

Reciclando colillas usadas de cigarrillos para elaborar un material acústico

DOI: 10.14679/1612

Valentín Gómez Escobar*
Celia Moreno González
Guillermo Rey Gozalo
M^a José Arévalo Caballero
Ana M^a Gata Jaramillo
M^a Luisa Durán Martín-Merás
Rubén Maderuelo-Sanz
Carmen Ortiz Caraballo
Fco Javier Carmona del Río
Carlos Javier Pérez Sánchez

* *Departamento de Física Aplicada, Instituto Universitario de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible (INTERRA), Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura. Avda. Universidad, s/n 10003 Cáceres, España.
valentin@unex.es
ORCID: 0000-0001-6969-1450*

Resumen: La acumulación de residuos es un serio problema al que se enfrenta la sociedad actual. Entre estos residuos, las colillas usadas de cigarrillos ocupan un lugar destacado. Este residuo presenta los inconvenientes de su carácter tóxico y poco degradable, por su gran volumen de generación y por su dimensión mundial. A pesar de esta problemática, existen escasas iniciativas para su reciclaje. En este trabajo se estudia y profundiza en la posibilidad de reciclar este residuo como material de construcción, en particular como absorbente acústico, línea en la que el grupo de investigación viene trabajando en los últimos años.

En este trabajo se presentan algunos de los estudios realizados hasta la fecha, analizando los principales obstáculos y retos detectados y la manera en que se están abordando. Se muestran los principales avances realizados que demuestran la potencialidad de estas muestras como absorbentes acústicos y se plantean los siguientes pasos programados.

Entre los contenidos que se presentan se incluyen los de recogida y tratamiento de las colillas de partida, selección de conjuntos de muestras de partida, preparación de muestras, estudios de reproducibilidad y repetitividad, variación del comportamiento acústico con la densidad y con el espesor de muestras, comparaciones preliminares con otros materiales acústicos, entre otros.

Abstract: Waste accumulation is a serious problem nowadays. Among the different generated residues, used cigarette butts are one of the most relevant. The problem of this waste is important due to its toxicity and poorly degradable nature but, also due to the amount of its generation and to its worldwide extension. Despite this problem, there are few initiatives for recycling cigarette butts. This work analyses the possibility of recycling this waste as a construction material, in particular as an acoustic absorber, research line in which the research group has been working in recent years.

In this work, some of the studies carried out are presented, analysing the main obstacles and detected challenges and how they are being addressed. The main advances made that demonstrate the potential as acoustic absorbers of these samples are presented and the next programmed steps are also discussed.

Among the contents presented, there are included collection and treatment of starting butts, selection of sets of starting samples, sample preparation, reproducibility and repeatability studies, variation of acoustic behaviour with density and thickness of samples, preliminary comparisons with other acoustic materials, among others.

Palabras clave: Reciclaje, materiales acústicos, economía circular, colillas.

Key Words: Recycling, acoustic materials, circular economy, cigarette butts.

1. Introducción

En otras épocas, podría haber condicionantes sociales que hiciesen que la gente empezase a fumar, pero, en la actualidad, con lo que se sabe de la adicción y de los efectos perjudiciales de fumar, ¿por qué fuman las personas?

Cuando se pregunta a los propios fumadores, la respuesta más común es “porque les gusta”, si bien otras respuestas pueden ser porque relaja, ayuda a concentrarse, distrae... o porque engancha (MSCBS,2021), y lo hacen a pesar de conocer las muchas repercusiones negativas sobre su salud, la de quien les rodea y la del medio ambiente.

El caso es que, al margen de afecciones, molestias y problemas de salud, el tabaco tiene un consumo mundial en crecimiento que lleva consigo un problema muy concreto: ¿Qué hacer con los filtros usados de los cigarrillos: las colillas?

La problemática de las colillas usadas se podría dividir en cinco consideraciones:

A.- *Su recogida*. Si bien los fumadores intentan deshacerse de ellas en el lugar adecuado (papeleras, ceniceros, contenedores...), en general son arrojadas al suelo (Novotny y Slaughter, 2014). Así, las colillas se encuentran en casi todos los entornos y a lo largo de todo el planeta. De hecho, estudios de la composición de las basuras en lugares de recolección de las mismas (ceniceros, contenedores, etc.), pero también en otros entornos (calles, playas, medio ambiente, etc.) muestran que las colillas son, generalmente, el elemento que está en mayor cantidad numérica y, en algunos casos, también en mayor cantidad en peso (Ariza et al., 2008; Martínez-Ribes et al., 2007; Moriwaki et al., 2009).

Este primer hecho es tanto más relevante, en cuanto enlaza con los dos siguientes hechos:

B.- *La contaminación de la vía hídrica que las arrastra*. Las colillas arrojadas al suelo son transportadas por la lluvia o el agua del río hacia áreas costeras, lo que aumenta su impacto medioambiental en estas zonas. Este impacto medioambiental está relacionado tanto con su composición química (Slaughter et al., 2011), como con la dificultad de degradación del acetato de celulosa (que se mencionará en el siguiente hecho). Así, se han descrito unas 130 sustancias químicas presentes en las colillas de cigarrillos, productos químicos que se pueden lixiviar fácilmente en agua, lo que hace

que estas aguas sean tóxicas para diferentes organismos [Micevska et al., 2006; Register, 2000; Slaughter et al., 2011).

C.- *Su lenta degradación.* La práctica totalidad de filtros que se usan para los cigarrillos son de acetato de celulosa¹, sustancia que se caracteriza por sufrir una degradación biológica muy lenta y tardar varios meses en fotodegradarse (incluso, esta fotodegradación es sólo parcial: los filtros se fragmentan en trozos más pequeños) (Puls, et.al., 2011). Las alternativas buscadas hasta la fecha no han tenido éxito, bien por su imposibilidad de generalización, bien por la falta de aceptación de los fumadores sobre las alternativas propuestas (Novotny et al., 2009).

D.- *El consumo va en aumento.* El hábito de fumar está extendido en todo el mundo y cada año se consumen miles de millones de cigarrillos (EIP, 2016; Statista, 2021). Incluso, se espera que estas cifras aumenten en más del 50% para 2025, debido al aumento en la población mundial y en la producción de tabaco.

En consecuencia, las colillas usadas de cigarrillos constituyen un serio problema de salud ambiental y pública, como queda recogido en un reciente estudio de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2017).

Y con esto enlazamos con la quinta consideración:

E.- *Las colillas no se reciclan.* A pesar de la problemática de este residuo, existen muy pocas iniciativas para su reciclaje. Existen algunas propuestas provenientes de iniciativas privadas, como, por ejemplo, las de la empresa Terracycle que tiene varias iniciativas para recolectar colillas usadas y usar sus filtros en la fabricación de plásticos u otros usos (Terracycle, 2021). A nivel de trabajos de investigación, algunos autores han desarrollado algunas propuestas individuales de reciclaje de este residuo. Así, por ejemplo, para la fabricación de supercondensadores (Lee et al., 2014), o como inhibidores químicos (Zhao et al., 2010), o como parte de la composición de ladrillos (Mohajerani et al., 2016), etc. La mayor parte de las iniciativas propuestas en los últimos años están recopiladas en dos trabajos publicados recientemente (Marinello et al., 2020; Torkashvand y Farzadkia, 2019). Como puede apreciarse, las propuestas existentes son escasas, muy limitadas por el número de colillas que implican y, desde

¹ Si bien, en la mayor parte de referencias y trabajos se habla de acetato de celulosa, realmente el compuesto de los filtros es un polímero más cercano al diacetato de celulosa.

luego claramente insuficientes, si tenemos en cuenta la generación continua de este residuo.

Por lo tanto, se hace necesario la formulación de nuevas propuestas para el reciclado de este residuo.

Debido al carácter fibroso y poroso de las colillas (Polarz et al., 2002) se consideró que un posible aprovechamiento para las colillas podría ser su uso para la elaboración de materiales absorbentes acústicos.

En acústica de recintos, podemos distinguir entre soluciones para aislamiento acústico (con las que se pretende proteger frente al ruido unos recintos de otros o bien del exterior) y materiales para acondicionamiento acústico (con los que se pretende adaptar la acústica de los recintos a las condiciones acústicas idóneas para su uso). Dentro de estos últimos está extendido el uso de lanas de roca y de lanas minerales, ambos de carácter fibroso, que, además de para acondicionar acústicamente los diversos recintos, se usan también en soluciones de aislamiento acústico, como complemento a otros elementos de mayor rigidez y masa, mejorando así el aislamiento del conjunto. Es como alternativa a estos materiales fibrosos, el uso en que se pensó para las colillas de cigarrillos usadas.

Tras una revisión bibliográfica se llegó a la conclusión de que no existía ningún precedente de la re-utilización de las colillas usadas para fines de acondicionamiento acústico. El único precedente del uso de colillas usadas en materiales de construcción era, como se ha indicado anteriormente, su integración en la elaboración de ladrillos (Mohajerani et al., 2016).

En este trabajo se pretenden presentar los estudios realizados en los últimos años en la línea de investigación de proponer y caracterizar materiales acústicos elaborados a partir de colillas usadas, mostrando los principales avances e indicando los retos que quedan todavía por superar.

En el apartado 2 se describirá el procedimiento de preparación de muestras y el equipo con el que se caracterizan acústicamente las mismas. En el apartado 3 se presentan y discuten los resultados obtenidos en esta línea de trabajo y los estudios que están programados o están en proceso en la actualidad. Finalmente, en el apartado 4 se describen las principales conclusiones a las que se ha llegado hasta la fecha y se perfilan algunas posibles líneas de trabajo futuras.

2. Materiales y métodos

2.1. Recogida de colillas y elaboración de las muestras

Las colillas usadas han sido recogidas, principalmente, con la colaboración del personal del servicio de limpieza de la Universidad de Extremadura, en ceniceros de la Escuela Politécnica, en el campus de Cáceres. También se han obtenido gracias a la colaboración de fumadores individuales.

Por otro lado, para la comparación y control, se han adquirido filtros sin usar de distintas longitudes y secciones. Se ha trabajado con longitudes de hasta 95 mm de longitud, facilitados por una empresa procesadora de filtros de cigarrillos.

En un primer paso, las colillas usadas se trataron manualmente, separando el filtro (con su papel) del resto de la colilla (más papel y el tabaco no consumido) que era descartado. Se observó que las colillas usadas con las que se contaba provenían de diferentes marcas de cigarrillos y tenían diferente grosor o longitud. Por ello, se realizó una separación manual de los filtros, atendiendo a su longitud, diámetro y la presencia o no de partes carbonizadas, se hicieron conjuntos de colillas que se pudiesen considerar equivalentes entre sí. Por otro lado, también se observó que las colillas usadas llegaban al laboratorio con diferentes grados de humedad, lo que hacía necesario analizar su influencia en el comportamiento acústico y proponer, si había lugar, un método para su eliminación.

El desarrollo de los trabajos en esta línea de limpieza permitió poner a punto un primer procedimiento de limpieza química de las muestras, gracias al cual algunas de las muestras se prepararon con colillas que previamente se habían sometido a este procedimiento químico, que se esquematiza en la Figura 1. Como se aprecia, se usan reactivos muy poco contaminantes (solución muy poco ácida, cloruro sódico y etanol), con el objetivo de no aumentar el problema de contaminación que ya suponen las colillas usadas.

LIMPIEZA QUÍMICA DE COLILLAS

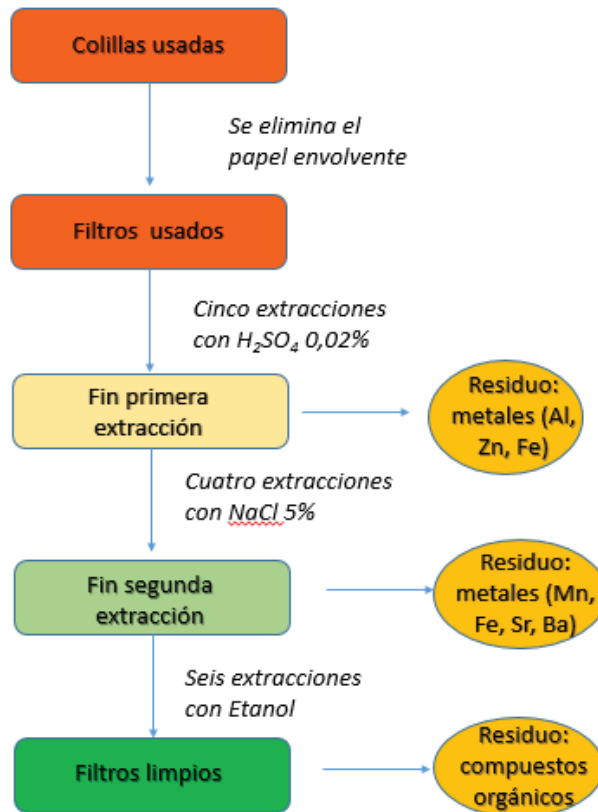


Figura 1. Propuesta primera de limpieza química de las colillas usadas.
Fuente: Elaboración propia.

Para los estudios llevados a cabo y que se describirán, a continuación, se han preparado diversas muestras que incluyen las siguientes variables:

- Muestras circulares de dos diámetros diferentes (29 mm y 100 mm de diámetro), para adecuarlas al tubo de impedancias que se ha utilizado para la determinación de las propiedades acústicas y que se describirá más adelante.
- Muestras preparadas con colillas colocadas manualmente y muestras preparadas con colillas disgregadas.

- Muestras preparadas con o sin limpieza química de las colillas usadas.
- Muestras de diferentes longitudes de las colillas (luego espesores de muestras acústicas diferentes) y con diferentes densidades.
- Muestras elaboradas usando filtros de cigarrillo sin usar.

Algunas de las muestras preparadas para los diferentes estudios se muestran en la Figura 2. Se aprecia que, en el caso de muestras disgregadas, hay un cierto grado de homogeneidad en las muestras, mientras que, en el caso de colillas no disgregadas, hay una discontinuidad causada por los huecos de aire que se forman entre las diferentes colillas de las muestras (mayor o menor en función de la compactación).



Figura 2. Ejemplos de muestras preparadas para las diferentes experiencias llevadas a cabo. Diámetros: a) y c) 29 mm de diámetro, b), d) y e) 100 mm. Uso: a), b) y e) colillas usadas c) y d) filtros nuevos. Constitución: a), b) y c) colocadas manualmente con distinta compactación. d) y e) disgregadas.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Equipamiento para las medidas

La caracterización acústica de las diferentes muestras preparadas se ha llevado a cabo mediante la determinación del coeficiente de absorción de las mismas. Para ello se ha usado un tubo de impedancias, en el que se genera una onda que al chocar con la terminación rígida (en la que se ha colocado el material a ensayar) genera una onda estacionaria. A partir del estudio del valor de los máximos y mínimos de presión que la existencia de la onda estacionaria provoca a lo largo del tubo, se determina el coeficiente de absorción.

La determinación del coeficiente de absorción con incidencia de la onda normal fue realizada siguiendo el método establecido en la Norma ISO 10534-2 (ISO 10534-2, 2002). Para ello, se usó un tubo de impedancia modelo 4206 de la empresa Brüel & Kjaer, con micrófonos de $\frac{1}{4}$ de pulgada, también de la empresa Brüel & Kjaer (modelo 4187), y un sistema multi-analizador PULSE de 4 canales, también de la empresa Brüel & Kjaer (modelo 3560 C).

Como se ha indicado anteriormente, para la medida de las muestras se han usado dos portamuestras diferentes, de 29 y 100 mm de diámetro, permitiendo cada uno caracterizar el material en intervalos de frecuencia de 500 a 6400 Hz y de 50 a 1600 Hz, respectivamente.

Según las muestras estuviesen o no disgregadas el tubo fue colocado de forma horizontal o vertical, respectivamente. En la Figura 3 se muestran fotografías de ambas disposiciones del tubo de impedancia, ambas con el portamuestras de 100 mm de diámetro.



Figura 3. Tubo de impedancia empleado en disposición horizontal y vertical.

Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados y discusión

A continuación, se van a presentar algunos de los resultados obtenidos, en los diferentes estudios llevados a cabo, incluyendo una discusión de los mismos.

3.1. Análisis acústico preliminar de las muestras

Para determinar, en primera instancia, si el material tenía potencialmente buen comportamiento acústico y ver que posibles dependencias o condicionantes se observaban, se elaboraron varias muestras preliminares usando colillas usadas y sin usar.

Los resultados obtenidos (un ejemplo de ellos se muestra en la Figura 4) permitieron extraer las siguientes conclusiones:

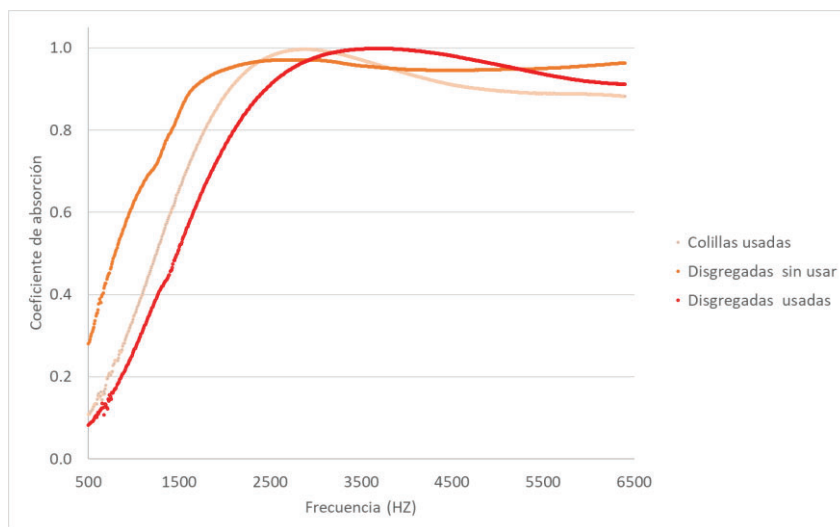


Figura 4. Coeficientes de absorción medidos de algunas de las muestras elaboradas.
Fuente: Elaboración propia.

- Las muestras preparadas a partir de colillas usadas de cigarrillos mostraban un comportamiento acústico satisfactorio, con absorciones que podían considerarse como elevadas (en gran parte del espectro muy cercanas a la unidad como se aprecia en la Figura 4).

- La comparación de las absorciones medidas con muestras de otros materiales indicaba que las absorciones de las muestras en estudio eran comparables o incluso mejores (Gómez Escobar y Maderuelo-Sanz, 2017; Maderuelo-Sanz et al., 2018). Posteriormente, se dedica un apartado a este estudio comparativo con muestras de uso similar (para acondicionamiento acústico).
- Existía gran variabilidad en las colillas usadas de partida, tanto en su geometría (longitud y diámetro), como en su estado (humedad, presencia de quemaduras, aplastamiento, etc.), lo que parecía indicar la necesidad de establecer conjuntos diferentes de muestras y analizar la variabilidad existente dentro de ellos y, también, de establecer un procedimiento de acondicionamiento previo de las colillas usadas que llegaban al laboratorio.
- Existían varios factores que influían en el comportamiento acústico de las muestras preparadas, como eran el espesor de la muestra, el grado de compactación, etc., lo que parecía indicar la necesidad de un análisis sistemático de la influencia de las diferentes variables en el comportamiento acústico

Los resultados obtenidos en los estudios previos eran muy prometedores y, por ello, se comenzó a hacer un estudio más exhaustivo y sistemático de este tipo de muestras y de las posibles influencias en su comportamiento acústico.

3.2. Acondicionamiento y tratamiento previo de las muestras

Como se ha indicado previamente, los filtros usados de cigarrillos tenían diferente procedencia y, por tanto, diferente estado. Además, debido precisamente a su objetivo en el cigarrillo, retenían en su interior parte de las diferentes sustancias nocivas que contiene el tabaco. Debido a ello, se evaluó el efecto de la humedad en el comportamiento acústico de las muestras y se hizo una primera propuesta de tratamiento químico de las muestras.

Se encontró que la humedad influía de forma importante en el peso de las muestras y también en sus propiedades acústicas. Para homogenizar las muestras y eliminar esta humedad se propone un secado de tres horas a 105 °C (Gómez Escobar et al., 2021a).

Se analizó la influencia del tratamiento químico preliminar (Figura 1) de las muestras tanto en la limpieza y aspecto de las mismas, como en el comportamiento acústico (Gómez Escobar et al., 2021a).

Como se aprecia en la Figura 5, hay una apreciable mejora en el aspecto de las colillas, perdiendo gran parte del color amarillento de las colillas usadas.



Figura 5. Ejemplo del efecto de la limpieza química en dos muestras elaboradas con colillas usadas. Figura superior: sin limpiar.

Figura inferior: limpias.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, como se aprecia en la Figura 6, para una muestra ejemplo, el comportamiento de absorción acústica de las muestras elaboradas con colillas limpias no sólo no empeora, sino que incluso mejora. Esta mejora se interpreta como debida a la expansión de las muestras en el proceso de limpieza química, tal y como se vislumbra en la Figura 5.

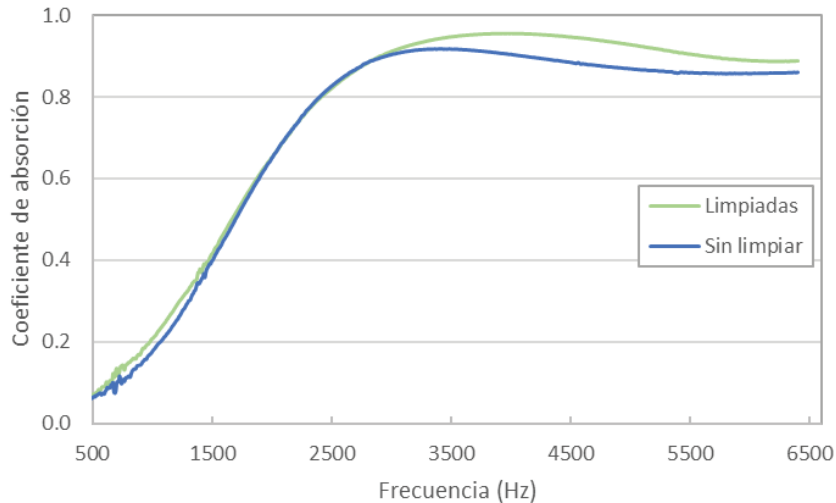


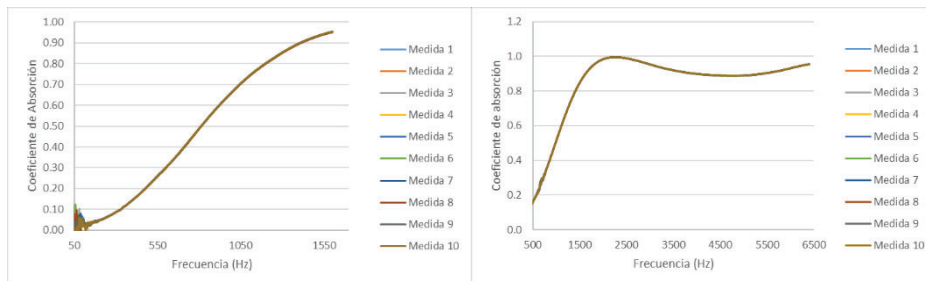
Figura 6. Ejemplo del efecto de la limpieza química en el comportamiento acústico de una muestra elaborada con colillas usadas.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Estudios de variabilidad

Se consideró necesario el análisis de la variabilidad de las colillas de procedencia en los comportamientos acústicos medidos en las muestras preparadas. Así, se programaron los siguientes estudios:

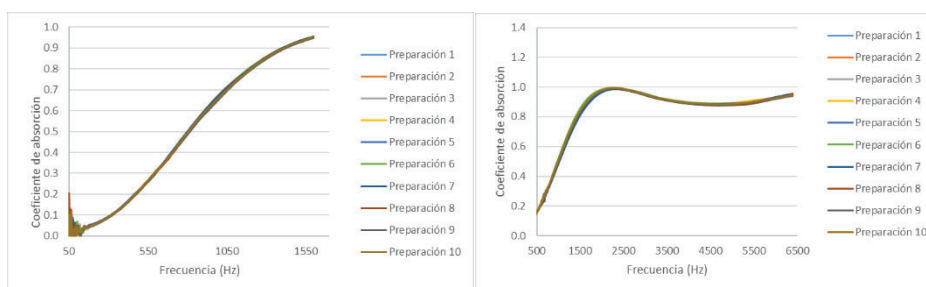
- Estudio de la variabilidad en muestras preparadas a partir de colillas similares en longitud y diámetro.
- Estudio de la variabilidad en muestras preparadas a partir de colillas similares en estado (quemadas, sin papel de cobertura, nuevas...)
- Estudio de la repetitividad en la medida.
- Estudio de la repetitividad en la preparación de muestras.
- ...

Para muestras de colillas no disgregadas se encontró que, en cuanto a la repetitividad de las medidas (una misma muestra es medida varias veces), los resultados eran muy homogéneos, tal y como se puede apreciar en la Figura 7 para dos muestras, una en tubo estrecho (29 mm de diámetro) y otra en tubo ancho (100 mm de diámetro).



*Figura 7. Influencia de la repetitividad de la medida en el comportamiento acústico de dos muestras.
Fuente: Elaboración propia.*

También para muestras no disgregadas, y analizando ahora la repetitividad en la preparación de muestras o reproducibilidad (una muestra es preparada y medida, se extraen las colillas y se vuelve a preparar y medir y así, repetidas veces), también se encontró una alta homogeneidad, como puede apreciarse en la Figura 8, tanto para una muestra elaborada para su medida en tubo estrecho (29 mm de diámetro), como para otra elaborada para su medida en tubo ancho (100 mm de diámetro).



*Figura 8. Influencia de la reproducibilidad de la preparación de muestras en el comportamiento acústico de las muestras.
Fuente: Elaboración propia.*

En lo que se refiere a la reproducibilidad dentro de los diferentes conjuntos de colillas establecidos (según longitud, estado, presencia de quemaduras, carácter de usada o no usada, etc.) se encontró que era bastante alta (Gómez Escobar et al., 2017) y, a su vez, se encontraron

diferencias estadísticamente significativas entre la mayor parte de los conjuntos establecidos (Gómez Escobar et al., 2017).

3.4. Influencia de la densidad y del espesor

Otra influencia que se ha estudiado es la influencia de la densidad y del espesor de las colillas usadas, pues desde las primeras experiencias se observó, como ya se ha indicado al describir los resultados preliminares, que estas dos propiedades eran relevantes en cuanto al comportamiento acústico de las muestras.

Se ha comprobado que el aumento tanto de la densidad como del espesor produce un aumento de la absorción de las muestras a frecuencias medias con un ligero descenso de la absorción a altas frecuencias. Este descenso de absorción a frecuencias altas no penaliza el aumento de absorción a frecuencias medias descrito y se obtiene un aumento de la absorción total de las muestras cuando aumenta tanto densidad como espesor (Gómez Escobar et al., 2021b).

La variación de absorción indicada, para el caso del espesor de la muestra, se muestra en la Figura 9.

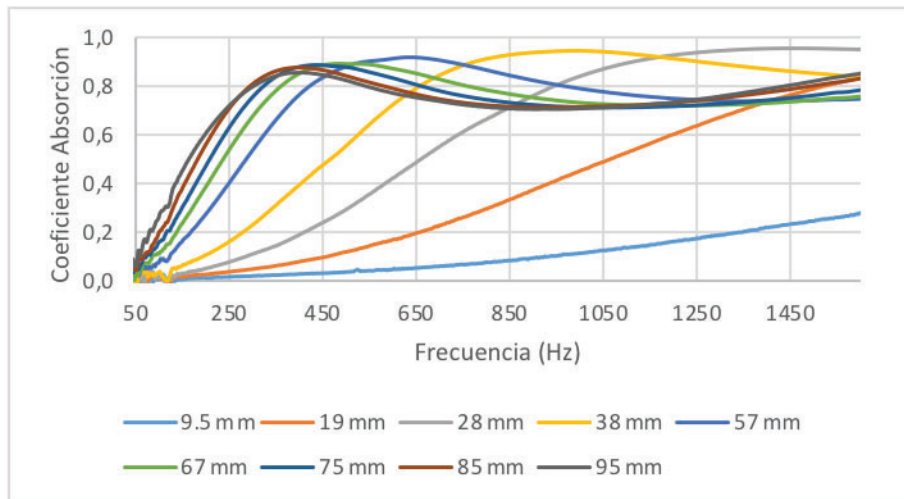


Figura 9. Variación de la absorción acústica de las muestras con la longitud de las colillas usadas (luego, con el espesor de la muestra).

Fuente: Elaboración propia.

Se ha estudiado si el desplazamiento del máximo de absorción hacia frecuencias intermedias era lineal con la longitud de los filtros. Si bien en los estudios iniciales así parecía (Gómez Escobar et al., 2017 y 2019), cuando se ha extendido el estudio a mayor rango de longitudes de filtros, se observa que esta linealidad no es tal, en todo el rango estudiado, tal y como se aprecia en la Figura 10, donde, en color claro se indican las muestras de los estudios preliminares y, en color oscuro, las muestras realizadas en los últimos estudios.

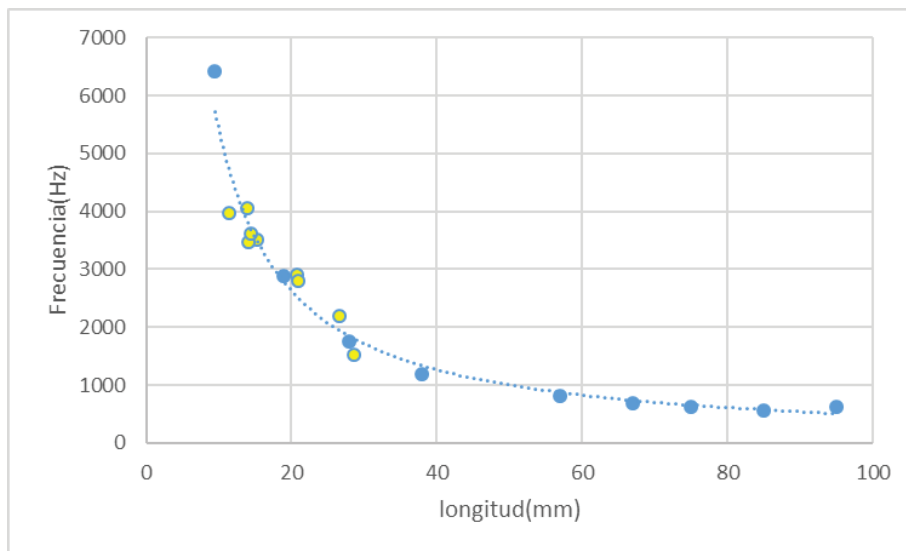


Figura 10. Variación del máximo de absorción acústica de las muestras con la longitud de las colillas usadas (luego, con el espesor de la muestra).

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Comparación con otras muestras absorbentes

De cara a evaluar la futura viabilidad de muestras elaboradas con colillas usadas, se ha comparado el comportamiento acústico de muestras elaboradas con colillas usadas, tanto disgregadas como no disgregadas, con muestras comerciales para absorción acústica. En particular, se ha elegido una muestra del tipo lana de roca, otra del tipo lana mineral y, finalmente, una elaborada a partir del reciclaje de botellas de polietileno.

Los tres tipos de muestras elegidos para la comparación son de carácter fibroso, al igual que las fibras que forman los filtros de colillas de cigarrillos.

El resultado de la comparación de los comportamientos acústicos de las diferentes muestras se presenta en la Figura 11. Como puede apreciarse, el comportamiento de las muestras de colillas usadas es mejor cuando están disgregadas (esto ya se mostró en la Figura 4) y, en todos los casos es comparable o incluso superior, al de las muestras comerciales con las que se ha comparado.

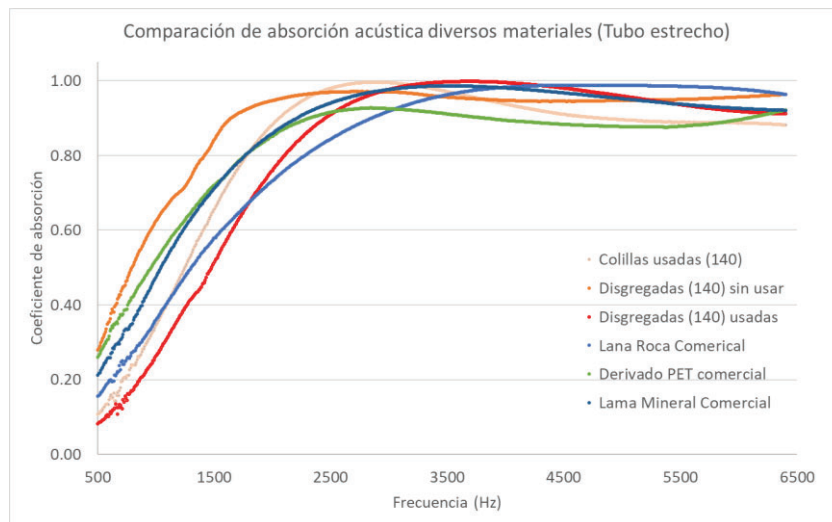


Figura 11. Comparación del comportamiento acústico de muestras elaboradas colillas usadas con otras muestras diseñadas y comercializadas para su uso como absorbentes acústicos.

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Otros estudios llevados a cabo o en proceso

Otros estudios llevados a cabo o en proceso actualmente, son:

- Estudio de la modelización teórica de los comportamientos acústicos medidos.
- Estudio de la porosidad intra-colillas en muestras no disgregadas, con la ayuda de tratamiento de imágenes.

- Estudio de la influencia del grado de disgregación de las muestras en el comportamiento acústico de las mismas.
- Concreción del procedimiento de limpieza química definitivo y estudio de la reutilización de las aguas de lavado.
- Repetición de algunos de los estudios realizados con muestras preparadas con colillas no disgregadas para muestras preparadas con colillas disgregadas y/o sometidas al procedimiento de limpieza química.
- Caracterización de otras propiedades acústicas de las muestras, como la resistencia al flujo, tortuosidad, tamaño de fibra de los filtros, etc.

4. Conclusiones

Los estudios llevados hasta la fecha descritos a lo largo de este trabajo ponen de manifiesto la alta potencialidad de este residuo para la elaboración de muestras que puedan ser utilizadas en el campo del acondicionamiento acústico.

Así, se ha encontrado un comportamiento acústico muy elevado en medias y altas frecuencias, si nos referimos a su coeficiente de absorción a incidencia normal.

Se ha propuesto una metodología para eliminar la humedad presente en las colillas usadas y se ha propuesto un procedimiento de limpieza química preliminar que mejora apreciablemente la apariencia de las muestras y, además, no repercute negativamente en el comportamiento acústico de las muestras. Con este proceso de limpieza los contaminantes se retiran del medio ambiente y se concentran en una disolución, lo que permite su posterior tratamiento independiente.

Se han realizado varios estudios de variabilidad de las muestras encontrando que hay una gran repetitividad, gran reproducibilidad, y que hay variaciones significativas entre los diferentes conjuntos de muestras que se han establecido.

Se han identificado y estudiado las influencias del espesor de las muestras y de su densidad en su comportamiento acústico. En los dos casos, un aumento de la variable (espesor o densidad) repercute en un incremento de la absorción global y en un desplazamiento del máximo de absorción hacia frecuencias inferiores.

Finalmente, se ha encontrado que el comportamiento acústico de los materiales estudiados, preparados con colillas usadas es similar o incluso superior al de otros materiales convencionales en el campo del acondicionamiento acústico.

Se están realizando o están programados otros estudios adicionales ya planteados anteriormente y se prevén futuros estudios como pueden ser, a modo de ejemplo, los siguientes:

- Estudio de la necesidad e idoneidad de sustancias ligantes en las muestras de carácter disgregado.
- Establecimiento de un procedimiento estándar de preparación de muestras que permita la elaboración de muestras de gran tamaño.
- Recuperación de residuos y disolventes involucrados en la purificación de las colillas usadas de cigarrillos utilizando metodologías para la eliminación de metales tóxicos y residuos orgánicos clásicas, como la destilación, o bien otras actualmente en desarrollo, como son: filtración mediante membranas, intercambio iónico, precipitación química, coagulación y floculación, adsorción o biosorción o procesos de oxidación avanzada como la degradación fotocatalítica (Syeda et al., 2022).
- Determinación de otras propiedades de los materiales que puedan ser interesantes de cara a la aplicación de las muestras preparadas con colillas usadas de cigarrillos en la construcción (conductividad térmica, resistencia al fuego, etc.).
- Determinación de propiedades acústicas en cámara reverberante, para lo que hace falta, si nos queremos ajustar a norma, grandes cantidades de material –al menos 10 metros cuadrados.

Agradecimientos: Los trabajos presentados se enmarcan dentro del proyecto “Estudio de materiales acústicos elaborados a partir de colillas usadas de cigarrillos” financiado por los fondos FEDER y por la Junta de Extremadura (proyecto IB18033) y del contrato entre la UEx y ALTADIS denominado “Desarrollo de la línea de investigación de reciclaje de filtros usados de cigarrillos como materiales acústicos” (ref. 075/21). Guillermo Rey Gozalo agradece la

financiación de la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura a través de ayudas para la atracción y retorno del talento investigador a los centros de I+D+i del Sistema Extremeño de Ciencia, Tecnología e Innovación (TA18019), donde la Universidad de Extremadura es la entidad beneficiaria.

Bibliografía

- Ariza, E.; Jiménez, J.A. y SARDÁ, R. (2008). Seasonal evolution of beach waste and litter during the bathing season on the Catalan coast. *Waste Management*, 28, 2604-2613.
- EIP (Euromonitor International. Passport): Global Market Information Database. 2016. <https://tobaccoatlas.org/topic/consumption/> (último acceso 18/10/2021).
- Gómez Escobar, V.; Maderuelo-Sanz, R. (2017). Acoustical performance of samples prepared with cigarette butts. *Appl. Acoust.*, 125, 166-172.
- Gómez Escobar, V.; Moreno González, C.; Arévalo Caballero, M.J. y Gata Jaramillo, A.M. (2021a). Initial conditioning of used cigarette filters for their recycling as acoustical absorber materials, *Materials*, 14, 4161 (11pp).
- Gómez Escobar, V.; Moreno González, C. y Rey Gozalo, G. (2021b). Analysis of the influence of thickness and density on acoustic absorption of material made form used cigarette butts, *Materials*, 14, 4524 (16pp).
- Gómez Escobar, V.; Rey Gozalo, G. y Pérez, C.J. (2019). Variability and performance study of the sound absorption of used cigarette butts, *Materials*, 12, 2584 (15pp).
- ISO 10534-2. Acoustics: determination of sound absorption coefficient and impedance in impedances tubes. Part 2: transfer-function method. Switzerland, 1998.
- Lee, M.; Kim, G.-P.; Don Song, H.; Park, S. y Yi, J. (2014). Preparation of energy storage material derived from a used cigarette filter for a supercapacitor electrode. *Nanotechnology*, 25, 345601 (8pp)
- Maderuelo-Sanz, R.; Gómez Escobar, V. y Meneses-Rodríguez, J.M. (2018). Potential use of cigarette filters as sound porous absorber. *App. Acoust.*, 129, 86-91.
- Marinello, S.; Lolli, F.; Gamberini, R. y Rimini, B. (2020). A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 384, 121245 (pp 20).
- Martínez-Ribes, L.; Basterretxea, G.; Palmer, M. y Tintoré, J. (2007). Origin and abundance of beach debris in the Balearic Islands. *Scientia Marina*, 71 (2), 305-314.
- Micevska, T.; Warne, M. ST. J.; Pablo, F. y Patra, R. (2006). Variation in, and Causes of, Toxicity of Cigarette Butts to a Cladoceran and Microtox. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 50, 205-212.
- Mohajerani, A.; Kadir, A.A. y Larobina, L. (2016). A practical proposal for solving world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. *Waste Management*, 52, 228-244.
- Moriwaki, H.; Kitajima, S. y Katahira, K. (2009). Waste on the roadside, 'poi-sute' waste: Its distribution and elution potential of pollutants into environment. *Waste Management*, 29, 1192-1197.

- MSCBS. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. (2021). https://www.msbs.gob.es/ciudadanos/proteccionSalud/tabaco/programaJovenes/consumo_porque.htm (último acceso 18/10/2021)
- Novotny, T.; Lum, K.; Smith, E.; Wang, V. y Barnes, R. (2009). Cigarettes Butts and the Case for an Environmental Policy on Hazardous Cigarette Waste. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 6, 1691-1705.
- Novotny, T.E., y Slaughter, E. (2014). Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption. *Curr. Envir. Health Rpt* ,1, 208-216.
- Polarz, S.; Smarsly, B. y Schattka, J. H. (2002). Hierarchical Porous Carbon Structures from Cellulose Acetate Fibers. *Chem. Mater.*, 14, 2940-2945.
- Puls, J.; Wilson, S.A. y Höltner, D. (2011). Degradation of cellulose acetate-based materials: a review. *J. Polym. Environ.*, 19, 152-165.
- Register, K.M. (2000). Cigarette Butts as Litter- Toxic as Well as Ugly. *Bull. Am. Litt. Soc.*, 25, 23-29.
- Slaughter, E.; Gersberg, R.M.; Watanabe, K.; Rudolph, J.; Stransky, C. y Novotny, T.E. (2011). Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. *Tobacco Control*, 20 (1), i25-i29.
- Statista 2021: <https://es.statista.com/estadisticas/636021/consumo-mundial-de-cigarrillos/#statisticContainer> (accessed on 27 July 2021).
- Syeda, H. I.; Sultan, I.; Razavi, K. S. y Yap, P. S. (2022). Biosorption of heavy metals from aqueous solution by various chemically modified agricultural wastes: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 46, 2214-7144.
- Terracycle 2021: <https://www.terracycle.com/en-US/> and <https://www.terracycle.es> (último acceso 18/10/2021)
- Torkashvand, J. y Farzadkia, M. (2019). A systematic review on cigarette butt management as a hazardous waste and prevalent litter: Control and recycling. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26, 11618-11630.
- WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). (2017). Tobacco and its environmental impact: an overview. Switzerland; World Health Organization.
- Zhao, J.; Zhang; N.; Qu, C.; Wu, X.; Zhang, J. y Zhang, X. (2010). Cigarette Butts and Their Application in Corrosion Inhibition for N80 Steel at 90 °C in a Hydrochloric Acid Solution. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49, 3986-3991.