeficiente de absorción es  $\alpha_i$ , [m<sup>2</sup>];

$A_{O,m,j}$  área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo absorbente diferente [m<sup>2</sup>];

V volumen del *recinto*, [m<sup>3</sup>].

$\overline{m}_m$  coeficiente de absorción acústica medio en el aire, para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz y de valor 0,006 m<sup>-1</sup>.

El término  $4 \cdot \overline{m}_m \cdot V$  es despreciable en los *recintos* de volumen menor que 250 m<sup>3</sup>.

Figura 87: Extracto CTE DB HR. Fuente: Elaboración propia.

[23] CTE, Código Técnico de la Edificación. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/Presentacion>

[24] CTE DB HR, Código Técnico de la Edificación. Exigencias básicas de protección frente al ruido. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/ProteccionRuido.html>

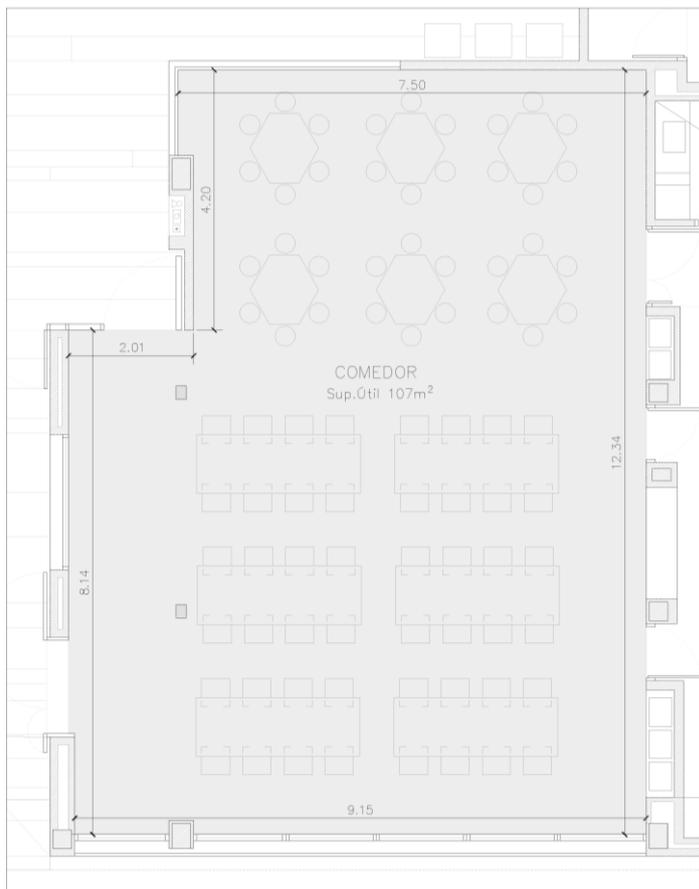
Para poder realizar los cálculos primero necesitamos conocer tanto el coeficiente de absorción acústica medio de cada uno de los acabados como la superficie de cada uno de ellos. Añadir que tanto en el suelo como el techo solo existe un único acabado, sin embargo, en los paramentos verticales al existir varios materiales el proceso de cálculo es algo más tedioso, es por ello que, para simplificar los cálculos, se aplicará el coeficiente de absorción acústica del material más desfavorable en toda la superficie. Esta simplificación puede realizarse ya que el CTE DB HR establece un tiempo de reverberación máximo de 0.9 s de tal modo que, si tras realizar los cálculos con el coeficiente mas desfavorable el valor es inferior a lo que marca la normativa, se el producto cumplirá con dicha normativa. En todo caso, si en u futuro se quisiera conocer el valor real, habría que aplicar cada uno de los coeficientes y su superficie para cada uno de los materiales.

### Superficies de los paramentos

Para realizar el cálculo en primer lugar debemos conocer las dimensiones del recinto, en este caso necesitamos calcular cada una de las superficies, (pared, suelo y techo).

La superficie del suelo es igual a la del techo y se corresponde con la superficie útil de 107m<sup>2</sup>.

La superficie total de los paramentos verticales la calcularemos multiplicando el perímetro del recinto por la altura útil correspondiente. Actualmente la altura útil es de 3m ya que existe una cámara de aire de 33cm entre el falso techo y el forjado. Sin embargo, al sustituirlo por el nuevo producto, no existirá cámara de aire ya que este va pegado al techo, por lo tanto, la altura útil aumentará a 3.29m. Dicho esto la superficie total de los paramentos verticales en el estado actual será de 132.39m<sup>2</sup> mientras que en la propuesta aumentará a 145.19m<sup>2</sup>



#### Superficies estado actual

- Sup. techo = 107.00m<sup>2</sup>
- Sup. suelo = 107.00m<sup>2</sup>
- Sup. pared = 132.39m<sup>2</sup>

#### Superficies propuesta

- Sup. techo = 107.00m<sup>2</sup>
- Sup. suelo = 107.00m<sup>2</sup>
- Sup. pared = 147.19m<sup>2</sup>

Figura 88: Panta comedor CEIP Nuestra Señora de Linares. Fuente: [estudio rosa palacios arquitectura](#).

## Coefficientes de absorción acústica

Para saber los coeficientes de absorción acústica del suelo y paredes tendremos que ir al apartado “3.19 Acabados superficiales interiores de los elementos constructivos” dentro del Catálogo de Elementos Constructivos (CEC) [25] del CTE obteniendo los siguientes valores:

Acabados de interiores paredes, techos y suelos				
Tipo	HR			$\alpha_m$
	$\alpha$			
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	
Enfoscado de mortero	0,06	0,08	0,04	0,06
Enlucido de yeso	0,01	0,01	0,02	0,01
Revestimientos textiles	0,09	0,14	0,29	0,17
Moqueta, espesor $\leq 10$ mm	0,06	0,15	0,30	0,17
Moqueta, espesor $\geq 10$ mm	0,15	0,30	0,45	0,30
PVC	0,04	0,05	0,05	0,05
Linóleo	0,03	0,03	0,04	0,03
Caucho	0,04	0,04	0,02	0,03
Terrazo	0,01	0,02	0,02	0,02
Baldosas, plaquetas.	0,01	0,02	0,02	0,02
Vidrio	0,05	0,04	0,03	0,04

Figura 89: Coeficientes de absorción acústica de distintos materiales. Fuente: Catálogo de elementos constructivos.

De esta tabla nos quedamos con los coeficientes de absorción acústica medios del terrazo ( $\alpha_m 0.02$ ) para aplicarlo a la superficie del suelo y del enlucido de yeso ( $\alpha_m 0.01$ ) para la superficie de las paredes ya que, comparándolo con el resto de acabados del comedor como la madera o el vidrio, es el que cuenta con el coeficiente de absorción acústica más desfavorable.

El coeficiente de absorción acústica del falso techo actual se conoce ya que, sabiendo el modelo utilizado (PLADUR FON+ R 12/25), se obtiene a partir del catálogo del propio fabricante. El valor de este coeficiente es  $\alpha_m 0.75$ .

Frecuencia	Sin lana mineral
Plenum	200
$\alpha_p$ 125	0,45
$\alpha_p$ 250	0,75
$\alpha_p$ 500	0,90
$\alpha_p$ 1K	0,70
$\alpha_p$ 2K	0,70
$\alpha_p$ 4K	0,55
$\alpha_w$	0,70(L)
$\alpha_m$	0,75
SAA	0,76
NRC	0,75
Tipo de Clase	C
Referencia predicción	AC14-26050500/18

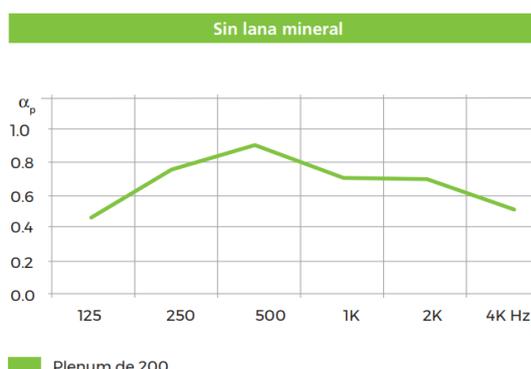


Figura 90: Características acústicas falso techo PLADUR FON+ R 12/25. Fuente: PLADUR.

Por último, el coeficiente de absorción acústica medio del nuevo producto de paneles modulares fonoabsorbentes se calculará haciendo la media para los valores de absorción en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz. El valor obtenido es  $\alpha_m 0.49$ .

$\alpha_w$		
500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
<b>0,850</b>	<b>0,450</b>	<b>0,170</b>

Figura 79: Características acústicas nuevo producto propuesto. Fuente: elaboración propia.

### Cálculo tiempo de reverberación estado actual

A partir de los parámetros obtenidos y siguiendo el método de cálculo general del tiempo de reverberación que marca el CTE DB HR se verifica que el tiempo de reverberación para el comedor actual con el falso techo acústico PLADUR FON+ R12/25 cumple el tiempo de reverberación máximo de 9 s.

$$A = ST \cdot \alpha_{mT} + SS \cdot \alpha_{ms} + SP \cdot \alpha_{mP} + 4 \cdot \overline{mm} \cdot V$$

$$A = 91.42$$

$$T = \frac{0.16 \cdot V}{A}$$

$$T = 0.56 < 0.9 \quad \text{CUMPLE}$$

#### Datos

- $S_T = 107.00 \text{ m}^2$
- $\alpha_{mT} = 0.75$
- $S_S = 107.00 \text{ m}^2$
- $\alpha_{ms} = 0.02$
- $S_P = 132.39 \text{ m}^2$
- $\alpha_{mP} = 0.01$
- $V = 321 \text{ m}^3$

### Cálculo tiempo de reverberación propuesta

A partir de los parámetros obtenidos y siguiendo el método de cálculo general del tiempo de reverberación que marca el CTE DB HR se comprueba que el tiempo de reverberación para el comedor sustituyéndolo por paneles prefabricados modulares fonoabsorbentes con relleno de espuma de poliuretano reciclada cumple el tiempo de reverberación máximo de 9 s.

$$A = ST \cdot \alpha_{mT} + SS \cdot \alpha_{ms} + SP \cdot \alpha_{mP} + 4 \cdot \overline{mm} \cdot V$$

$$A = 64.34$$

$$T = \frac{0.16 \cdot V}{A}$$

$$T = 0.87 < 0.9 \quad \text{CUMPLE}$$

#### Datos

- $S_T = 107.00 \text{ m}^2$
- $\alpha_{mT} = 0.49$
- $S_S = 107.00 \text{ m}^2$
- $\alpha_{ms} = 0.02$
- $S_P = 147.19 \text{ m}^2$
- $\alpha_{mP} = 0.01$
- $V = 352.03 \text{ m}^3$

Se observa que tanto el modelo actual como la propuesta del nuevo producto cumplen con el CTE DB HR. Se obteniendo por tanto como conclusión que, la nueva solución propuesta podría ser valida, dando lugar a la utilización de un nuevo producto sostenible fabricado a partir de un residuo reciclado con los beneficios que eso supone.

### 8.3. Impacto medioambiental de la solución

Una vez estudiada la viabilidad de los paneles modulares fonoabsorbentes en cuanto al cumplimiento de la normativa acústica vigente y su aplicación en un caso práctico, se procede a realizar un análisis desde un punto de vista medioambiental, tratando de localizar y exponer las ventajas del nuevo producto propuesto, fabricado mediante la utilización de materia prima reciclada, frente a los falsos techos acústicos convencionales con rellenos de lana de roca o lana mineral.

#### Declaraciones Ambientales del Producto (DAP)

Para ofrecer la posibilidad de evaluar un producto en función de su comportamiento ambiental de forma objetiva y fiable se elaboran las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), basadas en el análisis del ciclo de vida del producto verificado por un organismo independiente. Estas aportan información cuantitativa de los impactos ambientales de un producto a lo largo de su ciclo de vida.

Sabiendo que cada casa comercial está obligada a aportar las declaraciones ambientales de sus productos, analizaremos el ciclo de vida útil de un falso techo acústico comercializado y lo compararemos con el de nuestro producto.

El siguiente gráfico extraído de la casa comercial KNAUF [Figura 80] muestra el ciclo de vida útil de uno de sus paneles de yeso laminado (PYL) para la aplicación de falso techo acústico. Como se puede observar, la etapa que más energía consume es la de fabricación, llegando a alcanzar el 82% del total del ciclo de vida del producto, asimismo, también es durante la fabricación el momento en el que más emisiones de CO<sub>2</sub> se emiten. Teniendo en cuenta este dato, junto con la recepción de materias primas, la mayor ventaja de nuestro producto ambiental se va a centrar en la fase de fabricación.



Figura 80: Ciclo de vida útil panel yeso laminado (PYL). Fuente: Declaraciones Ambientales de Producto de Construcción Knauf.

## **Materia prima**

Tanto el proceso de fabricación de la lana de roca como el de la lana de vidrio son prácticamente similares, diferenciándose cada uno de ellos en la materia prima utilizada.

La lana de roca usa como materia prima roca volcánica e incluye basalto, diabasa y rocas ígneas similares. Por otro lado, la lana de vidrio utiliza como materia prima arena natural a la que se añade vidrio reciclado y agentes fundentes.

En nuestro caso, la materia prima utilizada es la espuma de poliuretano recogida de los Centros de Tratamiento Autorizados (CAT) suponiendo así un uso de material reciclado como materia prima del 100%. Esta es la primera de las ventajas de nuestro producto ya que por cada 100m<sup>2</sup> se consigue la retirada y reutilización 4.5kg de espuma de poliuretano.

## **Proceso de fabricación**

En cuanto al proceso de fabricación de la lana de roca y la lana de vidrio hay que destacar que, el paso de la materia prima por el horno de fusión y su posterior fibrado es la etapa que tiene un mayor impacto ambiental, llegando a producir un consumo de energía no renovable que asciende hasta los 79.80 MJ en el caso de la lana de vidrio. Todo este consumo de energía, sumado al consumo de agua dulce, estimándose una cantidad de 0.075m<sup>3</sup> y a la generación de residuos, 5.36kg de por metro cuadrado, hace que el proceso de fabricación actual tenga un resultado nocivo desde el punto de vista medioambiental.

A la hora de fabricar el nuevo producto, se ha logrado reducir considerablemente el proceso de fabricación eliminando de este las etapas mas perjudiciales para el medio ambiente y reduciendo así, tanto el consumo de energía no renovable, como el consumo de agua dulce. Al utilizarse en todo momento materiales reciclados, no se generará ningún tipo residuo en el proceso de fabricación.

Una vez obtenida la espuma de poliuretano, se llevará a cabo un proceso de desinfección en el cual el nivel de consumo de agua dulce se estima por debajo de los valores de consumo de agua dulce mencionados anteriormente para la fabricación de la lana de roca o la lana de vidrio.

Tras la desinfección, las piezas de espuma serán cortadas mecánicamente hasta conseguir el formato establecido de 10x10x10mm.

En un proceso paralelo se fabricarán las placas de yeso 100% sin aditivos y la subestructura octogonal de cartón reciclado.

Por último, se procederá al montaje de los paneles uniendo la subestructura de cartón reciclado a las placas de yeso y rellenando las celdas con la espuma de poliuretano. Una vez conformados los paneles, se embalarán de manera eficiente para ocupar el menor espacio posible y optimizar el transporte.

## Lana mineral

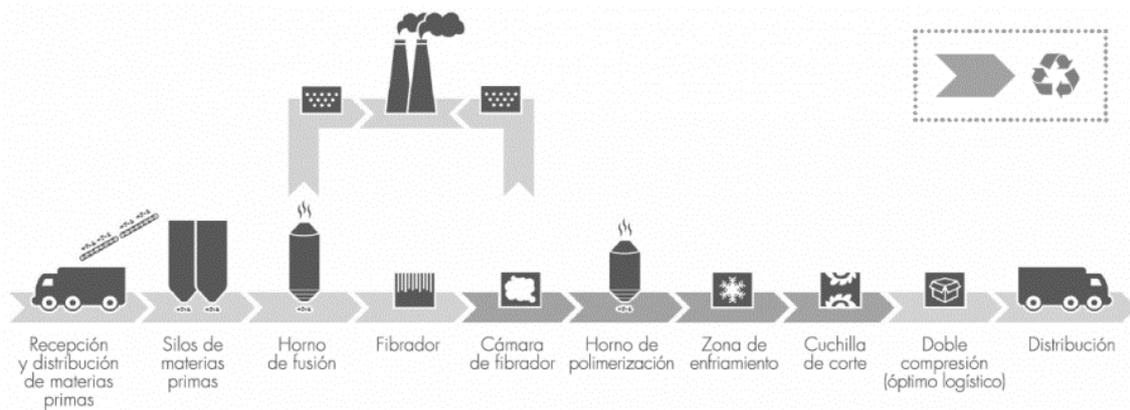


Figura 81: Esquema proceso de fabricación de lana mineral. Fuente: Knauf

- Utilización de materias primas de origen natural.
- Proceso de fusión a **altas temperaturas**.
- **Gran consumo** de energía no renovable.
- Consumo de agua dulce.
- **Producción de residuos**.

## Espuma de poliuretano reciclada



Figura 82: Esquema proceso de fabricación producto propuesto. Fuente: Elaboración propia.



- ✓ **Reducción** proceso de fabricación.
- ✓ Utilización de **materias primas recicladas**.
- ✓ **Bajo consumo** energía no renovable.
- ✓ **Disminución** consumo de agua dulce.
- ✓ **Retirada** de residuos.

## 9. CONCLUSIONES

Los últimos informes publicados acerca de la producción y el consumo de plásticos en la actualidad reflejan la preocupante situación en la que nos encontramos. Uno de los sectores que más contribuye a este problema medioambiental es el de la construcción.

Tras observar esta problemática actual, este trabajo nace del interés de proponer una alternativa al uso de productos utilizados en el sector de la construcción actualmente fabricados a partir de plásticos y materias primas naturales en un gran porcentaje.

Dicho esto, el objetivo de este trabajo es la propuesta de un producto sostenible con el medio ambiente, fabricado a partir de materias primas recicladas, reduciendo así su impacto medioambiental.

Por otro lado, se ha detectado que actualmente existen algunos tipos de plásticos que su porcentaje de reciclado es muy inferior al resto de los productos utilizados en la industria automovilística. Uno de ellos es la espuma de poliuretano utilizada como relleno de tapicerías en automóviles la cuál termina en su mayoría en los Centros de Tratamiento Autorizados no siendo reciclada posteriormente.

Al analizar las propiedades de la espuma de poliuretano, se ha optado por extraer una muestra y realizar varios ensayos acústicos para estudiar su comportamiento y su posible aplicación en el sector de la construcción.

Tras la realización de los ensayos de absorción acústica utilizando el Tubo de Kundt, concluimos que las espumas de poliuretano tienen un comportamiento óptimo para el acondicionamiento acústico, especialmente ante sonidos en la banda de octavas de 500 Hz.

A partir de los resultados obtenidos se ha optado por crear paneles modulares fonoabsorbentes utilizando la espuma de poliuretano reciclada como relleno. Estos paneles no solo consiguen igualar las propiedades acústicas de los productos comercializados, sino que también reducen el proceso de fabricación y montaje, ahorrando costes y disminuyendo su impacto medioambiental.

Se ha realizado un estudio de viabilidad aplicando el producto a un caso practico real, dando como resultado el cumplimiento del CTE DB-HR.

Como posible fututa línea de investigación se podrían analizar diferentes combinaciones de paneles acústicos fonoabsorbentes, variando la densidad del relleno de espuma de poliuretano reciclada o el número y tamaño de las perforaciones de la placa de yeso. También se podría estudiar la posibilidad de suspender los paneles creando una cámara de aire creando un falso techo registrable por el que poder pasar las instalaciones.

Siguiendo esta futura línea de investigación se podrían mejorar las propiedades acústicas de estos paneles llegando incluso a mejorar los valores de absorción acústica de los productos actuales.

## BIBLIOGRAFÍA

PlasticsEurope (2023). ¿Qué es el plástico? Disponible en:

<https://legacy.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>

PlasticsEurope (2023). Historia del plástico. Disponible en:

<https://legacy.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history>

PlasticsEurope (2023). Cómo se fabrica el plástico. Disponible en:

<https://legacy.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/how-plastics-are-made>

British Plastics Federation (2023). A History of Plastics. Disponible en:

[https://www.bpf.co.uk/plastipedia/plastics\\_history/Default.aspx](https://www.bpf.co.uk/plastipedia/plastics_history/Default.aspx)

PlasticsEurope (2023). Tipos de plásticos. Disponible en:

<https://legacy.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/large-family>

Gestores de Residuos (2020). La clasificación de los plásticos. Disponible en:

<https://gestoresderesiduos.org/noticias/la-clasificacion-de-los-plasticos>

PlasticsEurope (2023). El plástico en el sector de la Edificación y construcción. Disponible en:

<https://legacy.plasticseurope.org/es/about-plastics/building-construction>

PlasticsEurope (2023). El plástico en la movilidad y el transporte. Disponible en:

<https://legacy.plasticseurope.org/es/about-plastics/transportation>

PlasticsEurope (2022). Plastics – the Facts 2022. An analysis of European plastics production, demand, conversion and end-of-life management. Disponible en:

<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>

PlasticsEurope (2022). La economía circular de los plásticos. Una visión europea. Disponible en:

<https://plasticseurope.org/es/knowledge-hub/la-economia-circular-de-los-plasticos-una-vision-europea-2/>

Bayer Foundation (2022). Recognizing the boundary breakers – About Prof. Otto Bayer.

Disponible en:

<https://www.bayer-foundation.com/science/our-awards>

Econic Technologies (2018). Polyurethane: The bright, green future. Disponible en:  
<https://econic-technologies.com/news/polyurethane-bright-green-future/>

Interempresas (1999). Los orígenes del poliuretano. Disponible en:  
<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6188-Los-origenes-del-poliuretano.html>

Reaxol (2020). Propiedades de la espuma de poliuretano. Disponible en:  
<https://www.reaxsol.com/2020/05/06/propiedades-de-la-espuma-de-poliuretano/>

Quimica.es (2023). Espuma de poliuretano. Disponible en:  
[https://www.quimica.es/enciclopedia/Espuma\\_de\\_poliuretano.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Espuma_de_poliuretano.html)

Construmática. Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (2023). Espuma de poliuretano. Disponible en:  
[https://www.construmatica.com/construpedia/Espuma\\_de\\_Poliuretano](https://www.construmatica.com/construpedia/Espuma_de_Poliuretano)

PlasticsEurope (2023). Cero plásticos en vertederos. Disponible en:  
<https://legacy.plasticseurope.org/es/focus-areas/circular-economy/zero-plastics-landfill>

Aclima (2022). Plastic Europe presenta su informe anual del 2021 y reclama su posición hacia la circularidad y la neutralidad carbónica. Disponible en:  
<https://aclima.eus/plastics-europe-presenta-su-informe-anual-del-2021-y-reclama-su-posicion-hacia-la-circularidad-y-la-neutralidad-carbonica/>

Synthesia Blog (2019). Impacto ambiental poliuretano. Disponible en:  
<https://blog.synthesia.com/es/impacto-ambiental-poliuretano>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP 2022). From pollution to Solution. Disponible en:  
<https://www.unep.org/interactives/pollution-to-solution/>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP 2019). De la contaminación a la solución: Una evaluación global de la basura marina y la contaminación por plásticos. Disponible en:  
<https://www.unep.org/es/resources/de-la-contaminacion-la-solucion-una-evaluacion-global-de-la-basura-marina-y-la>

National Geographic (2018). National Geographic y la lucha contra el plástico. Disponible en:  
[https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/national-geographic-y-lucha-contra-plastico\\_12710](https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/national-geographic-y-lucha-contra-plastico_12710)

Greenpeace (2023). ¿Cómo llega el plástico a los océanos y qué sucede entonces? Disponible en:

<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/>

Greenpeace (2017). Datos sobre la producción de plásticos. Disponible en:

<https://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en/Parar-la-contaminacion/Plasticos/Datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/index.html>

Polyurethane Applications (2022). El poliuretano aporta confort, seguridad y ahorro en los asientos del automóvil. Disponible en:

<http://www.polyurethaneapplications.com/poliuretano-confort-seguridad-ahorro-asientos-automovil/>

Hecho de Poliuretano (2021). Las aplicaciones del Poliuretano en el automóvil. Disponible en:

<https://hechodepoliuretano.com/aplicaciones-poliuretano-automovil/>

Amante, B.; Lacayo, A.; Piqué, M.; López-Grimau, V. "Gestión de residuos a lo largo del ciclo de vida de un automóvil". Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry, 2010, Vol. 67, Num. 549. Disponible en:

<https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269808>

CTE. Obtenido de CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. Disponible en:

<https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/Presentacion.html>

CTE- DB HR. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Protección frente al ruido. Disponible en:

<https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/ProteccionRuido.html>

CTE- DB HR. Código Técnico de la Edificación. Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido. Disponible en:

[https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/GuiaHR/04\\_Capitulo2\\_1\\_aislamiento\\_acustico.pdf](https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/GuiaHR/04_Capitulo2_1_aislamiento_acustico.pdf)

Temario de Acústica arquitectónica, FFIA, ETSAS.

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.

<http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor)

UNE-EN ISO 354:2004. Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354:2003). (ISO 11654:1997). Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en:

<http://www.aenor.es/>

Proceso de fabricación lana mineral. KNAUF. Disponible en:

<https://www.knaufinsulation.es/sostenibilidad/producto/proceso-de-fabricacion>

[1] PlasticsEurope (2022). ¿Qué es el plástico? Disponible en:

<https://legacy.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>

[2] PlasticsEurope (2022). Cómo se fabrica el plástico. Disponible en:

<https://legacy.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/how-plastics-are-made>

[3] PlasticsEurope (2022). La economía circular de los plásticos. Una visión europea. Disponible en:

<https://plasticseurope.org/es/knowledge-hub/la-economia-circular-de-los-plasticos-una-vision-europea-2/>

[4] Interempresas (1999). Los orígenes del poliuretano. Disponible en:

<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6188-Los-origenes-del-poliuretano.html>

[5] Bayer Foundation (2022). Recognizing the boundary breakers – About Prof. Otto Bayer. Disponible en:

<https://www.bayer-foundation.com/science/our-awards>

[6] Caniato, Marco & Cozzarini, Luca & Schmid, Chiara & Gasparella, Andrea. (2022). A sustainable acoustic customization of open porous materials using recycled plastics. Scientific Reports. 12. 10955. 10.1038/s41598-022-14009-z

[7] Naimušin, Andrej & Janusevicius, Tomas. (2023). Development and Research of Recyclable Composite Metamaterial Structures Made of Plastic and Rubber Waste to Reduce Indoor Noise and Reverberation. Sustainability. 15. 1731. 10.3390/su15021731

[8] M. Pedroso, J. de Brito, J.D. Silvestre. (2017). Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials (traditional and innovative). Construction and Building Materials. Volume 140, 1 June 2017, Pages 221-228

[10] Rivero Valero, Rubio de Hita, P., Frustaglia, D. C., & Fernández Nieto, E. D. (2022). Propuesta de panel de yeso acústico ecoeficiente con adición de espuma de poliuretano procedente de esponjas de baño: TFG junio 2022, Grupo H

[11] UNE-EN ISO 354:2004. Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354:2003). (ISO 11654:1997). Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en:

<http://www.aenor.es/>

[12] CTE- DB HR. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Protección frente al Ruido. Disponible en:

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DBHR.pdf>

[13] UNE-EN 520:2005/A1:2010. Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en:

<http://www.aenor.es/>

[14] UNE-EN 13279-1:2009. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en:

<http://www.aenor.es/>

[15] UNE-EN 13963:2006. Material de juntas para placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en:

<http://www.aenor.es/>

[16] UNE-EN 102043. Montaje de los sistemas constructivos con placa de yeso. Tabiques, techos y trasdosados. Definiciones, especificaciones y recomendaciones. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en:

<http://www.aenor.es/>

[17] UNE-EN 13950:2014. Placa de yeso con aislamiento térmico/acústico. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en:

<http://www.aenor.es/>

[18] UNE-EN ISO 12354-1:2018 (Versión corregida en fecha 2019-04-03). Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. (ISO 12354-1:2017). Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). Disponible en: <http://www.aenor.es>

[19] CTE- DB HR. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Protección frente al Ruido. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DBHR.pdf>

[20] CTE- DB HE. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Ahorro de Energía. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

[21] CTE- DB HS. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Salubridad. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>

[22] CTE- DB SI, Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad en caso de Incendio. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadIncendio/DBSI.pdf>

[23] CTE, Código Técnico de la Edificación. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/Presentacion>

[24] CTE- DB HR, Código Técnico de la Edificación. Exigencias básicas de protección frente al ruido. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/ProteccionRuido.html>

## ANEXO I. RESULTADOS ENSAYO ACÚSTICO

	PLACA YESO	AISLAMIENTO	FRECUENCIA 1 - 250 Hz						n	$\alpha$	$\alpha$ medio	CODIGO
			VALOR MIN	ERROR	UNIDAD	VALOR MÁX	ERROR	UNIDAD				
1	BLANCO A	SIN AISLAMIENTO	3,34	±0.02	mv	33,9	±0.1	mv	10,150	0,327	0,381	BL
2	BLANCO B	SIN AISLAMIENTO	4,03	±0.02	mv	28,4	±0.1	mv	7,047	0,435		
3	9 PERF A	SIN AISLAMIENTO	779	±8	uv	26,5	±0.1	mv	34,018	0,111	0,132	PF
4	9 PERF B	SIN AISLAMIENTO	1,11	±0.01	mv	26,9	±0.1	mv	24,234	0,152		
5	9 PERF A	LANA DE ROCA	1,05	±0.01	mv	23,9	±0.1	mv	22,762	0,161	0,190	PF-LR
6	9 PERF B	LANA DE ROCA	1,56	±0.01	mv	25,3	±0.1	mv	16,218	0,219		
7	9 PERF A	V PU 5mm	1,3	±0.01	mv	25,4	±0.1	mv	19,538	0,185	0,179	PF-P5A
8	9 PERF B	V PU 5mm	1,21	±0.01	mv	25,4	±0.1	mv	20,992	0,174		
9	9 PERF A	V+V/2 PU 5mm	1,64	±0.01	mv	25,1	±0.1	mv	15,305	0,230	0,236	PF-P5B
10	9 PERF B	V+V/2 PU 5mm	1,72	±0.01	mv	25	±0.1	mv	14,535	0,241		
11	9 PERF A	V PU 10mm	1,27	±0.01	mv	26,2	±0.1	mv	20,630	0,176	0,184	PF-P10A
12	9 PERF B	V PU 10mm	1,39	±0.01	mv	26,1	±0.1	mv	18,777	0,192		
13	9 PERF A	V+V/2 PU 10mm	1,44	±0.01	mv	25,4	±0.1	mv	17,639	0,203	0,215	PF1-P10B
14	9 PERF B	V+V/2 PU 10mm	1,62	±0.01	mv	25,3	±0.1	mv	15,617	0,226		

	PLACA YESO	AISLAMIENTO	FRECUENCIA 2 - 500 Hz						n	$\alpha$	$\alpha$ medio	CODIGO
			VALOR MIN	ERROR	UNIDAD	VALOR MÁX	ERROR	UNIDAD				
1	BLANCO A	SIN AISLAMIENTO	2,56	±0.01	mv	29,3	±0.1	mv	11,445	0,296	0,347	BL
2	BLANCO B	SIN AISLAMIENTO	3,56	±0.01	mv	28,1	±0.1	mv	7,893	0,399		
3	9 PERF A	SIN AISLAMIENTO	9,2	±0.02	mv	41,6	±0.1	mv	4,522	0,593	0,586	PF
4	9 PERF B	SIN AISLAMIENTO	8,71	±0.01	mv	41	±0.1	mv	4,707	0,578		
5	9 PERF A	LANA DE ROCA	15,2	±0.1	mv	27,1	±0.1	mv	1,783	0,921	0,913	PF-LR
6	9 PERF B	LANA DE ROCA	15,1	±0.1	mv	28,6	±0.1	mv	1,894	0,905		
7	9 PERF A	V PU 5mm	13,5	±0.1	mv	37	±0.1	mv	2,741	0,783	0,599	PF-P5A
8	9 PERF B	V PU 5mm	5,5	±0.5	mv	41,4	±0.1	mv	7,527	0,414		
9	9 PERF A	V+V/2 PU 5mm	15	±0.1	mv	31	±0.1	mv	2,067	0,879	0,895	PF-P5B
10	9 PERF B	V+V/2 PU 5mm	15,4	±0.1	mv	28,5	±0.1	mv	1,851	0,911		
11	9 PERF A	V PU 10mm	13,4	±0.1	mv	41,1	±0.1	mv	3,067	0,742	0,761	PF-P10A
12	9 PERF B	V PU 10mm	13,4	±0.1	mv	37,1	±0.1	mv	2,769	0,780		
13	9 PERF A	V+V/2 PU 10mm	14,8	±0.1	mv	31,9	±0.1	mv	2,155	0,866	0,870	PF1-P10B
14	9 PERF B	V+V/2 PU 10mm	15	±0.1	mv	31,4	±0.1	mv	2,093	0,875		

	PLACA YESO	AISLAMIENTO	FRECUENCIA 3 - 1000 Hz						n	$\alpha$	$\alpha$ medio	CODIGO
			VALOR MIN	ERROR	UNIDAD	VALOR MÁX	ERROR	UNIDAD				
1	BLANCO A	SIN AISLAMIENTO	282	±1	uv	6,17	±0.01	mv	21,879	0,167	0,194	BL
2	BLANCO B	SIN AISLAMIENTO	392	±1	uv	6,31	±0.01	mv	16,097	0,220		
3	9 PERF A	SIN AISLAMIENTO	950	±1	uv	10,3	±0.1	mv	10,842	0,309	0,324	PF
4	9 PERF B	SIN AISLAMIENTO	1,24	±0.01	mv	12	±0.1	mv	9,677	0,340		
5	9 PERF A	LANA DE ROCA	1,3	±0.1	mv	8,65	±0.01	mv	6,654	0,454	0,469	PF-LR
6	9 PERF B	LANA DE ROCA	1,46	±0.01	mv	8,89	±0.01	mv	6,089	0,485		
7	9 PERF A	V PU 5mm	1,51	±0.01	mv	8,48	±0.01	mv	5,616	0,513	0,454	PF-P5A
8	9 PERF B	V PU 5mm	1,34	±0.01	mv	10,7	±0.1	mv	7,985	0,396		
9	9 PERF A	V+V/2 PU 5mm	1,43	±0.01	mv	7,86	±0.01	mv	5,497	0,521	0,477	PF-P5B
10	9 PERF B	V+V/2 PU 5mm	1,21	±0.01	mv	8,56	±0.01	mv	7,074	0,434		
11	9 PERF A	V PU 10mm	1,47	±0.01	mv	9,59	±0.01	mv	6,524	0,461	0,408	PF-P10A
12	9 PERF B	V PU 10mm	1,07	±0.01	mv	9,77	±0.01	mv	9,131	0,356		
13	9 PERF A	V+V/2 PU 10mm	1,47	±0.01	mv	8,73	±0.01	mv	5,939	0,493	0,461	PF1-P10B
14	9 PERF B	V+V/2 PU 10mm	1,27	±0.01	mv	9,15	±0.01	mv	7,205	0,428		

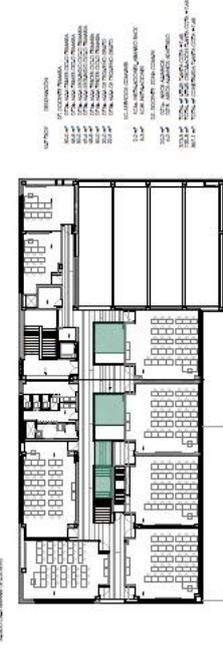
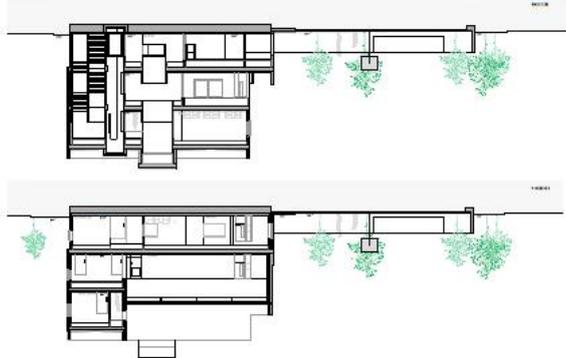
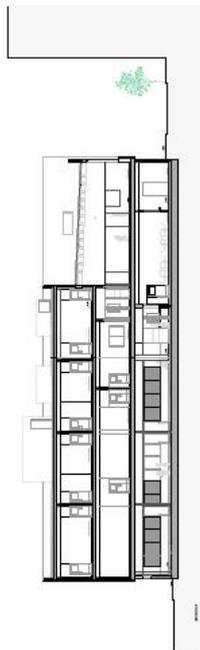
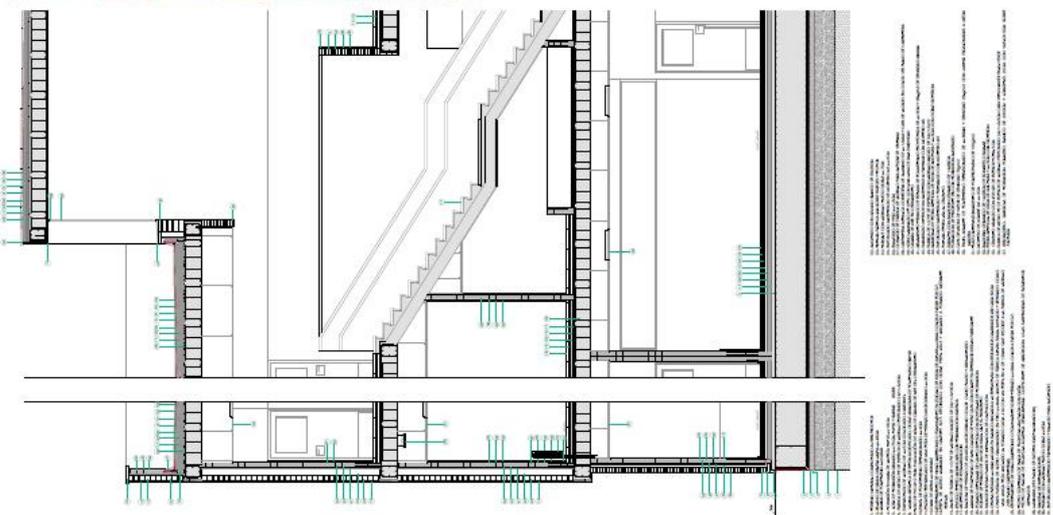
**PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:**

PANEL MODULAR FONOABSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

	PLACA YESO	AISLAMIENTO	FRECUENCIA 4 - 2000 Hz						n		α		α medio	CODIGO
			VALOR MIN	ERROR	UNIDAD	VALOR MÁX	ERROR	UNIDAD	Pmax/Pmin	4n/(n+1) <sup>2</sup>	4n/(n+1) <sup>2</sup>			
1	BLANCO A	SIN AISLAMIENTO	14,5	±0.5	uv	283	±1	uv	19,517	0,185	0,190	BL		
2	BLANCO B	SIN AISLAMIENTO	15,5	±0.5	uv	286	±1	uv	18,452	0,195				
3	9 PERF A	SIN AISLAMIENTO	13,5	±0.5	uv	288	±1	uv	21,333	0,171	0,145	PF		
4	9 PERF B	SIN AISLAMIENTO	9,5	±0.5	uv	300	±1	uv	31,579	0,119				
5	9 PERF A	LANA DE ROCA	15,1	±0.5	uv	297	±1	uv	19,669	0,184	0,180	PF-LR		
6	9 PERF B	LANA DE ROCA	14,5	±0.5	uv	299	±1	uv	20,621	0,176				
7	9 PERF A	V PU 5mm	14,2	±0.5	uv	298	±1	uv	20,986	0,174	0,152	PF-P5A		
8	9 PERF B	V PU 5mm	10,4	±0.5	uv	300	±1	uv	28,846	0,130				
9	9 PERF A	V+V/2 PU 5mm	15,5	±0.5	uv	297	±1	uv	19,161	0,189	0,194	PF-P5B		
10	9 PERF B	V+V/2 PU 5mm	16,5	±0.5	uv	296	±1	uv	17,939	0,200				
11	9 PERF A	V PU 10mm	15	±0.5	uv	301	±1	uv	20,067	0,181	0,196	PF-P10A		
12	9 PERF B	V PU 10mm	17,5	±0.5	uv	297	±1	uv	16,971	0,210				
13	9 PERF A	V+V/2 PU 10mm	14,5	±0.5	uv	296	±1	uv	20,414	0,178	0,171	PF1-P10B		
14	9 PERF B	V+V/2 PU 10mm	13,5	±0.5	uv	302	±1	uv	22,370	0,164				







NOTAS:

1. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
2. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
3. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
4. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
5. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
6. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
7. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
8. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
9. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
10. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
11. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
12. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
13. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
14. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
15. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
16. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
17. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
18. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
19. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
20. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
21. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
22. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
23. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
24. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
25. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
26. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
27. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
28. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
29. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
30. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
31. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
32. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
33. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
34. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
35. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
36. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
37. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
38. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
39. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
40. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
41. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
42. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
43. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
44. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
45. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
46. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
47. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
48. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
49. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
50. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
51. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
52. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
53. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
54. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
55. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
56. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
57. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
58. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
59. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
60. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
61. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
62. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
63. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
64. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
65. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
66. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
67. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
68. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
69. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
70. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
71. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
72. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
73. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
74. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
75. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
76. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
77. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
78. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
79. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
80. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
81. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
82. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
83. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
84. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
85. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
86. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
87. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
88. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
89. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
90. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
91. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
92. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
93. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
94. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
95. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
96. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
97. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
98. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
99. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.
100. VER PLANOS DE PLANTA Y SECCIONES.

ANEXO III. FICHA TÉCNICA PLADUR FON+ R12/25 BA



Ficha de Producto  
Pladur®

pág  
1

**PLADUR® FON+ R12/25 BA**  
(Techo continuo)

01c01081ES - Rev. 06/2020



**DESCRIPCIÓN**

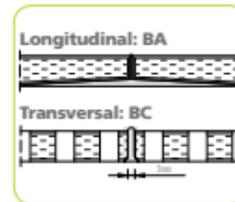
PLADUR® FON+ R12/25 BA para techo continuo son placas de yeso laminado de alta densidad de dimensiones de 2400x1200 mm. Incorporan en la cara vista perforaciones redondas de 12 mm de diámetro, separadas entre sí 25 mm y un velo especial en el dorso. La combinación de estos dos elementos dotan a las placas PLADUR® FON+ de altas prestaciones fonoabsorbentes que disminuyen la reverberación acústica y mejoran el confort de los espacios en los que se utilizan.

Incorpora la tecnología Pladur Air.

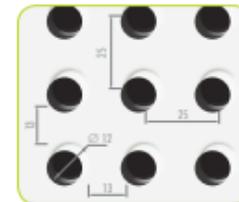
**CAMPO DE APLICACIÓN**

- Las placas PLADUR® FON+ R12/25 BA para techos suspendidos continuos se emplean para la ejecución de falsos techos en espacios que demanden un especial tratamiento del acondicionamiento acústico y/o un toque decorativo diferente.
- Son adecuadas en espacios en los que concurren un número elevado de personas y que por tanto quedan expuestos a un alto ruido ambiental:
  - Espacios públicos y comerciales: hoteles, restaurantes, oficinas, hospitales o colegios.
  - Salones de actos y salas de reuniones o conferencias.
  - Locales y estancias en general en los que se quiera reducir el tiempo de reverberación y mejorar así el confort acústico.
  - Zonas en los que simplemente se desee disponer de un techo con carácter decorativo especial.

**TIPO DE BORDES**



**DISEÑO DE PERFORACIONES**

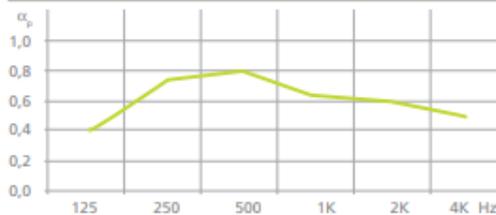


**CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO**

CARACTERÍSTICAS		VALORES			
		Nº1	Nº2	Nº4	Nº8
Dimensiones	Espesor x Largo x Ancho (mm)	13 x 2.397 x 1.197			
Tipo de Cantos	Longitudinal y Transversal	Longitudinal: Borde Afilado (BA)  Transversal: Borde Cuadrado (BC)			
% Perforación	-	14,9%	13,9%	11,9%	10,2%
Diseño de perforaciones	Tipo de perforación	Redonda			
	Tamaño de perforaciones	12 mm de diámetro			
	Distancia entre perforaciones (mm)	25			
Diseño de placa	Distribución de bloques	1 bloque	2 bloques	4 bloques	8 bloques
	Tipo de bloques	Diseño rectangular	Diseño cuadrado	Diseño rectangular (Sentido transversal)	Diseño cuadrado
Resistencia a la Flexotracción (N)	Longitudinal	Conforme			
	Transversal	Conforme			
Dilatación Lineal	-	-			
Conductividad Térmica	-	-			
Peso Aproximado	-	10 kg/m²			
Reacción al Fuego	-	A2-s1, d0			

**R12/25 N°1**

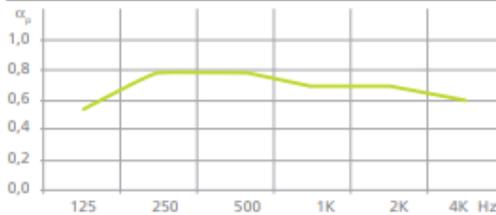

A = 80 / B = 2237 / D = 1037 mm % Perforación: 14,9

**SIN LANA MINERAL**


Plenum de 200

FRECUENCIA	125	250	500	1k	2k	4k
Plenum de 200 $\alpha_p$	0,40	0,75	0,80	0,65	0,60	0,50

CARACTERÍSTICAS	VALORES
$\alpha_w$	0,65 (L)
$\alpha_m$	0,65
SAA	0,68
NRC	0,70
Tipo de clase	C
Referencia Ensayo	AC14-26053711/18

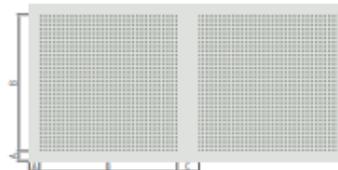
**CON LANA MINERAL**


Plenum de 200

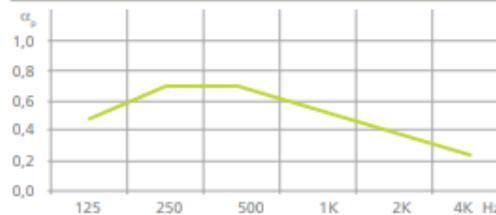
FRECUENCIA	125	250	500	1k	2k	4k
Plenum de 200 $\alpha_p$	0,55	0,80	0,80	0,70	0,70	0,60

CARACTERÍSTICAS	VALORES
$\alpha_w$	0,7 (L)
$\alpha_m$	0,75
SAA	0,75
NRC	0,75
Tipo de clase	C
Referencia Ensayo	AC14-26053711/28

Considerando lana mineral de 60 mm de espesor

**R12/25 N°2**


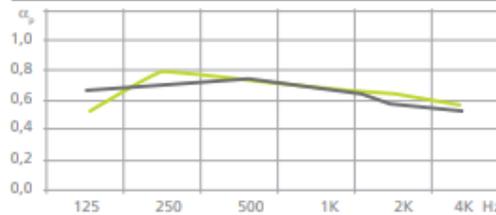
A = 80 / B = 1037 / C = 163 mm % Perforación: 13,9

**SIN LANA MINERAL**


Plenum de 200

FRECUENCIA	125	250	500	1k	2k	4k
Plenum de 200 $\alpha_p$	0,45	0,75	0,75	0,65	0,55	0,45

CARACTERÍSTICAS	VALORES
$\alpha_w$	0,6 (L)
$\alpha_m$	0,65
SAA	0,67
NRC	0,70
Tipo de clase	C
Referencia Ensayo	AC14-26053711/20

**CON LANA MINERAL**


Plenum de 200 Plenum de 600

FRECUENCIA	125	250	500	1k	2k	4k
Plenum de 200 $\alpha_p$	0,55	0,80	0,75	0,70	0,65	0,55
Plenum de 600 $\alpha_p$	0,65	0,70	0,75	0,70	0,60	0,55

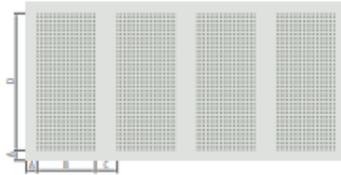
CARACTERÍSTICAS	VALORES	
Plenum	200	600
$\alpha_w$	0,70 (L)	0,65 (L)
$\alpha_m$	0,70	0,70
SAA	0,73	PND
NRC	0,75	0,70
Tipo de clase	C	PND
Referencia Ensayo	AC14-26053711/30	CEE/022/12-9 <sup>(1)</sup>

Considerando lana mineral de 60 mm de espesor

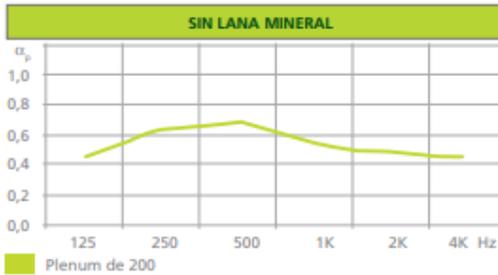
(1) Ensayo realizado en laboratorio CBS considerando lana mineral de 80 mm de espesor



### R12/25 N°4

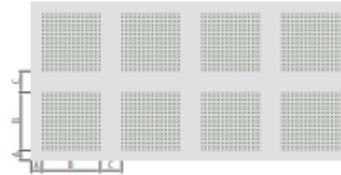


A = 80 / B = 437 / C = 163 / D = 1037 mm % Perforación: 11,9



CARACTERÍSTICAS	VALORES
$\alpha_w$	0,55 (L)
$\alpha_m$	0,60
SAA	0,61
NRC	0,60
Tipo de clase	D
Referencia Ensayo	AC14-26053711/21

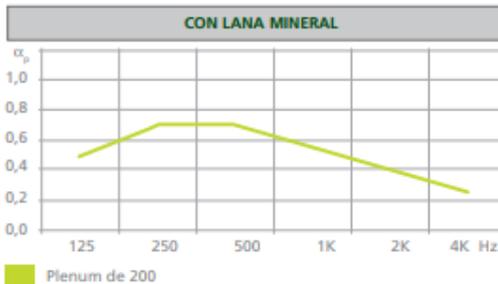
### R12/25 N°8



A = 80 / B = 437 / C = 163 mm % Perforación: 10,2

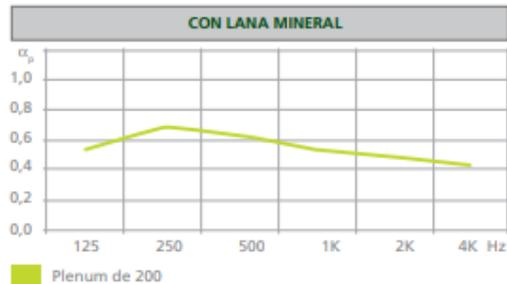


CARACTERÍSTICAS	VALORES
$\alpha_w$	0,5 (L)
$\alpha_m$	0,55
SAA	0,58
NRC	0,60
Tipo de clase	D
Referencia Ensayo	AC14-26053711/19



CARACTERÍSTICAS	VALORES
$\alpha_w$	0,65 (L)
$\alpha_m$	0,65
SAA	0,66
NRC	0,70
Tipo de clase	C
Referencia Ensayo	AC14-26053711/31

Considerando lana mineral de 60 mm de espesor



CARACTERÍSTICAS	VALORES
$\alpha_w$	0,55 (L)
$\alpha_m$	0,60
SAA	0,61
NRC	0,60
Tipo de clase	D
Referencia Ensayo	AC14-26053711/29

Considerando lana mineral de 60 mm de espesor



## PLADUR® FON+ R12/25 BA (Techo continuo)

01c01081ES - Rev. 06/2020

Ficha de Producto  
Pladur®

pág  
4

### INSTALACIÓN

- Antes de realizar la instalación de los techos Pladur® FON+ BA continuos, debe tenerse en cuenta una serie de factores como la disposición de las perforaciones, el tamaño y forma de las perforaciones, la altura del plénum, la planificación la situación y el registro de las instalaciones (aire acondicionado, luminarias...) y la planificación de las juntas de dilatación.
- Realizar el replanteo del local o espacio a cubrir por medio del techo continuo, definiendo la zona de arranque, la distribución de las placas y la planificación del contorno o fajeado perimetral liso.
- Cuando sea necesario cortar las placas FON+ en obra se debe evitar el corte a través de las perforaciones, situándolo en las entrecalles lisas para facilitar el encuentro de la placa cortada con el perímetro o fajeado. Los bordes de las placas cortadas se deben biselar e imprimir para asegurar un correcto tratamiento de juntas.

### Instalación de la Estructura

- Instalar los cuelgues al forjado respetando las distancias máximas en función del sistema seleccionado. Está permitido el anclaje directamente a las placas FON+ de cuelgues o cargas hasta 1 kg por punto y con una separación mínima entre anclajes de 400 mm. Se permiten cargas de hasta 3 kgs por punto fijadas a la periferia Pladur® con separación mínima entre anclajes en un mismo perfil de 1.200 mm. Cualquier carga adicional se deberá suspender del forjado o estructura auxiliar.

### Instalación de las Placas

- Las placas se pueden colocar con todas las juntas en línea (encuentro en cruz) o con juntas contrapeadas (a matajuntas). En el caso de juntas contrapeadas el solape debe ser mayor o igual a 600 mm. El diseño de algunos techos puede variar en función del tipo de colocación elegida (juntas en cruz o juntas contrapeadas).
- Las juntas de los bordes transversales (testas) siempre deben coincidir con el eje de una línea de perfiles para su correcto atomillado.
- Comprobar la alineación de las perforaciones en sentido longitudinal, transversal y diagonal. Alinear las perforaciones con las herramientas de montaje FON+: Atornillar las placas a los perfiles cada 200 mm como máximo.

### Tratamiento de Juntas con Cinta (Para juntas con Borde Afinado)

- Aplicar pasta de juntas con cinta en las cabezas de los tornillos y en las juntas de las placas Pladur® FON+. Rellenar la junta de 3 mm con pasta de juntas sin cinta Pladur® usando la pistola aplicadora. Cuando comience a fraguar, cortar el exceso de pasta con una espátula. Se recomienda realizar el tratamiento de juntas inicialmente en superficies de 25/30 m<sup>2</sup> para un mejor control del comienzo del fraguado de la pasta. En caso de que sea necesario, podrá darse una segunda mano, una vez seca la anterior. Para finalizar, si fuese necesario, lijar suavemente.

### Tratamiento de Juntas sin Cinta (Para juntas con Borde Cuadrado)

- Aplicar pasta de juntas sin cinta en las cabezas de los tornillos y en las juntas de las placas Pladur® FON+. Rellenar la junta de 3 mm con pasta de juntas sin cinta Pladur® usando la pistola aplicadora. Cuando comience a fraguar, cortar el exceso de pasta con una espátula. Se recomienda usar en esta fase en superficies de 25/30 m<sup>2</sup> para un mejor control del comienzo del fraguado de la pasta. En caso de que sea necesario, podrá darse una segunda mano, una vez seca la anterior. Para finalizar, si fuese necesario, lije suavemente.

Oficinas Centrales y Fábri de Valdemoro-Madrid  
Placas de Yeso Laminado, Transformados,  
Perfiles y Pastas Adhesivas

El presente documento se describe según las características de los materiales PLADUR® y sus recomendaciones de montaje actualizadas a la fecha de la edición, pudiendo por tanto variar según posibles cambios de diseño de los productos y normativas vigentes. Estas características no deben ser transferidas a otros productos y sistemas fuera de la gama PLADUR®. Este documento no tiene carácter contractual. Publicado junio de 2020. Datos válidos salvo error tipográfico o de transcripción. Quedan reservados todos los derechos, incluida la incorporación de mejoras y modificaciones. PLADUR® es una marca registrada de Pladur® Gyproc S.A.U.

- En los techos con fajeado perimetral liso, el fajeado deberá tratarse con imprimación para igualar la absorción superficial de todas las placas durante el posterior proceso de pintura.
- Los trabajos de pintura de las placas Pladur® FON+ deberán realizarse con rodillo de pelo corto, para no disminuir sus características acústicas tapando u obturando el velo.
- Con independencia de la instalación anteriormente descrita, debe respetarse 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 nuestra dirección de correo electrónico [consultas@pladur.com](mailto:consultas@pladur.com)

### ALMACENAJE Y MANIPULACIÓN

- Almacenar en horizontal, sobre una superficie plana y seca al resguardo de la lluvia y fuentes de ignición, en un lugar de no intemperie.
- Durante su montaje se recomienda manipular las placas con cuidado de no golpearlas con ningún otro objeto y dañarlas. Para su transporte manual, no se recomienda la manipulación por un único individuo de productos o conjunto de productos que superen individual o simultáneamente los 25 kg. En caso de superarlo se recomienda una manipulación colectiva o mediante la ayuda de elementos mecánicos.
- Una vez extraídas las placas, utilizar un trapo o bayeta para eliminar todos el polvo y los residuos que pudieran tener.

### PRECAUCIONES

- Se debe mantener el recinto correctamente ventilado y evitar condensaciones que pueden dañar las placas.
- Únicamente mediante el uso combinado de los productos originales Pladur® (placa, perfiles, pastas, tornillos y accesorios) garantizamos el cumplimiento de los resultados obtenidos en nuestros ensayos o predicciones y que ofrecemos en nuestra documentación técnica.
- Para obtener información detallada sobre su seguridad, consulte la ficha de datos de seguridad del producto.

### PRESENTACIÓN

EMBALAJE	
Nº Placas por palet	30 uds/palet
Peso por Palet	Aprox. 690 kg

### ACABADO

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Opciones de Acabado	Pintura Blanca
Color Velo	Velo Negro / Velo Blanco

[consultas@pladur.com](mailto:consultas@pladur.com)  
[www.pladur.com](http://www.pladur.com)



FON+ incorpora la tecnología Pladur Air en todos sus modelos, tanto en techos continuos como registrables. Dicha tecnología hace que las placas absorban hasta un 60% de los formaldehídos del recinto, los transforman en compuestos inertes y los neutralizan, evitando así emitirlos de vuelta al ambiente (efecto duradero). Con lo que ahora además de ofrecer confort acústico también mejora la calidad del aire interior, protegiendo a los ocupantes de la estancia. Valor de reducción aplicable sólo a la gama FON+ y basado en el diseño FON+ R8/18.

## ANEXO IV. TABLA COEFICIENTES DE ABSORCIÓN ACÚSTICA. CEC

**PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:**

PANEL MODULAR FONOAORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

<b>Acabados de interiores paredes, techos y suelos</b>				
<b>Tipo</b>	<b>HR</b>			<b><math>\alpha_m</math></b>
	<b><math>\alpha</math></b>			
	<b>500 Hz</b>	<b>1000 Hz</b>	<b>2000 Hz</b>	
Hormigón visto	0,03	0,04	0,04	0,04
Hormigón pintado	0,06	0,07	0,09	0,07
Bloque de hormigón visto	0,05	0,08	0,14	0,09
Bloque de hormigón pintado	0,08	0,09	0,10	0,09
Ladrillo cerámico vistos	0,03	0,04	0,05	0,04
Ladrillo cerámico pintados	0,02	0,02	0,02	0,02
Enfoscado de mortero	0,06	0,08	0,04	0,06
Enlucido de yeso	0,01	0,01	0,02	0,01
Placa de yeso laminado	0,05	0,09	0,07	0,06
Placas de escayola	0,04	0,05	0,05	0,05
Piedra	0,01	0,02	0,02	0,02
Madera y paneles de madera	0,08	0,08	0,08	0,08
Parquet	0,04	0,05	0,05	0,05
Tarima	0,08	0,09	0,10	0,09
Tarima sobre rastreles	0,06	0,05	0,05	0,05
Corcho	0,08	0,19	0,21	0,16
Metales	0,01	0,02	0,02	0,02
Revestimientos textiles	0,09	0,14	0,29	0,17
Moqueta, espesor $\leq$ 10 mm	0,06	0,15	0,30	0,17
Moqueta, espesor $\geq$ 10 mm	0,15	0,30	0,45	0,30
PVC	0,04	0,05	0,05	0,05
Linóleo	0,03	0,03	0,04	0,03
Caucho	0,04	0,04	0,02	0,03
Terrazo	0,01	0,02	0,02	0,02
Baldosas, plaquetas.	0,01	0,02	0,02	0,02
Vidrio	0,05	0,04	0,03	0,04

## ANEXO V. DECLARACIÓN AMBIENTAL LANA DE VIDRIO KNAUF



### DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO

**DAPc® 001.006**



DE ACUERDO CON LAS NORMAS  
ISO 14.025 e ISO 21.930

### PRODUCTO

**PANEL PLUS (TP 138)  
de 100 mm**

### EMPRESA

**knauf**INSULATION

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Panel semi-rígido de Lana Mineral de Vidrio no hidrófila, sin revestimiento, de 100 mm de espesor nominal, 1.350 mm de longitud y 600 mm de anchura

### RCP DE REFERENCIA

RCP001 - Productos aislantes térmicos - V.1 (2010)

### PLANTA PRODUCCIÓN

KNAUF INSULATION LANNEMEZAN SAS  
501, Voie Napoléon III  
F-65300 Lannemezan (France)

### VALIDEZ

Desde: 31.01.2013  
Hasta: 30.01.2018

La validez de la DAPc® 001.006 está sujeta a las condiciones del reglamento DAPc®. La edición vigente de esta DAPc® es la que figura en el registro que mantiene CAATEEB; a título informativo, se incorpora en la página web del Sistema <http://es.csostenible.net/dapc>

**PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:**

PANEL MODULAR FONOABSORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO



DAPc® PANEL PLUS (TP 138) de 100 mm  
KNAUF INSULATION S.L.

Página en blanco



COL·LEGI D'ARQUITECTES TÈCNICS  
I ENGINYERS D'EDIFICACIÓ DE BARCELONA

2

Este documento consta de 16 páginas.  
Queda prohibida su reproducción parcial



## Declaración Ambiental de Producto PANEL PLUS (TP 138) de 100 mm Resumen ejecutivo

<p><b>SISTEMA DAPc®</b></p> <p>Declaraciones Ambientales de Producto en el sector de la Construcción <a href="http://es.csostenible.net">http://es.csostenible.net</a></p>	
<p><b>ADMINISTRADOR DEL SISTEMA</b></p> <p>Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació (CAATEEB) C. Bon Pastor, 5, 08021 Barcelona <a href="http://www.apabcn.cat">www.apabcn.cat</a></p>	
<p><b>TITULAR DE LA DECLARACIÓN</b></p> <p>KNAUF INSULATION SL c/ La Selva, 2 E-08820 El Prat de Llobregat-Barcelona (España)</p> <p>DECLARACIÓN REALIZADA POR: KNAUF INSULATION SPRL / 95, Rue de Maastricht / B-4600 Visé (Belgique)</p>	
<b>NÚMERO DE DECLARACIÓN</b>	DAPc® 001.006
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	PANEL PLUS (TP 138) de 100 mm
<p><b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b></p> <p>Panel semi-rígido de Lana Mineral de Vidrio no hidrófila, sin revestimiento, de 100 mm de espesor nominal, 1.350 mm de longitud y 600 mm de anchura.</p>	
<b>FECHA DE REGISTRO</b>	31.01.2013
<p><b>VALIDEZ</b></p> <p>Esta declaración verificada autoriza a su titular a llevar el logo del sistema de ecoetiquetado DAPc®. La declaración es aplicable exclusivamente al producto mencionado y durante cinco años a partir de la fecha de registro. La información contenida en esta declaración ha sido suministrada bajo responsabilidad de KNAUF INSULATION.</p>	
<p><b>FIRMA CAATEEB</b></p> <p>Sra. Rosa Remolà, presidenta del CAATEEB</p>  <p>COL·LEGI D'APARELLADORS, ARQUITECTES TÈCNICS I ENGINYERS D'EDIFICACIÓ DE BARCELONA</p>	<p><b>FIRMA VERIFICADOR ACREDITADO</b></p> <p>Sr. Xavier Folch, auditor acreditado del ITEC</p>  <p>ITEC Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya</p>
<p>Esta declaración ambiental de producto cumple las normas ISO 14025 e ISO 21930 y describe información de carácter ambiental relativa al ciclo de vida del producto PANEL PLUS (TP 138) de 100 mm fabricado por KNAUF INSULATION en su planta de Lannemezan (France). Esta declaración se basa en el documento <i>RCP Productos aislantes térmicos - versión 1 - 2010.06.11</i></p>	



**Declaración Ambiental de Producto PANEL PLUS (TP 138) de 100 mm**

**1. Descripción del producto y de su uso**

El producto PANEL PLUS (TP 138) es un panel semi-rígido de Lana Mineral de Vidrio no hidrófila, sin revestimiento, de 100 mm de espesor nominal, 1.350 mm de longitud y 600 mm de anchura.

Sus especificaciones técnicas son:

<b>Espesor nominal (mm)</b>	100	
<b>Anchura nominal (mm)</b>	600	
<b>Longitud nominal (mm)</b>	1.350	
<b>Resistencia térmica declarada (m².K/W)</b>	3,15	
<b>Conductividad térmica declarada (W/m.K)</b>	0,032	

La principal aplicación de este producto es el aislamiento termo-acústico de cerramientos de fachadas constituidos por muros de doble hoja de fábrica con cámara de aire. Además, el producto es no combustible (Euroclase A1) y tiene un poder calorífico mínimo, de manera que no contribuye a la propagación de incendios.

**2. Descripción de las etapas de ciclo de vida**

**2.1. Fabricación (A1, A2 y A3)**

**Materias primas (A1 y A2)**

La Lana Mineral de Vidrio fabricada por KNAUF INSULATION está compuesta por una mezcla de vitrificantes, fundamentalmente arena de sílice, vidrio reciclado externo de distinta procedencia y residuos de fabricación, de fundentes y de estabilizantes que confieren determinadas propiedades al producto. A esta base mineral se añade un porcentaje determinado de un ligante natural de origen vegetal (**E-Technology™**).

Las materias primas utilizadas son suministradas por proveedores locales, nacionales e internacionales respecto de la zona donde se encuentra ubicada la planta de producción. Todos los transportes se realizan por carretera en camiones de gran tonelaje. En general, se han escogido modelos de camiones de 27 t (25 t en Francia) de capacidad, que cumplen con la normativa de emisiones Euro V. La mayoría de materias primas se transportan en camiones cisterna.

**Fabricación (A3)**

La fabricación es un proceso continuo constituido por las siguientes fases:

- Dosificación y mezcla de materias primas: Las materias primas se almacenan en silos, y se dosifican y mezclan por métodos automatizados.
- Horno de fusión: Las materias primas, una vez mezcladas, se introducen en un horno de fusión y mediante la aportación de energía primaria, se funden a temperaturas superiores a los 1.000 °C para obtener un magma o masa líquida.

- Fibrado del magma: El magma cae sobre unas cacerolas metálicas perforadas en sus bordes ("spinners") y, mediante un proceso de centrifugado a gran velocidad y enfriamiento rápido, se obtienen filamentos de longitudes y diámetros variables.
- Aplicación del ligante: En esta fase Knauf Insulation incorpora **E-Technology™** dentro de su proceso productivo de Lana Mineral de Vidrio y, mediante rociado por pulverización, aplica un ligante natural a base de almidón vegetal, exento de fenoles, formaldehidos u otros derivados del petróleo, con el que se aglutinan las fibras, que van depositándose multidireccionalmente sobre una cinta transportadora continua, obteniéndose un colchón de densidad y espesor uniformes.
- Horno de cocción: Al paso del colchón de lana por el horno de cocción, el producto es comprimido para obtener el espesor nominal final y la resina polimeriza mediante una corriente de aire caliente a una temperatura de 250 °C.
- Fase de corte: El producto es cortado longitudinal y transversalmente mediante sierra y guillotina respectivamente, para obtener la longitud y la anchura nominales finales. La merma de producto procedente del perfilado lateral longitudinal se recicla para la fabricación de productos especiales.
- Embalaje y etiquetado: Para su transporte y acopio, el producto es comprimido, embalado en paquetes de paneles con films de polietileno retráctil y etiquetado para su identificación. Finalmente se paletiza en palets de madera y el conjunto se envuelve de nuevo con plástico impermeable, posibilitando su almacenamiento opcional a la intemperie.

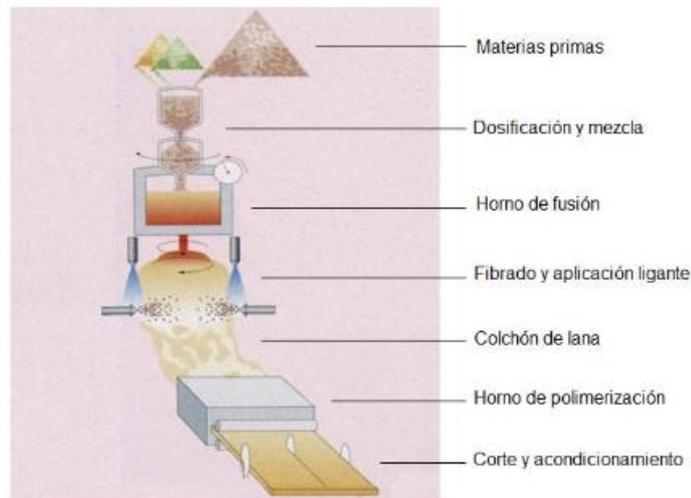


Figura 1. Proceso de fabricación del producto PANEL PLUS (TP 138)

## 2.2. Construcción

### Transporte del producto (A4)

El transporte se realiza en camiones que transportan 22 palés de dimensiones 1,25 m (ancho) x 1,35 m (largo) x 2,40 m (alto). Se ha considerado una distancia media de 500 km entre la fábrica y el lugar de instalación. El camión utilizado cumple la normativa Euro V, consume 0,02 kg de diesel por kg de carga transportada y la tasa de retorno en vacío es del 10%.



DAPc® PANEL PLUS (TP 138) de 100 mm  
KNAUF INSULATION S.L.

### Proceso de instalación del producto y construcción (A5)

Una vez el producto es descargado del camión se desembala y se procede a su instalación. El proceso habitual de instalación de PANEL PLUS (TP 138) es el siguiente:

1/ Preparación del soporte, normalmente el trasdós de una hoja de cerramiento en fachada a base de fábrica de ladrillo, limpiándolo y extrayendo rebabas de mortero para igualar su superficie.

2/ Colocación de los paneles de Lana Mineral de Vidrio sobre el soporte, simplemente apoyados o fijados mecánicamente. Se cuidará que el espacio existente entre dos paneles consecutivos (o entre un panel y cualquier elemento de borde) no sea superior a 5 mm. En caso de que, por las dimensiones del paramento, existan discontinuidades superiores a 5 mm, se rellenarán con bandas o segmentos de la misma lana. Los paneles se cortan con cuchillos o cúters de uso corriente.

3/ Una vez instalados los paneles de Lana Mineral de Vidrio, se trasdosa el conjunto con una segunda hoja de ladrillo cerámico o de placa de yeso laminado.

Se estima que las mermas de producto generadas durante su instalación son del 2%. Además de estas mermas, se generan residuos de embalaje: madera, polietileno y papel/cartón. Se ha estimado que todos estos residuos se transportan en camión hasta un vertedero controlado situado a 50 km del lugar de la instalación.



Figura 2: Solución constructiva. Instalación de PANEL PLUS (TP 138) sobre el trasdós de una hoja de fábrica y cierre posterior mediante una segunda hoja

### 2.3. Uso del producto

La etapa de uso se divide en los siguientes módulos:

- Uso (B1)
- Mantenimiento (B2)
- Reparación (B3)
- Substitución (B4)
- Rehabilitación (B5)
- Uso de la energía operacional (B6)
- Uso del agua operacional (B7)

Una vez instalado, el producto no requiere de ningún aporte energético ni material a lo largo de su etapa de uso para su correcto funcionamiento. Por otro lado, este producto no queda expuesto al ambiente interior del edificio ni está en contacto con



corrientes de agua ni con el suelo. Por todo ello, no se contemplan cargas ambientales atribuibles a ninguno de los módulos anteriormente mencionados.

La vida útil de referencia del producto es la misma que la del edificio donde se encuentre instalado, puesto que si se instala correctamente, su durabilidad y la dificultad de acceso, hacen que su sustitución no sea necesaria ni practicable.

#### 2.4. Fin de vida

La etapa de fin de vida incluye los siguientes módulos:

- Deconstrucción y derribo (C1)  
Una vez finalizada su vida útil, el producto será retirado, ya sea en el marco de una rehabilitación del edificio o bien durante su demolición. En el marco del derribo de un edificio, los impactos atribuibles a la desinstalación del producto son despreciables.
- Transporte (C2)  
Los residuos del producto se transportan en camión que cumple la normativa Euro III, a una distancia de 50 km hasta su destino.
- Gestión de residuos para reutilización, recuperación y reciclaje (C3)  
Aunque el producto PANEL PLUS (TP 138) es reciclable, actualmente el reciclaje de este tipo de productos no es una práctica habitual en España. Por ello, se considera que el producto se lleva a eliminación final en su totalidad.
- Eliminación final (C4)  
El residuo del producto se elimina en un vertedero controlado de residuos de la construcción inertes.

#### 2.5. Módulo D: beneficios y cargas ambientales potenciales derivados de actividades de reutilización, recuperación y reciclaje

Los resultados para el módulo D son nulos ya que no se han considerado materiales a reciclar y, por tanto, sus beneficios y cargas ambientales potenciales son iguales a cero.

### 3. Análisis de Ciclo de Vida

El análisis del ciclo de vida en el que se basa esta declaración se ha realizado siguiendo las normas ISO 14040 e ISO 14044 y el documento *RCP 001 productos aislantes térmicos. Versión 1 - 2010.06.11*.

Este ACV es del tipo "de la cuna a la tumba", es decir, que abarca las etapas de fabricación del producto, construcción, uso y fin de vida.

Se han utilizado datos específicos de la planta de Lannemezan (Francia) correspondientes al período octubre 2010 – mayo 2011 para inventariar la etapa de fabricación. Para el resto de etapas se han utilizado datos genéricos procedentes de la base de datos de PE Internacional suministradas con el software GaBi 5.



DAPc® PANEL PLUS (TP 138) de 100 mm  
KNAUF INSULATION S.L.

### 3.1. Unidad funcional

La unidad funcional es "aislamiento térmico de 1 m<sup>2</sup> de fachada durante 50 años utilizando el producto PANEL PLUS (TP 138) con una resistencia térmica de 3,15 m<sup>2</sup>.K/W y considerando un entorno geográfico y tecnológico de España en el año 2012".

### 3.2. Límites del sistema



Figura 3. Límites del sistema







### 3.5. Beneficios y cargas ambientales potenciales derivados de actividades de reutilización, recuperación y reciclaje

Los resultados para el módulo D son nulos, ya que no se han considerado materiales a reciclar y, por lo tanto, sus beneficios y cargas ambientales potenciales son iguales a cero.

### 3.6. Recomendaciones sobre esta DAP

La comparación de productos de la construcción se debe hacer aplicando la misma unidad funcional y a nivel de edificio, es decir, incluyendo el comportamiento del producto a lo largo de todo su ciclo de vida.

Las declaraciones ambientales de producto de diferentes sistemas de eco-etiquetado tipo III no son directamente comparables, puesto que las reglas de cálculo pueden ser diferentes.

La presente declaración representa el comportamiento medio del producto de Lana Mineral de Vidrio PANEL PLUS (TP 138).

### 3.7. Reglas de corte

Se han incluido más del 95% de todas las entradas y salidas de masa y energía del sistema, conforme a las Reglas de Categoría de Producto RCP 001. Los únicos flujos omitidos, que representan cada uno de ellos menos del 1% de la energía total consumida en la planta, son las emisiones debidas al desgaste del horno (flujos que pueden omitirse al estar relacionados con los equipos), los consumos de energía relacionados con los carros elevadores que circulan por la planta y que consumen GLP (gas licuado de petróleo), el transporte de los empleados y los flujos relativos a material de oficina.

### 3.8. Otros datos

Los residuos de Lana Mineral están incluidos como "residuos no peligrosos" en la lista europea de residuos con código CER 170604: "Materiales de aislamiento distintos a los especificados en los códigos 170601 y 170603" (Directiva 2000/532/CE).

## 4. Información técnica y escenarios

### A) Transporte

Parámetro	Parámetro expresado por unidad funcional
Consumo de combustible o vehículo de transporte utilizado	1,96E-04 l/km
Capacidad de utilización (incluyendo la vuelta llenas)	22%
Densidad de carga del producto transportado	64,00 kg/m <sup>3</sup>
Factor de cálculo de la capacidad del volumen utilizado.	0,85



DAPc® PANEL PLUS (TP 138) de 100 mm  
KNAUF INSULATION S.L.

B) Procesos de instalación

Parámetro	Parámetro expresado por unidad funcional
Materiales auxiliares para la instalación	No se detectan
Consumo de otros recursos	No se detectan
Descripción cuantitativa del tipo de energía y el consumo durante el proceso de instalación del producto	No se detectan
Residuos en el lugar de construcción, generados por la instalación del producto	Asimilado todo a eliminación final Mermas producto: 6,53E-02 kg Madera palés: 1,13E-01 kg Polietileno: 8,13E-02 kg Papel/cartón: 1,11E-03 kg
Salidas materiales como resultado de los procesos de gestión de los residuos en el lugar de la instalación. Por ejemplo: de recopilación para el reciclaje, para la recuperación energética, y la eliminación final	Asimilado todo a eliminación final Mermas producto: 6,53E-02 kg Madera palés: 1,13E-01 kg Polietileno: 8,13E-02 kg Papel/cartón: 1,11E-03 kg
Emisiones al aire, suelo y agua	No se detectan

C) Uso operacional de energía y agua

Parámetro	Parámetro expresado por unidad funcional
Tipo de energía, por ejemplo: electricidad, gas natural, aprovechamiento de calor para un distrito	No se detecta
Salidas	No se detecta
Consumo neto de agua fresca	No se detecta
Representación característica (eficiencia energética, emisiones, etc.)	No se detecta
Vida de servicio de referencia	50 años

D) Mantenimiento y reparación

Parámetro	Parámetro expresado por unidad funcional
Mantenimiento, por ejemplo; agente de limpieza, tipo de surfactante	No se detecta
Ciclo de mantenimiento	No se detecta
Entradas energéticas para el proceso de mantenimiento	No se detecta



Consumo neto de agua dulce durante el mantenimiento o la reparación	No se detecta
Inspección, mantenimiento o proceso de reparación	No se detecta
Inspección, mantenimiento o ciclo de reparación	No se detecta
Materiales auxiliares, ejemplo lubricante	No se detecta
Intercambio de partes durante el ciclo de vida del producto	No se detecta
Entradas de energía durante el mantenimiento, tipo de energía, ejemplo: electricidad, y cantidad	No se detecta
Entrada de energía durante el proceso de reparación, renovación, recambio si es aplicable y relevante	No se detecta
Pérdida de material durante el mantenimiento o reparación	No se detecta
Vida de servicio de referencia del producto para ser incluida como base para el cálculo del número de recambios en el edificio	50 años

E) Fin de vida

Proceso	Parámetro expresado por unidad funcional de componentes, productos o materiales
Procesos de recopilación	3,20 kg recogidos conjuntamente con residuos de la construcción
Sistemas de reciclaje	No se detecta
Eliminación final	3,20 kg de material para la eliminación final incluyendo pérdidas de material

5. Información adicional

Características técnicas del producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Marcado CE</li> <li>- Conductividad térmica: 0,032 W/m.K</li> <li>- Resistencia térmica: 3,15 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>- Ficha de seguridad</li> </ul>
Transporte y construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidad de la carga transportada: 64,00 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- No se requiere ningún material ni energía para la colocación de 1 m<sup>2</sup> de panel en obra</li> </ul>
Uso y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vida útil de referencia (años): 50 años</li> </ul>
Fin de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Código CER del residuo según lista europea de residuos (Directiva 2000/532/CE): CER 170604</li> </ul>

- Certificado de conformidad CE (Directiva 89/106/CEE sobre los productos de construcción, modificada por la Directiva 93/68/CEE) nº 1163 – CPD – 0270.
- Certificado ACERMI de producto nº 02/016/154 en aplicación de las Reglas Generales del Certificado de producto y del Reglamento Técnico de la Certificación de los materiales aislantes térmicos.



- Certificado nº 188 para el derecho de uso de EUCEB (European Certification Board for Mineral Wool Products) Trademark, 2010.
- Certificado EUROFINS GOLD nº 2011-IACG-025 sobre calidad de aire interior (eco-etiqueta tipo I (ISO 14024)).

## 6. RCP y verificación

Esta declaración se basa en el Documento *RCP 001 Productos aislantes térmicos - V.1*

La revisión de la <i>RCP 001 Productos aislantes térmicos - v.1</i> fue realizada por el Consejo asesor del sistema DAPc®, presidido por la Sra. Núria Pedrals (Direcció General de Qualitat de l'Edificació i Rehabilitació de l'Habitatge - Departament de Medi Ambient i Habitatge - Generalitat de Catalunya)		
Verificación independiente de la declaración y de los datos, de acuerdo con la norma ISO 14025:2006 <input type="checkbox"/> interna <input checked="" type="checkbox"/> externa		
Verificador de tercera parte: - Xavier Folch i Berenguer, ITeC	 Verificació VEDAP-001-10	
Fecha de la verificación: 28 de enero de 2013		

## Referencias

- Análisis del Ciclo de Vida del panel de Lana Mineral de Vidrio PANEL PLUS (TP 138) realizado por Knauf Insulation y por la Universit  de Li ge, dpto. Génie Chimique, en 2012 (no publicado).



Página en blanco



**PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:**

PANEL MODULAR FONOAORBENTE A PARTIR DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOVILÍSTICO



**ADMINISTRADOR DEL SISTEMA**

Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers de l'Edificació de Barcelona (CAATEEB)

Bon Pastor 5, 08021 Barcelona.

[www.apabcn.cat](http://www.apabcn.cat)



