

INFLUENCIAS EN LA ABSORCIÓN ACÚSTICA DE MUESTRAS PREPARADAS A PARTIR DE COLILLAS DE CIGARRILLOS USADAS

PACS: 43.55.Ev.

Valentín Gómez Escobar; Celia Moreno González; M^a José Arévalo Caballero; M^a Luisa Durán Martín-Merás; Guillermo Rey Gozalo; Carlos Javier Pérez Sánchez
Universidad de Extremadura. Avda de la Universidad s/n 10003 Cáceres. España. 927257195.
valentin@unex.es

Palabras Clave: reciclaje, materiales acústicos, colillas

ABSTRACT.

Used cigarette butts (mainly their filters) are one of the most problematic residues today, due to their abundance, toxicity, degree of accumulation, the limited recycling proposal, etc. In recent years, the research team that present this work tries to propose a proposal for recycling this waste as an acoustic material, in particular as an acoustic absorber. In this work, some of the results of the work carried out are presented, specifying these in the analysis of different factors that influence the acoustic absorption of the prepared samples. Thus, influences such as humidity, state of disintegration, density, thickness, chemical cleanliness, etc. will be presented showing that some of them are especially relevant in acoustic absorption and, therefore, must be considered in the manufacture of these materials.

RESUMEN.

Las colillas usadas de los cigarrillos (principalmente, los filtros de las mismas) son uno de los residuos más problemáticos de la actualidad, por su abundancia, toxicidad, grado de acumulación, por la escasa propuesta de reciclaje, etc. En los últimos años, el equipo de investigación que presenta este trabajo intenta proponer una propuesta de reciclaje de este residuo como material acústico, en particular como absorbente acústico. En este trabajo se presentan algunos de los resultados del trabajo realizado, concretando estos en el análisis de diferentes factores que influyen en la absorción acústica de las muestras preparadas. Así, influencias como la humedad, estado de disgregación, densidad, espesor, limpieza química, etc. serán presentadas mostrando que algunas de ellas son especialmente relevantes en la absorción acústica y, por tanto, deben ser muy tenidas en cuenta en la fabricación de estos materiales.

1. INTRODUCCIÓN

Con el avance de la tecnología y de la sociedad, el ser humano fue incorporando nuevos hábitos a su vida cotidiana, algunos realmente perjudiciales para la salud, como el consumo de tabaco. La planta del tabaco es originaria de los países sudamericanos, y llegó por primera vez a Europa tras el descubrimiento de América, dándole principalmente un uso medicinal. Fue a finales del siglo XIX cuando se patentó la primera máquina capaz de fabricar cigarrillos y su uso y consumo se globalizó.

A principios del siglo XX empieza a evidenciarse la relación entre el consumo de tabaco y algunas enfermedades, principalmente el cáncer de pulmón. Por ello, a mediados del siglo XX, en la década de los 50, se añade un filtro a los cigarrillos, con la pretensión de reducir la cantidad de

sustancias que inhala el fumador. Varios estudios confirmaron que el uso del filtro reducía los riesgos de padecer cáncer de pulmón respecto al uso de cigarrillos sin filtro [1].

Las colillas de los cigarrillos son un desecho de su consumo, siendo su principal problema el filtro de las mismas. Por si solo el filtro, compuesto de acetato de celulosa¹, tiene una degradación muy lenta, pudiendo tardar años en degradarse; y esta degradación no es total, ya que el filtro se fragmenta en trozos más pequeños [2]. Además, hay que añadir las sustancias que retiene el filtro (se han llegado a catalogar cientos) de las cuales muchas de ellas se pueden lixiviar fácilmente en el agua [3][4]. Por este motivo en muchos países las colillas se consideran como material peligroso, necesitando un tratamiento de residuos especial [5].

Ahora bien, ¿todas las colillas son desechadas correctamente, facilitando su tratamiento? La respuesta es que la mayoría de los consumidores no arrojan las colillas a lugares adecuados (como ceniceros, papeleras o contenedores) si no al suelo (en la calle, en el campo o en playas) contaminando así tanto la tierra como el agua [6]. Algunos estudios muestran que una sola colilla puede contaminar hasta 10 litros de agua salada y 50 de agua dulce, cambiando de este modo el ecosistema y afectando tanto a la fauna como a la flora de este. Además, estudios sobre la composición de los residuos muestran que las colillas es el desecho mayor encontrado en número y en algunos casos también en peso [7][8][9].

A pesar de la problemática descrita de los filtros de cigarrillos usados y del gran número de ellos que se generan cotidianamente (miles de millones, anualmente), no hay demasiadas iniciativas para reciclar las colillas. Como iniciativa privada destaca la de la empresa Terracycle [10] que tiene varias iniciativas para recolectar colillas usadas y usar sus filtros en la fabricación de plásticos u otros usos. En cuanto a trabajos de investigación existen algunas propuestas individuales para usar las colillas para la fabricación de supercondensadores [11], como inhibidores químicos [12], o como parte de la composición de ladrillos [13]. La mayor parte de las iniciativas propuestas en los últimos años están recopiladas en dos trabajos publicados recientemente [14][15].

Debido a la necesidad de buscar nuevas formas de reciclar las colillas y gracias al carácter fibroso y poroso del acetato de celulosa, desde hace unos años se está trabajando en el uso de las colillas como absorbentes acústicos.

2. MATERIAL Y METODO

2.1. Equipamiento para la Caracterización Acústica de Muestras

El equipo utilizado para medir las propiedades acústicas de las muestras es un tubo de impedancias modelo 4206 T de Brüel & Kjaer, un sistema multi-analizador PULSE de 4 canales de Brüel & Kjaer, modelo 3560 C, un amplificador de potencia de Brüel & Kjaer, modelo 2716 C, micrófonos ¼ de pulgada de Brüel & Kjaer, modelo 4187 y software Material Testing para Pulse de Brüel & Kjaer, modelo 7758. El tubo de impedancia dispone de dos portamuestras de diámetros 100 mm y 29 mm, con los que se obtiene información en los rangos de frecuencia de 50 a 1600 Hz y de 500 a 6400 Hz, respectivamente. Este equipo se ha utilizado para dos tipos de determinaciones:

1.- Determinación del coeficiente de absorción con incidencia de la onda normal mediante el método de la función de transferencia establecido en la Norma ISO 10534-2 (ISO 10534-2, 2002). En la Figura 1a), se muestra un esquema del montaje utilizado, mientras en la Figura 2 se muestra una fotografía del tubo de impedancias utilizado, con el portamuestras de 100 mm.

2.- Determinación de la resistencia al flujo de aire de las muestras de algunas de las muestras mediante el método de Ingard and Dear [17], con una configuración de muestra dentro del tubo como se muestra en la Figura 1b).

¹ Realmente es un polímero de celulosa con grado de sustitución 2-3 de acetato.

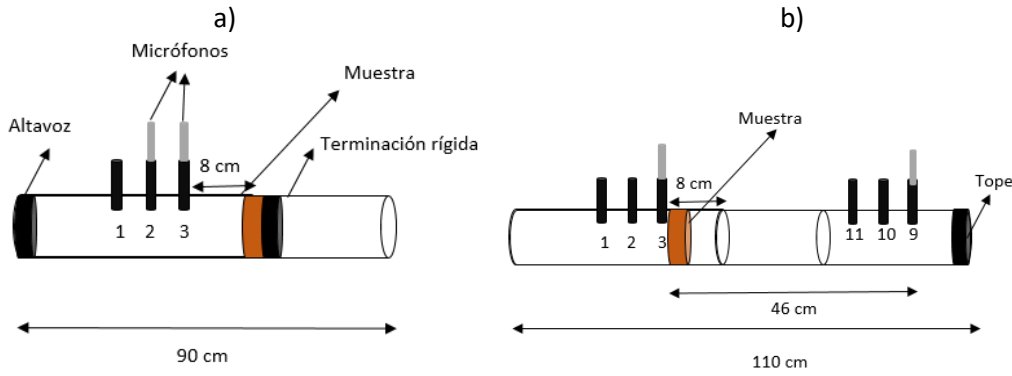


Figura 1- Esquema de la colocación de la muestra para medidas de absorción acústica (a) y para resistencia al flujo (b).



Figura 2- Tubo de impedancias con el porta muestras de 100 mm de diámetro.

2.2. Muestras de Partida y Acondicionamiento de las Mismas

El principal material que se ha utilizado son colillas de cigarrillos usados, si bien para algunos ensayos se han adquiridos filtros sin usar. Las colillas se han obtenido gracias a la colaboración del personal de limpieza de la Universidad de Extremadura, específicamente el de la Escuela Politécnica. También, gracias a la colaboración de algunos fumadores particulares.

Las colillas usadas, dado que llegan con restos de tabaco que no han llegado a consumirse, son limpiadas, en un primer paso de forma manual, dejando únicamente la colilla usada. Una vez realizada esa limpieza, las colillas usadas se clasifican según su diámetro, su longitud, la marca del cigarro o el estado en el que están, es decir, si tienen alguna zona quemada o no. Las zonas quemadas son áreas en las que el filtro pierde su característica porosa, por lo que afecta a sus propiedades acústicas.

Las diferentes muestras preparadas para su evaluación acústica tienen en cuenta las siguientes posibilidades:

1. Respecto colillas de partida, en una primera etapa de la línea de trabajo, las colillas usadas se colocaban directamente sobre los soportes de muestra². En la actualidad, la práctica totalidad de las muestras se preparan con colillas de partidas a las que se le sustrae el papel envolvente (con lo cual sólo nos quedan los filtros) y que son disgregada. Hasta la fecha se han utilizado tres métodos diferentes, cada uno con mayor grado de disgregación. En la Figura 3 se muestran algunas imágenes de las muestras preparadas.

² Para este tipo de muestras, el tubo de impedancias se utilizaba colocado de forma vertical.



Figura 3- Esquema de la colocación de la muestra para medidas de resistencia al flujo.

- Respecto al tratamiento previo, al margen de un paso previo de secado para eliminar la humedad de las muestras, del que luego se hablará con mayor detalle, dada la cantidad de sustancias tóxicas que los filtros acumulan, se ha puesto a punto un procedimiento de limpieza química de las muestras que, con eluyentes poco agresivos con la naturaleza, logren limpiar las colillas y darles una apariencia más agradable. Así, se han realizado experiencias con muestras con y sin procedimiento químico propuesto (esquematisado en la Figura 4), para analizar su influencia en las propiedades acústicas de las muestras. En la Figura 5 se muestra la influencia del procedimiento químico en la apariencia de las muestras.

LIMPIEZA QUÍMICA DE COLILLAS

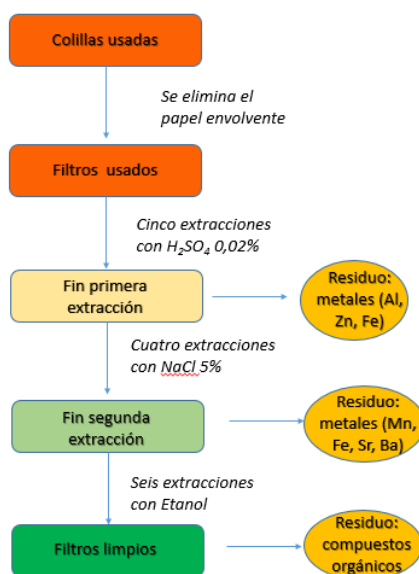


Figura 4- Primera propuesta de limpieza química de las colillas usadas.



Figura 5- Influencia de la limpieza química en la apariencia de las muestras.

3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

3.1. Estudio de Humedad

Se han realizado diversos estudios de humedad, de cara a analizar la influencia de la humedad en el comportamiento acústico del material y en las condiciones para el secado de las muestras.

Respecto al estudio de humedad [en el cual se introducían las muestras (previamente secadas) en un entorno saturado con agua y cada cierto número de días se pesaban las muestras y se medía su coeficiente de absorción] se han encontrado diferentes resultados para las muestras, según las muestras eran preparadas con colillas enteras o con colillas disgregadas. Para las colillas enteras colocadas manualmente, se encontró que la colocación de las muestras en un ambiente saturado hacía que su peso se incrementase (del orden del 20% en los primeros 30 días) y que la absorción acústica global aumentase entre 10 y 40 % en los 30 primeros días. Sin embargo, para las muestras de colillas disgregadas, si bien se sigue observando un aumento de la masa de la muestra, con el tiempo en una atmósfera saturada, se observa una reducción de la absorción acústica global, como se observa en la Figura 6.

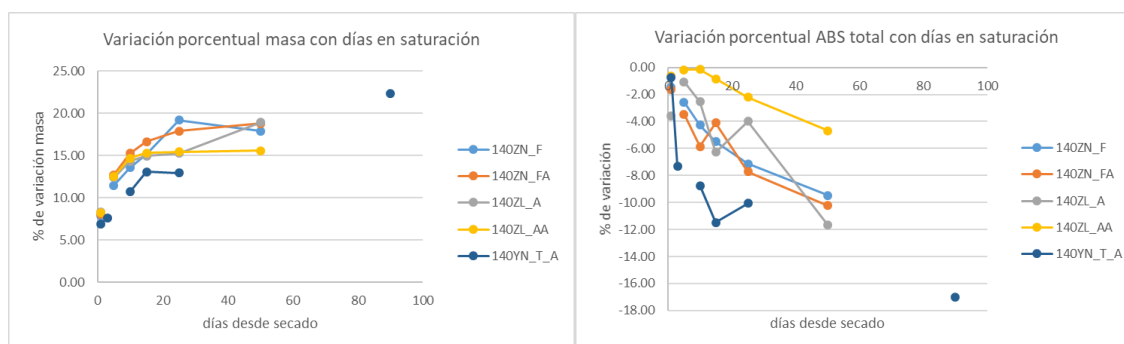


Figura 6- Porcentaje de variación del peso y de la absorción total respecto a los días para muestras disgregadas.

Respecto a las condiciones de secado que permitan eliminar la humedad y, por tanto, las muestras, los estudios llevados a cabo hasta el momento parecen indicar que es suficiente con un secado de tres horas a 105 °C [18].

3.2. Estudios de la Influencia del Espesor de la Muestra.

En los estudios llevados a cabo con diferentes espesores de muestra se ha encontrado que el espesor, como cabría esperar, influye de forma importante en la absorción de las muestras; aumentando, según aumenta el espesor, la absorción de las muestras a medias y bajas frecuencias. Este efecto se muestra en la Figura 7.

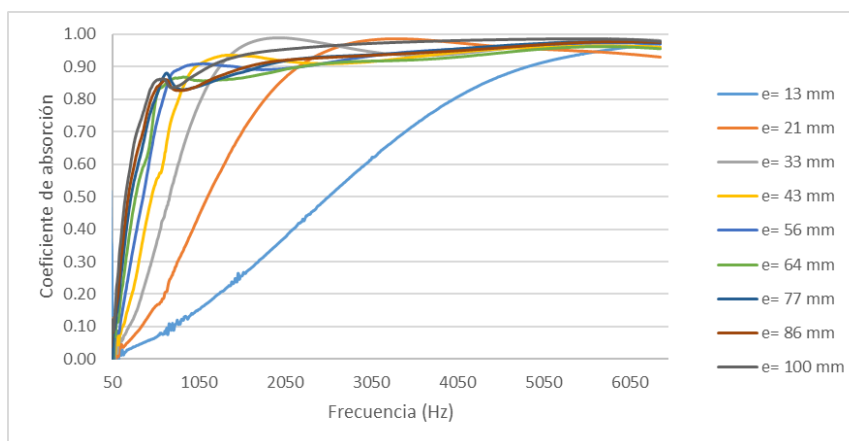


Figura 7- Influencia del espesor de la muestra en la absorción acústica de las muestras.

Como se aprecia, se produce un desplazamiento del primer máximo de absorción de las muestras hacia bajas frecuencias según aumenta el espesor de las mismas. Este desplazamiento del máximo de absorción hacia frecuencias intermedias, si bien parecía lineal con la longitud de los filtros en las primeras experiencias, cuando se ha extendido el estudio a mayor rango de longitudes de filtros, se observa que esta linealidad no es tal, como se ha descrito en trabajos previos [19] y se aprecia en la Figura 8, para la muestras de la Figura 7.

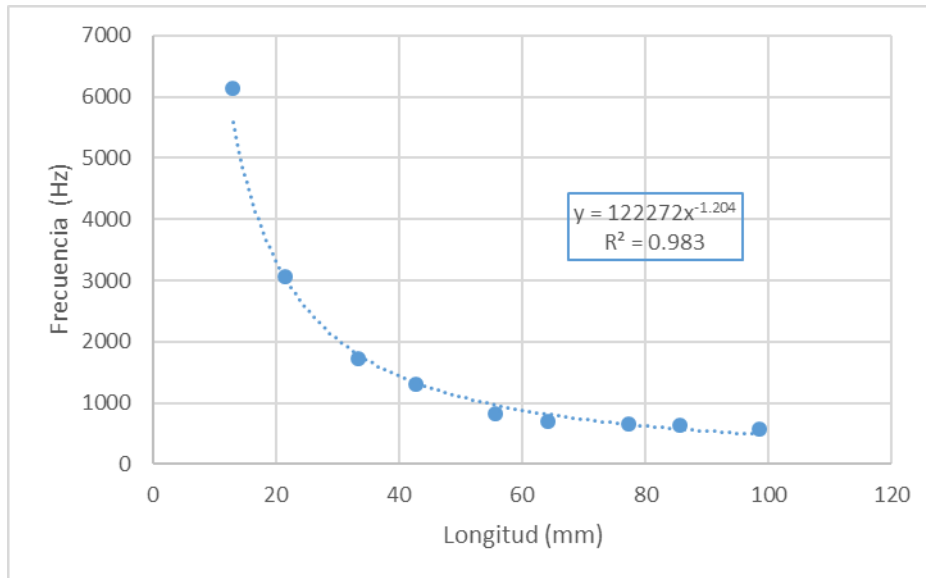


Figura 8.- Variación del valor del primer máximo de absorción con el espesor de la muestra.

3.3. Estudios de la Influencia de la Limpieza Química de las Muestras.

Una preocupación que nos surgió al plantear un procedimiento de limpieza química era que este no alterase de forma importante el buen comportamiento absorbente de las muestras. Con el procedimiento químico que se eligió y que ha sido esquematizado en la Figura 4, se observó que no se modifica sustancialmente el comportamiento acústico de las muestras. Así, a modo de ejemplo, en la Figura 9 se muestra para una de las muestras preparadas que el procedimiento químico no sólo no empeora el comportamiento acústico de la misma, sino que incluso lo mejora.

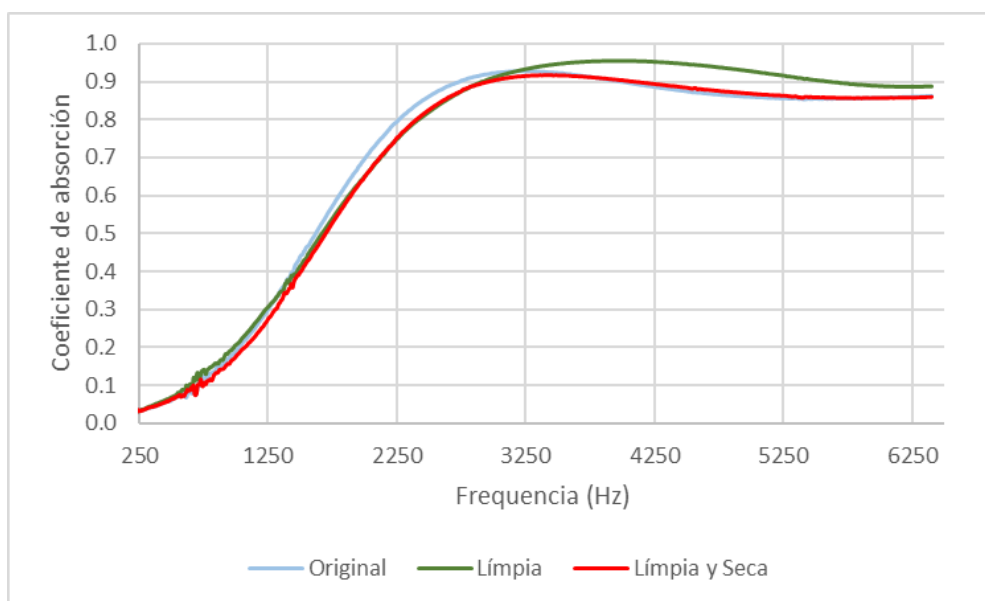


Figura 9- Influencia del procedimiento química en la absorción acústica de una de las muestras.

3.4. Estudios de la Influencia del Método de Disgregación de la Muestra.

Como se indicó anteriormente, se han elegido hasta el momento, tres métodos diferentes que implican un grado diferente de disgregación, tal y como se ha mostrado en la Figura 3. En la Figura 10 se muestra el comportamiento acústico de tres muestras, cada una fabricada con uno de los tres procesos de disgregación.

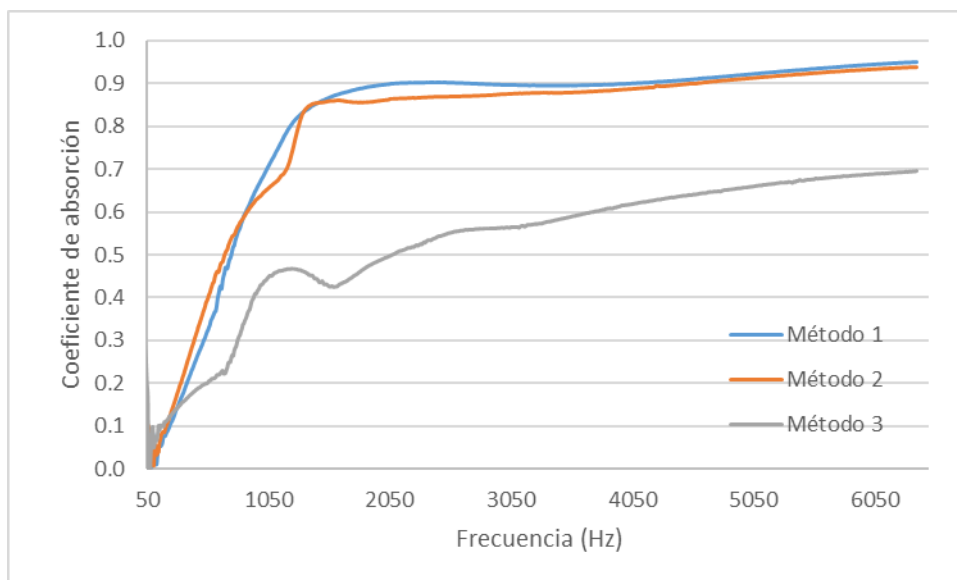


Figura 10- Influencia del procedimiento de disgregación en la absorción acústica de las muestras.

En el primer método (Método 1) la disgregación es parcial, en el segundo es más completa (Método 2) y en el tercer método las colillas son trituradas y compactadas con una prensa (Método 3). Se aprecia que en este último método hay una bajada muy importante de la absorción acústica debido probablemente a la disminución de la porosidad de la muestra.

3. CONCLUSIONES

De los estudios presentados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La humedad de las muestras afecta a su comportamiento acústico, si bien el comportamiento difiere de muestras no disgregadas a disgregadas. Para eliminar esta influencia se propone la eliminación de la humedad mediante un secado de tres horas a 105 °C.
- Existe una clara dependencia de la absorción acústica del material con el espesor de la muestra, con un desplazamiento del máximo de absorción de las muestras hacia frecuencias más bajas cuando aumenta el espesor de las muestras.
- Se ha desarrollado un proceso de limpieza química, capaz de eliminar los residuos presentes en las colillas, con reactivos muy poco contaminantes (solución muy poco ácida, cloruro sódico y etanol) y que no afecta de forma apreciable al comportamiento acústico de las muestras.
- Existen diferencias claras en el comportamiento acústico de las muestras disgregadas según el método de disgregación, debiéndose seguir trabajando en esta línea.

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos presentados se enmarcan dentro de los proyectos “Estudio de materiales acústicos elaborados a partir de colillas usadas de cigarrillos” y “Ayuda al grupo de investigación denominado “Laboratorio de Acústica””, proyectos cofinanciados por FEDER y Junta de

Extremadura, Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital (proyectos IB18033 y GR21061) 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.

REFERENCIAS

- [1] Rimington, J. The Effect of Filters on the Incidence of Lung Cancer in Cigarette Smokers. *Environmental Research*, 24, 1981, 162-166.
- [2] Puls, J.; Wilson, S.A.; Hölter, D. Degradation of cellulose acetate-based materials: a review. *J. Polym. Environ.*, 19, 2011, 152–165.
- [3] Micevska, T.; Warne, M. ST. J.; Pablo, F.; Patra, R. Variation in, and causes of, Toxicity of Cigarette Butts to a Cladoceran and Microtox. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 50, 2006, 205-212.
- [4] Slaughter, E.; Gersberg, R.M.; Watanabe, K.; Rudolph, J.; Stransky, C.; Novotny, T.E. Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. *Tobacco Control*, 20 (1), 2011, i25-i29.
- [5] Novotny, T.; Lum, K.; Smith, E.; Wang, V.; Barnes, R. Cigarettes Butts and the Case for an Environmental Policy on Hazardous Cigarette Waste. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 6, 2009, 1691-1705.
- [6] Novotny, T.E.; Slaughter, E. Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption. *Curr. Envir. Health Rpt*, 1, 2014, 208-216.
- [7] Ariza, E.; Jiménez, J.A.; SARDÁ, R. Seasonal evolution of beach waste and litter during the bathing season on the Catalan coast. *Waste Management*, 28, 2008, 2604-2613.
- [8] Martínez-Ribes, L.; Basterretxea, G.; Palmer, M.; Tintoré, J. Origin and abundance of beach debris in the Balearic Islands. *Scientia Marina*, 71 (2), 2007, 305-314.
- [9] Moriwaki, H.; Kitajima, S.; Katahira, K. Waste on the roadside, 'poi-sute' waste: Its distribution and elution potential of pollutants into environment. *Waste Management*, 29, 2009, 1192-1197.
- [10] Terracycle 2021: <https://www.terracycle.com/en-US/brigades/cigarette-waste-recycling> (último acceso 28/09/2022)
- [11] Lee, M.; Kim, G.-P.; Don Song, H.; Park, S.; Yi, J. Preparation of energy storage material derived from a used cigarette filter for a supercapacitor electrode. *Nanotechnology*, 25, 2014, 345601 (8pp)
- [12] Zhao, J.; Zhang, N.; Qu, C.; Wu, X.; Zhang, J.; Zhang, X. Cigarette Butts, and Their Application in Corrosion Inhibition for N80 Steel at 90 °C in a Hydrochloric Acid Solution. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49, 2010, 3986-3991.
- [13] Mohajerani, A.; Kadir, A.A.; Larobina, L. A practical proposal for solving world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. *Waste Management*, 52, 2016, 228–244.
- [14] Marinello, S.; Lolli, F.; Gamberini, R.; Rimini, B. A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 384, 2020, 121245 (pp 20).
- [15] Torkashvand, J.; Farzadkia, M. A systematic review on cigarette butt management as a hazardous waste and prevalent litter: Control and recycling. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26, 2019, 11618–11630.
- [16] UNE-EN ISO 10534-2 Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. 2002
- [17] Ingard, K.U.; Dear, T.A. Measurement of acoustic flow resistance. *J Sound Vib.*, 103, 1985, 567–572.
- [18] Gómez Escobar, V.; Moreno González, C.; Arévalo Caballero, M.J.; Gata Jaramillo, A.M. Initial conditioning of used cigarette filters for their recycling as acoustical absorber materials. *Materials*, 14, 2021, 4161 (11pp).
- [19] Gómez Escobar, V.; Moreno González, C.; Rey Gozalo, G. Analysis of the influence of thickness and density on acoustic absorption of material made from used cigarette butts, *Materials*, 14, 2021, 4524 (16pp).