

PROPUESTA DE UN PRODUCTO **ECO-EFICIENTE** PANELES PARA AISLAMIENTO TÉRMICO A PARTIR DE FILTROS DE CIGARRO RECICLADOS Y SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN.

TRABAJO FIN DE GRADO

Autor: Ramírez Fernández, Julia

Tutor: Rubio de Hita, Paloma

Grupo Docente: Fernández Nieto, Enrique D.
César Frustaglia, Diego

Grado en Fundamentos de la Arquitectura
Escuela técnica superior de Arquitectura
Curso 2019-2020, Grupo TFG-H



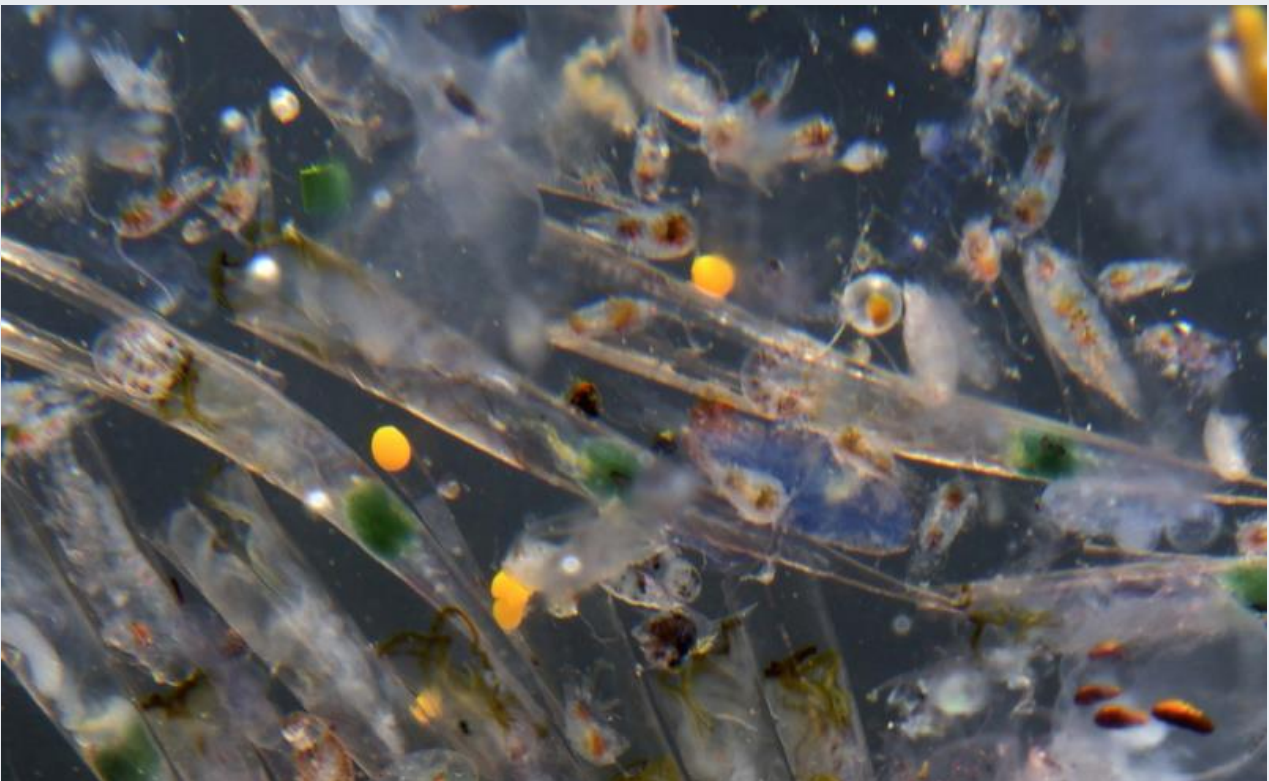
PRÓLOGO

Agradecimientos.....	5
Resumen. Palabras clave.....	6
Abstract. Key words	7

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN*.....	9
1.1. ¿Qué es el plástico?	
1.2. Propiedades generales de los plásticos	
1.3. Tipos de plásticos	
1.4. El problema de los plásticos y el medio ambiente	
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN*.....	13
2.1 Origen y aparición de los filtros	
2.2 Composición de los filtros y las colillas	
2.3 Problemática ambiental	
2.4 Estudios realizados con colillas de cigarro	
3. OBJETIVOS*.....	27
3.1 Objetivos generales	
3.2 Objetivos específicos	
4. HIPÓTESIS DE PARTIDA*.....	29
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	35
6. DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO.....	37
6.1 Las lanas minerales	
6.2 Caracterización del producto propuesto	
7. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO.....	47
7.1 Medición con paneles de lana mineral en Málaga	
7.2 Medición con paneles propuestos en Málaga	
7.3 Medición con paneles de lana mineral en Burgos	
7.4 Medición con paneles propuestos en Burgos	
7.5 Resultados	
8. CONCLUSIONES.....	67
9. BIBLIOGRAFÍA.....	70
10. FIGURAS.....	76
11. TABLAS.....	79
12. ANEXOS.....	81

* La mayoría del contenido expuesto en el **apartado 1**. (Pág. 9-15), se corresponde con la parte de investigación desarrollada en grupo, junto con mis compañeras Carmen Serrano Quijada, Fátima Heras Saldaña e Inmaculada Marmolejo García. Mientras que los **apartados 2, 3 y 4** (Pág. 17-29) se han elaborado junto con Fátima Heras Saldaña.



Plásticos en los océanos, 2018. Fuente: G. Parsons, Greenpeace.

0. PRÓLOGO

Agradecimientos.

Tras este proceso de investigación y aprendizaje, me gustaría agradecer la ayuda prestada por mi tutora, Paloma Rubio de Hita, y por todo el grupo docente, Enrique D. Fernández Nieto y Diego César Frustaglia. Este trabajo ha significado para mí una introducción muy interesante en el campo de la investigación sobre nuevos materiales y productos ecoeficientes.

También me gustaría mencionar a mis compañeras de equipo, Carmen Serrano Quijada, Fátima Heras Saldaña e Inmaculada Marmolejo García, por el trabajo realizado y que, a pesar de las circunstancias, han supuesto una gran ayuda.

Por último, dar las gracias a mis padres por todos estos años de apoyo.

Resumen. Palabras Clave.

Las colillas de cigarros son uno de los residuos más abundantes en la naturaleza en todo el mundo. Estas colillas están principalmente compuestas por acetato de celulosa, un tipo de plástico que no es biodegradable y que causa grandes problemas medioambientales. Por ello, este trabajo estudia la posibilidad de elaborar y producir un nuevo aislante térmico a partir del uso de filtros de colillas. Primero, se ha realizado una investigación y caracterización del producto propuesto, para luego, compararlo con otro producto aislante comúnmente usado, las lanas minerales, y demostrando así su validez. Finalmente, se lleva a cabo su aplicación en un proyecto arquitectónico para verificar el impacto ambiental que supondría utilizar este producto, el cual recicla grandes cantidades del residuo,

Los resultados obtenidos son favorables, y aunque solo establece la iniciación a un ámbito de investigación extenso, se demuestra que es un producto viable que podría tener un impacto ambiental positivo

Palabras clave: residuo plástico; colillas de cigarro; filtros de cigarro; reciclaje; aislamiento térmico; material construcción sostenible

Abstract. Key Words.

Cigarette butts are one of the most common waste materials accumulated in the environment worldwide. These butts are mainly composed of cellulose acetate, a non-biodegradable plastic which causes major environmental problems. Therefore, this paper studies the possibility of developing and manufacturing a new thermal insulator using cigarette butts filters.

First, an investigation and characterization of the proposed product has been carried out, and then, it has been compared with another widely commercialized insulating product, mineral wools, thus demonstrating its validity. Finally, it is applied to an architectural project in order to verify the environmental impact of using this product, which recycles large amounts of the waste.

The results obtained are favourable, and although it only establishes the initiation to an extensive research field, it has been demonstrated that it is a viable product that could have a positive environmental impact.

Key words: plastic waste; cigarette butts; cigarette filters; recycling; thermal insulation; sustainable construction material



Plásticos en las costas. Fuente: Greenpeace

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ¿Qué es el plástico?

El plástico es una gama de materiales sintéticos o semisintéticos que en la actualidad tienen un gran ámbito de utilización. Podemos encontrar plástico en los envases de alimentos, en los edificios, en la ropa, etc.

“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]

La procedencia del término “plástico” viene del griego “plastikos” que evidencia una de sus principales propiedades: se puede moldear.

1.2. Propiedades generales de los plásticos

El plástico es uno de los materiales más utilizados en todo mundo por sus propiedades y bajo coste de producción, como su baja densidad. También es un producto que presenta propiedades impermeables y aislantes tanto térmica como acústicamente [2].

1.3. Tipos de plástico. Grupos generales

Existen dos grandes tipos de plástico:

I Los **termoplásticos**, que no sufren cambios en su estructura química cuando se le aplica calor. Esto quiere decir que se pueden fundir y moldear cuando se calientan. Este proceso es reversible y se puede realizar todas las veces que se desee.

En este grupo se encuentra el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el poliestireno expandido (EPS), el policloruro de vinilo (PVC), el politereftalato de etilenglicol (PET), las poliamidas (PA), el policarbonato (PC), el polimetacrilato de metilo (PMMA), los elastómeros termoplásticos (TPE), etc.

II Los **termoestables** son la familia de plásticos que sufren un cambio químico cuando se calientan creando una red tridimensional. Es decir, que una vez calentados y moldeados no se pueden volver a modificar.

En este grupo se encuentra el poliuretano (PUR), los poliésteres insaturados, las resinas epoxi, los ésteres de vinilo, la silicona, la resina de melamina, las resinas fenólicas, etc. [3] [4].

1.4. El problema de los plásticos y el medio ambiente

El plástico ha inundado nuestra vida diaria: podemos encontrarlo en envases de productos, ingredientes de cosméticos, el textil de la ropa, materiales de construcción y todo tipo de usos. Sin embargo, esto se está convirtiendo en un problema debido a su lenta degradación y alta contaminación ambiental.

Producción

En 1950, la producción de plástico mundial fue 1,5 millones de toneladas, mientras que en 2018 la cifra ascendió hasta los 359 millones según Eurostat [5]. De esta cantidad, se estima que entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas de plástico acaba anualmente en los océanos. En la actualidad, se cree que en ellos se encuentran depositados 150 millones de toneladas de plástico en total [6].

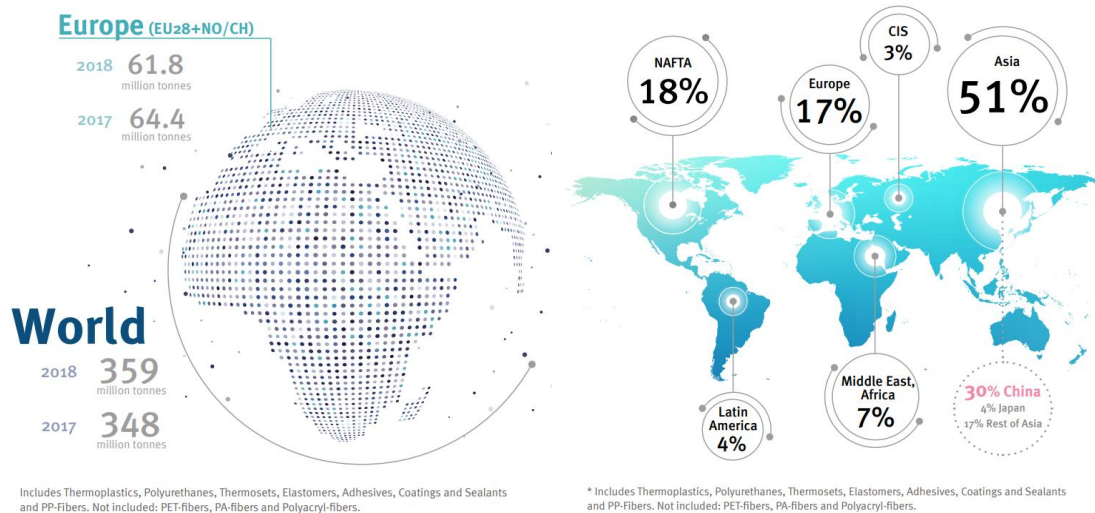


Fig. 1 y 2. Datos sobre la producción de plásticos mundial y europea y Distribución de la producción Global en 2018. Datos obtenidos por: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversio Market & Strategy GmbH. Fuente: PlasticsEurope, “**Plastics- the facts 2019**”, 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>

Como podemos ver en la Fig. 1, la producción de Europa en 2018 descendió ligeramente a 61,8 millones de toneladas, lo que constituye el 17% de la producción mundial [Fig. 2]. La demanda de plásticos fue de 51,2 millones de toneladas, concentradas en seis países: Alemania, Italia, Francia, España (7,6%), Reino Unido y Polonia [Fig. 3].

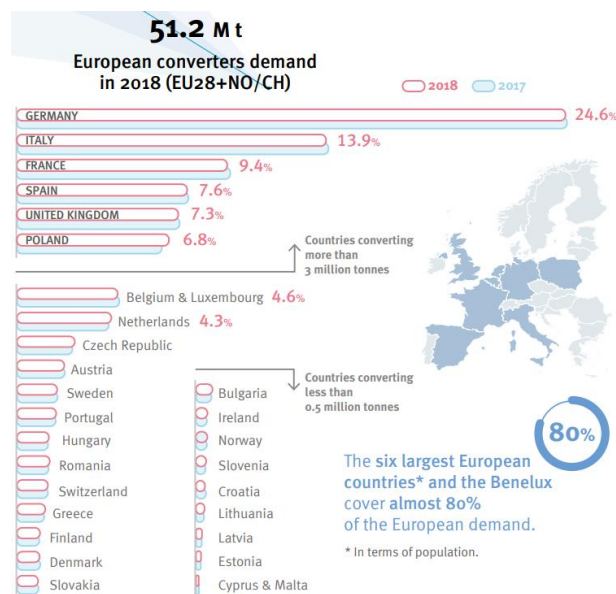


Fig. 3. Demanda de convertidores de plásticos en Europa (EU28+NO/CH) por país en 2018. Datos obtenidos por: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversio Market & Strategy GmbH. Fuente: PlasticsEurope, “**Plastics- the facts 2019**”, 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>

La generación de residuos de un país suele estar relacionada con la demanda. Por ejemplo, Alemania es el primer país en demanda de plástico y el primero en generación de residuos. No obstante, España se encuentra en cuarta posición en la demanda de plástico y en el puesto quince en la generación de residuos diarios por habitante, dato que podemos observar en la Fig. 4.

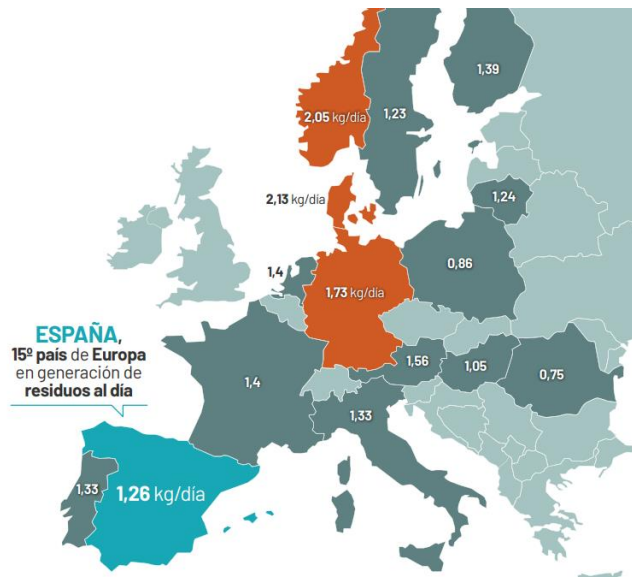


Fig. 4. Generación de residuos diarios por persona en los países europeos. Fuente: Ecoembes, “**Datos de reciclaje de 2018**”, https://www.ecoembes.com/sites/default/files/ecoembes-resultados_2018.pdf

En todo esto, es importante entender el ciclo de vida actual de los plásticos. No todos los productos son iguales, algunos tienen una vida útil de un uso, como por ejemplo una pajita o unos guantes desechables, mientras que otros duran años. Como se muestra, en la Fig. 5, todavía hay un alto porcentaje (24,9%) de residuos recogidos que acaban en los vertederos (teniendo en cuenta que, además, una gran parte de los productos plásticos no son recogidos y acaban desechados en los medios naturales). Para alcanzar una economía circular en los plásticos, es vital que el porcentaje en vertederos llegue a 0%. Desde 2006, la cantidad de plástico reciclada se ha visto doblada [Fig. 6], pero aún queda un largo camino para conseguir dichos objetivos. En este panorama, España es un caso poco habitual, ya que se encuentra a la cola respecto al porcentaje de residuos plásticos que acaban en vertederos, pero se trata del segundo país, después de Noruega, con mayor porcentaje de residuos plásticos reciclados [Fig. 7].

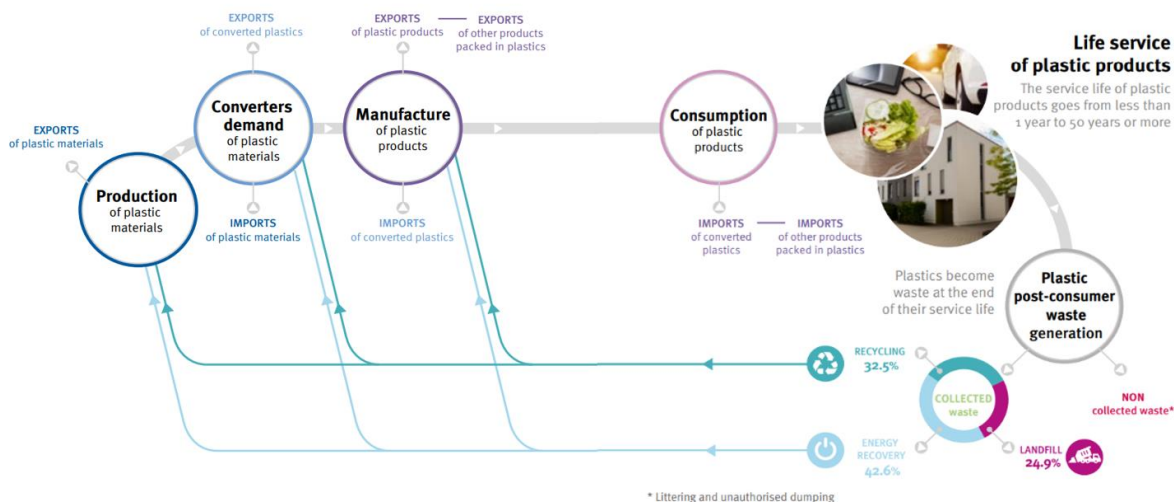


Fig. 5. Ciclo de vida de los productos plásticos en UE28+NO/CH. Datos obtenidos por: Conversio Market & Strategy GmbH. Fuente: PlasticsEurope, “**Plastics- the facts 2019**”, 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>

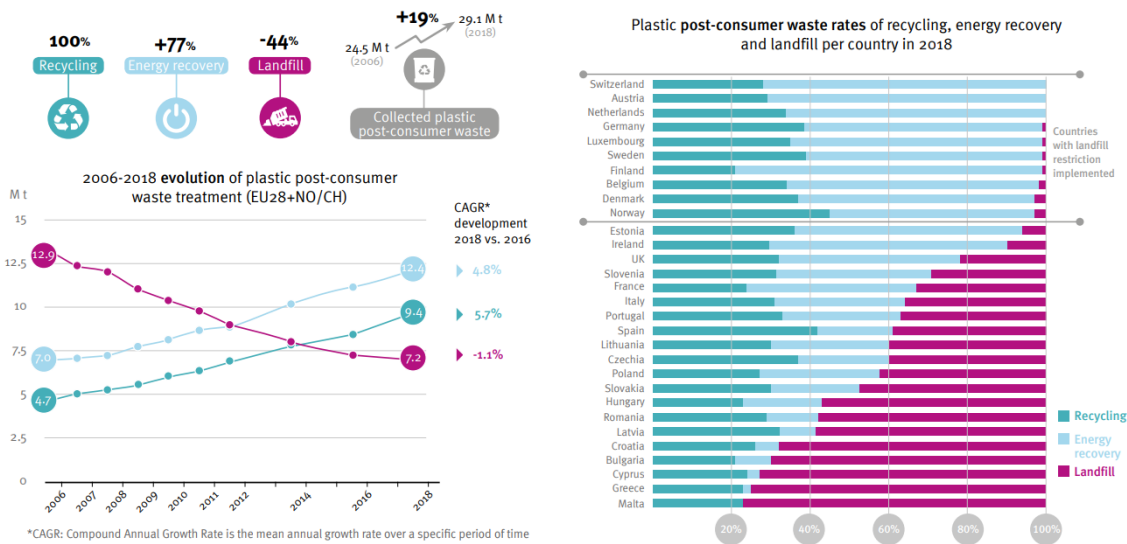


Fig. 6 y 7. Evolución del tratamiento de los residuos plásticos 2006-2018 (UE28+NO/CH) y Tasas de reciclaje, recuperación energética y depósito en vertederos de residuos plásticos post-consumo por países en 2018. Entre 2006 y 2018, el total de residuos recogidos aumentó a 29,1 toneladas métricas, los volúmenes de residuos plásticos recogidos para ser reciclados aumentaron un 100%, la recuperación energética se incrementó un 77%, y el número de plásticos que acabaron en vertedero disminuyó en un 44%. Fuente: PlasticsEurope, "Plastics- the facts 2019", 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>

Finalmente, si observamos el consumo de plásticos en la industria de la construcción y edificación, más relacionado con este trabajo, anualmente Europa emplea en dicha industria un 20% de su consumo total de plásticos, en concreto, unas 10 millones de toneladas. Después de la producción de envasado y embalaje, esta es la mayor aplicación del plástico. La industria automovilística ocupa el tercer lugar pero en un porcentaje bastante menor a los dos anteriores, como podemos apreciar en la Fig. 8 [18].

El plástico se utiliza en la construcción debido a sus buenas características como la durabilidad y la resistencia a la corrosión, el aislamiento térmico y acústico, su facilidad de transporte e instalación debido a su ligereza, su bajo coste, etc. Haciéndolo un material óptimo para este sector.



Fig. 8. Distribución de la demanda de plásticos por aplicación en Europa (EU28+NO/CH) en 2018. Datos obtenidos de: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversio Market &

Strategy GmbH. Fuente: PlasticsEurope, "**Plastics- the facts 2019**", 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>

Reciclaje

Actualmente, existen diversas normativas y medidas para la gestión de residuos, en especial del plástico, a nivel nacional y europeo, como también organizaciones centradas en el reciclaje de dichos residuos. Además de esto, se realizan numerosas campañas de concienciación y educación ambiental muchas desarrolladas por estas organizaciones.

A nivel internacional, la Unión Europea lucha contra los plásticos mediante estrategias y nuevas normativas. Ya en 2015 se aprobó la directiva europea 2015/720, que regula y restringe el consumo de bolsas de plástico ligeras y por la que se prohibía a partir de 2018 la entrega gratuita de bolsas. Por otra parte, en 2019 el Parlamento y el Consejo de la UE aprobaron la Directiva (UE) 2019/904. En ella se prohíbe para 2021 los plásticos de un solo uso: cubiertos de plástico (tenedores, cuchillos, cucharas y palillos), platos de plástico, pajitas de plástico, bastoncillos de algodón hechos de plástico, palos de plástico para globos, envases de plástico oxodegradables y vasos de poliestireno expandido; además de reducir determinados productos de plásticos del medio ambiente [6] [7] [8]. Los microplásticos, partículas de menos de 5mm, también están enormemente presentes en los océanos, envenenando a animales marinos y alterando la cadena alimenticia. La UE se encuentra actualmente estudiando medidas para su reducción y prohibición en determinados productos [9].

Todas estas nuevas medidas tienen el fin de reducir los residuos y aumentar el reciclaje en los países de la Unión, apostando por una Economía Circular. La UE presta especial atención a los residuos plásticos y a la basura marina. El Parlamento Europeo propone un abandono del modelo de Economía Lineal, que ha sido predominante desde la Revolución Industrial, basado en "extraer-producir-usar-tirar". La Economía Circular busca reducir el uso de materias primas y la generación de residuos por medio del reciclaje.



Fig. 9. Diferencias de la Economía Lineal vs Economía Circular. Fuente: Ecoembes

Cabe destacar las grandes plataformas que impulsan este tipo de medidas para llevar a cabo el reciclaje del plástico, como PlasticsEurope que es una asociación empresarial de productores europeos de materiales plásticos. Además, esta está comprometida con otras asociaciones y campañas para lograr una gestión sostenible del plástico consumido en Europa. Algunas de estas campañas son a nivel global como Marine Litter Solutions, formada por la Global Plastics Alliance con 355 proyectos en 47 países, o World Plastics Council que coopera con el 67 y el G20 [10].

En el marco legislativo nacional, cabe destacar la Ley de Envases y Residuos de Envases de 1997, aprobada con el fin de la recuperación de residuos de envases, su posterior tratamiento y valoración. Posteriormente, se aprobó la Ley de Residuos 22/2011, con el objetivo de gestionar mejor y reducir la generación de residuos y suelos contaminados. En 2015 se aprobó el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022. Este plan busca dirigir la política de residuos en España los próximos años, mejorando las deficiencias y asegurando el cumplimiento de los objetivos legales respecto al medioambiente [11] [12]. Concretamente sobre los plásticos no es hasta 2018 cuando se aprueba el Real Decreto 293/2018, por el que se establece una reducción del uso de las bolsas de plástico [13].

En España también contamos con organizaciones dedicadas a la gestión sostenible de los residuos y al reciclaje, como Ecoembes que nació en 1998 un año después de la Ley de Envases para encargarse del reciclaje de envases domésticos de papel, cartón, plástico, metales y cartón en el ámbito nacional y para apoyar la Economía Circular [14]. Esta organización tiene a su vez proyectos y campañas que buscan también la preservación del medio ambiente como Upcycling the Ocean, centrado en la vida marina, o el proyecto LIBERA, en conjunto con la ONG ambiental SEO/Birdlife que persigue eliminar la basura de ecosistemas terrestres [15]. Ecoembes asimismo fomenta la educación ambiental y el compromiso de la población.

Centrándonos en las cifras de reciclaje en España, según Ecoembes nos encontramos en sexta posición en el reciclaje de envases (domésticos, comerciales e industriales) respecto con los demás países europeos. En 2016, se recicló un 70,3% de estos envases respecto al total producido según datos de Eurostat [16]. España se coloca por encima de países como Noruega, Suecia o Italia, como podemos ver en la Fig. 10. Para 2020, Ecoembes espera alcanzar el 80% [14].

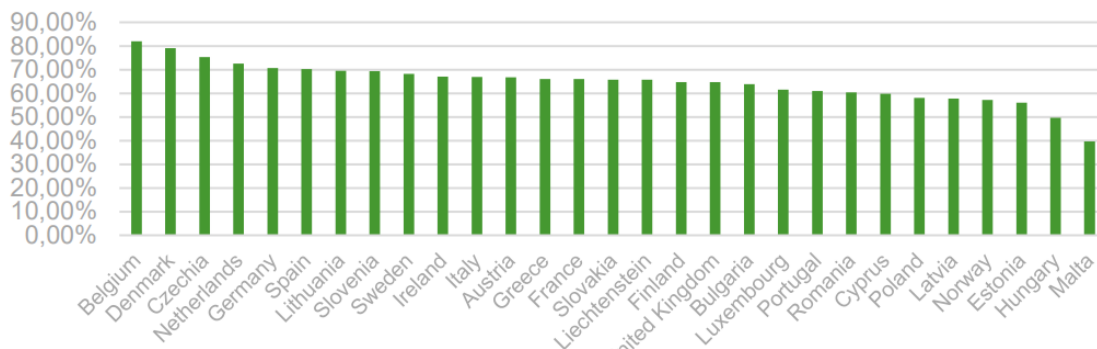


Fig. 10. Tasa de reciclaje de envases en los países europeos en 2016. Datos obtenidos por: Eurostat 2016. Fuente: Ecoembes, “Las cifras del reciclaje 2018”, 2019, <https://www.ecoembes.com/sites/default/files/cifras-reciclaje-2018.pdf>

La UE estableció para 2025 (por medio de la Directiva (UE) 852/2018 del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases) alcanzar el 65% de reciclado de envases (domésticos, comerciales e industriales). Por lo tanto, España ya cumpliría con esta cifra.

Además, los envases domésticos (plástico, metal, brik, papel y cartón) gestionados por Ecoembes alcanzaron en 2018 una tasa de reciclaje del 78,8%, siendo la tasa de reciclaje de envases domésticos de plástico de un 75,8% [17]. Para 2025 el Parlamento y Consejo de la UE había marcado el objetivo de llegar al 50% de reciclaje de los envases de plástico.



Fig. 11. Envases domésticos reciclados en España durante 2018. Fuente: Ecoembes, “Datos de reciclaje 2018”, <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/sala-de-prensa/notas-de-prensa/datos-de-reciclaje-2018>

No obstante, esto no siempre ha sido así. Ecoembes publicó una gráfica [Fig. 12] en la que podemos observar la evolución del reciclado de envases domésticos en España desde 1998. Salta a la vista que el reciclaje ha aumentado considerablemente en los últimos veinte años. El 1998, solo se recicló

un 4,7%, teniendo en cuenta que los envases de plástico eran los menos reciclados en los primeros años.

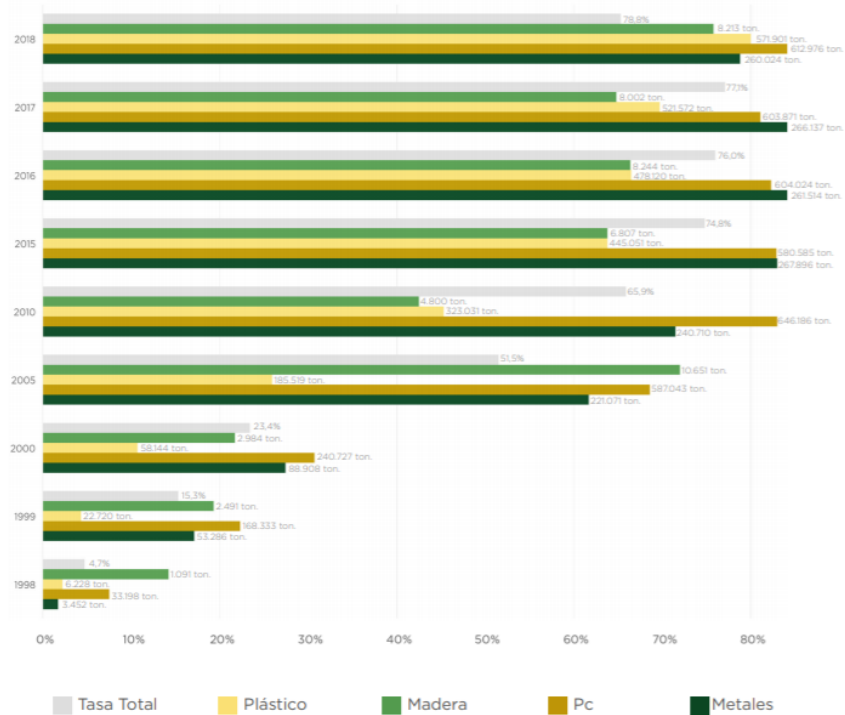


Fig. 12. Evolución de la tasa de reciclado de residuos ligeros de origen doméstico participantes en el sistema coordinado por Ecoembes. Imagen de Ecoembes. Fuente: A. Zarzalejos, **“España lidera en el reciclaje de plásticos y suspende en acumulación de residuos en vertederos”**, Business Insider, 2019, <https://www.businessinsider.es/puntos-fuertes-debiles-reciclaje-espana-536679>

Dicho todo esto, podríamos deducir la necesidad existente de mejorar estos índices de reciclaje y buscar nuevas alternativas para los plásticos. En los últimos años, se vienen realizando diversas investigaciones en el campo de la construcción que estudian la producción de nuevos materiales y sistemas constructivos empleando materiales reciclados.

Aquí es donde se iniciaría nuestro trabajo de investigación, que se centra en la búsqueda y diseño de un nuevo producto aplicable en la construcción reutilizando residuos plásticos, en nuestro caso, filtros de colillas de cigarrillos.



Colillas de cigarrillos desechadas en la naturaleza. Fuente: Proyecto LIBERA

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En España, 90 millones de cigarrillos son consumidos diariamente, lo cual genera unos 32850 millones de desechos de filtros al año [19]. Mundialmente, se consumen 6 billones de cigarrillos al día (cifra española, es decir, 10^{12}), de los que 4,5 son tirados al suelo. Según el informe *Colillas en espacios naturales* [20], realizado por la colaboración de SEO/BirdLife y Ecoembes en 2018 desde el proyecto conjunto LIBERA, "estos desechos pueden llegar a viajar miles de kilómetros y contaminar diferentes ecosistemas, encontrándose muy a menudo en zonas urbanas, pero también en la naturaleza, incluidos los océanos".

Según campañas lideradas por LIBERA, las colillas son uno de los residuos más frecuentes en el campo, bosques, montes, playas y mares, es decir, en ecosistemas naturales, seguidos de otros productos como las toallitas húmedas.

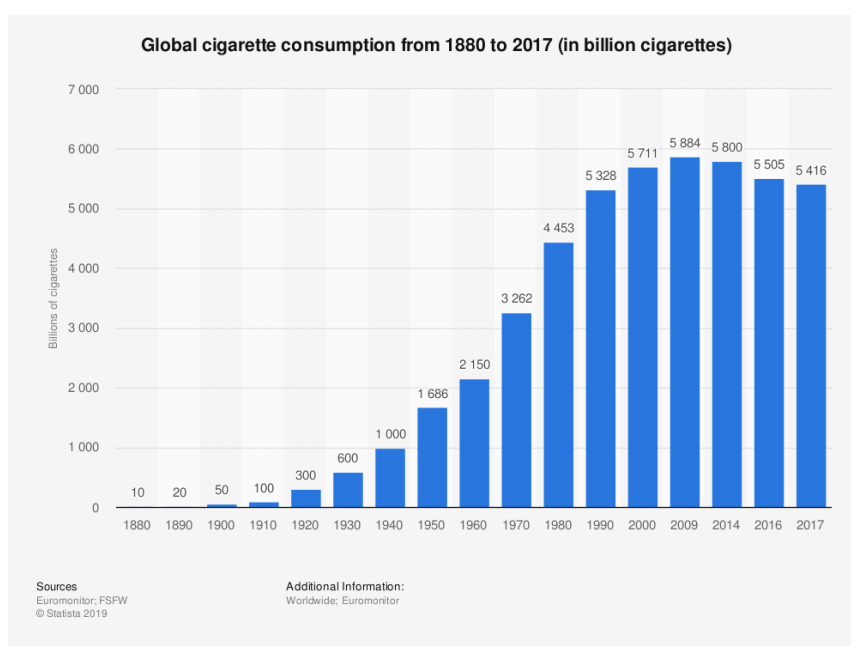


Fig. 13. Estadística que muestra el incremento global del consumo de tabaco entre 1880 y 2014 (billones anglosajones, 10^9). En 2017 se consumieron 5,42 billones de cigarrillos, en cifras españolas (10^{12}). Fuente: J. Elflein, "Global cigarette consumption from 1880 to 2017". Statista, 2019, <https://www.statista.com/statistics/279577/global-consumption-of-cigarettes-since-1880/>

El principal problema es que este residuo, centrándonos en los filtros de las colillas, está mayoritariamente compuesto de acetato de celulosa, un termoplástico (tipo de plástico que puede ser calentado y moldeado más de una vez). El acetato de celulosa es una sustancia fotodegradable pero no biodegradable, e incluso aun siendo fotodegradable, esta fotodegradación tarda meses y es parcial. Los rayos ultravioletas del sol rompen el filtro, pero sólo en piezas más pequeñas, el material fuente no desaparece [21], [22], [26]. La Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR) nos advierte, después de numerosas evidencias científicas, que una colilla tarda en descomponerse completamente de 8 a 12 años. Este tiempo depende de las condiciones ambientales y los productos químicos presentes y, que contaminan, el medio en el que se encuentran depositadas dichas colillas [23], [24].

Además de esto, según el Comité Nacional para la Prevención del Tabaquismo, el filtro es la parte donde se retiene gran parte de los componentes más nocivos del tabaco, como la acetona, amoníaco o naftalina (presentes en productos de limpieza), arsénico, cadmio, alquitrán, polonio, metanol, etc. Estos componentes se liberan en contacto con el agua, teniendo consecuencias nefastas en todos los seres vivos [25].

2.2.1. Aparición y función de los filtros

A mediados del siglo XX, empezaron a aparecer estudios muy claros y fiables que atribuían el cáncer de pulmón, entre otras muchas enfermedades graves, al hecho de fumar tabaco. Fue entonces, en la década de los 50, cuando se empezaron a introducir en el mercado los filtros con acetato de celulosa [26].

En 1966 el US Public Health Service, el Servicio de Salud Pública de EEUU, aclamó que mientras más bajo era el nivel de nicotina y alquitrán en el humo del tabaco, los cigarros eran menos nocivos para la salud de las personas. Por tanto, el Gobierno y la industria tabaquera, siguiendo este informe, estudiaron en esta línea para reducir dichos niveles, tanto en el cultivo del tabaco como en su posterior producción. Aquí es donde aparecieron los cigarros con filtro, junto con otras medidas que fueron publicitadas por la industria como un tabaco más seguro para la salud del consumidor. Estos filtros reducían los niveles de nicotina y alquitrán inhalados por los fumadores, por lo que, en un principio pareció una mejora saludable para la industria del tabaco [27].

Market Share and Cigarette Sale of Filter and Non-Filter Cigarettes in the United States, 1925-1993

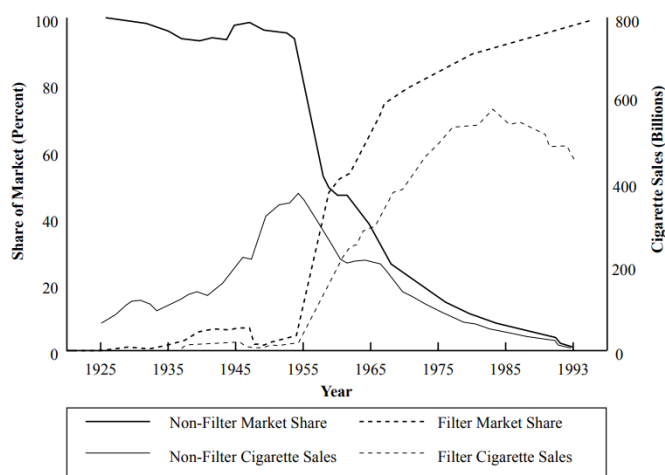


Fig. 14. Gráfica en la que se muestran las ventas de cigarros con y sin filtros en los Estados Unidos entre 1925 y 1993. Durante los últimos 50 años casi todos los fumadores cambiaron a cigarros con filtros, la gran mayoría fabricados con acetato de celulosa. Fuente: National Cancer Institute, "Risks Associated with Smoking Cigarettes with Low Machine-Measured Yields of Tar and Nicotine". Department of Health and Human Services, National Institutes of Health, National Cancer Institutes: Bethesda, MD, USA, 2001.

No obstante, en 2001 el National Cancer Institute presentó una investigación realizada sobre los supuestos beneficios en la salud gracias a los cigarros con bajo contenido en alquitrán y nicotina. En el informe, *Risks Associated with Smoking Cigarettes with Low Machine-Measured Yields of Tar and Nicotine* [28], se concluía que en los últimos 50 años la salud pública no se había visto mejorada por los cambios realizados en el diseño o fabricación de los cigarros. Entre otras causas, esto se debió en parte a que, debido a la falsa creencia generada en dicha época de que los cigarros con filtros protegían la salud del fumador, un gran número de ellos no habría intentado dejar de fumar. Por lo que los filtros, en general, tuvieron hasta un efecto perjudicial para la salud de la población.

No solamente con esto, posteriormente se ha demostrado que los filtros en sí son nocivos para la salud. Diversas investigaciones descubrieron que las fibras de acetato de celulosa, por las que están compuestos los filtros, son inhaladas al fumar. Hay que añadir, que no solo ingerimos estas fibras compuestas principalmente por acetato de celulosa, un plástico no biodegradable, sino que también estamos ingiriendo todos los componentes cancerígenos del tabaco que se quedan en el

filtro. Existen estudios que muestran cómo estas fibras han sido encontradas en los tejidos pulmonares de pacientes con cáncer de pulmón [29], [30], [31].

A pesar de que, durante los últimos 50 años, el consumo de cigarrillos con filtros haya aumentado de un 1% a un 99% [32], [Fig. 14]; actualmente, la industria tabaquera ha realizado numerosos intentos de lograr filtros más respetuosos tanto con el ser humano, es decir, buscando una menor inhalación de sustancias perjudiciales, como con la naturaleza mediante filtros biodegradables. Ya en los años 90 constan múltiples publicaciones encaminadas en la búsqueda de estos filtros biodegradables debido a la emergente preocupación ambiental, muchas realizadas por los propios fabricantes de cigarrillos [33], [34], [35], [36].

Sin embargo, aunque se han logrado algunas mejoras no se ha conseguido todavía filtros completamente degradables que sean comercializables. Estos no tienen buen sabor, tienen un periodo de conservación corto, problemas en la fabricación, etc. [37]. Conforme expone el Dr. José Ignacio de Granda-Orive, coordinador de la SEPAR, en un artículo, *Contaminación ambiental por colillas de tabaco. El tabaco de cuarta mano* [47], no se han alcanzado filtros completamente biodegradables, solo que se fotodegraden más rápidamente.

2.2.2. Composición de los cigarrillos y filtros

En la actualidad, un cigarrillo está formado por los siguientes componentes [Fig. 15]:

El **tabaco**. Tiras delgadas de tabaco seco de un milímetro de grosor forman el relleno principal de este producto. Los aditivos y sustancias químicas utilizadas cambian según el fabricante. Se añaden para mejorar el sabor del humo y hacerlo más apetecible. Otros químicos peligrosos se producen al encender y quemar el cigarrillo.

El **papel de liar y adhesivo**. Este papel está compuesto de celulosa con posibles aditivos. Su función es la combustión uniforme del cigarrillo.

El **filtro**, hecho de acetato de celulosa, en el que nos centraremos después.

El **papel de la boquilla** para cubrir el filtro. Fabricado con una emulsión de acetato de polivinilo. Se utiliza para unir el filtro al **papel interior** que lo envuelve.

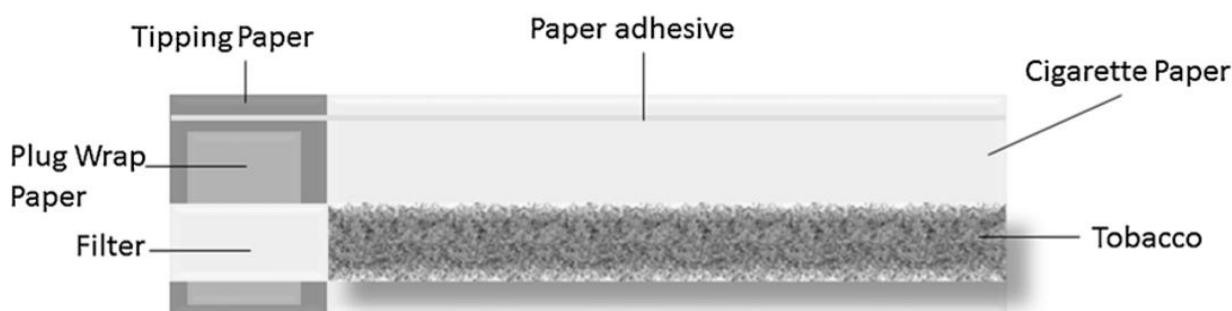


Fig. 15. Diagrama de los elementos de un cigarrillo. Fuente: S. Marinello, F. Lolli, R. Gamberini, and B. Rimini, "A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 384. Elsevier B.V., Feb. 15, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121245.

Según el U.S. Department of Health and Human Services, Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos, los fumadores inhalan unas 7000 sustancias químicas al fumar [38]. Algunas de estas sustancias tan dañinas que componen los cigarrillos están resumidas en la siguiente imagen [Fig. 16].

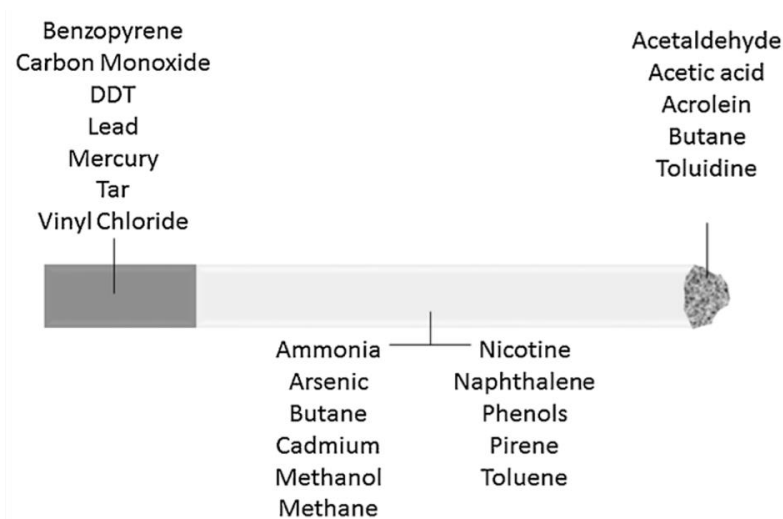


Fig. 16. Compuestos químicos y tóxicos de un cigarrillo por partes. Fuente: S. Marinello, F. Lolli, R. Gamberini, and B. Rimini, "A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 384. Elsevier B.V., Feb. 15, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121245.

Cómo ya hemos mencionado antes, el filtro se diseñó a mediados del siglo 20 para disminuir la cantidad de alquitrán y otras sustancias que podían ser ingeridas durante la combustión. Sustancias tóxicas que el filtro liberará después en el medio una vez desechado.

Las más de 12000 fibras de acetato de celulosa, plástico sintético, que componen el filtro parecen algodón. Estas fibras están unidas mediante glicerol triacetato, un plastificante [39]. El acetato de celulosa es un material también utilizado en la producción de plásticos, textiles y películas.

Por otra parte, una colilla de cigarrillo suele medir un 30% de su longitud original y suele conservar parte de los tres papeles que lo componen (el papel de liar, el papel de la boquilla y el papel interior unido al filtro) [40]. Siguiendo un informe de 2016 [41], se enumeran tres componentes principales de las colillas: el filtro, el tabaco sin combustionar y la ceniza. Este filtro, tras haber sido utilizado, contiene mucha de las sustancias químicas y aditivos del tabaco, haciéndolo más contaminante.

2.2.3. Problemática ambiental

Independientemente de la repercusión en la salud de las personas, lo que está claro es que existe un problema medioambiental global con este residuo que, además, plantea una grave cuestión respecto a su eliminación y a los desechos tóxicos que genera.

Como ya hemos comentado, el problema de estos residuos, que acaban disolviéndose en el agua o en la tierra [42], es su lenta degradación y su alta toxicidad.

Se sabe que las colillas tardan años en degradarse completamente [22], [43]. Un experimento de dos años de duración ha demostrado que una colilla solo pierde el 37,8% de su masa inicial en un sustrato de terreno estándar en este periodo de tiempo [43]. Otro estudio estima que los filtros de acetato de celulosa tardan en desaparecer de 2,3 a 13 años en el abono y en la superficie del suelo [44].

Las colillas no tienen por qué ser tiradas directamente en la playa o en el mar. Estas se encuentran muy a menudo en áreas urbanas, pero pueden llegar a desplazarse miles de kilómetros llegando a mares y océanos y, contaminando así todo tipo de ecosistemas [20]. El impacto de una simple colilla puede parecer insignificante. Sin embargo, a día de hoy está extensamente demostrado que las colillas de cigarrillos componen una de las primeras fuentes de basura mundial.

Según un estudio europeo, del que forma parte el Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales de la Universidad Autónoma de Barcelona (ICTA-UAB), realizado en las playas de siete islas del Mediterráneo en 2018, los residuos acumulados en las costas se componen principalmente de un 36,8% de plásticos y un 30,6% de colillas de cigarrillos. Seguido de, pero en un porcentaje mucho menor, pañuelos de papel, botellas de vidrio, palillos de algodón o toallitas higiénicas. Un factor a tener en cuenta es el masivo turismo que recibe el Mediterráneo en los meses de verano, aumentando en gran número los residuos abandonados [45].

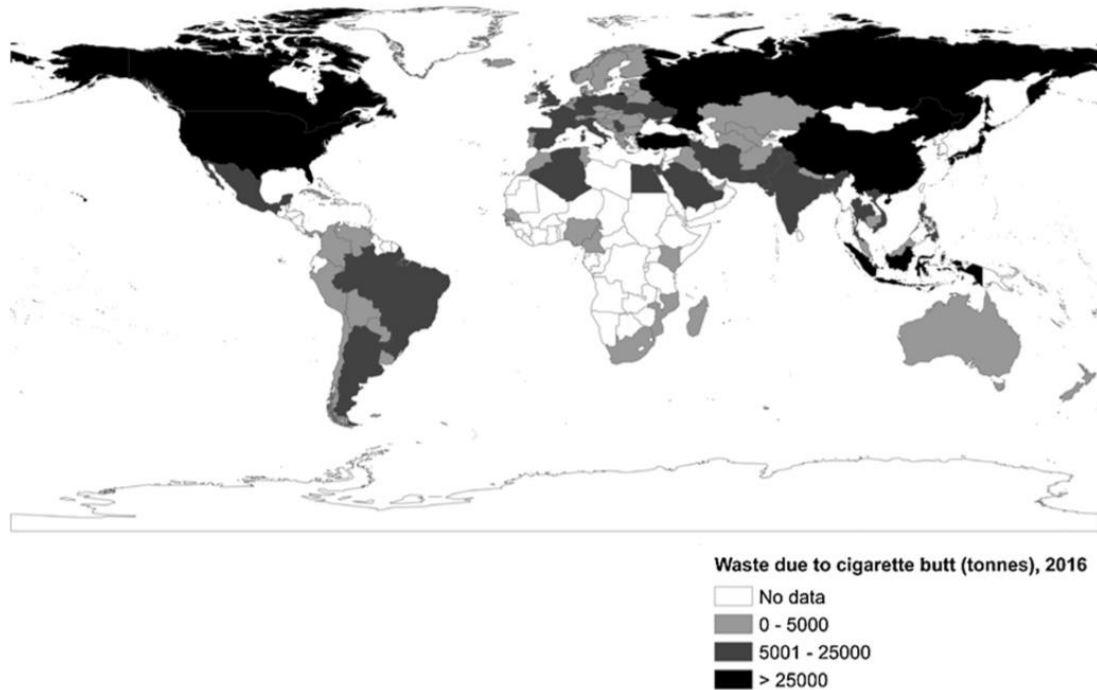


Fig. 17. Basura compuesta por las colillas de cigarro en toneladas 2016. Datos obtenidos de Tobacco Atlas. Fuente: S. Marinello, F. Lolli, R. Gamberini, and B. Rimini, "A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 384. Elsevier B.V., Feb. 15, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121245..

Por otro lado, la ONG Ocean Conservancy lleva desde 1986 realizando campañas de recogida de residuos en playas y costas, primero en Estados Unidos y luego, a partir de 1991, a nivel mundial [Fig. 18 y 19]. En su informe anual de 2016, *30th Anniversary*, recalcaron que durante los últimos treinta años las colillas han supuesto el mayor porcentaje de unidades recolectadas anualmente [46].



Fig. 18 y 19. Recogidas de residuos organizadas por Ocean Conservancy. Japón, 1991. Hong Kong, 2005. Ocean Conservancy 2016 Report. Fuente: Ocean Conservancy, "2016 Report: 30th Anniversary International Coastal Cleanup". Ocean Conservancy; Washington, DC, USA, 2016, <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>

Estas campañas e informes son muy interesantes, ya que más de un millón de voluntarios recogen datos de los desechos de playas de todo el mundo, cuantificando las unidades y peso de cada tipo de residuo. En el informe de 2019 se reveló que en 2018, del total de 97.457.984 unidades de residuos recogidos, 5.716.331 eran colillas, lo que supone un 5,87% [47], [Fig. 20]. En cambio, en 2015 este porcentaje fue un 15,34%, ya que, de los 13.806.887 residuos recolectados, eran colillas 2.117.565 [46], [Fig. 21]. Sin embargo, estos informes aseguran que los desechos de accesorios de pesca, como redes, boyas o cuerdas y, en segundo lugar, las bolsas de plástico, son más nocivas para la vida marina que otros residuos plásticos como los envases, pajitas, tapones o colillas.



Fig. 20. Top 10 residuos más recogidos anualmente en todo el mundo en 2018. Ocean Conservancy 2019 Report. Fuente: Ocean Conservancy, "2019 Report: The Beach and Beyond". Ocean Conservancy; Washington, DC, USA, 2019, <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>



Fig. 21. Top 10 residuos más recogidos anualmente en todo el mundo en 2015. Ocean Conservancy 2016 Report. Fuente: Ocean Conservancy, "2016 Report: 30th Anniversary International Coastal Cleanup". Ocean Conservancy; Washington, DC, USA, 2016, <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>

Se cree que en los últimos años ha habido también un incremento en el número de colillas tiradas en espacios naturales debido a la prohibición de no fumar en el interior de edificios aprobada en distintos países. Una publicación inglesa de Keep Britain Tidy demuestra como en Inglaterra ha ocurrido esto a partir de la prohibición en 2007 [48]. Como consecuencia, las colillas en el suelo de las ciudades se ven reflejadas como una fuerte carga económica para ellas [49]. El coste de recogida y eliminación asciende a varios millones de dólares al año en diversas ciudades de Estados Unidos [50].

A parte del impacto económico que estos desechos puedan tener, es más importante el impacto ambiental. Como ya hemos comentado antes, las colillas acumulan muchas sustancias nocivas y tóxicas como la nicotina, tolueno, ácido acético, amoníaco, metanol, alquitrán y metales como el cadmio, aluminio, bario, arsénico, plomo, zinc, etc. [20], [51]. Muchos de ellos cancerígenos para el ser humano.

Las colillas, tras ponerse en contacto con agua, liberan estas sustancias llegando a crear alteraciones catastróficas tanto en la tierra como en los medios acuáticos. Según APYMA, Asociación Profesional de Playas y Medio Ambiente, animales como las lombrices, que realizan importantes labores en el terreno, pueden ser envenenadas provocando superficies terrestres no fértiles.

De acuerdo con SEO/Birdlife y Ecoembes, cada colilla contamina sobre unos 8 o 10 litros de agua, y hasta 50 si es de agua dulce. Existen muchas investigaciones que evidencian cómo se contaminan mares, océanos y ríos causando el envenenamiento de moluscos, peces, reptiles y aves [25], [52], [53], [54]. Además, en un estudio de laboratorio se demostró que tanto los cigarrillos que han sido fumados como los que no producen una rápida y prolongada contaminación

metálica del medio en el que son desechados, liberando gran cantidad de metales pesados al agua [52].

En 2011, se llevó a cabo el primer estudio que demostró hasta qué punto son tóxicas las colillas para las especies de peces marinos y de agua dulce, ya que anteriormente solo se habían realizado investigaciones con especies no-vertebradas. Igualmente, este estudio investigó el impacto de los diferentes residuos de los cigarrillos: colillas de cigarrillos fumados con restos de tabaco, solo filtros de cigarrillos fumados y, por último, filtros sin utilizar, en los ecosistemas de agua dulce y salada. La investigación reveló que los tres resultaban ser tóxicos para los peces. Sin embargo, las colillas con restos de tabaco demostraron ser mucho más tóxicas que los filtros. No obstante, los filtros utilizados también resultaron ser mucho más contaminantes que los no fumados. Por otra parte, la investigación también concluyó que una colilla de cigarrillo sumergida en un litro de agua causaba la muerte de la mitad de los peces expuestos, dato bastante significativo y preocupante [55].

Por lo tanto, aunque sean más nocivos los filtros de cigarrillos que han sido fumados, ya que retienen las sustancias químicas más dañinas del tabaco, se ha demostrado que los filtros de cigarrillos no consumidos también son altamente contaminantes y tóxicos para el medioambiente. Aparte de que ambos tardan el mismo tiempo en descomponerse. Todo esto supone una amenaza para la biodiversidad y el envenenamiento de la cadena alimenticia [56].



Fig. 22. Filtros en un cigarrillo fumado y en un cigarrillo sin utilizar. Fuente: S. Wadalkar, "Design of Precast Concrete Blocks for Paving with the use of Cigarette Butts (Cellulose Acetate)," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 5, pp. 2958–2965, 2018, doi: 10.22214/ijraset.2018.5482.

Además de todo esto y, desviándonos un poco del tema en cuestión, que son los residuos de colillas y filtros de cigarrillos, también hay que tener en cuenta que el medio ambiente no solo se ve afectado por sus desechos. Si no que la industria tabaquera en general y el consumo del tabaco en sí, son también grandes contaminantes para la naturaleza.

Su elaboración y producción implican un alto precio en cuestión de recursos naturales. Grandes bosques se ven afectados por la deforestación, ya que son sustituidos por terrenos de tabaco y plantas para su curado [Fig. 23 y 24]. "Esta deforestación contribuye a un aumento de emisiones de CO₂, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la desertización, el aumento de la erosión del suelo, que disminuye su fertilidad y producción y que altera el ciclo del agua" asegura la SEPAR. Sin embargo, esto no es todo, en su manufactura, paso más contaminante en la producción del tabaco, y en su distribución se emplean abundantes recursos humanos y naturales, además del uso de pesticidas, productos químicos, plásticos, acetatos, etc. [57].



Fig. 23 y 24. En naranja se muestra la vegetación perdida usado para el crecimiento de tabaco en granjas en: Western Tabora Region, Tanzania (1999-2017) y Northern Region, Malawi (1992-2015). Fuente: American Cancer Society, "*The Tobacco Atlas, Sixth Edition*", 2018, https://files.tobaccoatlas.org/wpcontent/uploads/2018/03/TobaccoAtlas_6thEdition_LoRes.pdf.

A esto se le añade las más de 4000 sustancias químicas que son liberadas al ambiente durante su consumo. Algunos de estos químicos son monóxido de carbón, cianuro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, amoníaco, benceno, argón y acetato, de los cuales más de 50 son cancerígenos para el ser humano [44], [49]. Todos estos componentes no solo son malos para el ser humano si no que son residuos químicos que afectan negativamente al ambiente y a la calidad del aire, afectando al medio natural.

Por todo ello, vemos como el tabaco es un producto altamente contaminante y dañino en todas las fases de su ciclo de vida, producción y distribución, consumo y gestión de sus residuos.

Existen recientes iniciativas e investigaciones internacionales que trabajan en encontrar una segunda vida sostenible a este residuo, que veremos en el siguiente apartado, o formas de gestionar estos desechos sin que sea tan pernicioso para el medio ambiente.

Por último, para solventar este gran problema ambiental es crucial concienciar a los fumadores de la importancia que tiene no tirar las colillas al suelo, además de instalar más ceniceros en los espacios públicos. También, es necesario la acción los gobiernos para aprobar medidas legales. La Comisión Europea ya ha alarmado de los perjuicios causados por las colillas, tanto por la contaminación como por la suciedad producida en las núcleos urbanos. Algunas ciudades europeas están instaurando medidas para combatir contra las colillas. A partir de 2019, tirar una colilla al suelo en Bruselas está multado con 200 euros, mientras que en Lisboa con 250. Sin embargo, en España solo está sancionado si se arroja desde la ventanilla del coche. Como podemos ver, todavía queda un gran camino por recorrer.

2.2.4. Estudios realizados con colillas de cigarros

Principalmente en los países desarrollados, la reducción del residuo generado por las colillas de los cigarrillos es un asunto pendiente y son necesarias soluciones alternativas para el vertedero y la incineración. En las últimas décadas, se han realizado diversas investigaciones para la recuperación y el reciclaje de los componentes de las colillas como uso de materias primas secundarias en la elaboración de productos y materiales sostenibles ya que, por una parte, se reduce la presencia de residuos peligrosos y por otra, se promueve una economía circular. Los estudios realizados para el reciclaje de las colillas se han basado en sus propiedades físicas y químicas.

Una revisión minuciosa de la literatura con las diferentes propuestas ha sido realizada recientemente [58], [40] y, se ha ampliado con una exhaustiva investigación fruto de la cual se han descubierto

nuevas aplicaciones [59], [60], [61], [62]. Las diferentes aplicaciones encontradas como resultado del reciclaje de colillas o alguno de sus componentes se exponen a continuación:

- Asfalto para vías rodadas
- Bloques de hormigón prefabricados para pavimentación
- Ladrillos de arcilla cocida
- Absorbente de sonido
- Aislamiento térmico
- Plásticos
- Fibras textiles
- Pulpa de celulosa
- Inhibidor corrosivo de metales
- Separador de membrana de litio-ion
- Supercondensadores
- Control de vectores (insecticida)
- Carbón activo
- Portador de biopelículas
- Producción de fibras superhidrofóbicas/superoleófilas

El análisis llevado a cabo por [58] determina que el reciclaje de las colillas puede definirse de tres formas diferentes:

- I Uso de colillas enteras sin ningún tipo de tratamiento.
- II Uso de los componentes de las colillas como el filtro (acetato de celulosa), el papel envolvente (celulosa) o las cenizas de restos de tabaco.
- III Uso de sustancias químicas atrapadas en los filtros.

Según la naturaleza de las aplicaciones, se puede realizar una clasificación en las siguientes categorías:

- Análisis químico
- Infraestructura / edificios y estructuras
- Dispositivos de almacenamiento de energía
- Ingeniería Ambiental
- Industrias químicas y médicas
- Insecticidas
- Industria metalúrgica
- Industria del papel
- Industria textil
- Industria plástica

La revisión de las propuestas realizada en [60] arroja la conclusión de que el reciclaje de colillas o sus componentes tiene un mayor uso en productos resultantes en la industria de la construcción con el 31% de estudios que desarrollan su aplicación como se puede observar en el diagrama Fig.25.

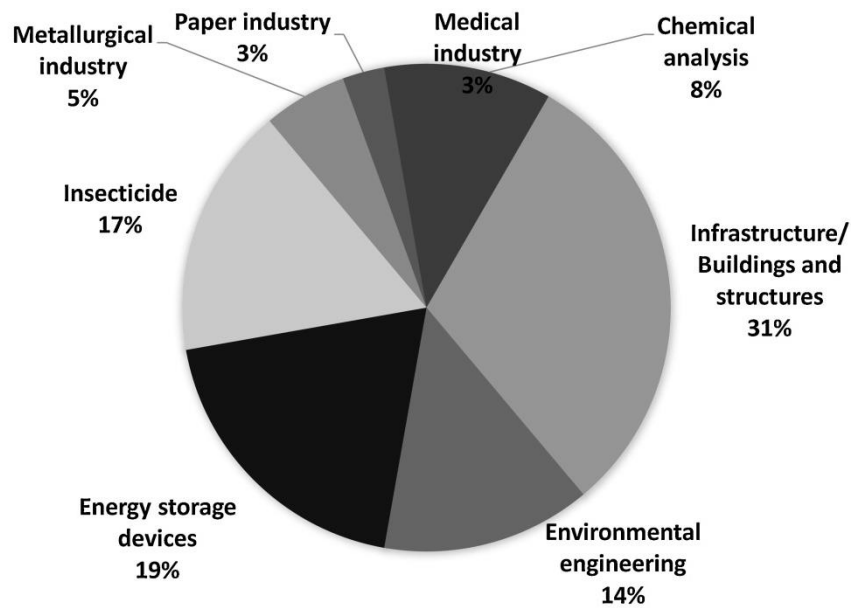


Fig. 25. Porcentaje de distribución en industrias de posibles usos de colillas de cigarrillos. Fuente: A. Mohajerani et al., "*Physico-mechanical properties of asphalt concrete incorporated with encapsulated cigarette butts,*" Constr. Build. Mater., vol. 153, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.091.

En este campo se han utilizado colillas enteras o sus componentes que implican únicamente tratamientos físicos de separación del filtro y troceado o triturado del mismo, previa desinfección en algunos casos y la mezcla con otros productos para la preparación de nuevos materiales.

A continuación, se describen con más detalle las aplicaciones encontradas resultantes de las investigaciones llevadas a cabo en la industria de la construcción.

ASFALTO PARA CARRETERAS Y PAVIMENTO PREFABRICADO DE HORMIGÓN

Una aplicación del reciclaje de las colillas ha sido estudiada para la producción de asfalto para carreteras y como pavimento prefabricado de hormigón.

La construcción de pavimentos asfálticos se llevó a cabo encapsulando colillas de cigarrillos con diferentes clases de betún y cera de parafina [63]. La comparación de los resultados obtenidos con muestras de pavimentos asfálticos sin colillas de cigarrillos incorporados descubrió que las soluciones propuestas con muestras de 10 y 15 Kg/m³ de colillas encapsuladas con betún Fig.26, cumplían las condiciones para tráfico ligero, medio y pesado mientras que las realizadas con 10 Kg/m³ de colillas encapsuladas con cera de parafina cumplían únicamente las exigencias para tráfico ligero.

Con el estudio se identificó además una reducción del efecto isla de calor en el entorno urbano debido a la reducción de la densidad aparente, el aumento de la porosidad y por consiguiente la reducción de la conductividad térmica.



Fig. 26 y 27 Colillas encapsuladas con betún y muestras elaboradas con las colillas encapsuladas con betún 10 kg/m³, 15 kg/m³, 25 kg/m³ y muestras sin colillas de cigarrillos. Fuente: A. Mohajerani et al., "**Physico-mechanical properties of asphalt concrete incorporated with encapsulated cigarette butts**," Constr. Build. Mater., vol. 153, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.091.

La incorporación de diferentes proporciones de colillas de cigarrillos a bloques prefabricados de hormigón para pavimentos ha sido investigada para analizar sus posibles beneficios [64] [65]. Se observó que la absorción de agua se incrementa al aumentar el porcentaje de colillas. Esto puede evitarse con la incorporación a la mezcla de repelentes al agua. La incorporación de colillas de cigarrillos hasta un 0.1 % no implica una variación significativa de resistencia a la compresión mientras que la resistencia a la flexión aumenta. Con porcentajes mayores de colillas de cigarrillos, tanto la resistencia a compresión como a flexión disminuyen, sin embargo, la resistencia a compresión puede incrementarse manteniendo una proporción correcta de agua-cemento o añadiendo plastificantes mientras que la resistencia a flexión no supone un problema ya que se mantiene por encima de los límites permitidos.

LADRILLOS DE ARCILLA COCIDA

El uso de colillas de cigarrillo como componente en la fabricación de ladrillos de arcilla ha sido considerablemente investigado en [66],[67],[68],[69],[70],[71],[72] y revisado por [73].

Los estudios revelaron que añadiendo entre 0-10% de colillas en peso a los ladrillos, tal como podemos ver en la Fig.28, conlleva una reducción de su densidad (más ligeros), su conductividad térmica (ahorro de energía) y también su resistencia a la compresión (sin embargo, por debajo del límite aceptable de la normativa australiana), mientras que su porosidad y absorción de agua se incrementan.

En la producción de ladrillos con 5% se estudió la emisión de gases atmosféricos a diferentes velocidades de calentamiento y se advirtió una reducción de la energía empleada del 58%. La velocidad de calentamiento durante la cocción y el porcentaje de residuo de colillas afectan a las características finales del producto. Los autores determinaron que las condiciones ideales para la producción son 2.5% de colillas de cigarrillos y 1 °C/min de velocidad de calentamiento.

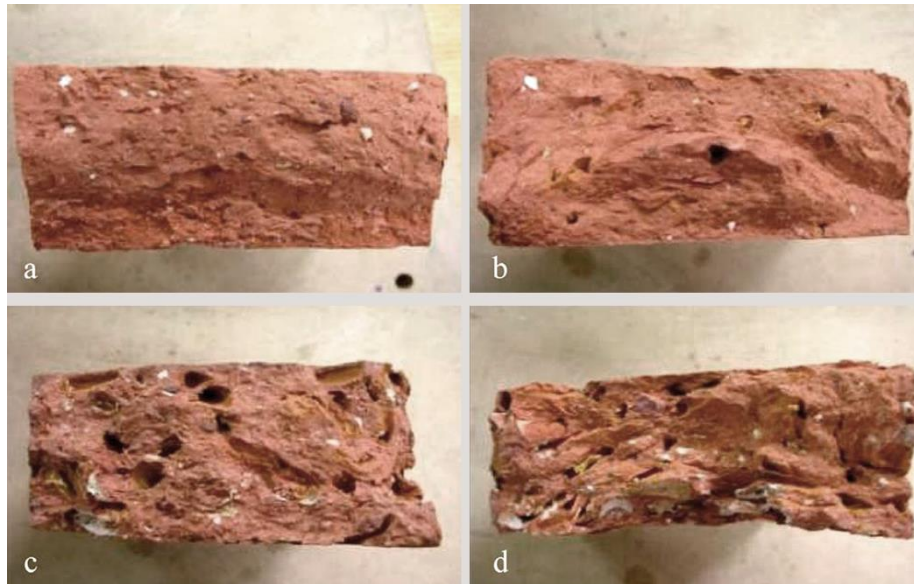


Fig. 28. Vista transversal de los ladrillos con 0% (a), 2.5% (b), 5% (c), y 10% (d) de colillas de cigarrillo. A. Mohajerani, A. A. Kadir, and L. Larobina, **"A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks,"** Waste Manag., vol. 52, 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2016.03.012.

ABSORBENTE ACUSTICO

La alta porosidad de las fibras del acetato de celulosa de los filtros de los cigarrillos ha sido la premisa para investigar sus propiedades como absorbente acústico [21], [74] y [75], ya que es un estudio que no cuenta con ningún precedente.

Para la investigación se utilizaron en un primer estudio diferentes muestras con filtros usados y no usados de diferentes longitudes sin ningún tipo de aglutinante [Fig.29] y en un segundo estudio se utilizaron filtros troceados. En un tubo de impedancia fue medida la absorción acústica y los resultados fueron comparados con soluciones comerciales. Se demostró que el uso de filtros para soluciones de absorción acústica resulta altamente competitivo con productos existentes en el mercado y que el coeficiente de absorción se incrementa con frecuencias mayores alcanzando más del 0 a frecuencias de 2000Hz y por encima de 0.9 a frecuencias superiores a 4800Hz.

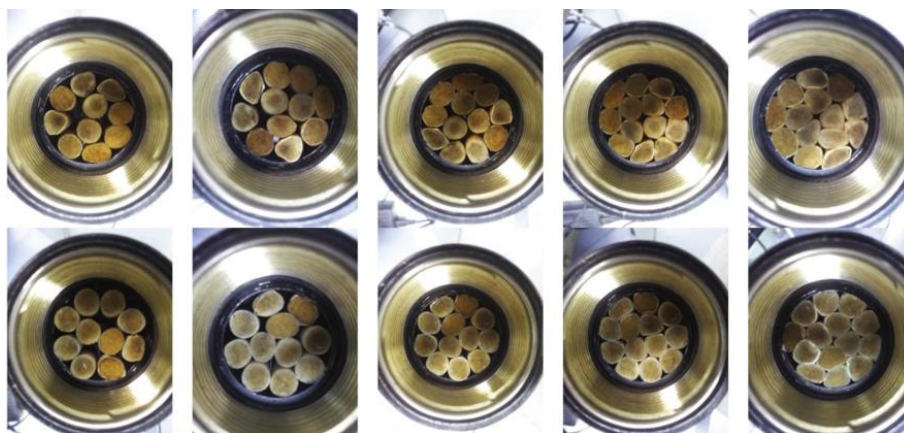


Fig. 29. Muestras de colillas preparadas en tubo de impedancia. V. Gómez Escobar and R. Maderuelo-Sanz, **"Acoustical performance of samples prepared with cigarette butts,"** Appl. Acoust., vol. 125, pp. 166–172, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2017.05.001.

AISLAMIENTO TERMICO

La caracterización de las propiedades del acetato de celulosa de los filtros de cigarrillos ahumados se ha llevado a cabo en un estudio realizado con probetas de 70% de acetato troceado previamente desinfectado y 30% de aglutinante (20% de PVAc y 10% de almidón) [62]. Para la elección de la probeta se realizaron pruebas previas con diferentes proporciones de filtros en diferentes formatos y diversos aglutinantes.

La probeta final fue sometida a ensayos para determinar su densidad, contenido de humedad, absorción de agua e hinchamiento, mecanizado, resistencia a tracción y compresión conductividad térmica, resistencia al fuego y facilidad de tenido.

Los resultados obtenidos revelaron que la característica más notable del material es su baja conductividad térmica $\lambda=0.0257$ W/mK semejante al poliestireno extruido.

Con los datos aportados por la investigación se ha propuesto un nuevo producto como revestimiento interior [Fig.30] que a su vez cumpla la función de aislante térmico.



Fig. 30. Placas elaboradas para trasdosado interior. C. Rojas Hernández, P. Guía, and L. Lares López, **"Filterm: Revestimiento de interior a partir de colillas de cigarro"** Memoria presentada a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile para optar al título profesional de Diseñador Industrial, 2019

Todas las propuestas encontradas suponen un gran avance en la lucha por la reducción de las colillas de cigarrillos, sin embargo no son suficientes para reciclar todo el residuo generado por lo que queda el campo abierto a nuevas propuestas que son bienvenidas.



Filtros de colillas usados. Fuente: "IMEKO – Reciclamos Colillas de Cigarro." <https://imeko.cl/>

3. OBJETIVOS

Debido a la gran problemática global en cuanto a la gestión de residuos que existe, es de nuestro interés el estudio y la investigación de la dinámica de los mismos a nivel mundial y, de manera más concreta y específica, en el mundo de la construcción. Para ello, procedemos a acercarnos más a lo que se está haciendo actualmente con los residuos, en este caso plásticos, para así saber abordar de una mejor forma la que a nosotros como profesionales de la construcción nos concierne y preocupa.

3.1 Objetivos generales

Desde un punto de vista más amplio se podrían establecer los siguientes puntos como objetivos generales del presente trabajo de investigación:

Proponer un **nuevo material para la construcción** fabricados con desechos **plásticos**, reciclándolos y, logrando así edificios más ecoeficientes y respetuosos con el medio ambiente.

Explorar una posible **solución** al problema existente con respecto a la **gestión y eliminación** de estos residuos plásticos. Con el objetivo de alargar su **ciclo de vida** y encontrar su **reutilización** óptima.

Modelar este **nuevo material** a partir de la bibliografía y datos de estudios existentes, tras realizar una hipótesis de partida, ya que no se harán ensayos en laboratorio.

Aplicar el nuevo producto a un **caso práctico** y estudiar sus propiedades. También cuantificar la cantidad de material reciclado y valorar los impactos positivos en el medio ambiente debido a la aplicación de dicho producto en el mundo de la construcción.

Comparar el modelo propuesto con productos de construcción existentes desde el punto de vista **térmico**. Además de la mejora medioambiental que supone dicho reciclado de materiales plásticos, se intentará **lograr una mejora** en las características y comportamiento del producto propuesto.

3.2 Objetivos específicos

Haciendo enfoque en el nuevo material elaborado, se planteará:

Realizar una **profunda investigación** sobre la **problemática ambiental** generada por los residuos de **colillas y filtros**.

Estudiar las **propiedades de los filtros** para su posible utilización en un nuevo tipo de aislante térmico con el fin de reducir este problema ambiental.

Modelar el nuevo producto a partir de los datos obtenidos de otros trabajos experimentales.

Investigar esta propuesta como **nuevo producto en la construcción** y ver sus futuras posibles **aplicaciones en edificios**. Estudiar su viabilidad.



Voluntarios de la ONG Ocean Conservancy en una recogida de desechos. Fuente: Ocean Conservancy Report

4. HIPÓTESIS DE PARTIDA

Existen numerosas investigaciones y estudios sobre la reutilización y reciclaje de nuestro residuo, las colillas de cigarro. Hemos realizado un análisis teórico de la bibliografía existente. A un nivel más profundo, los trabajos que centran dicho reciclaje en la fabricación de nuevos materiales para el campo de la construcción y, más ligeramente, los que buscan y estudian una segunda vida para este residuo en general.

Este previo análisis nos ha ayudado a conocer los comportamientos de las colillas en determinadas circunstancias, que suelen ser bastante coincidentes entre las distintas investigaciones, y nos ayuda a prever los resultados que obtendremos de nuestra propia investigación.

Los filtros de cigarro, elemento principal del desecho, están compuestos por fibras de acetato de celulosa, un material muy **poroso** y de **baja densidad** que se asemeja al algodón. Por ello, podemos asumir que al mezclarlo cualquier otro material obtendremos un compuesto más **ligero** al original. Esta propiedad se ha utilizado, por ejemplo, en numerosos estudios para lograr ladrillos de arcilla cocida más ligeros pudiendo ser utilizados para fábricas portantes o no portantes.

Otra cualidad asociada a los materiales porosos es una buena **absorción acústica**. Algunos trabajos de investigación han estudiado el uso del material para fabricar absorbentes de sonido obteniendo muy buenos resultados en comparación con absorbentes comerciales ya existentes [8] [61] [62].

La **absorción de agua** es una propiedad también ligada a la porosidad. Aunque nosotros no nos centraremos en esta cualidad, otros estudios sí lo hacen. Un trabajo sobre nuevos bloques de hormigón para pavimento señala que esta absorción aumenta con el porcentaje de residuo añadido [52]. Esta cualidad puede ser positiva o negativa dependiendo de lo que busquemos, en nuestro caso sería una propiedad negativa a resolver, ya que los aislantes térmicos suelen trabajar peor en presencia de agua.

Respecto al **comportamiento térmico**, característica en la que nos centraremos, se esperan obtener resultados positivos ya que, al reducir la densidad y al aumentar la porosidad de los materiales, se suele reducir la **conductividad térmica**. Un estudio ha descubierto que añadiendo colillas al asfalto se reduce esta conductividad, pudiendo ser una posible solución al conocido efecto isla de calor urbana [50]. Otra investigación sobre ladrillos aligerados de arcilla resalta igualmente esta cualidad con el fin de mejorar las propiedades térmicas de los ladrillos [55].

Desde el **punto de vista mecánico**, los datos recogidos en anteriores experimentos no son del todo favorables. En todos los estudios las **propiedades mecánicas** (flexión y compresión) de los nuevos materiales se suelen ver reducidas. Esto se ha comprobado en numerosos trabajos sobre la fabricación de ladrillos cocidos con colillas o, por ejemplo, en el estudio previamente mencionado sobre el asfalto. Dichas propiedades no son de gran importancia, ya que el trabajo que queremos elaborar se centra en las cualidades térmicas del nuevo producto.

Desde un punto de vista global, podemos asumir una disminución de ciertas prestaciones a favor de una mejora ecoeficiente del producto. En todo caso, se buscará también una mejora de las características térmicas en comparación con aislantes térmicos comerciales ya existentes. Pero en caso de no conseguirse dicha mejora, el principal objetivo seguirá siendo conseguir un producto de aislamiento térmico viable que intenta dar solución a un problema medioambiental.



Voluntarios del proyecto LIBERA recogiendo colillas del bosque. Fuente: Proyecto LIBERA

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El plantear un nuevo producto implica un previo estudio experimental para verificar su validez en su posterior uso en el sector de la edificación.

El producto propuesto se trata de un nuevo aislante térmico a partir de filtros de colillas recicladas. En un principio, esta investigación conllevaba un proceso experimental de ensayos en laboratorio, regulados por la normativa UNE-EN, para la caracterización del producto. Sin embargo, debido a la falta de medios para la experimentación se tendrá que caracterizar al material a partir de estudios ya realizados.

El procedimiento de trabajo será el siguiente:

1. Análisis de la bibliografía existente y de la situación actual, con el fin de iniciar una investigación justificada.
2. Diseño y caracterización del nuevo producto mediante datos obtenidos de hipótesis teóricas.
3. Aplicación del producto a un caso real.
4. Análisis, comparación y conclusión a partir de la aplicación.

Como ya hemos comentado, en la primera fase se realizó una exhaustiva revisión de la información existente sobre la cuestión. Partiendo del problema generalizado que plantean los residuos plásticos, hasta llegar al estudio sobre la problemática en lo que respecta a las colillas de cigarrillos y a sus efectos nocivos en el medioambiente. También, se realizó una profunda búsqueda y lectura de investigaciones elaboradas sobre el reciclaje y la reutilización de residuos para la fabricación de nuevos productos o sistemas constructivos. Para tener referencias, se hizo más hincapié en los estudios que utilizaban nuestro residuo.

Se debe aclarar que, aunque el residuo estudiado se trate de las colillas de cigarrillo (con todos sus componentes), solo se utilizará para la fabricación del nuevo producto el filtro, que es el componente principal.

Debido a la situación actual, no ha sido posible la realización de una fase experimental en la que se lleven a cabo los respectivos ensayos. Por lo tanto, para la obtención de datos hemos tenido que recurrir a las investigaciones ya realizadas con nuestro residuo y a la elaboración de hipótesis.

A partir de este punto, previendo los comportamientos del material, se elegirá de manera individual una aplicación adecuada y se procederá al posterior diseño del producto. Se tratará de caracterizar al nuevo producto lo máximo posible, teniendo en cuenta las limitaciones ya mencionadas, y estudiar su viabilidad.

Finalmente, se aplicará el producto en un proyecto edificatorio real. Como la función principal del producto será el aislamiento térmico, se realizará una comparativa entre la ubicación del proyecto en dos zonas de España. Una en la zona de menor severidad climática de invierno según el documento *DB-HE Ahorro de Energía* del CTE, zona A, y la otra en la zona de mayor severidad climática de invierno, zona E, y así, comprobar su efectividad en dicha aplicación. Los resultados también se compararán con el producto normalmente utilizado para cumplir las mismas exigencias constructivas, que en este caso será la lana mineral. Todo esto, ayudará a obtener una conclusión sobre tanto la validez del producto como sus posibles impactos positivos en el medioambiente y en el mundo de la construcción.



Colillas depositadas en las costas del mediterráneo. Fuente: RTVE noticias

6. DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO

Una vez concluida la investigación y a partir de las propiedades ya conocidas de nuestro residuo, se buscó una aplicación. Este trabajo propone un nuevo producto aislante térmico para su colocación en paramentos verticales en el interior de los edificios.

Este nuevo aislante se fabricará en formato panel-manta, y sustituirá a los paneles de lana mineral usados en el interior de tabiquería o trasdosados de paneles de yeso laminado (cartón-yeso), también conocido como tabiquería seca.

En España, este sistema está siendo cada vez más utilizado estos últimos años, pero tradicionalmente no ha sido tan empleado en el sector de la construcción. Esto se debe al gran protagonismo del uso de la fábrica de ladrillo tanto para trasdosados interiores en las envolventes de los edificios como para particiones en el interior. En cambio, los tabiques de cartón-yeso están conformados por una estructura metálica ligera, que suele ser autoportante, a la que se fijan placas a ambos lados de la estructura mediante atornillado. En el interior, queda una cámara de aire que generalmente se rellena con placas o mantas de lana mineral, dándole a la tabiquería propiedades acústicas y térmicas [Fig. 32]. Como podemos ver en la figura 31, este sistema, al igual que la fábrica de ladrillo, se puede emplear para diferentes aplicaciones: trasdosados en envolventes térmicas; tabiques de separación, por ejemplo, entre viviendas; y tabiques de distribución interior.

Algunas de las ventajas que presenta este sistema frente a la fábrica de ladrillo tradicional son la rapidez de montaje al ser un sistema en seco, la ligereza o los pocos residuos generados en su colocación. Existen muchos fabricantes, como *Pladur*, *Knauf* o *Placo*, de estos paneles de yeso laminado a los que luego se le añadirá una lana mineral de otro fabricante.

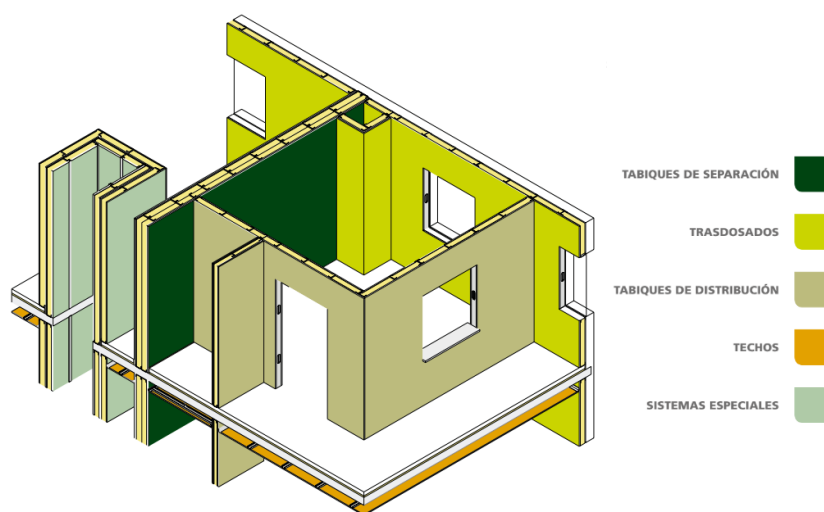


Fig. 31. Esquema del fabricante Pladur con las diferentes aplicaciones de sus sistemas. Fuente: Pladur, **SISTEMAS-PLADUR**, <https://www.pladur.es/es-es/sistemas>

Esta aplicación se pensó para los filtros de colillas a raíz del conocimiento de su buen comportamiento como aislante térmico y acústico y de su ligereza, asemejándose mucho a las propiedades características de las lanas minerales. Además, en concreto este sistema deja al aislamiento confinado en el interior, sin que tenga contacto con el ambiente interior del edificio ni con los usuarios, aspecto que se adecuaba a lo que buscamos, ya que estaremos utilizando un residuo y esto no sería conveniente.

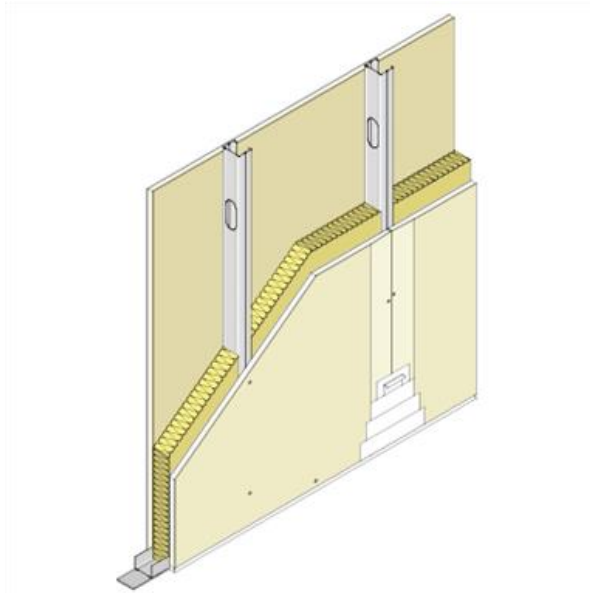


Fig. 32. Disposición de un tabique de yeso laminado. Representado en amarillo los paneles de lana mineral que rellenan la cámara conformada entre los canales metálicos. Fuente: Pladur, **Tabiques de distribución**, https://www.bimobject.com/es/pladur/product/pladur_3_tdstr_3_11/pladur

El panel que se propone estaría elaborado a base de filtros de colillas a granel contenidos en láminas geotextiles. Por lo tanto, nuestra siguiente investigación se dirigirá hacia esta nueva alternativa a los clásicos aislantes térmicos de lana mineral.

6.1. Las lanas minerales

Se han escogido las lanas minerales como material a sustituir y comparar porque es un producto muy similar al que se quiere desarrollar. Mientras que el nuestro estaría compuesto por fibras plásticas (debido al acetato de celulosa), este está compuesto por fibras minerales [Fig. 33] [Fig. 34 y 35].



Fig. 33. Filtro de cigarro deshilachado. Se pueden apreciar las fibras de acetato de celulosa. Fuente: Elaboración propia

Las lanas minerales pueden ser de dos tipos: lana de vidrio, fabricada con vidrio reciclado o arena, o lana de roca, fabricada con rocas volcánicas; en definitiva, materias primas presentes en la tierra en grandes cantidades.



Fig. 34 y 35. Fibras de lana de vidrio y lana de roca. Fuente: Elaboración propia

Este producto tiene una estructura interior que contiene aire seco y estable, haciendo de obstáculo a las transferencias de calor debido a su baja conductividad térmica. Su estructura multidireccional y elástica también frena el movimiento de las partículas del aire, disipando la energía sonora. Por ello, es tan buen aislante acústico y térmico. Además, es un material no combustible que no genera gases ni humos tóxicos al entrar en contacto con el fuego. Por todo esto, las lanas minerales son productos excepcionales para la construcción. Debemos comentar que los filtros, al tener una estructura tan parecida a la de las lanas, se espera que tengan comportamientos semejantes.



Fig. 36. Colocación de paneles de lana mineral en la estructura metálica. Fuente: DecorexPro, <https://es.decorexpro.com/uteplenie/naruzhnoe/isover-dlya-fasada/>

Su proceso de producción es el siguiente, las materias primas se introducen en un horno de fusión a temperaturas muy altas (1300-1500°C). El producto que sale de este horno se moldea en fibras, añadiendo resinas. Finalmente, la lana mineral se cura y endurece en un horno a temperaturas alrededor de los 200°C. Según el uso y formato final la lana tendrá una estructura y densidad diferente. Por último, se corta con la forma y tamaño deseado y se empaqueta. Una de las ventajas de la lana mineral es su alta compresibilidad, pudiendo reducir su volumen durante el transporte para que sea menos contaminante y costoso.

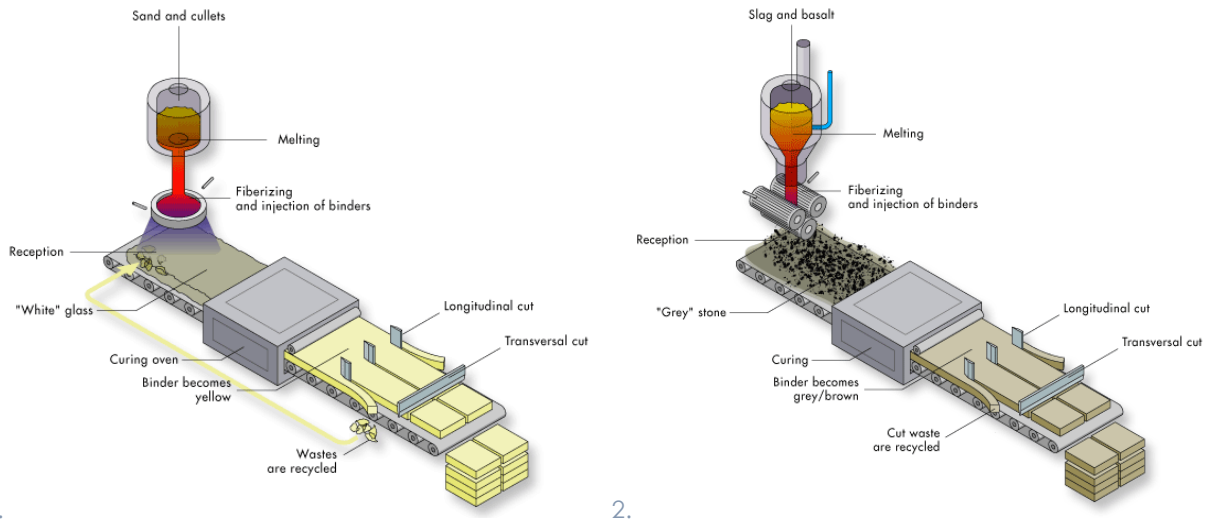


Fig 37 y 38. Producción de la lana de vidrio (1.) y la lana de roca (2.). Fuente: EURIMA (European Insulation Manufacturers Association), **Production process**, <https://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html>

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la lana mineral en comparación con otros aislantes térmicos, como el XPS o EPS fabricados con materiales plásticos, tiene un bajo impacto medioambiental, puesto que produce "bajos" niveles de gases contaminantes y consume pocos litros de agua en su fabricación. Igualmente, tras unos meses de su utilización el balance de energía consumida y dióxido de carbono emitido pasan a ser positivos, al reducir en grandes niveles los gastos en calefacción y aire acondicionado en los edificios. Además, cuando estos paneles se convierten en residuo, es decir al final de su vida útil, suele reciclarse todo el material.

De la misma manera, el producto escogido para la comparación en el apartado siguiente (7. *Aplicación del producto a un caso práctico*) es parte de una línea de productos más ecoeficientes del fabricante ISOVER que tienen el objetivo de utilizar más material reciclado, de consumir un porcentaje mayor de energías renovables y de reducir el consumo del agua en su producción, y que además, tiene unas altas prestaciones térmicas lo que en su vida útil hará reducir la demanda energética de los edificios en los que se instala, reduciendo el impacto ambiental de todo su ciclo de vida como ya hemos dicho antes. Todo esto, se verá reflejado luego cuando contabilicemos los impactos medioambientales del producto de lana mineral y lo comparemos con el nuestro, puesto que no habrá tanta diferencia como si lo hubiésemos comparado con otros materiales aislantes más contaminantes.

6.2. Caracterización del producto propuesto

Como ya hemos mencionado antes, nuestro producto también se elaboraría en formato panel, pero con una configuración diferente. Se propone confeccionar con láminas geotextiles una especie de cilindros en los que se puedan introducir los filtros. Estos cilindros irán cosidos unos a otros hasta formar paneles del ancho necesario para que queden encajados en los canales metálicos, al igual que las lanas.

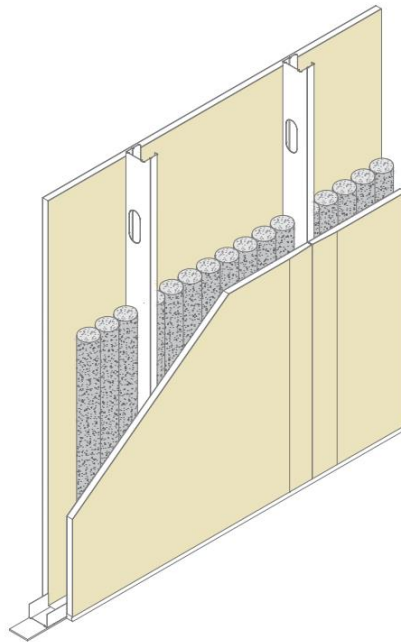


Fig. 39. Disposición de los paneles propuestos a base de filtros de cigarrillos en el interior de tabiquería de yeso laminado. Fuente: Elaboración propia

La separación de los canales metálicos, que darán el ancho de nuestros paneles, dependerán de la altura a salvar por los tabiques y de su espesor. Estos suelen colocarse a 400mm o 600mm, por lo que nuestros paneles podrían comercializarse en ambos anchos, de la misma manera que lo hacen las placas de lana mineral. Con respecto al largo, los paneles de ISOVER son de 1,35cm, para luego, en su instalación adaptarse a cada altura; se colocan uno encima de otro cortando el material sobrante. Sin embargo, en nuestro caso esto no sería posible. Los cilindros contenedores de los filtros vendrían confeccionados de fábrica y no se podrían cortar. Por lo que deberían fabricarse en largos diferentes para adaptarse a la altura libre de las plantas, como por ejemplo 2,50, 2,60 o 2,70m. El espesor de los paneles será la característica más importante, ya que, a mayor espesor del material, mayor aislamiento térmico se conseguirá. El espesor lo dará el diámetro de estos cilindros.

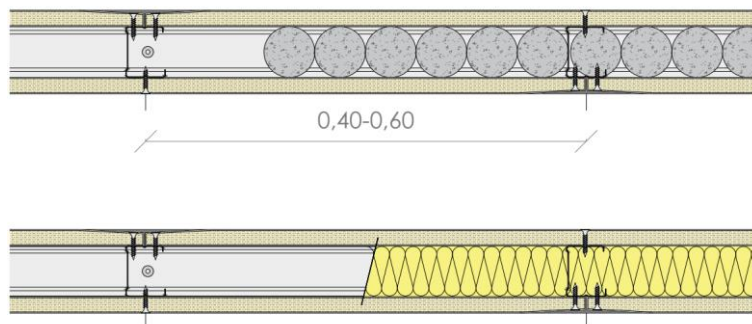


Fig. 40. Representación en planta de la disposición de nuestros paneles frente a los paneles de lana mineral. Cotado en metros. Fuente: Elaboración propia

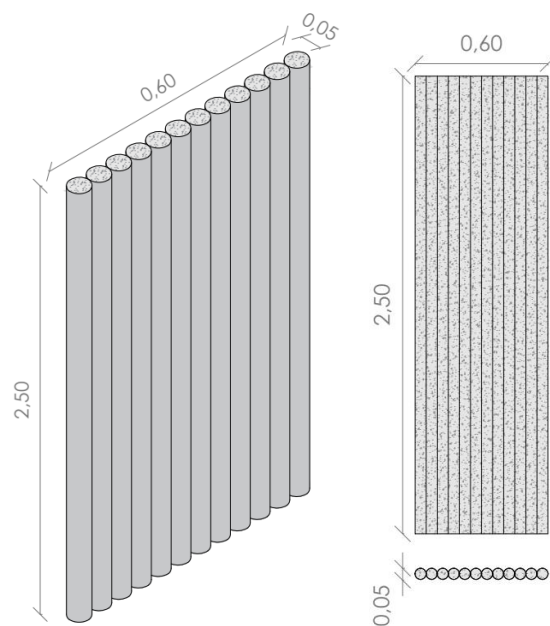


Fig. 41. Panel propuesto de 0,60x2,50x0,05 m. Cotas en metros. Fuente: Elaboración propia

Recogida de colillas

Los filtros que se usarían para fabricar este producto serán obtenidos de los residuos depositados en el medio ambiente. Aunque se podrían obtener mediante recolecciones manuales, como en las grandes campañas anteriormente mencionadas de recogidas de residuos en playas [46] [47], este procedimiento es muy laborioso y lento. Por lo tanto, se podrían disponer en la vía pública y en los locales, como bares o restaurantes, unas papeleras especiales para depositar las colillas y luego ser reutilizadas. Esto sería una iniciativa a estudiar que podría ser impulsada por los gobiernos o por los futuros fabricantes de este producto. Igualmente, también se reutilizarían las colillas que sí acaban en los vertederos, ya que actualmente son incineradas, produciendo grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

Tratamiento de limpieza

En primer lugar, a las colillas se les extraerá el filtro, separándolas manualmente o por medios mecánicos del resto de tabaco y cenizas que puedan contener. Luego, se ha estudiado una posible limpieza de los filtros mediante enjuagues con agua, incluso una desinfección como realizan algunas investigaciones. No obstante, al final se ha optado por dejar los filtros sin enjuagar, puesto que dicha acción en la futura producción de los paneles consumiría grandes cantidades de agua, y lo que es peor, causaría su contaminación debido a la alta toxicidad de este residuo. En este caso, el no limpiar los filtros no conllevaría ningún inconveniente ya que quedarían confinados en el interior de las placas del sistema y no entrarían en contacto con el ambiente interior de los edificios.



Fig. 42. Separado manual de restos de tabaco y cenizas. Fuente: C. Rojas Hernández, P. Guía, and L. Lares López, "Filterm: Revestimiento de interior a partir de colillas de cigarro", 2019.

Propiedades

En nuestra revisión de la bibliografía existente, solo encontramos una investigación que propusiese el uso de colillas de cigarros como aislamiento térmico [62]. Por otra parte, sí que se encontró diversos trabajos que estudiaran posibles aislantes térmicos a base de materiales reciclados como fibras textiles o compuestos plásticos [76].

Este estudio [62], aunque desarrolla un producto final diferente, paneles semirrígidos conformados con un 70% de filtros troceados, y un 20% de PVAc y 10% de maíz como aglutinantes, nos servirá como referencia en el desarrollo de la investigación. Al no haber realizado ensayos de ningún tipo, la caracterización del nuevo producto se hará mediante referencias e hipótesis. La densidad y conductividad térmica son las propiedades principales que definirán a nuestro producto.

La **densidad** de nuestros paneles es una propiedad que necesitamos definir ya que nos dará el peso de los paneles y la cantidad de filtros empleados en ellos. Además, es una característica importante, puesto que de manera general en los aislantes térmicos a menor densidad, menor conductividad térmica (propiedad física que describe la capacidad de un material de transferir calor por conducción en W/m^*K), es decir, más aíslan.

La densidad de un filtro suele estar en torno a los 112 kg/m^3 , esto puede variar dependiendo de fabricante, dimensiones del filtro, etc. [21]. Al colocarlos a granel en el interior de los cilindros, esta densidad cambia debido a que se forman espacios vacíos con aire. La densidad se ha calculado contabilizando la cantidad de filtros que caben en 1 dm^3 , sabiendo previamente el peso de un filtro. Finalmente, se obtuvo una densidad en torno a los **60 kg/m^3** , valor bastante por encima al de las lanas minerales comercializadas que suelen tener entre **$20\text{-}30 \text{ kg/m}^3$** de densidad. Esto supondrá un cambio notable para la estructura de los edificios, ya que tendrá que soportar más cargas.



Fig. 43. Imagen de filtros a granel. Fuente: elaboración propia

Para obtener la **conductividad térmica** veremos los valores de otros productos y, a partir de ellos, se realizará una hipótesis del nuestro.

En la investigación previamente mencionada en la que se estudia la producción de un panel con filtros, se obtiene un valor de **$0,0257 \text{ W/mK}$** , valor incluso mejor que el de muchas lanas minerales. Sin embargo, no podremos tomar este valor para nuestro producto, puesto que el tratado de la materia prima no es igual y la configuración de los paneles es diferente.

Por otra parte, también tendremos en cuenta los valores dados por el *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Las lanas minerales estarán entre un **$0,031\text{-}0,050 \text{ W/mK}$** .

3.8 Aislantes

3.8.1 Aislantes térmicos

Material o producto	Aislantes térmicos			
	ρ kg / m ³	λ W / m-K	C_p J / kg-K	μ
Poliestireno Expandido (EPS)	-	0,039 ⁽¹⁾ - 0,029	-	20 -100
Poliestireno Expandido Elastificado (EEPS)	-	0,046 - 0,029	-	
Poliestireno Extruido (XPS)				
Expandido con dióxido de carbono CO ₂	-	0,039 - 0,033	-	100 - 220
Expandido con hidrofluorcarbonos HFC	-	0,039 - 0,029	-	100 - 220
Lana mineral (MW)	-	0,050 - 0,031	-	1
Espuma rígida de Poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR)				
Proyección con Hidrofluorcarbono HFC	30 - 60	0,028	-	60 - 150
Proyección con dióxido de carbono CO ₂ celda cerrada	40 - 60	0,035 - 0,032	-	100 - 150
Plancha con Hidrofluorcarbono HFC o Hidrocarburo (pentano) y revestimiento permeable a los gases.	-	0,030 - 0,027	-	60 - 150
Plancha con Hidrofluorcarbono HFC o Hidrocarburo (pentano) y revestimiento impermeable a los gases.	-	0,025 - 0,024	-	∞
Inyección en tabiquería con dióxido de carbono CO ₂	15 - 20	0,040	-	≤ 20

Tabla 1. Valores térmicos de los aislantes según CTE. Fuente: Código Técnico de la Edificación, “*Catálogo de elementos constructivos*”, 2019

Por último, también tendremos como referencia el producto comercializado específico que hemos escogido para la comparación del apartado siguiente. Se trata de un panel semirrígido de lana de vidrio del fabricante ISOVER, el modelo arena APTA, del que se hablará más adelante. Estos paneles tienen una conductividad térmica de **0,034 W/mK**.

Por tanto, con estos valores como antecedentes, se ha decidido caracterizar nuestro producto a base de filtros con una conductividad de **0,040 W/mK**, un valor algo más desfavorable que los anteriores, pero que se ha escogido para estar del lado de la seguridad.

A parte de estas propiedades, sería interesante también el poder calcular su aislamiento o absorción acústica y reacción al fuego, exigencias con las que deberá cumplir este producto. No obstante, se prevé que tendría un buen comportamiento frente a estas exigencias.

Como resumen de la caracterización de nuestro producto, hemos elaborado unas tablas comparativas entre el panel del producto propuesto y el del fabricante ISOVER [Tabla 2].

Panel lana mineral, modelo arena APTA (ISOVER) 0,60x2,70x0,05 (e=50mm)

Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Peso (kg)	Conductividad térmica λ (W/mK)	Reacción al fuego (Euroclase)	Coefficiente de absorción acústica AW, (aw)	Absorción de agua a corto plazo (kg/m2)
0,0810	20	1,62	0,34	A1	0,7	< 1

Panel propuesto a base de filtros 0,60x2,70x0,05 (e=50mm)

Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Peso (kg)	Conductividad térmica λ (W/mK)	Reacción al fuego (Euroclase)	Coefficiente de absorción acústica AW, (aw)	Absorción de agua a corto plazo (kg/m2)	Filtros utilizados
0,0636	60	3,82	0,40	x	x	x	73.839,66

Tabla 2. Comparación entre el panel de lana mineral y el panel propuesto. Habría que señalar que el peso del panel a base de filtros no contiene el peso de la lámina geotextil, no se cree que esto cause grandes variaciones, ya que son muy ligeras. Fuente: Elaboración propia

Producción

En comparación con las lanas minerales, el proceso de producción sería más sencillo y menos contaminante. Mientras que con las lanas habría que conseguir y procesar las materias primas, con nuestro producto solo habría que conformar y coser los cilindros a base de láminas geotextiles y

verter las colillas a granel en su interior. Además, se conoce que, en el ciclo de vida de las lanas minerales, la fase que más contamina es la elaboración del producto (Suministro de materias primas, Transporte a la fábrica y Fabricación). El coste y consumo de energía disminuiría, a lo que se suma también la reducción de producción de nuevos materiales, en este caso de lana de roca o vidrio.

En cambio, el embalaje y transporte de ambos productos, como su posterior proceso de instalación, sería similar.

Por otra parte, las láminas geotextiles comerciales suelen ser de poliéster o polipropileno, productos sintéticos elaborados con plásticos, pero también los hay realizados con fibra de vidrio, algo menos contaminantes. Estos velos normalmente se utilizan como capas de filtración, drenaje, separación o refuerzo. El encontrar un material más ecoeficiente para su elaboración sería una cuestión a estudiar y concretar en el futuro desarrollo del producto.

Normativa

El nuevo producto deberá cumplir y tener en cuenta una serie de normativas para garantizar la seguridad y el confort de los usuarios. Esta normativa será:

CTE DB HE. Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Ahorro de energía.

CTE DB SE AE. Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación.

CTE DB SI. Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Seguridad en caso de incendios.

CTE DB HR. Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Protección frente al ruido.

CTE DB HS. Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Salubridad.

UNE 92202:1989. Materiales aislantes térmicos. Determinación de la conductividad térmica. Técnica del medidor de flujo de calor.

UNE-EN 1602:2013. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la densidad aparente.

UNE-EN ISO 12354-1:2018. 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.

UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

UNE-EN ISO 29767:2020. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a corto plazo por inmersión.



Colillas abandonadas en la naturaleza. Fuente: Proyecto LIBERA

7. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO

El producto propuesto se verá implementado en un proyecto arquitectónico real, Así, podremos comprobar y contabilizar el impacto de sustituir un aislante térmico convencional (lana mineral) por el aislante compuesto por filtros.

El edificio propuesto se trata de un bloque de vivienda plurifamiliar ubicado en Málaga, en el borde marítimo. El proyecto, realizado en 2018, pertenece al estudio Muñoz Miranda Architects. La edificación contiene 73 viviendas distribuidas en siete plantas, además de la planta baja y dos de sótano. Las tipologías son variadas ya que la distribución de cada planta es diferente. El edificio tiene una apariencia masiva, concepto reforzado con el material de fachada, que se trata de paneles de hormigón prefabricado aligerado (GRC).

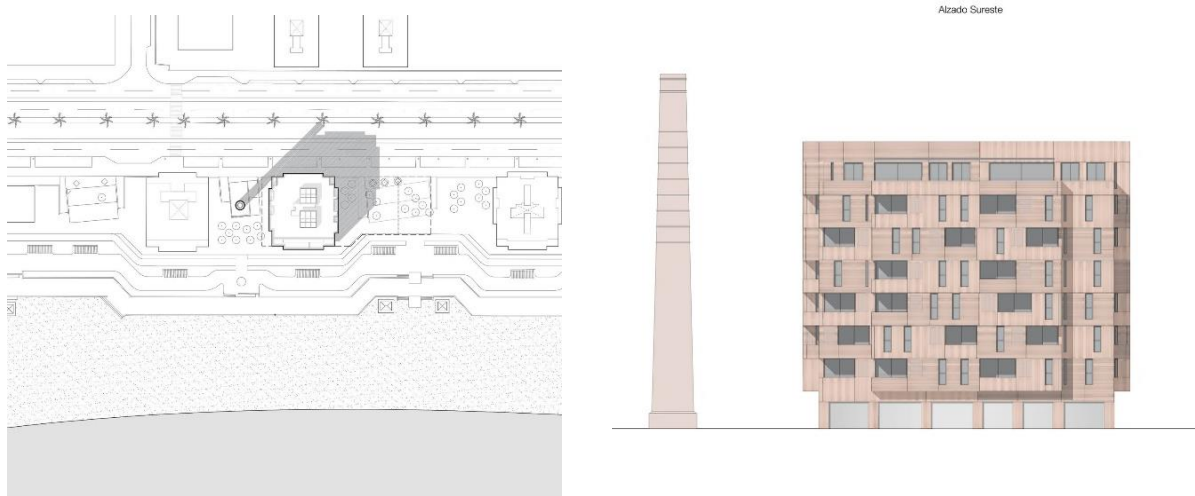


Fig 44 y 45. Plano de situación y Alzado suroeste del edificio. Fuente: Tectónica, Edificio de viviendas en Málaga de Muñoz Miranda, <https://tectonica.archi/projects/73-viviendas-para-alquiler-de-munoz-miranda/>

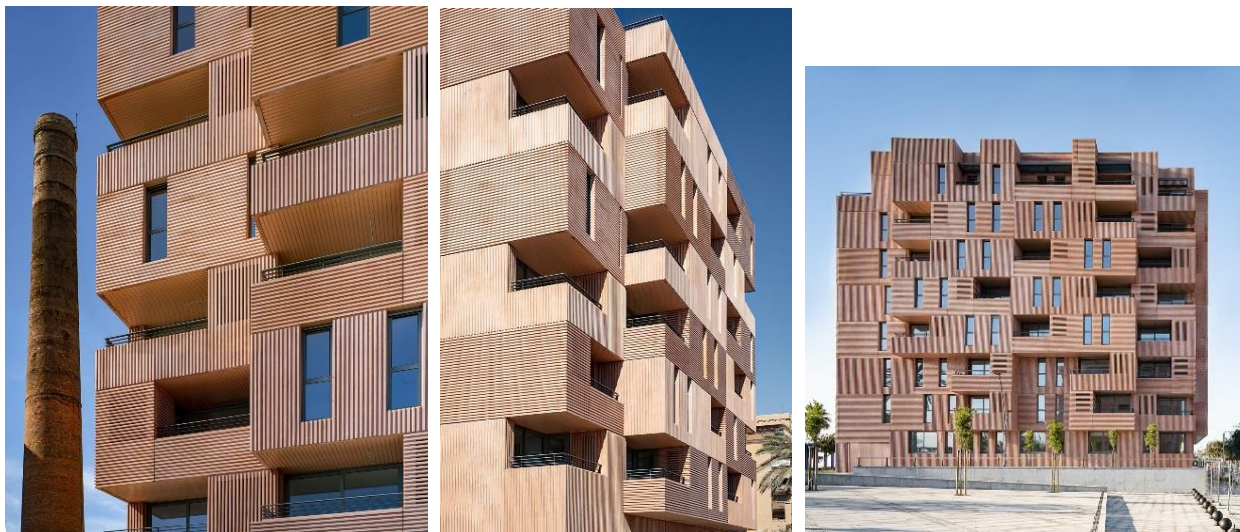


Fig 46, 47 y 48. Vistas exteriores del edificio. Fuente: Tectónica, Edificio de viviendas en Málaga de Muñoz Miranda, <https://tectonica.archi/projects/73-viviendas-para-alquiler-de-munoz-miranda/>

Se propone sustituir el aislamiento térmico empleado en el interior de los tabiques de yeso laminado, tipo Knauf, Pladur o similar, utilizando el producto estudiado. Este sistema tendrá diferentes funciones en el proyecto:

1. para trasdosado autoportante en fachada.
2. para tabiquería de separación entre viviendas.
3. para tabiquería de distribución en el interior de las viviendas.

Las tres aplicaciones empleadas en el edificio pueden verse en los esquemas de la Fig. 49, 50 y 51.

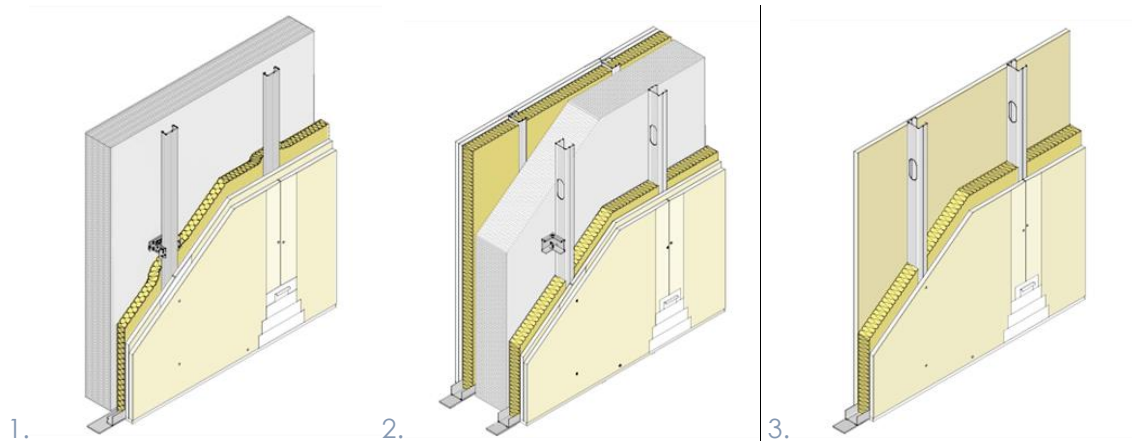


Fig. 49, 50 y 51. Esquema de trasdosado en fachada autoportante (1), Esquema de tabique de separación con muro soporte (2) y Esquema de tabique de distribución (3) del fabricante Pladur. Fuente: Pladur, SISTEMAS-PLADUR, <https://www.pladur.es/es-es/sistemas>

Para ello, primero, haremos un estudio y medición de la cantidad de aislamiento de lana mineral empleado en la ubicación original del proyecto, Málaga (que es zona "cálida" según el CTE) para que los muros de la envolvente cumplan el documento *DB HE Ahorro de Energía* del CTE. Luego, haremos lo mismo sustituyendo el aislante inicial por el propuesto realizado con filtros, intentando lograr resultados similares. Posteriormente, ubicaremos el edificio en Burgos (zona "fría" según el CTE) y volveremos a realizar la medición con la lana mineral para cumplir con los valores del DB HE. Finalmente, volveremos a sustituir la lana por el producto propuesto. Con todo esto, se busca demostrar la adaptabilidad y validez de nuestro material en todo tipo de zonas climáticas, además de comparar resultados y cantidades entre un producto real comercializado y nuestro producto.

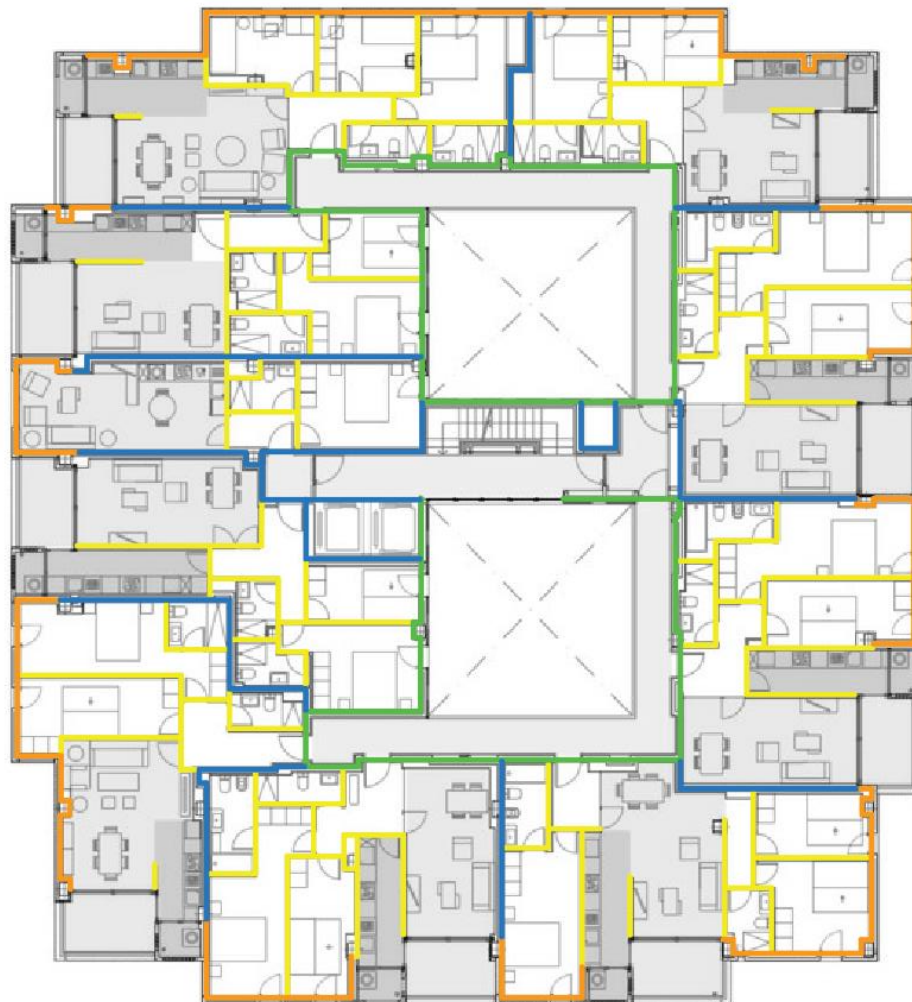
Podemos prever que en las mediciones solo habrá variaciones de cantidad en los aislamientos térmicos empleados en la envolvente, es decir, en el trasdosado autoportante en fachada, puesto que las tabiquerías interiores (separación entre viviendas y la distribución interior) no necesitan cumplir con exigencias térmicas. Por otra parte, en la medición obtendremos valores relacionados no solo con las cantidades totales de lana mineral utilizada, sino también el precio total o los impactos ambientales del uso de dicho producto.

El producto aislante escogido se trata de paneles semirrígidos de lana mineral del fabricante ISOVER, en concreto, el modelo arena APTA. Este ha sido escogido debido es a que es válido para:

- Aislamiento térmico y acústico en fachadas mediante trasdosado o en cámara.
- Tabiques divisorios interiores verticales, especialmente de tabiquería seca con estructura metálica y placa de yeso laminado.

7.1. Medición con paneles de lana mineral en Málaga

Como ya hemos comentado, los paneles semirrígidos de lana mineral introducidos en los tabiques de yeso laminado serán utilizados para tres funciones en el edificio. En la Fig. 52 podemos ver la distribución en planta de las diferentes aplicaciones. (Cada planta del bloque presenta una distribución diferente, se ha tomado como planta tipo la quinta ya que es la única proporcionada por el estudio. No se cree que esto tenga una repercusión importante en la medición total).



Paseo Marítimo

Fig. 52. Distribución de aplicaciones en la planta quinta del edificio. Fuente: Elaboración propia

En la imagen superior se representan los trasdosados de fachada sombreados en naranja y verde, esto se debe a que habrá dos tipos de soluciones constructivas diferentes; en azul, los tabiques de separación entre viviendas; y en amarillo, los tabiques de distribución interiores.

Envolvente - Trasdoso autoportante

Las soluciones constructivas de los muros exteriores deberán cumplir con el *DB HE Ahorro de energía* del CTE, en concreto, con la *Sección 1 Condiciones para el control de la demanda energética*. En ella se establece un límite de transmitancia térmica para los diferentes elementos de la envolvente térmica del edificio según la zona climática de invierno donde se encuentre el edificio.

A través de la tabla 3.1.1-HE1 [Tabla 3] obtendremos el valor límite para nuestros muros.

Ubicación original: Málaga (Málaga) España

Zona climática: A3

La transmitancia térmica (U) de cada elemento perteneciente a la envolvente térmica no superará el valor límite (U_{lim}) de la tabla 3.1.1.a-HE1:

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m²K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MI})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%				5,7		

Tabla 3. Tabla 3.1.1.a-HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m²K] del DB HE 1. Fuente: Código Técnico de la Edificación, “Documento Básico HE Ahorro de energía”, 2019

Los muros de la envolvente deberán tener una transmitancia (U) menor o igual a **0,70 W/m²K**.

En el proyecto, nos encontramos con dos tipos de soluciones diferentes para los muros de fachada, representadas en la planta del edificio en la Fig. 52.

-Tipo 1: la de fachada, que da al exterior, resuelta principalmente con paneles de GRC. Detalle constructivo en Fig. 53.

-Tipo 2: la que da a los patios interiores, resuelta con fábrica de ladrillo. Detalle constructivo en Fig. 54.

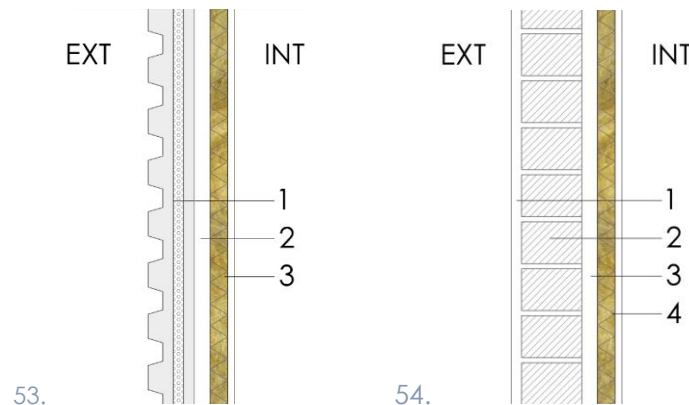


Fig 53 y 54. Detalles de envolvente Tipo 1 y Tipo 2 (secciones verticales) con lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, calcularemos la transmitancia térmica de cada uno de los tipos de las soluciones para luego compararla con la transmitancia de las fachadas con el aislante propuesto.

Los valores de conductividad térmica han sido obtenidos de *Catálogo de elementos constructivos del CTE*, a excepción de los paneles de lana mineral arena, que se ha escogido un producto concreto del fabricante ISOVER. El espesor del panel de lana mineral será de 34 mm porque es el mínimo producido por el fabricante.

Transmitancia Evolvente Tipo 1:

Ext.		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)	
	Rse			0,04	
1	Panel sándwich prefabricado de GRC aligerado con EPS	Lámina GRC 20 mm	0,020	0,800	0,025
		Polietileno exp. EPS 20 mm	0,020	0,030	0,667
		Lámina GRC 20 mm	0,020	0,800	0,025
2	Cámara de aire no ventilada vertical	0,020		0,150	
3	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Panel semirrígido de lana mineral (MW) arena ISOVER o similar, no hidrófilo	0,034	0,034	1,000
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 \leq p \leq 900 kg/m3)	0,013	0,250	0,050
	Rsi			0,13	
Int.					
TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)				RT= 2,087	
				U= 0,479	

Tabla 4. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la envolvente Tipo 1 con lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Transmitancia Envolvente Tipo 2:

Ext.		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)	
	Rse			0,04	
1	Enfoscado de mortero de cemento (densidad 1450 \leq p \leq 1600 kg/m3)	0,020	0,800	0,025	
2	Ladrillo cerámico perforado de 1/2 pie (densidad 780 kg/m3)	0,115	0,350	0,329	
3	Cámara de aire no ventilada vertical 3 cm	0,020		0,150	
4	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Panel semirrígido de lana mineral (MW) arena ISOVER o similar, no hidrófilo	0,034	0,034	1,000
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 \leq p \leq 900 kg/m3)	0,013	0,250	0,050
	Rsi			0,13	
Int.					
TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)				RT= 1,724	
				U= 0,580	

Tabla 5. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la envolvente Tipo 2 con lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

División entre viviendas – Tabique de separación con muro soporte

En este caso, el muro soporte se trata de una fábrica de ladrillo perforado de 1/2 pie (11,5 cm). A cada lado de la fábrica se coloca un tabique de yeso laminado.

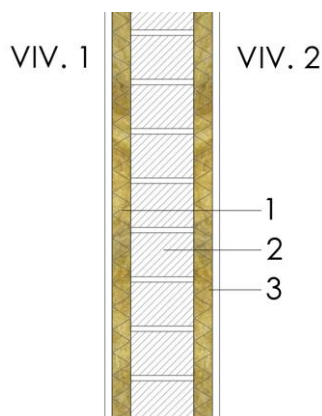


Fig 55. Detalle de tabiquería de división entre viviendas (sección vertical) con lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Esta solución interior no tendrá una función térmica importante, pero sí unos requerimientos de aislamiento acústico que prevemos que cumplirá sin problemas.

Transmitancia de la tabiquería de división entre viviendas:

Viv. 1		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)
Rsi				0,13
1	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 \leq p \leq 900 kg/m3)	0,013	0,250
		Panel semirrígido de lana mineral (MW) arena ISOVER o similar, no hidrófilo	0,034	0,034
2	Ladrillo cerámico perforado de 1/2 pie (densidad 780 kg/m3)	0,115	0,350	0,329
3	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Panel semirrígido de lana mineral (MW) arena ISOVER o similar, no hidrófilo	0,034	0,034
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 \leq p \leq 900 kg/m3)	0,013	0,250
Rsi				0,13
Viv. 2				
TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)				RT= 2,689 U= 0,372

Tabla 6. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la tabiquería de división entre viviendas con lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Distribución interior de vivienda - Tabique de distribución

Los tabiques de distribución interior no tendrán que cumplir ningún requisito térmico, pero al igual que la aplicación interior sí unos valores acústicos. Aun así, se ha calculado también la transmitancia para luego compararla con el valor obtenido sustituyendo la lana mineral por producto propuesto.

En este caso, se ha optado por un panel de lana mineral de 5 cm de espesor, ya que la tabiquería se encuentra exenta y necesita mayor espesor.

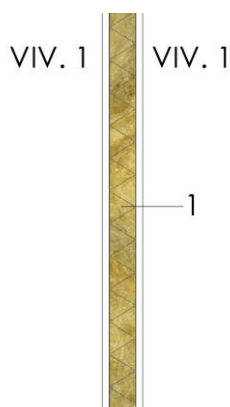


Fig 56. Detalle de tabiquería de distribución interior en las viviendas (sección vertical) con lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Transmitancia de la tabiquería de distribución interior en las viviendas:

Viv. 1		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)
Rsi				0,13
	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 \leq p \leq 900 kg/m3)	0,025	0,250
		Panel semirrígido de lana mineral (MW) arena ISOVER o similar, no hidrófilo	0,050	0,034
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 \leq p \leq 900 kg/m3)	0,025	0,250
Rsi				0,13
Viv. 1				
TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)				RT= 1,931 U= 0,518

Tabla 7. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la tabiquería de la distribución interior con lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

MEDICIÓN

Calcularemos la superficie total utilizada de lana mineral en todo el edificio. Se tomará como planta tipo la quinta planta ya que es la única a la que tenemos acceso, sin embargo, no se cree que esto tenga una repercusión importante en el resultado final. Los metros correspondientes a la tabiquería de división entre viviendas serán los reales multiplicados por dos, ya que el tabique es doble.

Envolvente Tipo 1 (e=34mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
100,50	703,50	1.899,45
Envolvente Tipo 2 (e=34mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
81,39	569,73	1.538,27
Tabiquería división entre viviendas (e=34mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
197,96	1.385,72	3.741,44
Tabiquería distribución interior (e=50mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
236,29	1.654,03	4.465,88

m2= 11.645,05

Tabla 8. Superficie total utilizada de lana mineral en Málaga. La primera columna corresponde a los metros lineales por planta, mientras que, la segunda es el valor obtenido al multiplicar por las siete plantas de viviendas que tiene el edificio. La tercera columna se obtiene al multiplicar por los 2,70 m de altura que tiene cada planta. Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos la superficie total (m²), podremos calcular valores como el precio, el peso total del material, y otros valores de interés como la cantidad de residuos generados, la energía consumida, etc. Todos estos resultados se calcularán a partir de datos proporcionados por el fabricante ISOVER de este producto concreto. Al tener dos paneles de diferente espesor, los cálculos se tendrán que hacer por separado.

Panel	m2	Densidad (kg/m ³)	(kg/m ²)	Peso (kg)	Precio (€/m ²)	Precio (€)
e=34 mm	7.179,16	20,00	0,68	4.881,83	2,95	21.178,53
e=50 mm	4.465,88	20,00	1,00	4.465,88	3,65	16.300,46
				Peso T= 9.347,71		Precio T= 37.479,00

Tabla 9. Peso y coste total de la lana mineral utilizada en Málaga. Fuente: Elaboración propia

El peso total de lana mineral necesitada es 9.347,71 kg y el coste final asciende a 37.479,00 euros. Estos valores nos ayudarán más tarde a obtener conclusiones.

El impacto del uso de este material se puede apreciar a través del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Los indicadores de impacto calculados serán: calentamiento global, consumo de recursos no renovables, energía y agua, y producción de residuos. Obtendremos los datos de la *Declaración Ambiental del Producto (ARENA APTA)* según la Norma Europea EN 15804:2012+A1:2014 y conforme al Estándar Internacional ISO 14025.

Como podemos ver en la Fig. 57, la etapa A1-A3, que corresponde a la elaboración del producto (Suministro de materias primas, Transporte a la fábrica y Fabricación), es la que más impactos negativos tiene en el medio ambiente. Para los cálculos de los parámetros calentamiento global y consumos de energía no renovable, energía total y agua, cogeremos solo los valores de la etapa A1-A3, ya que las fases siguientes serán similares a las de nuestro producto, y, por tanto, la contaminación será similar.

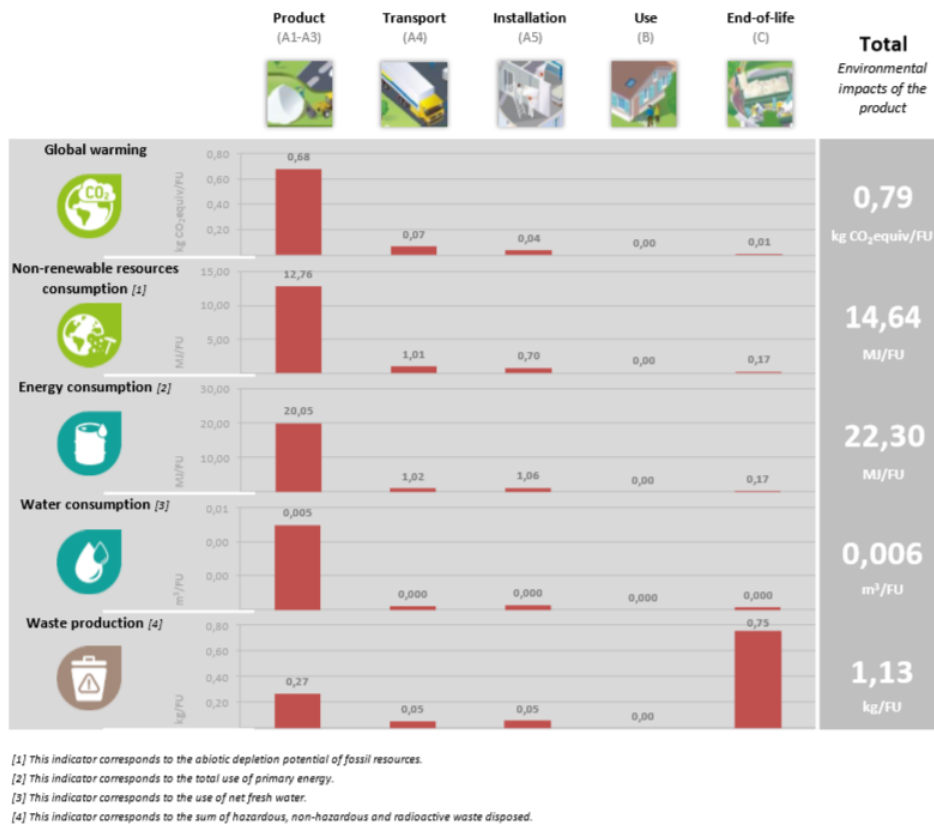


Fig. 57. Interpretación del ACV de los paneles semirrígidos de lana mineral arena APTA. Fuente: Isover, "Declaración Ambiental del Producto (ARENA APTA) según la Norma Europea EN 15804:2012+A1:2014 y conforme al Estándar Internacional ISO 14025", 2019

Parámetro	Valor (34 mm)	Factor de multiplicación	Valor (50 mm)	m2	TOTAL
Calentamiento Global (kg CO ₂ equiv/FU)	0,68	0,00	0,00	7.179,16	4.881,83
	0,68	1,47	1,00	4.465,88	4.464,09
Total (kg*CO₂equiv) =					9.345,92
Consumo de recursos no renovables (MJ/FU)	12,76	0,00	0,00	7.179,16	91.606,08
	12,76	1,47	18,76	4.465,88	83.767,40
Total (MJ) =					175.373,49
Consumo de energía total (MJ/FU)	20,05	0,00	0,00	7.179,16	143.942,16
	20,05	1,47	29,47	4.465,88	131.625,11
Total (MJ) =					275.567,27
Consumo de agua (m ³ /FU)	0,005	0,00	0,00	7.179,16	35,90
	0,005	1,47	0,01	4.465,88	32,82
Total (m3) =					68,72
Producción de residuos (kg/FU)	1,13	0,00	0,00	7.179,16	8.112,45
	1,13	1,47	1,66	4.465,88	7.418,27
Total (kg) =					15.530,72

*FU= 1m2 de panel e=34mm

Tabla 10. Impacto del Ciclo de Vida de los paneles semirrígidos de lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Con la Declaración Ambiental del Producto también hemos podido calcular la cantidad de embalaje utilizado para la distribución y transporte, que se reduce a plástico de polietileno y madera para los palés.

Material	Valor (34 mm) (g/m ²)	Factor de multiplicación	Valor (50 mm) (g/m ²)	m ² totales	kg totales
Poliétileno	15,80	0,00	0,00	7.179,16	113,43
	15,80	1,47	23,23	4.465,88	103,72
				Total (kg) =	217,16
Madera palé	42,13	0,00	0,00	7.179,16	302,46
	42,13	1,47	61,93	4.465,88	276,58
				Total (kg) =	579,03

Tabla 11. Peso de los residuos generados en el embalaje de los paneles semirrígidos de lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10, podemos ver como la mayor parte del consumo de energía se trata de energía procedente de recursos no renovables. Se consumen en total 275.567,27 megajulios de energía a lo largo de la vida de esta cantidad de material, siendo 175.373,49 megajulios procedentes de energías no renovables. Otro de los datos obtenidos más significativo son los 15.530,72 kg de residuos producidos, de los cuales 9.347,71 kg son del propio material. Esto se debe a que el 100% de la lana mineral se deposita en vertedero al final de su vida útil.

Por otra parte, el equivalente de dióxido de carbono es una medida en kilogramos de la huella de carbono. La huella de carbono engloba a la emisión de todos los gases de efecto invernadero, que es medida por su equivalencia en dióxido de carbono, ya que de todos es el más conocido y relevante. Por tanto, 1 kgCO₂equiv significa un volumen de emisión de gases equivalentes a un kilogramo de CO₂. Lo cual significa que la lana mineral instalada en este edificio produciría más de 9 toneladas de dióxido de carbono en su proceso de fabricación.

7.2. Medición con paneles propuestos en Málaga

Las aplicaciones del aislante térmico constituido por filtros serán las mismas que las antes comentadas. El cambio se producirá al intentar lograr valores de transmitancia térmica similares en los muros de la envolvente. Debido al aumento de la conductividad del nuevo aislamiento (de 0,034 a 0,040 W/mK), el espesor deberá ser mayor.

Envolvente - Trasdoso autoportante

En este caso, primero se calculará la transmitancia para poder definir la solución constructiva. Los muros de la envolvente deberán tener una transmitancia (U) menor o igual a **0,70 W/m²K**.

Transmitancia Evolvente Tipo 1:

Ext.		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)	
	Rse			0,04	
1	Panel sándwich prefabricado de GRC aligerado con EPS	Lámina GRC 20 mm	0,020	0,800	0,025
		Poliétileno exp. EPS 20 mm	0,020	0,030	0,667
		Lámina GRC 20 mm	0,020	0,800	0,025
2	Cámara de aire no ventilada vertical 2 cm	0,020		0,150	
3	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Paneles del nuevo producto	0,040	0,040	1,000
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 ≤ ρ ≤ 900 kg/m ³)	0,013	0,250	0,050
	Rsi			0,13	
Int.				RT= 2,087	
				U= 0,479	

Tabla 12. Resistencia térmica total (RT) y transmitancia (U) de la envolvente Tipo 1 con aislamiento de filtros en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Transmitancia Evolvente Tipo 2:

Ext.		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)
	Rse			0,04
1	Enfoscado de mortero de cemento (densidad $1450 < \rho \leq 1600$ kg/m ³)	0,020	0,800	0,025
2	Ladrillo cerámico perforado de 1/2 pie (densidad 780 kg/m ³)	0,115	0,350	0,329
3	Cámara de aire no ventilada vertical 3 cm	0,020		0,150
4	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Paneles del nuevo producto	0,040	1,000
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad $750 \leq \rho \leq 900$ kg/m ³)	0,013	0,050
	Rsi			0,13
Int.				

RT= 1,724
U= 0,580

TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)

Tabla 13. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la envolvente Tipo 2 con aislamiento de filtros en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Los paneles de nuestro producto deberán tener un espesor de 40 mm para conseguir valores de transmitancia térmica similares a los de las soluciones con lana mineral. Teniendo en cuenta que los paneles anteriores tenían un espesor de 34 mm, sabemos que la superficie útil total del edificio se verá algo disminuida.

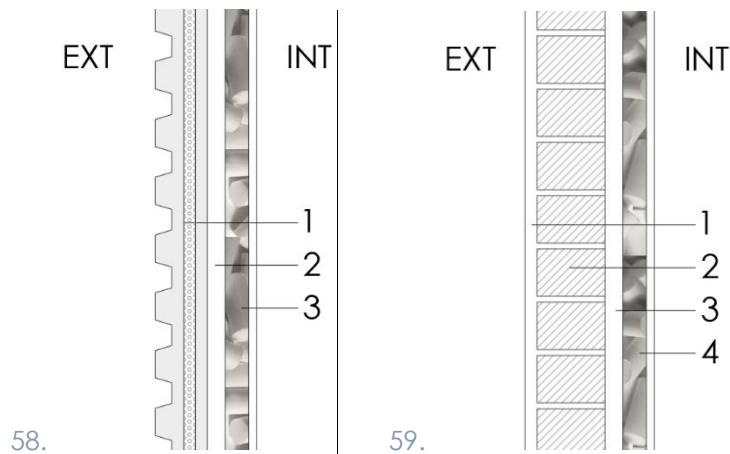


Fig 58 y 59. Detalles de envolvente Tipo 1 y Tipo 2 (secciones verticales) con aislamiento de filtros en Málaga. Fuente: Elaboración propia

División entre viviendas – Tabique de separación con muro soporte

Como ya hemos dicho, esta solución no tendrá que cumplir un valor de transmitancia térmica, pero, al igual que antes, también se calculará para comparar resultados.

Transmitancia de la tabiquería de división entre viviendas:

Viv. 1		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)
	Rsi			0,13
1	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Placa de yeso laminado (PYL) (densidad $750 \leq \rho \leq 900$ kg/m ³)	0,013	0,050
		Paneles del nuevo producto	0,040	1,000
2	Ladrillo cerámico perforado de 1/2 pie (densidad 780 kg/m ³)	0,115	0,350	0,329
3	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Paneles del nuevo producto	0,040	1,000
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad $750 \leq \rho \leq 900$ kg/m ³)	0,013	0,050
	Rsi			0,13
Viv. 2				

RT= 2,689
U= 0,372

TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)

Tabla 14. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la tabiquería de división entre viviendas con aislamiento de filtros en Málaga. Fuente: Elaboración propia

En esta aplicación podríamos haber elegido un aislamiento de 34 mm, al igual que con el panel de lana mineral. Sin embargo, se ha optado por un espesor de 40 mm para tener un panel igual al aplicado en la envolvente. De este modo, simplificaremos cálculos y el propio proceso de producción del producto, ya que fabricar este tipo de producto con 34 mm sería más complicado.

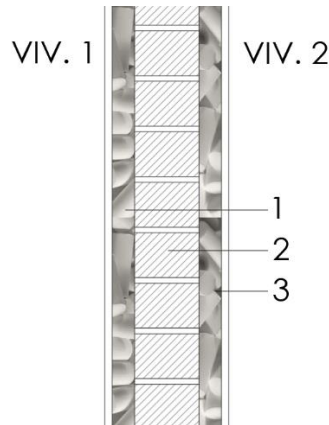


Fig 60. Detalle de tabiquería de división entre viviendas (sección vertical) con aislante de filtros en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Distribución interior de vivienda - Tabique de distribución

Esta solución tampoco necesita cumplir un valor, pero se calculará para comparar resultados.

Transmitancia de la tabiquería de distribución interior en las viviendas:

Viv. 1			e (m)	λ (w/mk)	R_n (m ² k/w)
	Rsi				0,13
	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Placa de yeso laminado (PYL) (densidad $750 \leq \rho \leq 900$ kg/m ³)	0,025	0,250	0,100
		Paneles del nuevo producto	0,050	0,040	1,250
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad $750 \leq \rho \leq 900$ kg/m ³)	0,025	0,250	0,100
	Rsi				0,13
Viv. 1	TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)				RT= 1,710
					U= 0,585

Tabla 15. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la tabiquería de la distribución interior con aislamiento de filtros en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Al igual que en con los paneles de lana mineral, el aislamiento será de 50 mm para dar mayor estabilidad al tabique.

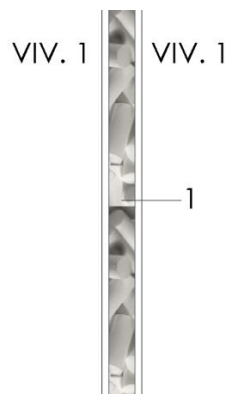


Fig 61. Detalle de tabiquería de distribución interior en las viviendas (sección vertical) con lana mineral en Málaga. Fuente: Elaboración propia

MEDICIÓN

La superficie total utilizada de nuestro producto será la misma que en el apartado anterior (7.1). El cambio se encuentra en los espesores utilizados.

Envolvente Tipo 1 (e=40mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
100,50	703,50	1.899,45
Envolvente Tipo 2 (e=40mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
81,39	569,73	1.538,27
Tabiquería división entre viviendas (e=40mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
197,96	1.385,72	3.741,44
Tabiquería distribución interior (e=50mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
236,29	1.654,03	4.465,88

m2= 11.645,05

Tabla 16. Superficie total utilizada del producto propuesto en Málaga. La primera columna corresponde a los metros lineales por planta, mientras que, la segunda es el valor obtenido al multiplicar por las siete plantas de viviendas que tiene el edificio. La tercera columna se obtiene al multiplicar por los 2,70 m de altura que tiene cada planta. Fuente: Elaboración propia

El cálculo del peso de este nuevo producto requerirá operaciones algo más complejas, ya que no son paneles rectangulares, sino formados por cilindros de los cuales tendremos que calcular su volumen.

Panel (e=40mm)					
Volumen 1 cilindro (m3)	Volumen 1m=25 cilindros (m3)	Densidad (kg/m3)	Peso por m lineal (kg)	m lineales totales	Peso total (kg)
0,0034	0,085	60	5,10	2.658,95	13.560,65
Panel (e=50mm)					
Volumen 1 cilindro (m3)	Volumen 1m=20 cilindros (m3)	Densidad (kg/m3)	Peso por m lineal (kg)	m lineales totales	Peso total (kg)
0,0053	0,106	60	6,36	1.654,03	10.519,63
Peso T=					24.080,28

Tabla. 17. Peso total del producto propuesto en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Al tener una densidad mucho mayor que la lana mineral escogida, el peso total será 24.080,28 kg, valor bastante mayor que en caso anterior, 9.347,71 kg.

Respecto al impacto ambiental, no podemos calcular los parámetros obtenidos para el producto de lana mineral pues no tenemos dichos datos. Sin embargo, sí que se pueden obtener la cantidad de colillas utilizadas y los litros de agua no contaminados al no acabar estas en los mares y océanos.

Peso total (kg)	Peso 1 colilla (kg)	Colillas totales	Litros agua contaminada/colilla	Litros agua no contaminados	Paquetes (20 unidades)
24.080,28	4,75x10 ⁻⁵	506.953.263,20	10,00	5.069.532.632,00	25.347.663,16

Tabla 18. Impacto del uso del producto propuesto en Málaga. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, obtenemos que más de 500 millones de colillas serían recicladas, evitando la contaminación de 5.000 millones de litros de agua.

7.3. Medición con paneles de lana mineral en Burgos

En este tercer apartado, propondremos ubicar el edificio en Burgos. Se ha elegido esta ciudad en concreto por encontrarse en la zona climática de invierno E, la más severa según el CTE.

Envolvente - Trasdoso autoportante

En este caso, las soluciones constructivas de los muros exteriores deberán cumplir con un valor más restrictivo, ya que se trata de una zona más fría. La resistencia térmica total deberá ser mayor para aislar más el interior del edificio.

A través de la tabla 3.1.1-HE1 [Tabla 3] obtendremos el valor límite para nuestros muros.

Ubicación: Burgos (Burgos) España

Zona climática: E1

La transmitancia térmica (U) de cada elemento perteneciente a la envolvente térmica no superará el valor límite (U_{lim}) de la tabla 3.1.1.a-HE1:

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m²K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	F
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U _s , U _M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U _c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U _T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U _{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U _H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	5,7					

Tabla 3. Tabla 3.1.1.a-HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m²K] del DB HE 1. Fuente: Código Técnico de la Edificación, "Documento Básico HE Ahorro de energía", 2019

Los muros de la envolvente deberán tener una transmitancia (U) menor o igual a **0,37 W/m²K**. Por tanto, deberá colocarse un mayor aislamiento térmico.

Transmitancia Evolvente Tipo 1:

Ext.		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m²k/w)	
	Rse			0,04	
1	Panel sándwich prefabricado de GRC aligerado con EPS	Lámina GRC 20 mm	0,020	0,800	0,025
		Polietireno exp. EPS 20 mm	0,020	0,030	0,667
		Lámina GRC 20 mm	0,020	0,800	0,025
2	Cámara de aire no ventilada vertical 2 cm	0,020		0,150	
3	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Panel semirrígido de lana mineral (MW) arena ISOVER o similar, no hidrófilo	0,060	0,034	1,765
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 ≤ ρ ≤ 900 kg/m³)	0,013	0,250	0,050
	Rsi			0,13	
Int.					
				RT=	2,851
				U=	0,351

Tabla 19. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la envolvente Tipo 1 con lana mineral en Burgos. Fuente: Elaboración propia

Transmitancia Evolvente Tipo 2:

Ext.		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)	
	Rse			0,04	
1	Enfoscado de mortero de cemento	0,020	0,800	0,025	
2	Ladrillo cerámico perforado de 1/2 pie (densidad 780 kg/m3)	0,115	0,350	0,329	
3	Cámara de aire no ventilada vertical 2 cm	0,020		0,150	
4	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Panel semirrígido de lana mineral (MW) arena ISOVER o similar, no hidrófilo	0,070	0,034	2,059
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad $750 \leq \rho \leq 900$ kg/m3)	0,013	0,250	0,050
	Rsi			0,13	
Int.					

RT= 2,782
U= 0,359

TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)

Tabla 20. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la envolvente Tipo 2 con lana mineral en Burgos. Fuente: Elaboración propia

El cambio es notable, mientras que antes las dos soluciones cumplían en Málaga con un panel de 34 mm, ahora es necesario uno de 60 mm en el tipo 1 y uno de 70 mm en el tipo 2.

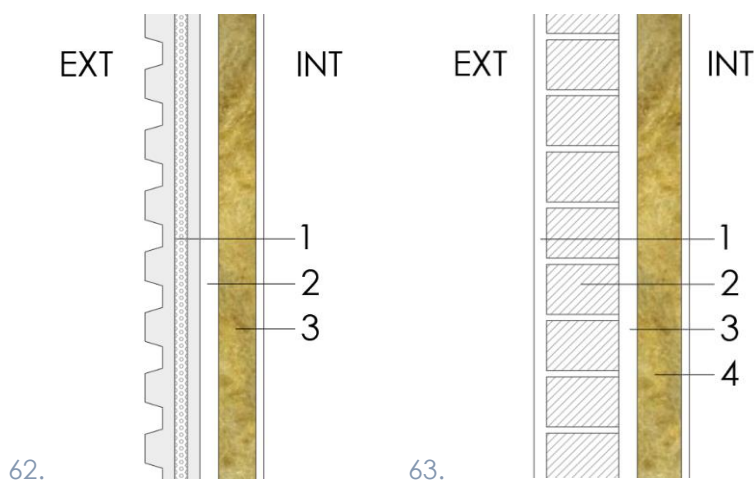


Fig 62 y 63. Detalles de envolvente Tipo 1 y Tipo 2 (secciones verticales) con lana mineral en Burgos. Fuente: Elaboración propia

División entre viviendas – Tabique de separación con muro soporte

Al no tener que cumplir con un valor, esta solución se mantendrá igual a la inicial del edificio ubicado en Málaga.

*Consultar Fig. 55 y Tabla 6 para ver detalle constructivo y los cálculos de la transmitancia térmica de esta solución.

Distribución interior de vivienda - Tabique de distribución

De la misma manera, este detalle tampoco se verá modificado.

*Consultar Fig. 56 y Tabla 7 para ver detalle constructivo y los cálculos de la transmitancia térmica de esta solución.

MEDICIÓN

La superficie total utilizada de lana mineral es la misma que en la otra ubicación. El cambio se encuentra en los espesores de los paneles utilizados para los muros de envolvente.

Envolvente Tipo 1 (e=60mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
100,50	703,50	1.899,45
Envolvente Tipo 2 (e=70mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
81,39	569,73	1.538,27
Tabiquería división entre viviendas (e=34mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
197,96	1.385,72	3.741,44
Tabiquería distribución interior (e=50mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
236,29	1.654,03	4.465,88

m2= 11.645,05

Tabla 21. Superficie total utilizada de lana mineral en Burgos. La primera columna corresponde a los metros lineales por planta, mientras que, la segunda es el valor obtenido al multiplicar por las siete plantas de viviendas que tiene el edificio. La tercera columna se obtiene al multiplicar por los 2,70 m de altura que tiene cada planta. Fuente: Elaboración propia

El peso y precio total del producto también variará debido a este aumento de espesor.

Panel	m2	Densidad (kg/m3)	(kg/m2)	Peso (kg)	Precio (€/m2)	Precio (€)
e=60 mm	1.899,45	20,00	1,20	2.279,34	3,80	7.217,91
e=70 mm	1.538,27	20,00	1,40	2.153,58	3,95	6.076,17
e=34 mm	3.741,44	20,00	0,68	2.544,18	2,95	11.037,25
e=50 mm	4.465,88	20,00	1,00	4.465,88	3,65	16.300,46
				Peso T= 11.442,98	Precio T= 40.631,79	

Tabla 22. Peso y coste total de la lana mineral utilizada en Burgos. Fuente: Elaboración propia

El peso de lana mineral asciende hasta unos 11.442,98 kg, unos 2.095,24 kg más que cuando el edificio se sitúa en Málaga. El precio también se ha elevado unos 3.152,79 euros, siendo el total 40.631,79 euros.

Al igual que antes, con el DAP del producto calcularemos el impacto medioambiental de la lana mineral. En este caso, los cálculos se complejizan al utilizar 4 paneles diferentes.

Parámetro	Valor (34 mm)	Factor de multiplicación	Valor (50 mm)	Valor (60 mm)	Valor (70 mm)	m2	TOTAL
Calentamiento Global (kg CO2equiv/FU)	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	3.741,44	2.544,18
	0,68	1,47	1,00	0,00	0,00	4.465,88	4.464,09
	0,68	1,77	0,00	1,20	0,00	1.889,45	2.274,14
	0,68	2,06	0,00	0,00	1,40	1.538,27	2.154,81
						Total (kg*CO2equiv) =	11.437,22
Consumo de recursos no renovables (MJ/FU)	12,76	0,00	0,00	0,00	0,00	3.741,44	47.740,77
	12,76	1,47	18,76	0,00	0,00	4.465,88	83.767,40
	12,76	1,77	0,00	22,59	0,00	1.889,45	42.673,61
	12,76	2,06	0,00	0,00	26,29	1.538,27	40.434,35
						Total (MJ) =	214.616,13
Consumo de energía total (MJ/FU)	20,05	0,00	0,00	0,00	0,00	3.741,44	75.015,87
	20,05	1,47	29,47	0,00	0,00	4.465,88	131.625,11
	20,05	1,77	0,00	35,49	0,00	1.889,45	67.053,75
	20,05	2,06	0,00	0,00	41,30	1.538,27	63.535,17
						Total (MJ) =	337.229,90
Consumo de agua (m3/FU)	0,005	0,00	0,00	0,00	0,00	3.741,44	18,71
	0,005	1,47	0,01	0,00	0,00	4.465,88	32,82
	0,005	1,77	0,00	0,01	0,00	1.889,45	16,72
	0,005	2,06	0,00	0,00	0,01	1.538,27	15,84
						Total (m3) =	84,10
Producción de residuos (kg/FU)	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	3.741,44	4.227,83
	1,13	1,47	1,66	0,00	0,00	4.465,88	7.418,27
	1,13	1,77	0,00	2,00	0,00	1.889,45	3.779,09
	1,13	2,06	0,00	0,00	2,33	1.538,27	3.580,78
						Total (kg) =	19.005,97

*FU= 1m2 de panel e=34mm

Tabla 23. Impacto del Ciclo de Vida de los paneles semirrígidos de lana mineral en Burgos. Fuente: Elaboración propia

Material	Valor (34 mm) (g/m2)	Factor de multiplicación	Valor (50 mm) (g/m2)	Valor (60 mm) (g/m2)	Valor (70 mm) (g/m2)	m2 totales	kg totales
Polietileno	15,80	0,00	0,00	0,00	0,00	3.741,44	59,11
	15,80	1,47	23,23	0,00	0,00	4.465,88	103,72
	15,80	1,77	0,00	27,97	0,00	1.889,45	52,84
	15,80	2,06	0,00	0,00	32,55	1.538,27	50,07
						Total (kg) =	265,75
Madera palé	42,13	0,00	0,00	0,00	0,00	3.741,44	157,63
	42,13	1,47	61,93	0,00	0,00	4.465,88	276,58
	42,13	1,77	0,00	74,57	0,00	1.889,45	140,90
	42,13	2,06	0,00	0,00	86,79	1.538,27	133,50
						Total (kg) =	708,60

Tabla 24. Peso de los residuos generados en el embalaje de los paneles semirrígidos de lana mineral en Burgos. Fuente: Elaboración propia

Aunque la superficie total utilizada de lana mineral sea la misma tanto en Málaga como en Burgos, al emplearse paneles de espesores mayores los valores de los impactos causados son también mayores. En Málaga el peso total de residuos producidos era 15.530,72 kg, mientras que en Burgos se producirían en total 19.005,97 kg, de los cuales 11.442,98 kg son la propia lana mineral al final de su vida útil. La emisión de gases invernadero son más de 11 toneladas de CO2 y el consumo de energía total 337.229,90 megajulios.

7.4. Medición con paneles propuestos en Burgos

Por último, se volverá a sustituir el aislante de lana mineral por el de filtros en la nueva ubicación, Burgos. Se prevé que es en este apartado donde se alcanzarán los mayores espesores en las soluciones constructivas de los muros de la envolvente, ya que esta localización es más restrictiva que Málaga y contamos con un aislante de mayor conductividad térmica que la lana mineral.

Envolvente - Trasdado autoportante

Al igual que en el apartado anterior (7.3) los muros de la envolvente deberán tener una transmitancia (U) menor o igual a **0,37 W/m2K**.

Transmitancia Evolvente Tipo 1:

Ext.		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)	
	Rse			0,04	
1	Panel sándwich prefabricado de GRC aligerado con EPS	Lámina GRC 20 mm	0,020	0,800	0,025
		Polietireno exp. EPS 20 mm	0,020	0,030	0,667
		Lámina GRC 20 mm	0,020	0,800	0,025
2	Cámara de aire no ventilada vertical 2 cm	0,020		0,150	
3	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Paneles del nuevo producto	0,070	0,040	1,750
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 ≤ ρ ≤ 900 kg/m3)	0,013	0,250	0,050
	Rsi			0,13	
Int.					
				RT=	2,837
				U=	0,353
TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)					

Tabla 25. Resistencia térmica total (R_T) y transmitancia (U) de la envolvente Tipo 1 con aislamiento de filtros en Burgos. Fuente: Elaboración propia

Transmitancia Evolvente Tipo 2:

Ext.		e (m)	λ (w/mk)	Rn (m2k/w)	
	Rse			0,04	
1	Enfoscado de mortero de cemento (densidad 1450< ρ ≤1600 kg/m3)	0,020	0,800	0,025	
2	Ladrillo cerámico perforado de 1/2 pie (densidad 780 kg/m3)	0,115	0,350	0,329	
3	Cámara de aire no ventilada vertical 2 cm	0,020		0,150	
4	Panel Knauf W11 o similar con aislante térmico de lana mineral	Paneles del nuevo producto	0,080	0,040	2,000
		Placa de yeso laminado (PYL) (densidad 750 ≤ ρ ≤ 900 kg/m3)	0,013	0,250	0,050
	Rsi			0,13	
Int.					

RT= 2,724
U= 0,367

TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)

Tabla 26. Resistencia térmica total (Rt) y transmitancia (U) de la envolvente Tipo 2 con aislamiento de filtros en Burgos. Fuente: Elaboración propia

Los paneles de nuestro producto a base de filtros deberán tener un espesor de 70 mm en el tipo 1 y de 80 mm en el tipo 2, 10 mm más que los paneles de lana mineral utilizados en Burgos (apartado 7.3). Sin embargo, si contrastamos estos espesores con los obtenidos en Málaga (apartado 7.2) la diferencia es más notable, donde 40 mm de espesor de aislante de filtros eran suficientes para el cumplimiento de ambas soluciones constructivas. Esto conllevará una pérdida considerable de superficie útil en el interior de las viviendas si lo comparamos con el apartado inicial 7.1, donde el edificio se ubicaba en Málaga y el aislante era la lana mineral.

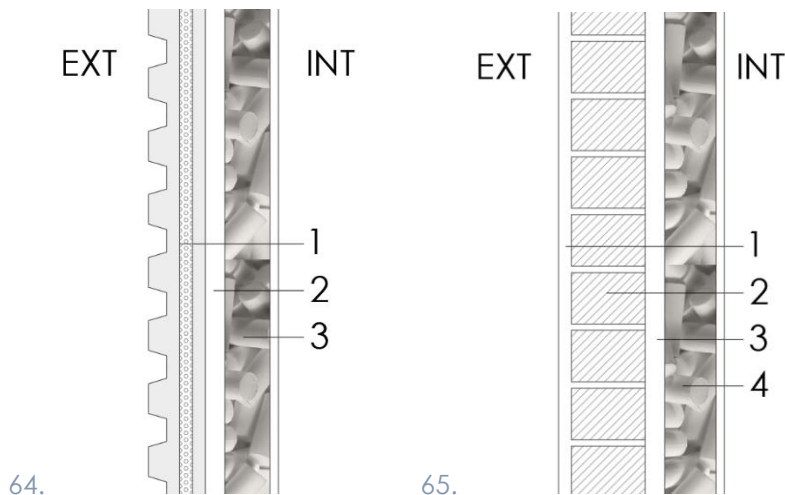


Fig 64 y 65. Detalles de envolvente Tipo 1 y Tipo 2 (secciones verticales) con aislamiento de filtros en Burgos. Fuente: Elaboración propia

División entre viviendas – Tabique de separación con muro soporte

Al no tener que cumplir con un valor, esta solución se mantendrá igual a la solución con el aislante de filtros cuando el edificio se ubica en Málaga.

*Consultar Fig. 60 y Tabla 14 para ver detalle constructivo y los cálculos de la transmitancia térmica de esta solución.

Distribución interior de vivienda - Tabique de distribución

De la misma manera, este detalle tampoco se verá modificado respecto con el ubicado en Málaga.

*Consultar Fig. 61 y Tabla 15 para ver detalle constructivo y los cálculos de la transmitancia térmica de esta solución.

MEDICIÓN

En esta medición final, las variaciones con respecto a la medición de cuando el edificio se situaba en Málaga (apartado 7.2) se encuentran en los espesores del aislante de filtros para los muros de la envolvente.

Envolvente Tipo 1 (e=70mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
100,50	703,50	1.899,45
Envolvente Tipo 2 (e=80mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
81,39	569,73	1.538,27
Tabiquería división entre viviendas (e=40mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
197,96	1.385,72	3.741,44
Tabiquería distribución interior (e=50mm)		
m lineales	m lineales total	m2 total
236,29	1.654,03	4.465,88

m2= 11.645,05

Tabla 27. Superficie total utilizada del producto propuesto en Burgos. La primera columna corresponde a los metros lineales por planta, mientras que, la segunda es el valor obtenido al multiplicar por las siete plantas de viviendas que tiene el edificio. La tercera columna se obtiene al multiplicar por los 2,70 m de altura que tiene cada planta. Fuente: Elaboración propia

De la misma manera que en el caso 7.2, se calculará el peso total del nuevo producto a partir del volumen de los cilindros.

Panel (e=70)					
Volumen 1 cilindro (m3)	Volumen 1m=15 cilindros (m3)	Densidad (kg/m3)	Peso por m lineal (kg)	m lineales totales	Peso total (kg)
0,0104	0,156	60	9,36	703,50	6.584,76
Panel (e=80)					
Volumen 1 cilindro (m3)	Volumen 1m=13 cilindros (m3)	Densidad (kg/m3)	Peso por m lineal (kg)	m lineales totales	Peso total (kg)
0,0136	0,177	60	10,62	569,73	6.050,53
Panel (e=40)					
Volumen 1 cilindro (m3)	Volumen 1m=25 cilindros (m3)	Densidad (kg/m3)	Peso por m lineal (kg)	m lineales totales	Peso total (kg)
0,0034	0,085	60	5,10	1.385,72	7.067,17
Panel (e=50)					
Volumen 1 cilindro (m3)	Volumen 1m=20 cilindros (m3)	Densidad (kg/m3)	Peso por m lineal (kg)	m lineales totales	Peso total (kg)
0,0053	0,106	60	6,36	1.654,03	10.519,63
Peso T=					30.222,10

Tabla 28. Peso total del producto propuesto en Burgos. Fuente: Elaboración propia

El uso del producto a base de filtros supondrá un aumento en el peso del aislante térmico total utilizado, Mientras que con el producto de lana mineral en la misma ubicación el peso total era de 11.442,98 kg, con el nuevo producto será de 30.222,10 kg.

Como podemos apreciar en la tabla 29, las colillas recicladas ascenderían hasta más de 600 millones, evitando la contaminación de 6.362 millones de litros de agua.

Peso total (kg)	Peso 1 colilla (kg)	Colillas totales	Litros agua contaminada/colilla	Litros agua no contaminados	Paquetes (20 unidades)
30.222,10	4,75x10 ⁻⁵	636.254.736,80	10,00	6.362.547.368,00	31.812.736,84

Tabla 29. Impacto del uso del producto propuesto en Burgos. Fuente: Elaboración propia

7.5. Resultados

Después de haber estudiado los cuatro casos, se ha demostrado como el aislante realizado a base de filtros de colillas es igual de válido para la edificación como cualquier otro aislante térmico comercial. En las siguientes tablas veremos un resumen de los resultados obtenidos en las distintas soluciones constructivas para cada caso y localización [Fig.30].

MÁLAGA LANA MINERAL			MÁLAGA PRODUCTO PROPUESTO		
sol.	espesores (mm)	Transmitancia térmica (U en W/m²K)	sol.	espesores (mm)	Transmitancia térmica (U en W/m²K)
1	34	0,479	1	40	0,479
2	34	0,580	2	40	0,580
3	34	0,372	3	40	0,372
4	50	0,518	4	50	0,585

BURGOS LANA MINERAL			BURGOS PRODUCTO PROPUESTO		
sol.	espesores (mm)	Transmitancia térmica (U en W/m²K)	sol.	espesores (mm)	Transmitancia térmica (U en W/m²K)
1	60	0,351	1	70	0,353
2	70	0,359	2	80	0,367
3	34	0,372	3	40	0,372
4	50	0,518	4	50	0,585

Tabla 30. Tablas resumen de los espesores de aislante obtenidos en los cuatro casos. Fuente: Elaboración propia

Para ambas ubicaciones, el sustituir en la envolvente el aislante de lana mineral por el aislante propuesto solo supone un pequeño aumento en el espesor (soluciones 1 y 2). En Málaga solamente se colocarían 6 mm más del producto, y en Burgos, 10 mm. Por otro lado, para la división entre viviendas (solución 3) en ambas ubicaciones se ha elevado 6 mm el espesor del aislamiento, pero por cuestiones de practicidad. Finalmente, en la distribución interior de las viviendas (solución 4) no se han producido variaciones de espesor en ninguno de los cuatro casos.

En cuanto al impacto ambiental, el empleo de la lana mineral conllevaría la elaboración de entre 9,3 y 11,4 toneladas de nuevos productos. Su proceso de fabricación emitiría también entre **9,3 y 11,4 toneladas de dióxido de carbono** a la atmósfera y consumiría un total de **energía** en torno a los **300.000 megajulios**. Por último, al final de su vida útil, su aplicación acarrearía la producción de entre **15,3 y 19,0 toneladas de residuos**. Este rango de valores resulta del cambio de ubicación del edificio.

En cambio, si se sustituyese la lana mineral por el aislante a base de filtros conseguiríamos **reciclar** entre **24,1 y 30,2 toneladas de residuos** que equivalen a entre **507 y 636 millones de colillas**. Lo que evitaría que entre **5.069 y 6.362 millones de litros de agua** fuesen contaminados. Todo esto conllevaría salvar a los organismos que habitan en el medio acuático de ser intoxicados, y evitando así el envenenamiento de la cadena alimenticia.

Panel de lana mineral en Málaga			
Peso total (kg)	Calentamiento Global (kg CO2equiv)	Consumo de energía total (MJ)	Residuos (kg)
9.347,71	9.345,92	275.567,27	15.530,72

Panel de lana mineral en Burgos			
Peso total (kg)	Calentamiento Global (kg CO2equiv)	Consumo de energía total (MJ)	Residuos (kg)
11.442,98	11.437,22	337.229,90	19.005,97

Panel propuesto en Málaga		
Peso total (kg)	Colillas recicladas	Litros de agua no contaminados
24.080,28	506.953.263,20	5.069.532.632,00

Panel propuesto en Burgos		
Peso total (kg)	Colillas recicladas	Litros de agua no contaminados
30.222,10	636.254.736,80	6.362.547.368,00

Tabla 31. Impacto ambiental de cada caso estudiado. Fuente: Elaboración propia



Realidad de las playas y costas. Fuente: OneSea Organisation

8. CONCLUSIONES

Este trabajo surge de la gran crisis ambiental de la que estamos empezando a percibir sus consecuencias. La cantidad de plásticos desechados al medio ambiente es creciente. En el comienzo de esta investigación se ha tratado la importancia de reducir las cantidades de residuos plásticos que abundan en nuestro planeta, en especial las colillas de cigarro. Con el fin de aportar una alternativa a este problema, se propone reutilizar este residuo para la creación de un nuevo producto altamente usado en el sector de la construcción.

En cuanto a los efectos positivos en el medio ambiente, por una parte, al no utilizar las lanas minerales conseguiríamos:

- Eliminar la elaboración de nuevos materiales para la fabricación de aislantes térmicos
- Reducción en la emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera durante su producción.
- Reducción del consumo grandes cantidades de energía, de la cual más de la mitad proviene de recursos no renovables.
- Reducción de una enorme cuantía de residuos. Entre los que se encuentran la propia lana mineral, puesto que en teoría se puede reciclar su 100% al final de su vida útil. Pero la realidad es que pierde propiedades y no se llega a reutilizar en su totalidad para la fabricación de lanas nuevas.
- Al reducir estos residuos, de la misma manera se reducirían las cantidades de residuos que acaban en los vertederos y son incinerados, emitiendo también gases contaminantes.
- En un principio, se reduciría el consumo de agua durante la producción, aunque este es ya bastante bajo para la elaboración de las lanas.

Al mismo tiempo, estaríamos:

- Reciclando grandes cantidades de uno de los residuos más extensos en todo el mundo, el plástico y, en concreto, las colillas de cigarro.
- Evitando la contaminación de todos los medios donde son arrojadas las colillas, ya que son altamente tóxicas.
- Salvando del envenenamiento a millones de seres vivos que habitan en dichos medios naturales contaminados.
- Revalorizando un residuo y consiguiendo su aceptación social.
- Ayudando a la inserción de nuevos productos ecoeficientes en la construcción.

No obstante, también se debe remarcar que el nuevo producto presentaría algunas desventajas como:

- Menor efectividad, es decir, es peor aislante térmico que algunas lanas, ya que su conductividad térmica es mayor.
- Al tener mayor densidad y necesitar más espesor de aislante, pesa más. Por ello, los edificios deberían soportar más cargas, lo cual implicaría un refuerzo en la estructura aumentando su coste y sus materiales de ejecución.

- Al ser un producto todavía por ser estudiado más detalladamente, actualmente sería menos ergonómico y más difícil de instalar y adecuar a las alturas de planta de los edificios que los paneles de lana mineral.
- También, hay que tener en cuenta que estaríamos reutilizando un residuo. Esto podría causar malos olores y otros inconvenientes que, aunque el producto esté confinado en el interior a los tabiques, habría que estudiar.

Por último, remarcar que este trabajo de investigación se ha visto afectado por la situación actual, impidiendo la realización de ensayos de laboratorio. Estos ensayos habrían sido clave para caracterizar y definir con exactitud el nuevo producto. Todo esto ha resultado en una caracterización menos rigurosa del producto.

En esta investigación se han revelado las altas cualidades térmicas de los filtros de colillas, convirtiéndose en un sustituto apropiado para otros aislantes térmicos. De esta manera, sería muy interesante el inicio de futuras líneas de investigación que estudiaran con más detenimiento esta nueva aplicación y su viabilidad.



Ave alimentando a su cría con colillas. Fuente: Today News

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] PlasticEurope, "**¿Qué son los plásticos?**", 2020, <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>
- [2] B. Eduarda, "**Propiedades del plástico**". ABC Color, 2012, <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/propiedades-del-plastico-407352.html>
- [3] Cámara Argentina de la Industria Plástica, "**¿Qué sabemos sobre los materiales plásticos?**". <https://www.caip.org.ar/tipos-de-plasticos/>
- [4] PlasticsEurope, "**Plásticos. Situación en 2019**", 2019, https://www.plasticseurope.org/download_file/force/3570/632
- [5] Noticias Parlamento Europeo, "**Reciclaje y residuos de plástico en la UE: hechos y cifras**", 2018, <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20181212STO21610/reciclaje-y-residuos-de-plastico-en-la-ue-hechos-y-cifras>
- [6] Noticias Parlamento Europeo, "**Plásticos en el océano: datos, consecuencias y nuevas normas europeas**", 2018, <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/priorities/reducir-los-residuos-del-plastico/20181005STO15110/plasticos-en-el-oceano-datos-efectos-y-nuevas-normas-europeas-infografia>
- [7] Noticias Parlamento Europeo, "**Los plásticos de un solo uso, prohibidos a partir de 2021**", 2019, <https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20190321IPR32111/los-plasticos-de-un-solo-uso-prohibidos-a-partir-de-2021>
- [8] Noticias Parlamento Europeo, "**Cómo reducir los residuos plásticos: la estrategia de la UE**", 2018, <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180830STO11347/como-reducir-los-residuos-plasticos-la-estrategia-de-la-ue>
- [9] Noticias Parlamento Europeo, "**Microplásticos: causas, efectos y soluciones**", 2018, <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20181116STO19217/microplasticos-causas-efectos-y-soluciones>
- [10] PlasticsEurope, "**Plásticos – Situación en 2018**", 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1240-plasticos-situacion-en-2018>
- [11] Ecoembes, "**Resultados 2016. 20 años de Ley de envases 20 años de Ecoembes**", 2017, <https://www.ecoembes.com/sites/default/files/reciclaje-en-datos-2016.pdf>
- [12] Gobierno de España, Planes y estrategias, "**PEMAR 2016-2022**", <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Planes-y-Programas.aspx>
- [13] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, "**Real Decreto 293/2018, de 18 de mayo, sobre reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores**", 2018, <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-6651>
- [14] Ecoembes, "**El reciclado de envases: pasado, presente y futuro**", 2014, https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/el-reciclado-de-envases-pasado-presente-y-futuro.pdf
- [15] Ecoembes, "**Resumen Ejecutivo 2018**", 2019, <https://www.ecoembes.com/landing/informe-anual-2018/archive/Resumen-Ejecutivo-Ecoembes-2018.pdf>

- [16] Ecoembes, "**Las cifras del reciclaje 2018**", 2019, <https://www.ecoembes.com/sites/default/files/cifras-reciclaje-2018.pdf>
- [17] Ecoembes, "**Datos de reciclaje 2018**", <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/sala-de-prensa/notas-de-prensa/datos-de-reciclaje-2018>
- [18] PlasticsEurope, "**El Plástico en el Sector de la Construcción y la Edificación**", <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/building-construction>
- [19] C. Yuste, "**Cada colilla puede contaminar entre 8 y 10 litros de agua del mar y hasta 50 litros si se trata de agua dulce**". RTVE Noticias, 2018, <https://www.rtve.es/noticias/20180806/cada-colilla-puede-contaminar-entre-8-10-litros-agua-del-mar-hasta-50-litros-si-se-trata-agua-dulce/1775421.shtml>
- [20] Ecoembes y SEO/Birdlife, "**Colillas en espacios naturales**". Proyecto LIBERA, 2018, <https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2018/07/Informe-Colillas-LIBERA-2018.pdf>
- [21] V. Gómez Escobar and R. Maderuelo-Sanz, "**Acoustical performance of samples prepared with cigarette butts,**" *Appl. Acoust.*, vol. 125, pp. 166–172, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2017.05.001.
- [22] J. Puls, S.A. Wilson and D. Hölter, "**Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review**". *J Polym Environ* 19, pp. 152–166, 2011, <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0258-0>
- [23] S. Haynes, D.V. Stricler, S.A. Wilson, "**Study of the Environment Degradation of Cigarette Filters: A Stimulation of the Roadside or Parking Lot Environment**". Eastman Chemical; Bates No. 2053814736/4740, 1993, <http://legacy.library.ucsf.edu/tid/oro93a00>
- [24] N.S. Hon, "**Photodegradation of Cellulose Acetate Fibers**". *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, 15: pp. 725-744, 1997, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pol.1977.170150319>
- [25] T. Micevska, M.S. Warne, F. Pablo and R. Patra, "**Variation in, and causes of, toxicity of cigarette butts to a cladoceran and microtox**". *Arch Environ Contam Toxicol*, pp. 205–212, 2006, https://www.researchgate.net/publication/7440172_Variation_in_and_Causes_of_Toxicity_of_Cigarette_Butts_to_a_Cladoceran_and_Microtox
- [26] US Department of Health and Human Services, "**The Health Consequences of Smoking: the Changing Cigarette—A Report of the Surgeon General**". Department of Health and Human Services, Public Health Service: Rockville, MA, USA. DHHS publication no. (PHS)8150156, 1981
- [27] T.E. Novotny, K. Lum, E. Smith, V. Wang and R. Barnes, "**Cigarettes butts and the case for an environmental policy on hazardous cigarette waste**", *International journal of environmental research and public health*, vol. 6,5, pp. 1691-1705, 2009, doi:10.3390/ijerph6051691. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2697937/>
- [28] National Cancer Institute, "**Risks Associated with Smoking Cigarettes with Low Machine-Measured Yields of Tar and Nicotine**". Department of Health and Human Services, National Institutes of Health, National Cancer Institutes: Bethesda, MD, USA, 2001, https://cancercontrol.cancer.gov/brp/tcrb/monographs/13/m13_complete.pdf
- [29] J.L. Pauly, H.A. Allaart, M.I. Rodriguez, R.J. Streck, "**Fibers Released from Cigarette Filters: An Additional Health Risk to the Smoker?**". *Cancer Res* (55) (2), pp. 253-258, 1995, <https://cancerres.aacrjournals.org/content/55/2/253.full-text.pdf>
- [30] J.L. Pauly, S.J. Stegmeier, H.A. Allaart et al., "**Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue**". *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention: a Publication of the American Association for Cancer Research*, Cosponsored by the American Society of

- Preventive Oncology, vol. 7, pp. 419-428, 1998,
<https://cebp.aacrjournals.org/content/cebp/7/5/419.full.pdf>
- [31] Business Wire, "**Clean and Green - a Better Cigarette Filter is Near; Starch-based filter from Stanelco reduces cancer risk and environmental impact**", 2005
- [32] US Department of Agriculture. "**Tobacco Statistics and Reports**".
<https://www.fas.usda.gov/data>
- [33] S. Wahal, "**Proposed Development Program for Dispersible Cigarette Filters/20-488**". Brown & Williamson Records, 1994,
<https://www.industrydocuments.ucsf.edu/tobacco/docs/#id=zscm0132>
- [34] Philip Morris, "**Degradable filters**". Philip Morris Records, 1994,
<https://www.industrydocuments.ucsf.edu/tobacco/docs/#id=lijxy0073>
- [35] M. Dube, "**Degradable Team Meeting Minutes: Five Prototypes**". RJ Reynolds Records, Master Settlement Agreement, 1996,
<https://www.industrydocuments.ucsf.edu/tobacco/docs/#id=zmfc0089>
- [36] B.W. Arzonico, M.F. Dube, G.E. Creamer, R.L. Oglesby, C.R. Ashcraft, "**United States Patent. Degradable Smoking Article**", 1998, <https://patents.google.com/patent/US5709227A/en>
- [37] J.I. de Granda-Orive, "**Contaminación ambiental por colillas de tabaco. El tabaco de cuarta mano**", 2017
- [38] U.S. Department of Health and Human Services (USDHHS), "**A Report of the Surgeon General: How Tobacco Smoke Causes Disease: What It Means to You**". U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, 2010
- [39] Y. Hamzah and L. Umar, "**Preparation of creating active carbon from cigarette filter waste using microwave-induced KOH activation**". J. Phys. 853, 2017, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/853/1/012027>.
- [40] S. Marinello, F. Lolli, R. Gamberini, and B. Rimini, "**A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions**," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 384. Elsevier B.V., Feb. 15, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121245.
- [41] D. Poppendieck, S. Khurshid and S. Emmerich, "**Measuring Airborne Emissions from Cigarette Butts: Literature Review and Experimental Plan**". Final Report to U.S. Food and Drug Administration Under Interagency Agreement, 2016, <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8147>.
- [42] Clean Virginia Waterways, "**Are Cigarette butts biodegradable?**",
<http://www.longwood.edu/CLEANVA/cigbuttbiodegradable.htm>
- [43] G. Bonanomi, G. Incerti, G. Cesarano, S.A. Gaglione and V. Lanzotti, "**Cigarette butt decomposition and associated chemical changes assessed by 13C CPMAS NMR**". PLoS One 10 (1), 2015, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117393>.
- [44] F.X. Joly and M. Coulis, "**Comparison of cellulose vs. plastic cigarette filter decomposition under distinct disposal environment**". *Waste Manage.* 72, pp. 349–353, 2018,
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.023>.
- [45] ICTA-UA "**Un proyecto europeo analiza los efectos de los residuos generados por el turismo en las islas del Mediterráneo**", 2017,
https://ictaweb.uab.cat/noticies_news_detail.php?id=3314&setLanguage=es

- [46] Ocean Conservancy, "**2016 Report: 30 th Anniversary International Coastal Cleanup**". Ocean Conservancy; Washington, DC, USA, 2016 <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>
- [47] Ocean Conservancy, "**2019 Report: The Beach and Beyond**". Ocean Conservancy; Washington, DC, USA, 2019, <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>
- [48] Keep Britain Tidy, "**Journal of Litter and Environmental Quality**", vol. 1, no. 1, 2017, https://www.keepbritaintidy.org/sites/default/files/resource/KBT_Journal_of_Litter_and_Environmental_Quality_June2017.PDF
- [49] R.W. Beck, "**Literature Review: A Review of Litter Studies, Attitude Surveys, and Other Litter-Related Literature. Final Report**". Keep America Beautiful, 2017, <https://www.semanticscholar.org/paper/LITERATURE-REVIEW-LITTER-A-Review-of-Litter-Surveys-Beautiful/ca447f400df706b27333612bdb349ec3cd82ca3b>
- [50] J.E. Schneider, N.A. Peterson, N. Kiss, O. Ebeid and A.S. Doyle, "**Tobacco litter costs and public policy: a framework and methodology for considering the use of fees to offset abatement costs**", 2011, https://www.researchgate.net/publication/51062569_Tobacco_litter_costs_and_public_policy_A_framework_and_methodology_for_considering_the_use_of_fees_to_offset_abatement_costs
- [51] D. Hoffmann, M.V. Djordjevic and I. Hoffmann, "**The Changing Cigarette**". Preventive Medicine, vol 26, issue 4, pp 427-434, 1997, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0091743597901833?via%3Dihub>
- [52] J.W. Moerman and G.E. Potts, "**Analysis of metals leached from smoked cigarette litter**". Tobacco Control 2011;20: i30-i35, 2011, https://tobaccocontrol.bmj.com/content/20/Suppl_1/i30
- [53] J.M. Rath, R.A. Rubenstein, L.E. Curry, S.E. Shank and J.C. Cartwright, "**Cigarette Litter: Smokers' Attitudes and Behaviors**". International journal of environmental research and public health, 9(6), pp. 2189–2203, 2012, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3397372/>
- [54] M.S. Warne, R.W. Patra, B. Cole et al., "**Toxicity and a Hazard Assessment of Cigarette Butts to Aquatic Organisms**", 2002, https://www.researchgate.net/publication/235738304_Toxicity_and_hazard_assessment_of_cigarette_butts_to_aquatic_organisms
- [55] E. Slaughter, R.M. Gersberg, K. Watanabe et al., "**Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish**". Tobacco Control 2011;20: i25-i29, 2011, https://www.researchgate.net/publication/51062567_Toxicity_of_cigarette_butts_and_their_chemical_components_to_marine_and_freshwater_fish
- [56] T.E. Novotny and E. Slaughter, "**Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption**". Curr Envir Health Rpt 1, pp. 208–216, 2014, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40572-014-0016-x>
- [57] Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica, SEPAR, "**El tabaco causa un daño importante al medio ambiente, aunque ni fumadores ni responsables políticos conocen su impacto**", 2019, <https://www.separ.es/sites/default/files/SEPAR%20NP%20tabaco%20y%20contaminaci%C3%B3n%20ambiental%20%287%20ene%2019%29%20%281%29.pdf>
- [58] J. Torkashvand and M. Farzadkia, "**A systematic review on cigarette butt management as a**

- hazardous waste and prevalent litter: control and recycling.**" *Environmental Science and Pollution Research*. 2019, doi: 10.1007/s11356-019-04250-x.
- [59] "IMEKO – Reciclamos Colillas de Cigarro." <https://imeko.cl/> (accessed Apr. 20, 2020).
- [60] "TerraCycle." <https://www.terracycle.com/es-ES> (accessed Apr. 20, 2020).
- [61] "Mantis." <http://mantis-mantis.blogspot.com/> (accessed Apr. 20, 2020).
- [62] C. Rojas Hernández, P. Guía, and L. Lares López, "**Filterm: Revestimiento de interior a partir de colillas de cigarro.**" Memoria presentada a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile para optar al título profesional de Diseñador Industrial, 2019.
- [63] A. Mohajerani et al., "**Physico-mechanical properties of asphalt concrete incorporated with encapsulated cigarette butts,**" *Constr. Build. Mater.*, vol. 153, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.091.
- [64] Yi CUI, Zhao-rong WU, Yali LI, and Hang YANG, "**Experimental Study on Determining the Optimum Cigarette Butt Content of Modified Bituminous Mixture of Cigarette Butts,**" *J. Civ. Eng. Archit.*, vol. 12, no. 6, pp. 447–453, 2018, doi: 10.17265/1934-7359/2018.06.005.
- [65] S. Wadalkar, "**Design of Precast Concrete Blocks for Paving with the use of Cigarette Butts (Cellulose Acetate),**" *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 5, pp. 2958–2965, 2018, doi: 10.22214/ijraset.2018.5482.
- [66] A. A. Kadir and A. Mohajerani, "**Possible Utilization of Cigarette Butts in Light- Weight Fired Clay Bricks,**" *Int. J. Environ. Ecol. Geol. Mining Eng.*, vol. 2, no. 9, pp. 1–11, 2008.
- [67] A. A. Kadir, A. Mohajerani, F. Roddick, and J. Buckeridge, "**Density , Strength , Thermal Conductivity and Leachate Characteristics of Light-Weight Fired Clay Bricks Incorporating Cigarette Butts,**" *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 53, no. 5, pp. 1035–1040, 2009.
- [68] A. A. Kadir and A. Mohajerani, "**Recycling cigarette butts in lightweight fired clay bricks,**" *Proc. Inst. Civ. Eng. Constr. Mater.*, vol. 164, no. 5, pp. 219–229, 2011, doi: 10.1680/coma.900013.
- [69] N. A. Sarani and A. binti Abdul Kadir, "**Thermal Conductivity of Fired Clay Bricks Incorporated with Cigarette Butts,**" *Adv. Mater. Res.*, vol. 690–693, pp. 919–924, May 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.690-693.919.
- [70] N. A. Sarani and A. binti Abdul Kadir, "**Experimental and Theoretical Analysis on Thermal Conductivity of Fired Clay Bricks Incorporated with Cigarette Butts,**" *Appl. Mech. Mater.*, vol. 465–466, pp. 872–876, Dec. 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.465-466.872.
- [71] A. Abdul Kadir and A. Mohajerani, "**Effect of heating rate on gas emissions and properties of fired clay bricks and fired clay bricks incorporated with cigarette butts,**" *Appl. Clay Sci.*, vol. 104, pp. 269–276, Feb. 2015, doi: 10.1016/J.CLAY.2014.12.005.
- [72] A. Mohajerani, A. A. Kadir, and L. Larobina, "**A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks,**" *Waste Manag.*, vol. 52, 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2016.03.012.
- [73] C. Bories, M.-E. Borredon, E. Vedrenne, and G. Vilarem, "**Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review,**" *J. Environ. Manage.*, vol. 143, pp. 186–196, Oct. 2014, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2014.05.006.
- [74] R. Maderuelo-Sanz, V. Gómez Escobar, and J. M. Meneses-Rodríguez, "**Potential use of cigarette filters as sound porous absorber,**" *Appl. Acoust.*, vol. 129, pp. 86–91, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.apacoust.2017.07.011.
- [75] V. G. Escobar, G. R. Gozalo, and C. J. Pérez, "**Variability and performance study of the sound absorption of used cigarette butts,**" *Materials (Basel).*, vol. 12, no. 16, Aug. 2019, doi: 10.3390/ma12162584.

- [76] F. Asdrubali, F. D'Alessandro, and S. Schiavon. "**A review of unconventional sustainable building insulation materials**", 2015

10. FIGURAS

- [Fig. 1 y 2] PlasticsEurope, "**Plastics- the facts 2019**", 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- [Fig. 3] PlasticsEurope, "**Plastics- the facts 2019**", 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- [Fig. 4] Ecoembes, "**Datos de reciclaje de 2018**", https://www.ecoembes.com/sites/default/files/ecoembes-resultados_2018.pdf
- [Fig. 5] PlasticsEurope, "**Plastics- the facts 2019**", 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- [Fig. 6 y 7] PlasticsEurope, "**Plastics- the facts 2019**", 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- [Fig. 8] PlasticsEurope, "**Plastics- the facts 2019**", 2019, <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- [Fig. 9] Ecoembes
- [Fig. 10] Ecoembes, "**Las cifras del reciclaje 2018**", 2019, <https://www.ecoembes.com/sites/default/files/cifras-reciclaje-2018.pdf>
- [Fig. 11] Ecoembes, "**Las cifras del reciclaje 2018**", 2019, <https://www.ecoembes.com/sites/default/files/cifras-reciclaje-2018.pdf>
- [Fig. 12] A. Zarzalejos, "**España lidera en el reciclaje de plásticos y suspende en acumulación de residuos en vertederos**", Business Insider, 2019, <https://www.businessinsider.es/puntos-fuertes-debiles-reciclaje-espana-536679>
- [Fig.13] J. Elflein, "**Global cigarette consumption from 1880 to 2017**". Statista, 2019, <https://www.statista.com/statistics/279577/global-consumption-of-cigarettes-since-1880/>
- [Fig. 14] National Cancer Institute, "**Risks Associated with Smoking Cigarettes with Low Machine-Measured Yields of Tar and Nicotine**". Department of Health and Human Services, National Institutes of Health, National Cancer Institutes: Bethesda, MD, USA, 2001
- [Fig. 15] S. Marinello, F. Lolli, R. Gamberini, and B. Rimini, "**A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions,**" *Journal of Hazardous Materials*, vol. 384. Elsevier B.V., Feb. 15, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121245.
- [Fig. 16] S. Marinello, F. Lolli, R. Gamberini, and B. Rimini, "**A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions,**" *Journal of Hazardous Materials*, vol. 384. Elsevier B.V., Feb. 15, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121245
- [Fig. 17] S. Marinello, F. Lolli, R. Gamberini, and B. Rimini, "**A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions,**" *Journal of Hazardous Materials*, vol. 384. Elsevier B.V., Feb. 15, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121245.
- [Fig. 18 y 19] Ocean Conservancy, "**2016 Report: 30th Anniversary**". Ocean Conservancy; Washington, DC, USA, 2016, <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>
- [Fig. 20] Ocean Conservancy, "**2019 Report: The Beach and Beyond**". Ocean Conservancy; Washington, DC, USA, 2019, <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>

- [Fig. 21] Ocean Conservancy, "**2016 Report: 30th Anniversary International Coastal Cleanup**". Ocean Conservancy; Washington, DC, USA, 2016, <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>
- [Fig. 22] S. Wadalkar, "**Design of Precast Concrete Blocks for Paving with the use of Cigarette Butts (Cellulose Acetate)**," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 5, pp. 2958–2965, 2018, doi: 10.22214/ijraset.2018.5482.
- [Fig. 23 y 24] American Cancer Society, "**The Tobacco Atlas, Sixth Edition**", 2018, https://files.tobaccoatlas.org/wpcontent/uploads/2018/03/TobaccoAtlas_6thEdition_LoRes.pdf
- [Fig. 25 y 26] S. Marinello, F. Lolli, R. Gamberini, and B. Rimini, "**A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions**," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 384. Elsevier B.V., Feb. 15, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121245.
- [Fig. 27] A. Mohajerani et al., "**Physico-mechanical properties of asphalt concrete incorporated with encapsulated cigarette butts**," *Constr. Build. Mater.*, vol. 153, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.091.
- [Fig. 28] A. Mohajerani, A. A. Kadir, and L. Larobina, "**A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks**," *Waste Manag.*, vol. 52, 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2016.03.012.
- [Fig. 29] V. Gómez Escobar and R. Maderuelo-Sanz, "**Acoustical performance of samples prepared with cigarette butts**," *Appl. Acoust.*, vol. 125, pp. 166–172, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2017.05.001.
- [Fig. 30] C. Rojas Hernández, P. Guía, and L. Lares López, "**Filterm: Revestimiento de interior a partir de colillas de cigarro**" Memoria presentada a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile para optar al título profesional de Diseñador Industrial, 2019
- [Fig. 31] Pladur, **SISTEMAS-PLADUR**, <https://www.pladur.es/es-es/sistemas>
- [Fig. 32] Pladur, **Tabiques de distribución**, https://www.bimobject.com/es/pladur/product/pladur_3_tdstr_3_11/pladur
- [Fig. 33] Elaboración propia
- [Fig. 34 y 35] Elaboración propia
- [Fig. 36] DecorexPro, <https://es.decorexpro.com/uteplenie/naruzhnoe/isover-dlya-fasada/>
- [Fig. 37 y 38] EURIMA (European Insulation Manufacturers Association), **Production process**, <https://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html>
- [Fig. 39] Elaboración propia
- [Fig. 40] Elaboración propia
- [Fig. 41] Elaboración propia
- [Fig. 42] C. Rojas Hernández, P. Guía, and L. Lares López, "**Filterm: Revestimiento de interior a partir de colillas de cigarro**", 2019
- [Fig. 43] Elaboración propia
- [Fig. 44 y 45] Tectónica, "**Edificio de viviendas en Málaga de Muñoz Miranda**", <https://tectonica.archi/projects/73-viviendas-para-alquiler-de-munoz-miranda/>

[Fig. 46, 47 y 48] Tectónica, **"Edificio de viviendas en Málaga de Muñoz Miranda"**,
<https://tectonica.archi/projects/73-viviendas-para-alquiler-de-munoz-miranda/>

[Fig. 49, 50 y 51] Pladur, SISTEMAS-PLADUR, <https://www.pladur.es/es-es/sistemas>

[Fig. 52] Elaboración propia

[Fig. 53 y 54] Elaboración propia

[Fig. 55] Elaboración propia

[Fig. 56] Elaboración propia

[Fig. 57] Isover, **"Declaración Ambiental del Producto (ARENA APTA) según la Norma Europea EN 15804:2012+A1:2014 y conforme al Estándar Internacional ISO 14025"**, 2019

[Fig. 58 y 59] Elaboración propia

[Fig. 60] Elaboración propia

[Fig. 61] Elaboración propia

[Fig. 62 y 63] Elaboración propia

[Fig. 64 y 65] Elaboración propia

11. TABLAS

[Tabla 1] Código Técnico de la Edificación, "**Catálogo de elementos constructivos**", 2019

[Tabla 2] Elaboración propia

[Tabla 3] Código Técnico de la Edificación, "**Documento Básico HE Ahorro de energía**", 2019

[Tabla 4] Elaboración propia

[Tabla 5] Elaboración propia

[Tabla 6] Elaboración propia

[Tabla 7] Elaboración propia

[Tabla 8] Elaboración propia

[Tabla 9] Elaboración propia

[Tabla 10] Elaboración propia

[Tabla 11] Elaboración propia

[Tabla 12] Elaboración propia

[Tabla 13] Elaboración propia

[Tabla 14] Elaboración propia

[Tabla 15] Elaboración propia

[Tabla 16] Elaboración propia

[Tabla 17] Elaboración propia

[Tabla 18] Elaboración propia

[Tabla 19] Elaboración propia

[Tabla 20] Elaboración propia

[Tabla 21] Elaboración propia

[Tabla 22] Elaboración propia

[Tabla 23] Elaboración propia

[Tabla 24] Elaboración propia

[Tabla 25] Elaboración propia

[Tabla 26] Elaboración propia

[Tabla 27] Elaboración propia

[Tabla 28] Elaboración propia

[Tabla 29] Elaboración propia

[Tabla 30] Elaboración propia

[Tabla 31] Elaboración propia

12. ANEXOS



Arena APTA

Divisorios de Placa de Yeso Laminado

Descripción

Panel semirrígido y rollo de Lana Mineral **arena** ISOVER, no hidrófilos, sin revestimiento. Concebidos para conseguir las más altas prestaciones térmicas y acústicas en edificación.

Aplicaciones

Por sus excelentes prestaciones térmicas y acústicas, la gama **arena** de ISOVER, es la mejor opción para:

- Divisorios interiores verticales, especialmente de tabiquería seca con estructura metálica y Placa de Yeso Laminado.
- Aislamiento térmico y acústico en fachadas mediante trasdosado o en cámara.
- Aislamiento de cerramientos horizontales sin cargas.

CTE EN 12939 Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma
λ_D	Conductividad térmica declarada		W/m-K	0,034	EN 12667 EN 12939
C_P	Calor específico aproximado		J/kg-K	800	-
AF_R	Resistencia al flujo de aire		kPa-s/m²	> 5	EN 29053
—	Reacción al fuego		Euroclase	A1	EN 13501-1
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m²	< 1	EN 1609
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua, μ		-	1	EN 12086
DS	Estabilidad dimensional, $\Delta\epsilon$		%	< 1	EN 1604

Espesor d, mm	Resistencia térmica declarada R_D , m²·K/W	Coefficiente de absorción acústica AW , α_w	Código de designación
EN 823	EN 12667 EN 12939	EN ISO 354	EN 13162
30	0,85	0,60	MW-EN 13162-T3-DS(23,90)-WS-MU1-AW0,60-AFr5
45	1,30	0,70	MW-EN 13162-T3-DS(23,90)-WS-MU1-AW0,70-AFr5
55	1,60		
65	1,90	0,80	MW-EN 13162-T3-DS(23,90)-WS-MU1-AW0,80-AFr5
90	2,60	0,90	MW-EN 13162-T3-DS(23,90)-WS-MU1-AW0,90-AFr5

Presentación



Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m²/bulto	m²/palé	m²/camión
Paneles					
30	1,35	0,60	17,82	356,40	6.415
45	1,35	0,40	11,80	213,84	3.849
45	1,35	0,60	12,15	243,00	4.374
55	1,35	0,40	9,72	174,96	3.149
55	1,35	0,60	9,72	194,40	3.499
65	1,35	0,40	8,64	155,52	2.799
65	1,35	0,60	8,10	162,00	2.916
90	1,35	0,60	6,48	129,60	2.333
Rollos					
45	12,50	0,40	15,00	300,00	5.400
45	12,50	0,60	15,00	300,00	5.400
65	9,00	0,40	10,80	216,00	3.888
65	9,00	0,60	10,80	216,00	3.888

Ventajas

- Óptimo aislamiento térmico y acústico de divisorios interiores horizontales y verticales
- Apto para obra nueva y rehabilitación. Especialmente desarrollado para aplicar en soluciones de Placa de Yeso Laminado con perfilería.
- La tecnología arena de Isover permite que el producto tenga un tacto agradable para el aplicador.
- Distintas modulaciones de ancho 400 mm y 600 mm.
- Producto sostenible con composición en material reciclado superior al 50%. Material reciclable 100%.
- Material inerte que no es medio adecuado para el desarrollo de microorganismos.
- Mantiene las prestaciones del sistema inalteradas durante toda la vida útil del edificio, no se degradan con el tiempo.



Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es

- www.isover.es
- ISOVERblog.es
- [@ISOVERes](https://twitter.com/ISOVERes)
- [ISOVERaislamiento](https://www.facebook.com/ISOVERaislamiento)
- [ISOVERaislamiento](https://www.linkedin.com/company/ISOVERaislamiento)
- [ISOVERes](https://www.instagram.com/ISOVERes)
- [ISOVERaislamiento](https://www.youtube.com/channel/UC...)
- [ISOVERaislamiento](https://www.pinterest.com/ISOVERaislamiento)





DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO

conforme a UNE-EN 15804:2012+A1:2014 e ISO 14025

ARENA APTA

Fecha de publicación: 14/11/2019

Válido hasta: 13/11/2024

Alcance de la EPD®: España y Portugal

Versión: 1

Nº de registro EPD®: S-P-01689



ISOVER
SAINT-GOBAIN

Información General

Fabricante: Saint-Gobain Isover Ibérica S.L. Avenida del Vidrio S/N. 19200 Azuqueca de Henares.

Programa utilizado: The International EPD® System. Más información en www.environdec.com

Número de registro EPD®:

Identificación PCR: PCR 2012:01 Construction products and construction services v2.3 y Sub-PCR-I Thermal insulation products

Código UN CPC: 37990

Nombre del producto y fabricante representado: ARENA APTA; Saint-Gobain Isover Ibérica SL

Propietario de la declaración: Saint-Gobain Isover Ibérica SL

EPD® diseñada por: Nicolás Bermejo y Alfonso Díez

Contacto: Nicolás Bermejo, Alfonso Díez (Saint-Gobain Isover Ibérica SL)

Email: nicolas.bermejo@saint-gobain.com, alfonso.diez@saint-gobain.com

Fecha de publicación: 14/11/2019, **válida hasta:** 13/11/2024

Demostración de verificación: se ha realizado una verificación independiente de la declaración, conforme a la norma ISO 14025:2010. La verificación ha sido externa y realizada por una tercera parte, basada en la PCR mencionada arriba (ver información debajo):

La norma EN 15804 sirve como base de las Reglas de Categoría de Producto	
Operador del programa EPD	The International EPD® System. Operado por EPD® International AB. www.environdec.com .
Revisión de la PCR realizada por	El comité técnico de The International EPD® System
ACV y EPD® desarrollados por Saint-Gobain Isover Ibérica SL	
Verificación independiente de la declaración medioambiental y datos de acuerdo con la norma EN ISO 14025:2010	
Interna <input type="checkbox"/>	Externa <input checked="" type="checkbox"/>
Verificador Marcel Gómez Ferrer Marcel Gómez Consultoría Ambiental (www.marcelgomez.com) Tlf. 0034 630 64 35 93 Email: info@marcelgomez.com	
Acreditado o aprobado por	The International EPD® System www.isover.es

Descripción del producto

Descripción del producto y de su uso:

Esta Declaración Ambiental de Producto (EPD®) describe los impactos ambientales de 1 m² de lana mineral con una resistencia térmica igual a 1,0 K·m²·W⁻¹.

El producto ARENA APTA se define como un panel semirígido de lana mineral ISOVER concebido para la aplicación en particiones verticales.

La planta de producción de Saint-Gobain Cristalería S.L. situada en Azuqueca de Henares (España) utiliza materias primas de origen natural que destacan por su abundancia en la corteza terrestre (como por ejemplo la roca volcánica o la arena de sílice, en función del producto deseado) para, mediante técnicas de fusión y fibrado, obtener productos de lana mineral. Los productos obtenidos en

forma de lanas minerales se caracterizan por su ligereza, dada su estructura con gran contenido de aire que permanece inmóvil entre los filamentos entrelazadas.

En la Tierra, el mejor aislante es el aire seco inmóvil. A 10 °C su factor de conductividad térmica, λ , es de 0,025 W/(m·K) (vatios por metro y grado Kelvin). La conductividad térmica de la lana mineral es muy parecida a la conductividad del aire inmóvil, y se le asocian valores de λ que varían desde los 0,030 W/(m·K) para las lanas más eficientes hasta valores de 0,040 W/(m·K) para los productos menos eficientes.

Debido a su estructura entrelazada, la lana mineral es un material poroso que atrapa el aire, lo que lo convierte en uno de los mejores materiales para aislamiento. La estructura porosa y elástica de la lana también absorbe el ruido y los golpes, ofreciendo una buena corrección acústica en el interior de los edificios. Las lanas minerales contienen fundamentalmente materiales inorgánicos por lo que se consideran no combustibles y no propagadores de llama.

Los aislantes de lana mineral de Isover (Lana de Vidrio, Lana de Roca, etc.) se utilizan tanto en edificación como en instalaciones industriales. Así se garantiza un alto nivel de confort, una reducción de los costes energéticos derivados del uso de la vivienda, se minimizan las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, se evitan pérdidas de calor a través de cubiertas, techos, paredes, suelos, tuberías y calderas, se reduce la contaminación acústica y se protegen viviendas e instalaciones industriales de los riesgos de incendio.

La duración de los productos de lana mineral alcanza el mismo tiempo de vida media asociado al edificio en el que se instala (cuyo valor se establece habitualmente en 50 años), o el tiempo que dicho componente aislante sea parte del edificio.

Datos técnicos/características físicas:

La Resistencia Térmica del producto, R, es igual a: **1,00 K·m²·W⁻¹ (UNE-EN 12667)**
La Conductividad Térmica de la lana mineral es de: **0,034 W/(m·K) (UNE-EN 12667)**
Reacción al Fuego: Euroclase **A1 (UNE-EN 13501-1)**
Propiedades Acústicas: hasta **Aw 1 (UNE-EN ISO 354)**
Transmisión del vapor de agua: **$\mu=1$ (UNE-EN 12086)**

Descripción de los principales componentes y/o materiales constituyentes del producto de lana mineral:

PARÁMETRO	VALOR
Peso por 1 m ² de producto	0,748 Kg
Espesor de la lana	34 mm
Revestimiento	-
Embalaje para la distribución y el transporte	Polietileno: 15,8 g/m ² Papel para etiquetas: despreciable Madera del palé: 42,13 g/m ²
Producto utilizado para la instalación:	Ninguno

Durante el ciclo de vida del producto no se utilizan sustancias peligrosas listadas en "Candidate List of Substances of Very High Concern (SVHC) for authorisation¹" en un porcentaje mayor al 0,1% del peso del producto.

Ni el verificador ni el operador del programa realizan ninguna afirmación ni presentan ninguna responsabilidad acerca de la legalidad del producto.

¹ http://echa.europa.eu/chem_data/authorisation_process/candidate_list_table_en.asp

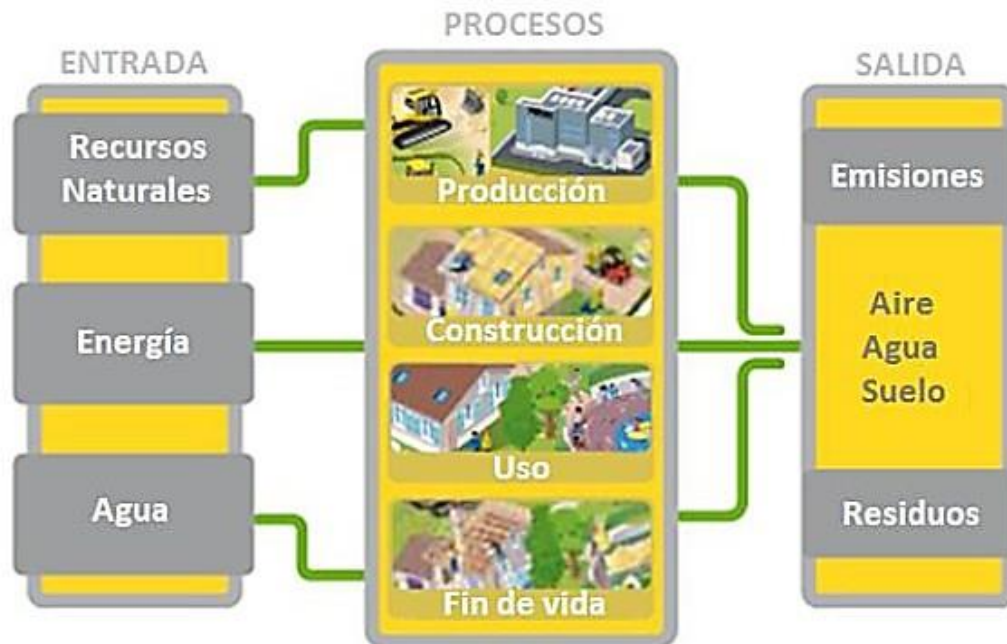
Información para el Cálculo del ACV

UNIDAD FUNCIONAL (DE REFERENCIA)	Proporciona el aislamiento térmico de 1 m ² de producto con una resistencia térmica de 1,00 K.m ² .W-1
LÍMITES DEL SISTEMA	“Cuna a Tumba”: Etapas obligatorias = A1-3, A4-5, B1-7, C1-4. No se ha incluido dentro de los límites del sistema el Módulo D.
VIDA ÚTIL DE REFERENCIA (RSL)	50 años.
REGLAS DE CORTE	<p>En el caso de que no se disponga de información suficiente, se podrán excluir aquellas entradas y salidas de masa y energía del proceso que representen menos del 1% del total de energía y masa utilizados en el mismo y siempre y cuando no provoquen impactos ambientales relevantes. La suma total de las entradas y salidas no incluidas en un proceso serán inferiores al 5% de la energía y masa totales utilizadas por módulo (A1-A3, A4-A5, etc.).</p> <p>Los flujos relacionados con las actividades humanas, como por ejemplo los empleados de transporte, quedan excluidos.</p> <p>Asimismo, quedan exentos los flujos relacionados con la construcción de las plantas productivas, de las máquinas de producción y de los sistemas de transporte. Los citados flujos se consideran despreciables en comparación con la fabricación del producto de construcción (si lo comparamos teniendo en cuenta el tiempo de vida útil de los sistemas).</p>
ASIGNACIONES	Los criterios de asignación se basan en la masa de producto. Se ha seguido los principios del que contamina paga y de modularidad.
COBERTURA GEOGRÁFICA PERÍODO	España y Portugal 2018

- “EPDs de productos de construcción pueden no ser comparables si no cumplen con los requerimientos de compatibilidad establecidos en la norma EN 15804”.
- “EPDs dentro de la misma categoría de producto de diferentes programas pueden no ser comparables”.
- Ni el verificador ni el operador de programa realizan ninguna reivindicación ni presentan ninguna responsabilidad acerca de la legalidad del producto.

Etapas del Ciclo de Vida

Diagrama de flujo del Ciclo de Vida



Etapa de Producto, A1-A3

Descripción de la etapa: La “etapa de producto” de los productos de lana mineral se subdivide en 3 módulos, A1, A2 y A3, que representan el “suministro de materias primas”, el “transporte” y la “fabricación”, respectivamente.

La unificación de los módulos A1, A2 y A3 es una posibilidad que contempla la norma estándar EN 15804. En la presente DAP se aplica esta regla.

Descripción de los escenarios y de otra información técnica adicional:

A1, Suministro de Materias Primas

Este módulo tiene en cuenta la extracción y el procesado de las materias primas y la energía que se produce anteriormente y durante el proceso de fabricación bajo estudio.

En concreto, el suministro de materias primas abarca desde la producción de los componentes aglutinantes (resina) hasta las fuentes de origen (cantera) de las materias primas (p. ej. Basalto, escoria, arenas...) para la producción de la lana. Además de estas materias primas, también se utilizan como flujos de entrada otros materiales reciclados (aglomerados). Cabe añadir que la totalidad de la electricidad utilizada en esta etapa procede de fuentes 100% renovables y está certificada.

A2, Transporte a la Fábrica

Las materias primas se transportan a la planta de fabricación. En nuestro caso, el modelo incluye el transporte por carretera (valores medios) de cada una de las materias primas.

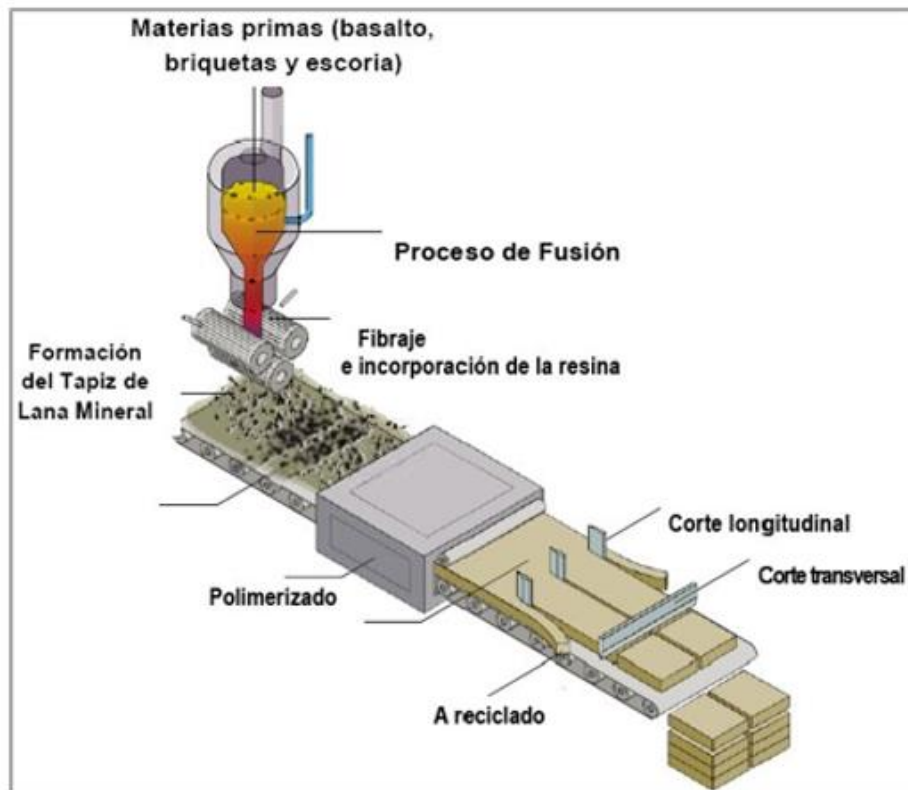
A3, Fabricación

Este módulo incluye la fabricación de productos y de envases/embalajes y la gestión de los residuos generados. En concreto, cubre la producción de vidrio vitrificable, la producción de resina, la fabricación de lana mineral (incluyendo los procesos de fusión y fibraje que se muestran en el diagrama de flujo) y el embalaje. Se tiene en cuenta en esta etapa la producción de material de

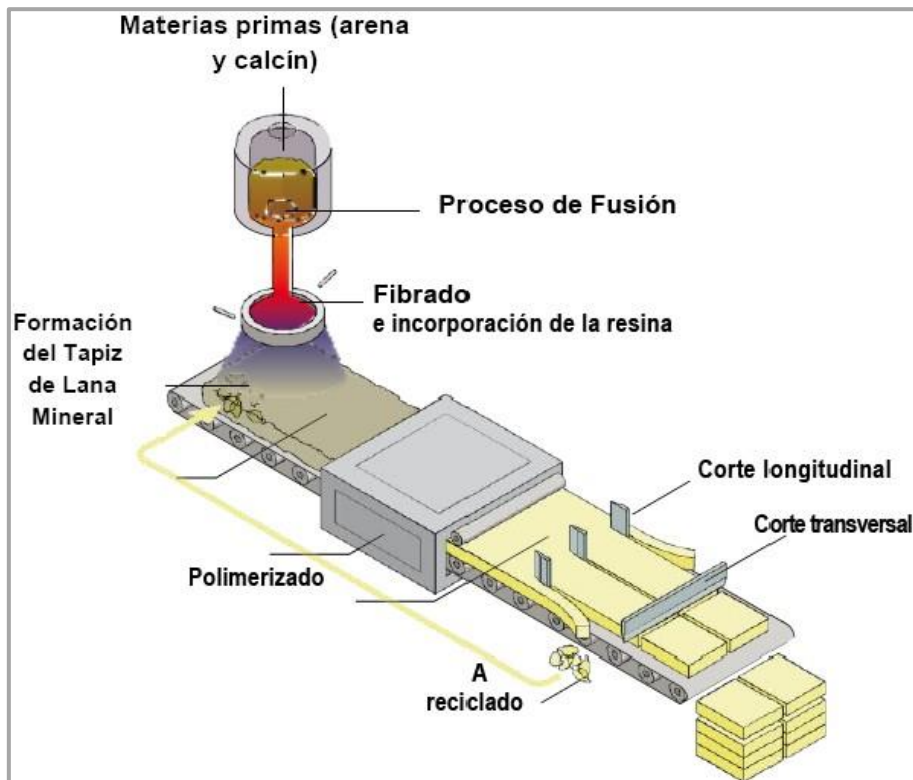
embalaje.

Diagrama de flujo de los Procesos de Fabricación

Producción de Lana de Roca



Producción de Lana de Vidrio



Etapa de proceso de construcción, A4-A5

Descripción de la etapa: El proceso de construcción se divide en 2 módulos: “transporte a la obra”, A4, e “instalación”, A5.

A4, Transporte a la Obra: En este módulo se incluye el transporte desde la puerta de la fábrica hasta el lugar de la obra donde se instalará el producto.

El transporte se calcula sobre la base de un escenario cuyos parámetros característicos se describen en la tabla siguiente.

PARÁMETRO	VALOR/DESCRIPCIÓN
Tipo de combustible y consumo del vehículo o tipo de medio de transporte utilizado, por ejemplo si se trata de un camión de larga distancia, un barco, etc.	Camión con remolque con una carga media de 16-32t y un consumo diésel de 38 litros a los 100 km. EURO 6
Distancia	450 km
Capacidad de uso (incluyendo el retorno del transporte sin carga)	100 % de la capacidad, en volumen 30 % de retornos vacíos
Densidad aparente del producto transportado*	20-200 kg/m ³
Factor de capacidad de uso, en volumen	1 (predeterminado)

*Los productos Isover presentan un factor de compresión de 1-4. Para un volumen medio de camión de 65 m³ y los m² de producto especificados en la tarifa.

A5, Instalación en el edificio: en este módulo se incluyen:

- Los residuos o desechos derivados de los productos (consultar el valor en porcentaje en la tabla que se muestra a continuación). Estas pérdidas se envían a vertedero (consultar el modelo de vertedero para lana mineral en el capítulo de Fin de Vida).
- Procesos de producción adicionales para compensar las pérdidas.
- Procesado de los residuos derivados de envases y embalajes, que son al 100% recogidos y al 100% transformados y reducidos a sus componentes elementales (material recuperado).

PARÁMETRO	VALOR/DESCRIPCIÓN
Materiales auxiliares para la instalación	0 Kg
Uso de agua	0 m ³
Uso de otros recursos	0 Kg
Descripción cuantitativa del tipo de energía y consumo durante el proceso de instalación	0 kWh
Desperdicio de materiales en el lugar de la obra, antes del procesado de residuos, generados durante la instalación del producto (especificados por tipo)	5 %
Flujo de salida de materiales (especificados por tipo) resultantes del procesado de residuos en el lugar de la obra, por ejemplo durante la recogida para su reciclaje, recuperación (valorización) energética o vertido (especificando la ruta)	Los residuos del embalaje del producto son al 100% recogidos y transformados en material recuperado Las pérdidas o desechos de lana mineral se llevan a vertedero. En relación con el transporte de los residuos generados se ha considerado una distancia de 50km tanto hacia el gestor (material recuperable) como vertedero (en caso de deposición final).
Emisiones directas al aire ambiente, al suelo y al agua	0 Kg

Fase de Uso (excluyendo posibles ahorros), B1-B7

Descripción de la etapa: La etapa de utilización del producto se subdivide en los siguientes módulos:

- B1: Uso
- B2: Mantenimiento
- B3: Reparación
- B4: Sustitución
- B5: Rehabilitación
- B6: Energía de uso operacional
- B7: Agua de uso operacional

Descripción de Escenarios e Información Técnica Adicional:

Una vez que la instalación se ha completado, el producto no precisa de ninguna acción u operación técnica hasta la etapa de fin de la vida. Por lo tanto los productos aislantes de lana mineral no tienen impacto (excluyendo posibles ahorros de energía) en esta etapa.

Etapa de Fin de Vida, C1-C4

Descripción de la etapa: en esta fase se incluyen los diferentes módulos que se detallan a continuación:

C1, Deconstrucción, desmantelamiento, demolición

La deconstrucción y/o desmantelamiento de productos aislantes forma parte de la demolición entera de un edificio. En nuestro caso, se asume que el impacto medioambiental asociado es muy pequeño, tanto que puede despreciarse.

C2, Transporte del producto desechado hasta el lugar de procesado

Se aplica el modelo usado para el transporte.

C3, Procesado de residuos para su reutilización, recuperación y/o reciclaje

Se consideran vertidos que van directamente a vertedero sin reutilizar, recuperar o reciclar.

C4, Vertido (eliminación), pre-tratamiento físico y gestión

El 100% de los residuos de lana mineral se conducen a vertedero.

Descripción de los Escenarios e Información Técnica Adicional: (ver tabla a continuación)

Fin de Vida:

PARÁMETRO	VALOR/DESCRIPCIÓN
Proceso de recogida de residuo especificado por tipo	0,748 kg (mezclado con el resto de los residuos de la construcción)
Sistema de recuperación especificado por tipo	No hay reutilización, reciclado o recuperación de energía
Eliminación, especificado por tipo	0,748 Kg enviados a vertedero
Supuestos para el desarrollo del escenario (p. ej, transporte)	Camión con remolque con una carga media de 16-32t y un consumo diésel de 38 litros a los 100 km. EURO 6. 25km de distancia media al vertedero

Reutilización/recuperación/reciclaje potencial, D

Descripción de la etapa: el módulo D no se ha incluido en el alcance del estudio.

Resultados del ACV








El modelo del ACV, el registro de datos y el impacto medioambiental se han calculado utilizando el software TEAM™ 5.1. El método impacto CML IA 4.1 ha sido utilizado, junto con las bases de datos de ACV DEAM (2006) y Ecoinvent 2.3 para la obtención de los datos de inventario de los procesos genéricos.

Los datos sobre la cantidad de materias primas utilizadas así como el consumo de energía y distancias de transporte han sido tomados directamente de la planta de fabricación de Saint-Gobain Isover España en 2018. Uso en fábrica de electricidad 100% renovable certificada.









A continuación se adjuntan las tablas que resumen detalladamente los resultados del ACV.

ETAPA DE PRODUCTO			ETAPA DE CONSTRUCCIÓN		ETAPA DE USO							ETAPA DE FIN DE VIDA				CARGAS Y BENEFICIOS MÁS ALLÁ DE LOS LÍMITES DEL SISTEMA
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction-Installation process	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-recovery
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MND




IMPACTOS AMBIENTALES panel

Parámetros	Etapa de producto	Etapa de Proceso de Construcción		Etapa de Uso							Etapa de Fin de Vida				D Potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Uso	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Sustitución	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía en Servicio	B7 Uso de Agua en Servicio	C1 Deconstrucción/Demolición	C2 Transporte	C3 Tratamiento de Residuos	C4 Vertido de Residuos	
 Potencial de Calentamiento global (GWP) <i>kg CO₂ equiv/UF</i>	6.75E-01	6.71E-02	3.75E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	3.70E-03	0	4.00E-03	MND
	Contribución total de calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de gas a la atmósfera con respecto a una unidad de gas de referencia, que es el dióxido de carbono, al que se le asigna un valor de 1.														
 Agotamiento de la Capa de Ozono (ODP) <i>kg CFC 11 equiv/UF</i>	1.98E-08	1.22E-08	1.70E-09	0	0	0	0	0	0	0	0	6.74E-10	0	1.34E-09	MND
	Destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la tierra de los rayos ultravioletas (perjudiciales para la vida). Este proceso de destrucción del ozono se debe a la ruptura de ciertos compuestos que contienen cloro y bromo (clorofluorocarbonos o halones) cuando éstos llegan a la estratosfera, causando la ruptura catalítica de las moléculas de ozono														
 Potencial de Acidificación del suelo y de los Recursos del agua (AP) <i>kg SO₂ equiv/UF</i>	6.05E-03	2.24E-04	3.16E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	1.23E-05	0	3.01E-05	MND
	La lluvia ácida tiene impactos negativos en los ecosistemas naturales y el medio ambiente. Las principales fuentes de emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, la calefacción y el transporte.														
 Potencial de Eutrofización (EP) <i>kg (PO₄)³⁻ equiv/UF</i>	1.23E-03	3.84E-05	6.39E-05	0	0	0	0	0	0	0	0	2.12E-06	0	5.42E-06	MND
	Efectos biológicos adversos derivados del excesivo enriquecimiento con nutrientes de las aguas y las superficies continentales														
 Potencial de Formación de Ozono Troposférico (POPC) <i>Kg etano equiv/UF</i>	7.04E-04	6.42E-05	3.90E-05	0	0	0	0	0	0	0	0	3.54E-06	0	8.43E-06	MND
	Reacciones químicas ocasionadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de reacción fotoquímica														
 Potencial de agotamiento de Recursos Abióticos para Recursos No Fósiles (ADP-elementos) <i>kg Sb equiv/UF</i>	9.83E-07	1.27E-07	5.60E-08	0	0	0	0	0	0	0	0	6.99E-09	0	3.47E-09	MND
 Potencial de agotamiento de Recursos Abióticos para Recursos Fósiles (ADP-combustibles fósiles) <i>MJ/UF</i>	1.28E+01	1.01E+00	6.97E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	5.58E-02	0	1.14E-01	MND
	Consumo de recursos no renovables con la consiguiente reducción de disponibilidad para las generaciones futuras.														





USO DE RECURSOS panel

Parámetros	Etapa de Producto	Etapa de Proceso de Construcción		Etapa de Uso							Etapa de Fin de Vida				D Potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Uso	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Sustitución	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía en Servicio	B7 Uso de Agua en Servicio	C1 Deconstrucción/Demolición	C2 Transporte	C3 Tratamiento de Residuos	C4 Vertido de Residuos	
 Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	8.54E+00	1.25E-02	4.28E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	6.88E-04	0	2.93E-03	MND
 Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MND
Uso total de energía primaria renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima) - MJ/UF	8.54E+00	1.25E-02	4.28E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	6.88E-04	0	2.93E-03	MND
 Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	1.15E+01	1.01E+00	6.34E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	5.54E-02	0	1.13E-01	MND
 Uso de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MND
Uso total de energía primaria no renovable (energía primaria y recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima). - MJ/UF	1.15E+01	1.01E+00	6.34E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	5.54E-02	0	1.13E-01	MND
 Uso de materiales secundarios. - kg/UF	4,53E-01	0	2.78E-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MND
 Uso de combustibles secundarios renovables - MJ/UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MND
 Uso de combustibles secundarios no renovables - MJ/UF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MND
 Uso neto de recursos de agua corriente - m³/UF	5.00E-03	1.94E-04	2.67E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	1.07E-05	0	1.25E-04	MND

CATEGORÍAS DE RESIDUOS panel

Parámetros	Etapa de Producto	Etapa de Proceso de Construcción		Etapa de Uso							Etapa de Fin de Vida				D Potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Uso	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Sustitución	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía en Servicio	B7 Uso de Agua en Servicio	C1 Deconstrucción/Demolición	C2 Transporte	C3 Tratamiento de Residuos	C4 Vertido de Residuos	
 Residuos peligrosos vertidos <i>kg/FU</i>	3.90E-02	6.58E-04	1.99E-03	0	0	0	0	0	0	0	0	3.63E-05	0	5.85E-05	MND
 Residuos no peligrosos vertidos <i>kg/FU</i>	2.28E-01	5.28E-02	5.16E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	2.91E-03	0	7.48E-01	MND
 Residuos radiactivos vertidos <i>kg/FU</i>	1.02E-05	6.87E-06	9.10E-07	0	0	0	0	0	0	0	0	3.79E-07	0	7.58E-07	MND

OTROS FLUJOS DE SALIDA panel

Parámetros	Etapa de Product	Etapa de Proceso de Construcción		Etapa de Uso							Etapa de Fin de Vida				D Potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Uso	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Sustitución	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía en Servicio	B7 Uso de Agua en Servicio	C1 Deconstrucción/Demolición	C2 Transporte	C3 Tratamiento de Residuos	C4 Vertido de Residuos	
 Componentes para su reutilización <i>kg/FU</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MND
 Materiales para el reciclaje <i>kg/FU</i>	6.47E-03	0	5.81E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MND
 Materiales para valorización energética (recuperación de energía) <i>kg/FU</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MND
 Energía Exportada (eléctrica, térmica, ...) <i>MJ/FU</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MND

Interpretación del ACV paneles

La etapa de Producto (A1-A3) es la que presenta un mayor impacto a lo largo de su ciclo de vida para los siguientes indicadores de impacto: Calentamiento global, Consumo de recursos no renovables, consumo de energía y agua. La producción de residuos se atribuye principalmente a la etapa de Fin de Vida. Esto es debido a que el 100% del producto se deposita en vertedero (controlado) al final de su vida útil.



[1] This indicator corresponds to the abiotic depletion potential of fossil resources.

[2] This indicator corresponds to the total use of primary energy.

[3] This indicator corresponds to the use of net fresh water.

[4] This indicator corresponds to the sum of hazardous, non-hazardous and radioactive waste disposed.

ANEXO I INFLUENCIA DEL ESPESOR

La presente EPD® incluye un rango de espesores de entre 34 mm y 100 mm, utilizando un factor de multiplicación con el fin de obtener el desempeño ambiental para cada grosor. Con el fin de calcular los factores de multiplicación, se ha seleccionado una unidad de referencia con un valor de $R = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ para 37 mm de grosor (producto ficticio). Para el resto de grosores se ha seleccionado una metodología conservativa, indicando el impacto proporcional a su diferencia de grosor.

La siguiente tabla muestra los factores de multiplicación para cada espesor individual en la familia de productos. Con el fin de determinar los impactos ambientales asociados con un espesor de producto determinado, se deben multiplicar los resultados expresados en la presente DAP por el factor de multiplicación correspondiente. Para obtener este factor se ha seguido un principio conservativo, siendo el impacto real ligeramente inferior al indicado en la tabla.

Espesor del producto (mm)	Factor de Multiplicación
34	1
40	1,18
45	1,32
50	1,47
55	1,62
60	1,77
65	1,91
70	2,06
80	2,35
90	2,65
100	2,94
(ES)	(ES/34)

Bibliografía

- ISO 14040:2006: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and framework.
- ISO 14044:2006: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and guidelines.
- ISO 14020:2000 Environmental labels and declarations-General principles
- ISO 14025:2006: Environmental labels and declarations-Type III Environmental Declarations-Principles and procedures.
- PCR 2012:01 Construction products and construction services v 2.3 (EN 15804:A1) and its sub-PCR I Thermal insulation products (EN 16783)
- UNE-EN 15804:2012+A1:2014 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.
- General Programme Instructions for the International EPD® System, version 2.5.
- Análisis del Ciclo de Vida de materiales aislantes Isover Saint-Gobain (2018).
- Guía Metodológica de Saint-Gobain para productos de construcción (*Environmental Product Declaration Methodological Guide for Construction Products*).
- EN 15978 Sustainability of construction works-Assessment of environmental performance of buildings-Calculation method

ENGLISH SUMMARY

Saint-Gobain Isover

Saint-Gobain Isover Ibérica, S.L. is part of the Saint-Gobain Group, the world leader in Habitat with innovative, energy-efficient solutions that contribute to environmental protection, and is the world leader in the manufacture of insulating materials. It offers, in mineral wool, the most complete range of thermal and acoustic insulation and fire protection solutions.

Product

This environmental declaration refers to ARENA APTA product (both in roll and panel). The ARENA APTA product is defined as a semi-rigid panel of mineral wool by ISOVER designed for application in vertical partitions.

Functional Unit

The functional unit is to provide the thermal insulation of 1 m² of product with a thermal resistance of 1.00 K·m²·W⁻¹.

System boundaries

This present study is called “cradle to grave” because it includes all the life cycle stages of the product (manufacturing, transport to construction site, installation, use and end of life). The Module D has not been calculated.

Additional information

For further information, please contact Mr Alfonso Díez (alfonso.diez@saint-gobain.com) or Mr. Nicolás Bermejo (nicolas.bermejo@saint-gobain.com)

Results

ENVIRONMENTAL IMPACT OF 1 M2 OF DRYWALL (34 mm thickness)		
Impact category	Unit	Result
Global warming potential	Kg CO2-eq	0,79
Photochemical ozone creation	Kg Ethene-eq	0,82E-03
Acidification potential	Kg SO2-eq	6,63E-3
Eutrophication potential	Kg PO4 ⁻ -eq	1,34E-3
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1,46E1

