

## ¿USAR COLILLAS COMO ABSORBENTES ACÚSTICOS?

PACS: 43.55.Ev.

Gómez Escobar, Valentín<sup>1</sup>; Maderuelo Sanz, Rubén<sup>2</sup>; Durán Martín-Merás, M<sup>a</sup> Luisa<sup>3</sup>; Arévalo Caballero, M<sup>a</sup> José<sup>4</sup>; Ortiz-Caraballo, Carmen<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica, 10003 Cáceres, España. 927257195. [valentin@unex.es](mailto:valentin@unex.es).

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (INTROMAC) Campus Universidad de Extremadura, 10071 Cáceres, Spain. 927181042. [rmaderuelo@intromac.com](mailto:rmaderuelo@intromac.com).

<sup>3</sup> Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica, 10003 Cáceres, España. 927257195. [mlduran@unex.es](mailto:mlduran@unex.es).

<sup>4</sup> Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica, 10003 Cáceres, España. 927257195. [arevalo@unex.es](mailto:arevalo@unex.es).

<sup>5</sup> Escola d'Enginyeria d'Igualada, Av. Pla de la Massa,8, 08700 Igualada (Barcelona). España. 93 803 5300. [carmen.ortiz@eei.upc.edu](mailto:carmen.ortiz@eei.upc.edu).

**Palabras Clave:** Absorción acústica, nuevos materiales, colillas

**ABSTRACT.** (Arial, línea 25, tamaño 10, alineado izquierda).

Cigarette butts are an undesirable material waste mostly present in human debris all over the world (even they are usually deposited in unsuitable places). Moreover, they are not biodegradable and they have a high degree of toxicity. One way to contribute to their adequate collection and the reduction of this waste is increasing their value. In this work, first studies to use this residue as acoustic absorber are presented together with the problems raised and the challenges encountered. Finally, some of the proposals for further studies are outlined.

### RESUMEN.

Las colillas usadas de los cigarrillos es uno de los residuos más abundantes en todo el mundo. A ello hay que unir su carácter poco degradable, su toxicidad y el hecho de que muchas veces no se deposita en un lugar adecuado. Una de las formas de contribuir a la adecuada recogida y disminución de ese residuo es su valorización. En este trabajo se presentan los primeros estudios realizados para dar uso a este residuo como absorbente acústico. Se plantean, además, algunos de los problemas/retos encontrados y algunas de las propuestas para abordarlos en futuros estudios.

## INTRODUCCIÓN

Al margen de las innegables ventajas que el desarrollo tecnológico, cultural, económico y social ha supuesto para el ser humano, también ha traído consigo algunos efectos adversos, no deseados y que no pueden ser obviados. Es el caso, por ejemplo, de los residuos o desechos que se generan cotidianamente fruto de los hábitos y estilos de vida convencionalmente establecidos. También es el caso de algunos hábitos que se han asimilado y convertido en conductas “habituales” en el ser humano moderno y que han resultado no ser totalmente saludables, e incluso perjudiciales, según ha ido demostrando la ciencia. Un ejemplo que encaja en esta descripción es el hábito de fumar. Este hábito, cotidiano para muchas personas, ha demostrado ser nocivo fundamentalmente por el conocido efecto perjudicial que el tabaco tiene para la salud tanto de los fumadores como de las personas que inhalan el humo (fumadores pasivos), pero también, por los residuos que genera.

La grave incidencia de enfermedades en fumadores provocó la introducción de filtros en los cigarrillos a mediados del siglo pasado. Así, desde mediados de la década de los años cincuenta del siglo XX hasta el principio del siglo XXI, el consumo de cigarrillos con filtro se incrementó desde alrededor del 1% hasta cerca del 98% del total de cigarrillos consumidos (Rimington, 1981), en parte, favorecido por estudios realizados que demostraban la disminución de cáncer de pulmón en fumadores de cigarrillos con filtro, respecto a fumadores de cigarrillos sin filtro (Rimington, 1981).

La práctica totalidad de filtros que se usan para los cigarrillos son de acetato de celulosa, 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). Las alternativas buscadas hasta la fecha no han tenido éxito, bien por su dificultad de extensión, bien por la falta de aceptación de los fumadores sobre las alternativas propuestas (Novotny y Zhao, 2009). Así, la presencia de filtros en los cigarrillos ha dado lugar a una nueva preocupación: **¿Qué hacemos con los filtros usados?** Esta cuestión es tanto más relevante dado que una gran parte de los fumadores arrojan las colillas al suelo [1 de cada 3, según algunos estudios de EEUU (Novotny et al., 2014)] y que el consumo de cigarrillos en el mundo entero es de billones anualmente [ya era de más de 5 billones de cigarrillos en 1995 (Novotny et al., 1999)]. De hecho en estudios sobre los elementos que integran los desechos que se encuentran en nuestro entorno (calle, playas, etc.) o en los lugares de recogida de basura (papeleras, contenedores, etc.) las colillas suelen ser el elemento encontrado en mayor cantidad en número y de los más abundantes en peso (Ariza et al., 2008).

El problema se agrava, si tenemos en cuenta que una vez usados, los filtros de los cigarrillos han acumulado sustancias provenientes del tabaco o de su combustión y que estas sustancias se disuelven con facilidad en el agua, haciéndola tóxica para diferentes organismos (Slaughter et al., 2011).

Entre las posibles soluciones al problema generado por los filtros usados está la de encontrarles un uso que permita su reutilización y, debido a su utilidad y valorización, contribuir a la disminución del número de colillas usadas arrojadas en lugares no apropiados. Entre las propuestas de reciclaje de colillas se encuentran las siguientes:

- Uso del agua de lavado de las colillas como insecticida, dada la toxicidad que conllevan (Dieng et al., 2013).
- Uso del agua de lavado de las colillas como inhibidor químico (Zhao et al., 2010).
- Uso de colillas pirolizadas como supercondensador (Lee et al., 2014).
- Incorporación de colillas a ladrillos (Kadir y Mohajerani, 2012).
- Separador de ánodo y cátodo en baterías de litio, debido a su estabilidad térmica y a sus características hidrofílicas (Huang et al., 2015).

En este trabajo se plantea el estudio de una nueva propuesta de reciclaje de las colillas usadas, en la que, aprovechando su carácter fibroso y poroso (Polarz et al., 2002), se puedan usar para la elaboración de materiales que puedan ser usados como absorbentes acústicos.

Aunque convencionalmente, en la absorción acústica de recintos, está muy extendido el uso de materiales industriales sintéticos, tales como lanas minerales o fibras de vidrio, en los últimos años se han realizado estudios de materiales alternativos, muchos de ellos naturales (Oldham et al, 2011; Rey et al. 2013; Berardi e Iannace, 2015). En estos estudios, se demuestra que, en cuanto a su comportamiento acústico, estos materiales son equivalentes e incluso mejores a los convencionalmente empleados y, por tanto, podrían ser una clara alternativa a ellos.

Por tanto, el objetivo principal de la línea de trabajo que aquí se plantea es el de “Estudiar la viabilidad del uso de materiales preparados a partir de colillas usadas como materiales absorbentes acústicos”.

Los primeros estudios realizados en esta línea (Gómez Escobar y Maderuelo-Sanz, 2017; Maderuelo-Sanz et al., 2018) dan resultados esperanzadores.

## MATERIALES

Con la colaboración de fumadores individuales y del personal del servicio de limpieza de la Universidad de Extremadura se ha podido disponer de colillas usadas. En un primer paso, estas 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. En la figura 1, se muestran colillas usadas una vez tratadas manualmente y ya listas para la preparación de muestras.



*Figura 1.- Colillas usadas, tratadas manualmente para proceder a la preparación de muestras.*

Las colillas usadas con las que se contaban provenían de diferentes marcas de cigarrillos y se observó que poseían filtros de diferente grosor y de diferentes longitudes. Adicionalmente, algunos de los filtros presentaban partes carbonizadas en las que no se apreciaban las características porosas y elásticas de los mismos. Se intentó, en la medida de las posibilidades, la separación manual de los filtros, atendiendo a su longitud, grosor y la presencia o no de partes carbonizadas y hacer diferentes conjuntos en los que las colillas que los formasen se pudiesen considerar equivalentes.

Adicionalmente, se prepararon algunas muestras con filtros limpios adquiridos.

### METODOLOGÍA, DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Para la caracterización acústica, se ha empleado el método que establece la Norma UNE EN ISO 10534-2:2002 (2002). Así, el coeficiente de absorción acústico a incidencia normal fue medido mediante un tubo de impedancia modelo 4206 T de Brüel & Kjaer, en el rango de frecuencias de 100 a 5000 Hz, sistema multi-analizador PULSE de 4 canales de Brüel & Kjaer, modelo 3560 C, 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.

Para la preparación de las muestras, las colillas usadas fueron colocadas manualmente en los dos diámetros (29 y 100 mm) del tubo de impedancias. Para las medidas, el tubo de impedancias tuvo que ser colocado en posición vertical, como se aprecia en la figura 2. En la figura 3, por otro lado, se muestran imágenes de dos muestras preparadas para el diámetro ancho del tubo de impedancias (100 mm de diámetro -rango de uso de 50 a 1600 Hz-) y otras dos para el diámetro estrecho (29 mm de diámetro -rango de uso de 500 a 6400 Hz-). La diferencia entre las dos muestras preparadas para cada diámetro de tubo reside en el número de colillas usadas que forman cada una y, por tanto, en el grado de compactación de la muestra.



Figura 2.- Disposición del tubo de impedancia para las medidas de caracterización acústica.

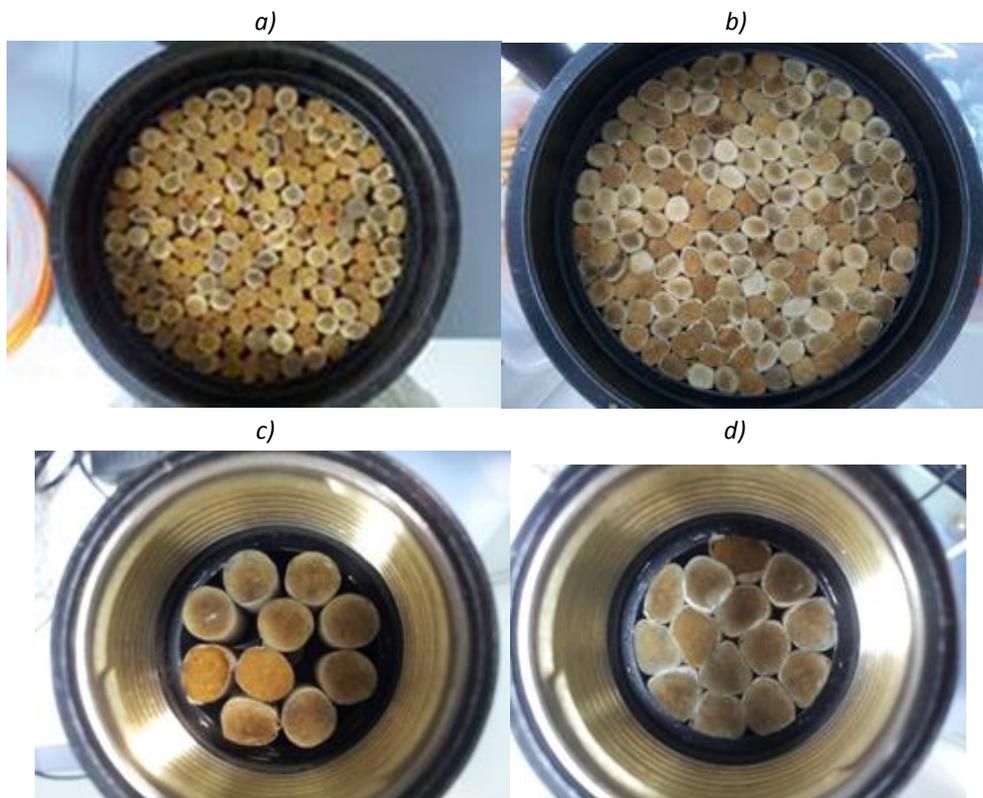
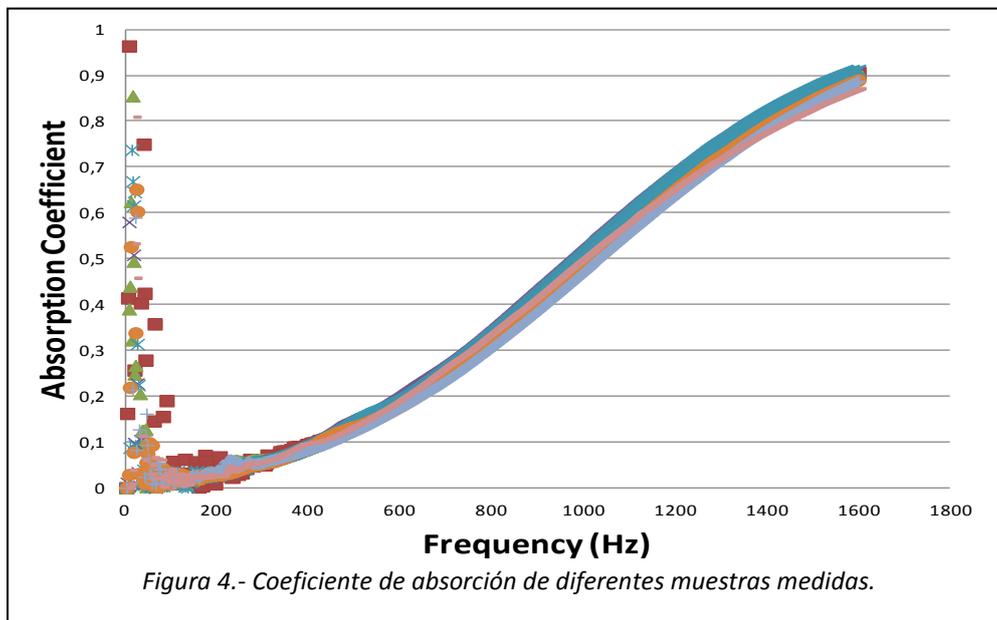


Figura 3- Ejemplos de muestras preparadas para tubo ancho y tubo estrecho.

Desde el planteamiento inicial de la línea de trabajo quedó clara la existencia de varios retos que, para abordarlos, requerían la colaboración de diversos campos científicos. Estos retos eran:

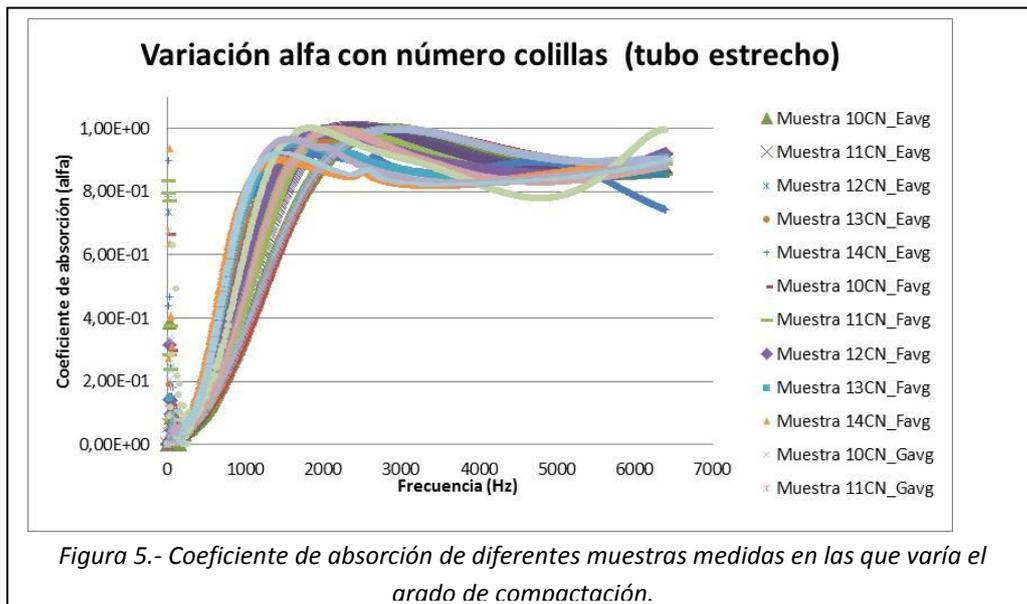
- Analizar la variabilidad de las muestras: al margen de las características mencionadas que diferenciaban a las colillas usadas y que se tuvieron en cuenta a la hora de separarlas en grupos (diferente grosor, diferentes longitudes, presencia de partes carbonizadas, etc.), la influencia de la humedad, las deformaciones previas, la marca de filtros de igual grosor y longitud, etc. podría afectar en el comportamiento acústico. Una forma de abordar este problema era preparar múltiples muestras. En la figura 4 se muestra el comportamiento acústico de varias muestras preparadas con colillas de un mismo conjunto (que, como se indicó anteriormente, podrían entenderse que eran equivalentes). Como se aprecia, la absorción acústica de unas muestras a otras son parecidas pero presentan un grado apreciable de diferencia. Así, se plantea el reto de delimitar las influencias que hay en la absorción y el peso de cada una de ellas.



- Relacionado con la variabilidad observada, un segundo reto a abordar es la necesidad de acondicionar las colillas que forman la muestra (controlar humedad, separación por tipos, extracción de propiedades físicas comunes...), la posibilidad de limpieza previa (para la eliminación de impurezas de los filtros, a ser posible, de la forma más 'limpia' posible), la búsqueda de configuraciones de medida de las colillas que sean aplicables en procesos industriales de cara a su uso en acústica de interiores, el uso de aglomerantes, etc. Para la superación de este reto, es necesario recurrir a la disciplina de la Química.

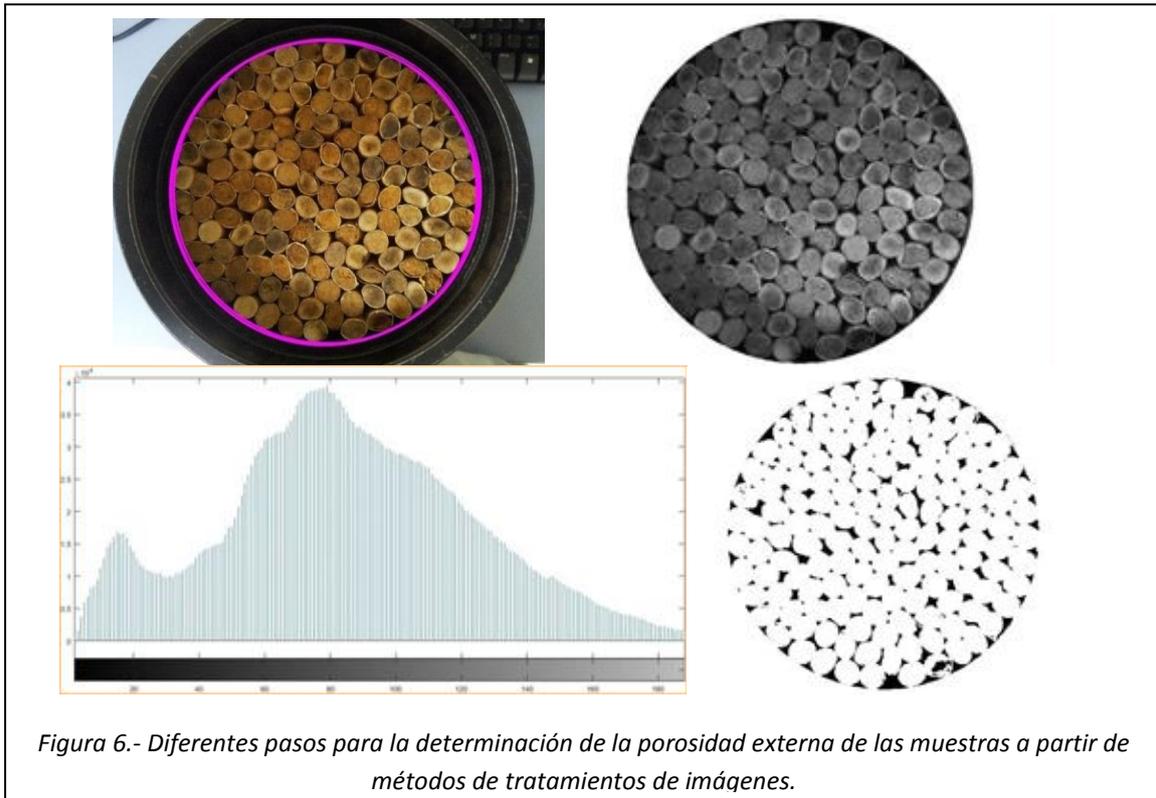
- Un tercer reto es la modelización teórica del problema. Las muestras preparadas con colillas usadas, como se aprecia en la figura 3, tienen la particularidad de tener una disposición no homogénea en la cual tenemos una porosidad interna de las colillas y otra externa (debida a los huecos existentes entre las colillas). Este sistema no se puede comparar con las diferentes expresiones teóricas que existen en la bibliografía ya que éstas se han propuesto para absorbentes porosos o fibrosos homogéneos. Apoyándonos en las Matemáticas, surge el reto de encontrar la formulación adecuada que nos permita modelizar numéricamente el comportamiento acústico de nuestras muestras.

.- Es indudable que el comportamiento acústico va a estar influido por el grado de compactación de la muestra. Esta variabilidad se aprecia en la figura 5, donde se puede observar el comportamiento acústico de muestras preparadas con diferente grado de compactación. Esta influirá en lo que acabamos de denominar porosidad externa de la muestra, tal y como se ve en la figura 3. Para la determinación de esta porosidad externa y de la compactación de la muestra, se ha considerado interesante, recurrir a procedimientos de tratamiento digital de imágenes utilizando técnicas de binarización, umbralización y segmentación como se ve en la figura 6, donde se muestran los diferentes pasos para esta determinación.



.- Finalmente, surge el reto de abordar diferentes métodos de preparación de muestra o diferentes usos acústicos de las colillas usadas. Como ejemplo de una forma diferente de preparación de muestras, en un trabajo reciente (Maderuelo-Sanz et al., 2018) se presentan estudios realizados con muestras preparadas con el acetato de celulosa de los filtros usados (separando manualmente el papel del filtro) en las que con unas muestras mucho más homogéneas (véase figura 7) se obtuvieron coeficientes de absorción muy prometedores





## CONCLUSIONES

Los resultados que se han mostrado en las figuras anteriores, prueban que las muestras preparadas poseen unos coeficientes de absorción muy elevados (cercanos a la unidad en un amplio rango de frecuencias) mostrando la potencialidad de estas muestras para su uso como absorbentes acústicos.

A su vez, se han planteado diversos retos que quedan pendientes de ser resueltos, se pueden resumir en los siguientes:

- Determinar qué y en qué grado influyen las diferentes características de las colillas usadas (grosor, longitud, humedad, etc.) y de la configuración de la muestra (grado de compactación, etc.).
- Cálculo de la porosidad externa de las muestras mediante métodos de tratamiento de imágenes.
- Determinación del mejor acondicionamiento previo y tratamiento químico de limpieza de las muestras.
- Modelización teórica de las muestras medidas.

## Agradecimientos

- Junta de Extremadura, Consejería de Economía e Infraestructuras- Ayuda GR15063.
- Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)/ European Regional Development Fund (ERDF)

## REFERENCIAS

- ARIZA, Eduard; JIMÉNEZ, José A.; SARDÁ, Rafael. "Seasonal evolution of beach waste and litter during the bathing season on the Catalan coast". *Waste Management* 28, 2008, 2604-2613.
- BERARDI, U.; IANNACE, G. "Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications". *Building and Environment*, 94, 2015, 840-852.
- DIENG, Hamady; RAJASAYGAR, Sudha; AHMAD, Abu Hassan; AHMAD, Hamdan; Md. RAWI; Che Salmah; ZUHARAH, Wan Fatma; SATHO, Tomomitsu; MIAKE, Fumio; FUKUMITSU, Yuki; SAAD, Ahman Ramli; CAHNI, Idris, Abd; MORALES VARGAS, Ronald Enrique; AB MAKID, Abdul Hafiz; ABUBAKAR, Sazaly. "Turning cigarette butt waste into an alternative control tool against an insecticide-resistant mosquito vector". *Acta Tropica* 128, 2013, 584-590.
- GOMEZ ESCOBAR, V.; MADERUELO-SANZ, R. "Acoustical performance of samples prepared with cigarette butts", *Applied Acoustics*, 2017, 125, 166-172.
- HUANG, Fengling; XU, Yunfei; PENG, Bin; SU, Yangfen; Jiang, FENG; HSIEH, You-Lo; WEI, Qufu *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2015, 3, 932-940
- KADIR, Aeslina A.; MOHAJERANI Abbas. "Leachability of heavy metals from fired clay bricks incorporated with cigarette butts". *IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications*, 2012, 872-876.
- LEE, Minzae; KIM, Gil-Pyo; DON SONG, Hyeon; PARK, Soomin; YI, Johgheop. "Preparation of energy storage material derived from a used cigarette filter for a supercapacitor electrode". *Nanotechnology* 25, 2014, 345601 (8pp)
- MADERUELO-SANZ, R.; GOMEZ ESCOBAR, V.; MENESES-RODRÍGUEZ, Juan Miguel "Potential use of cigarette filters as sound porous absorber", *Applied Acoustics*, 2018, 129, 86-91
- NOVOTNY, Thomas; LUM, Kristen; SMITH, Elisabeth; WANG, Vivian; BARNES, Richard. "Cigarettes Butts and the Case for an Environmental Policy on Hazardous Cigarette Waste". *Int. J. Environ. Res. Public Health* 6, 2009, 1691-1705.
- NOVOTNY, Thomas E.; SLAUGHTER, Elli. "Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption". *Curr. Envir. Health Rpt* 1, 2014, 208-216.
- NOVOTNY, Thomas E.; ZHAO, Feng. "Consumption and production waste: another externality of tobacco use". *Tobacco control* 8, 1999, 75-80.
- OLDHAM, D. J.; EGAN, C. A.; COOKSON, R. D. "Sustainable acoustic absorbers from de biomass". *Applied Acoustics* 72, 2011, 350-363.
- POLARZ, S.; SMARSLY, B.; SCHATTKA, J. H. "Hierarchical Porous Carbon Structures from Cellulose Acetate Fibers". *Chem. Mater.* 14, 2002, 2940-2945.
- REGISTER Kathleen M. "Cigarette Butts as Litter- Toxic as Well as Ugly". *Bull. Am. Litt. Soc.* 25, 2000, 23-29.
- REY, R. del; ALBA, J.; ARENAS, J. P.; RAMIS, J. "Evaluation of two alternative procedures for measuring airflow resistance of sound absorbing materials" *Archives of Acoustics* 38, 2013, 547-554.
- RIMINGTON J. "The Effect of Filters on the Incidence of Lung Cancer in Cigarette Smokers". *Environmental Research.* 24, 1981, 162-166.
- SLAUGHTER, Elli; GERSBERG, Richard M.; WATANABE, Kayo; RUDOLPH, John; STRANSKY, Chris; NOVOTNY, Thomas E. "Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish". *Tobacco Control* 20 (1), 2011, i25-i29.
- 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
- ZHAO, Jun; ZHANG; Ningsheng; QU; Chengtun; Wu, Xinmin; ZHANG; Juantao; ZHANG, Xiang. "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.