

# **El corcho bornizo como material sostenible. Aplicabilidad y uso**

**DOI: 10.14679/1620**

---

**Rosendo Vilchez-Gómez\***  
**Pedro Atanasio Moraga**  
**Valentín Gómez Escobar**  
**David Montes González**  
**Rubén Maderuelo-Sanz**  
**Guillermo Rey Gozalo**  
**Juan Miguel Barrigón Morillas**

\* *Laboratorio de Acústica (Lambda), departamento de Física Aplicada, Instituto Universitario de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible (INTERRA), Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura, Avda. de la Universidad, s/n, 10003 Cáceres, España  
vilchez@unex.es  
ORCID: 0000-0001-6320-7795*

**Resumen:** En los próximos años la humanidad tendrá que afrontar dos grandes retos: el calentamiento global y la gestión sostenible de los recursos planetarios. Uno de los sectores productivos que necesitará una clara revolución es el de la construcción. El corcho bornizo responde a estas nuevas necesidades. Este corcho puede ser un producto excelente dentro de una economía verde y circular en la zona mediterránea, ya que es un material natural, renovable y reciclable. Además, los alcornoques son explotaciones agrícolas en las que el árbol debe permanecer vivo, gestionados en dehesas que permiten otras actividades económicas sostenibles como la ganadería extensiva, apicultura, micocultura, etc., que contribuyen a evitar la despoblación en las zonas rurales. En este trabajo, se analizan algunas propiedades acústicas de este biomaterial que normalmente es desechado. Se ha caracterizado la absorción acústica de distintas muestras de corcho bornizo sin aglutinantes tanto en cámara reverberante como en tubo de impedancia acústica, con el fin de explorar sus aplicaciones en el diseño de soluciones acústicas. Se han obtenido valores del coeficiente de absorción acústica de 0,6 y superiores en el rango de frecuencias de 1 a 5 kHz, tanto para las muestras originales sin procesado como para las propuestas decorativas finales, en el ensayo en cámara reverberante. Estos valores discrepan de los obtenidos en el tubo de impedancia. Finalmente, los resultados obtenidos se han comparado con muestras de otros materiales reciclados, que tienen un mejor comportamiento como absorbentes acústicos pero que difieren en cuanto a su sostenibilidad o valor estético.

**Abstract:** In the coming years, humanity will have to face two major challenges: global warming and the sustainable management of the planet's resources. One of the productive sectors that will require a clear revolution is the construction industry. Virgin cork responds to these new needs. This cork can be an excellent product in a green Mediterranean circular economy, as it is a renewable and recyclable natural material. In addition, cork oak forests are a model of agricultural exploitation in which the tree must remain alive and are managed in *dehesas*, which allow other sustainable economic activities such as extensive livestock farming, apiculture, mycoculture, etc., which help to avoid depopulation in the rural areas. In this work, some acoustic properties of this biomaterial that is usually discarded are analysed. The acoustic absorption of different samples of natural virgin cork without binders has been characterized both in reverberation chamber and in acoustic impedance tube, to explore its applications in the design of acoustic solutions. Acoustic absorption coefficient values of 0.6 and higher have been obtained in the frequency range of 1 to 5 kHz, both for the original samples without processing and for the final decorative proposals in the reverberation chamber test. These values differ from those obtained in the acoustic impedance tube. Finally, the results obtained have been compared with samples of other recycled materials, which have a better performance as acoustic absorbers but differ in terms of their sustainability or aesthetic value.

**Palabras clave:** Corcho bornizo, Absorción acústica, Sostenibilidad.

**Key Words:** Virgin cork, Sound absorption, Sustainability.

## 1. Introducción

Uno de los principales retos a los que se enfrenta en nuestros días la sociedad es el calentamiento global cuyo origen, como ha indicado el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2021), es inequívocamente humano. Con el objetivo de intentar parar, o reducir al menos, este proceso uno de los pilares fundamentales con el que tenemos que trabajar es la gestión sostenible de los recursos del planeta. Son muchas las actividades económicas que hoy en día necesitan una profunda revisión de su modelo de explotación y desarrollo.

Sin ninguna duda, uno de estos sectores productivos que necesita replantearse su modelo de trabajo es el de la construcción, dado el extendido uso de muchos materiales no renovables, así como la alta huella de carbono resultado de los procesos de extracción y producción de dichos materiales. Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generadas por la industria de la construcción de edificios suponen el 10 % de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía, según está recogido en el informe «Situación mundial de los edificios y la construcción de 2020», elaborado por la Alianza Global para los Edificios y la Construcción (GlobalABC), bajo auspicio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (GlobalABC, 2021).

Por otro lado, son cada vez mayores las exigencias de los clientes para que las nuevas construcciones cumplan unos mínimos de calidad en el campo del aislamiento y acondicionamiento acústico, atendiendo a la preocupación mostrada por la Organización Mundial de la Salud sobre los efectos del ruido en la calidad de vida de la población (OMS, 2018).

Además, González y García Navarro (2006) han mostrado la posibilidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta en un 30% en la fase de construcción, mediante una cuidadosa selección de materiales de bajo impacto ambiental. En este sentido, se analizan en el presente trabajo algunas propiedades acústicas de un biomaterial que normalmente acaba completamente descartado o, si es reutilizado, se consigue tras la adición de aglutinantes cuyo origen está en materias primas no renovables, como el petróleo. El material del que hablamos es el corcho bornizo o corcho virgen, nombre con el que se designa el corcho procedente de la primera extracción de la corteza del alcornoque.

El alcornoque (*Quercus suber* L.) es un árbol endémico de la cuenca mediterránea occidental, tanto en la zona europea como norteafricana. Tiene hojas perennes ovaladas y dentadas y una altura media de 20 m,

pudiendo llegar hasta los 25 m, excepto en los ejemplares utilizados para la explotación agrícola, que no suelen sobrepasar los 4 o 5 m para facilitar la extracción de la corteza. Vive entre 300 y 400 años, pero puede llegar hasta los 500 años; su crecimiento en grosor cesa hacia los 200 años. Lo más importante, desde el punto de vista agrícola, es que su tronco está cubierto de una corteza pardo-gris o rojiza, con grietas longitudinales y profundas, ligera, esponjosa y gruesa, de hasta 15 cm de espesor, llamada corcho. Esta corteza, que protege las zonas internas del tronco y las ramas, se caracteriza por un crecimiento continuado del tejido suberoso del que está constituida. Además, esta capa externa se puede extraer sin que el árbol muera, pudiendo repetirse el proceso varias veces durante la vida de éste.

Los alcornoques son un modelo sostenible de explotación agrícola, porque el árbol debe permanecer vivo para la extracción continuada del corcho, lo que convierte a los alcornoques en un sistema ideal para la fijación de carbono. Además, normalmente son explotados en lo que se conoce como «dehesas», lo que hace que la explotación del corcho vaya acompañada de otras actividades sostenibles como la ganadería extensiva (que tiene una menor huella de carbono que la intensiva), apicultura, micocultura, etc. (Duarte y Bordado, 2015; Rives et al., 2012). La explotación de una dehesa implica un desarrollo sostenible del entorno, pues su mantenimiento exige una gestión sostenible del ecosistema. Además, esta gestión cumple al cien por cien con los requisitos para que se den los tres tipos de establecidos de sostenibilidad: económica, social y ambiental (Martínez Cañas, 2014).

El corcho es un producto excelente enmarcado dentro de una economía verde y circular en la zona mediterránea, ya que es un material natural, renovable y reciclable. Cabe señalar que su extracción no causa ningún impacto negativo porque: (a) no requiere la tala del árbol y (b) no es contaminante porque la extracción de la pana o tabla de corcho debe realizarse con cuidado a mano.

La explotación del corcho tiene tres etapas: una primera extracción de la corteza, conocida como corcho bornizo; una segunda extracción, conocida como corcho segundero; y las siguientes extracciones o corcho fábrica (UNE-ISO 633, 2010). Desde esta tercera etapa, el alcornoque pasa a producir corcho de buena calidad cada nueve o diez años, por un período aproximado de 150 años. Las dos últimas etapas se conocen como corcho de reproducción. Las dos primeras extracciones (y especialmente la correspondiente al corcho bornizo) se caracterizan por producir un

corcho irregular, tanto en estructura como en espesor y densidad. También es bastante rugoso, ya que presenta profundas fracturas y grietas que se extienden de forma irregular, aunque generalmente con orientación longitudinal. Este hecho es lo que confiere a los troncos y ramas del alcornoque su típico aspecto estriado (Pereira 2007; Silva et al., 2005). Además, el corcho bornizo tiene una densidad volumétrica más alta que el corcho de reproducción (Knapic et al., 2016). A nivel celular, la composición celular del corcho bornizo tiene un mayor contenido de suberina y compuestos extraíbles, como ceras y grasas (Silva et al., 2005).

El principal uso industrial del corcho es la fabricación de tapones para botellas de vino. Si se utiliza para hacer tapones, es necesario un espesor mínimo sin excesivas irregularidades o fracturas. Esto significa que el corcho bornizo se descarta para este uso. Sin embargo, dado que comparte otras características del corcho de extracciones posteriores, como mantener sus propiedades en un amplio rango de temperaturas y no liberar sustancias tóxicas en caso de incendio (Silva et al., 2006), también se puede utilizar como aislante térmico y acústico.

Existe un interés creciente en la percepción positiva del entorno acústico interior de un espacio por parte de sus ocupantes (Lauria et al., 2020; Torresin et al., 2019). A esto hay que añadir la creciente preocupación en la construcción por la utilización de componentes que den una segunda vida a materiales de desecho (del Rey et al., 2011; Gómez Escobar et al., 2019; Maderuelo-Sanz et al., 2011; Martellotta et al., 2018), o componentes ecológicos (del Rey et al., 2017; Berardi e Iannace, 2015), como es el caso del corcho de reproducción (obtenido, como ya se ha indicado, de la segunda y posteriores extracciones), cuyas características acústicas se han caracterizado tanto en su forma original como en forma granulada suelta (Maderuelo-Sanz et al., 2014a) o compactada con la adición de resinas (Maderuelo-Sanz et al., 2014b). Por otro lado, esta búsqueda de nuevos materiales ecológicos o reciclados con propiedades acústicas adecuadas en el ámbito de la construcción ha dado lugar a la proliferación de estudios en tubo de impedancia, más sencillos y rápidos de realizar (Arenas et al., 2020; Berardi e Iannace, 2015; y referencias ahí citadas).

Atendiendo a estas dos inquietudes (mejora del entorno acústico y uso de materiales ecológicos), el uso del corcho bornizo puede ser una opción interesante. Hasta el momento, el coeficiente de absorción acústica del corcho bornizo ha permanecido sin caracterizar, pero dadas las diferencias macroscópicas y microscópicas que existen entre el corcho bornizo y el

corcho fábrica, existe la necesidad de evaluar este parámetro para poder explotar este material en su estado natural, como elemento decorativo con capacidad de absorción acústica, dada la importancia económica de la explotación del corcho en Extremadura. Como ya se ha mencionado, es un material que actualmente tiene poco uso y, por tanto, poco valor económico (Knapic et al., 2016). Sin embargo, también tiene una baja huella de carbono, ya que la cocción es el único proceso al que se somete para darle una forma plana y, normalmente, en este proceso de cocción se suelen utilizar restos de la saca como fuente de calor.

En este trabajo, se presenta un estudio de su absorción acústica sin triturarlo para formar aglomerados y, por tanto, sin añadir ningún tipo de resinas u otros elementos aglutinantes. Se han realizado pruebas experimentales tanto en una cámara reverberante (para determinar su capacidad de absorción acústica en ambientes reales con incidencia sonora aleatoria), como en un tubo de impedancia (para evaluar si se puede caracterizar de una forma rápida y eficaz dicha capacidad absorbente) y se han comparado los resultados obtenidos con ambos métodos. Además, mostramos el comportamiento acústico de algunas propuestas de panel de corcho bornizo comercializables, de aplicación para la mejora acústica de ambientes interiores.

## 2. La explotación del corcho

Los alcornocales son un claro ejemplo de sistema natural con una extraordinaria riqueza natural. Como se ha comentado anteriormente, su gestión tradicional garantiza la sostenibilidad del entorno en sus tres vertientes: la económica, con la producción de corcho; la ambiental, con la fijación de CO<sub>2</sub>, la regulación del ciclo del agua y la conservación de los suelos y de la biodiversidad asociada; y la social, con los usos recreativos y educativos, así como la creación significativa de empleo en el medio rural, ante la necesidad de mano de obra por la escasa mecanización implicada en el proceso de extracción del corcho. En lo que ha venido en llamarse la *España vacía o vaciada*, las actividades económicas asociadas a la explotación del corcho han sido y continúan siendo un elemento de cohesión territorial y de generación de riqueza, lo que ha evitado la emigración y la pérdida de población, contribuyendo a reequilibrar el territorio (Muñoz y Echevarría, 2011).

En este sentido, Extremadura ha sido pionera con el Plan de Calidad del Corcho en Campo o Plan de Calas. Se trata de un servicio técnico para



estimar la calidad del corcho antes de su extracción en el campo. Este estudio se realiza mediante un muestreo estadístico en campo y el posterior análisis, de las muestras recogidas, en el laboratorio del Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal (IPROCOR), perteneciente al Centro Científico y Tecnológico de Extremadura (CICYTEX), en el que se evalúa la calidad del corcho y su calibre medio en función de los parámetros que utiliza la industria taponera, lo que permite al propietario forestal alcanzar un precio adecuado en la venta de su producto (García Pereda, 2015).

### *2.1. El sector corchero en Extremadura*

Según se puede leer en Moreno Rollano (2020) y Martínez Cañas (2014) a partir de datos aportados por ASECOR-Clúster del Corcho de Extremadura, el alcornoque ocupa en España unas 750.000 ha aproximadamente, de las cuales, alrededor de 400.000 ha están en Extremadura. En lo que a producción de corcho se refiere, España y Portugal suman el 81 % del total producido a nivel mundial (más de 200.000 t/año). Extremadura produjo en 2013 unas 23.000 t, lo que supone un 11,5 % de la producción mundial de corcho, aunque esta cantidad puede variar hasta un 20 % de forma interanual, según las condiciones ambientales.

Como se ha comentado anteriormente, la explotación del alcornocal en Extremadura se concentra en las dehesas, que ocupan más del 30 % de la superficie de la región. Las rentas debidas a la actividad económica generada por la dehesa son importantes, en torno a unos 461 M€/año, si bien unas actividades son más importantes que otras. Así, la actividad que mayor renta proporciona es la cría de ganado, con un 55 % del total, seguido de la agricultura, con un 27 % y del aprovechamiento corchero, con un 10 % sobre el total. El 8 % restante se reparte en aprovechamiento cinegético, turismo rural, producción de leña y carbón, apicultura, biomasa para biocombustibles, micología o incluso acuicultura con la cría de tencas en las charcas que salpican las dehesas.

Por cada 100 kg de corcho producido en el campo, se obtienen 13 kg de tapones de corcho y discos, fabricados de corcho natural; 58 kg de granulados, que se utilizan principalmente para la fabricación de tapones de corcho aglomerado; y 29 kg de polvo de corcho, que no tiene uso para la fabricación del tapón y que se considera como un residuo, aunque se usa para producir energía mediante su combustión en la propia industria.

Según datos de ASECOR, en la campaña de 2017, los precios medios en campo fueron de 1,59 €/kg para la pana apta para hacer tapones y 0,46 €/kg para el refugo (corcho no apto para tapones). Esta cantidad de corcho producido en campo se traduce en unos 47,5 MC/año de renta para la región, además de la generación de 205.000 jornales/año y unos 1.300 puestos de trabajo directos.

## *2.2. Recolección y tratamiento de las muestras de corcho*

La edad a la que un alcornoque puede entrar en producción depende de su crecimiento radial. Puede oscilar entre 20 y 25 años en condiciones normales, aunque puede tardar entre 30 y 40 años en entornos menos favorables. El tiempo entre dos extracciones consecutivas también depende del área. Así, en Portugal y el sur de España, se alcanza un espesor de unos 3–3,5 cm en aproximadamente nueve años, mientras que en el norte de España o el sur de Francia puede tardar más de 15 años.

La extracción del corcho, o saca, se realiza de forma manual, con dos descorchadores por árbol que tengan buenos conocimientos técnicos para no dañarlo. Se utiliza un hacha de pelado especial con una cuchilla de corte curva y un brazo de madera relativamente largo. Aunque se han realizado algunos intentos de mecanizar este proceso, los resultados obtenidos no han sido los esperados por razones prácticas o económicas.

Los tablones de corcho o panas generalmente se apilan en el campo antes de ser transportados al patio de la fábrica, transporte que en sitios especialmente difíciles sigue haciéndose con animales. Recientemente ha habido una tendencia a transportar las panas inmediatamente después de la extracción, evitando el apilado en el campo. Hoy en día, este proceso de apilado tarda unos seis meses, aunque puede durar más. Durante este tiempo se realiza el refugado, es decir, la separación de bornizo, corcho fragmentado y corcho defectuoso del que se va a destinar a la industria taponera.

Posteriormente, las panas de corcho se tratan con agua no clorada en un autoclave cerrado de acero inoxidable a 95 °C durante 1 h. Al final del proceso, estas aguas constituyen un residuo que no se puede liberar directamente a un río, sino que se depositan en balsas de decantación. Se han dedicado varios estudios a su tratamiento en los últimos años con resultados prometedores (Arshadi et al., 2016; Gomes et al., 2018; Ponce-Robles et al. 2017; Wu et al., 2018).



El principal objetivo de la cocción es cambiar las propiedades mecánicas de las panas para aplanarlas y facilitar los posteriores procesos de corte, obteniéndose un corcho más elástico y menos denso. Después de la cocción, las panas se dejan secar al aire durante unos 2-3 días, para su estabilización. Finalmente, se raspa con un par de rodillos que lo deja completamente plano por el lado interno de la corteza.

Una descripción más detallada de todo el proceso se puede encontrar en Pérez Marqués y Pérez González (1996) y en Pereira (2007).

### **3. Metodología**

Se utilizan comúnmente dos métodos para caracterizar la absorción acústica de un material: (a) la cámara reverberante (según la norma UNE-EN ISO 354:2004) y (b) el tubo de impedancia (según la norma UNE-EN ISO 10534-2:2002). Mientras que en el primer caso la incidencia de las ondas sonoras en la muestra es aleatoria, en el segundo caso la incidencia es normal a la muestra. Si bien las propiedades acústicas de cualquier material absorbente medidas mediante el primer método son más representativas de su comportamiento en condiciones reales, en aplicaciones ambientales y acústicas, cuenta con el inconveniente de necesitar muestras más grandes para poder realizarse correctamente.

La primera fase del estudio se realizó en la cámara reverberante normalizada ubicada en la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura en Cáceres (España) (Prieto Gajardo et al., 2012), acondicionada para cumplir satisfactoriamente con los requisitos establecidos en las normas UNE-EN ISO 354: 2003, UNE-EN ISO 3740: 2019 y UNE-EN ISO 3741: 2010. Las pruebas se llevaron a cabo de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 354: 2003 utilizando un sonómetro Brüel & Kjær 2260 tipo 1 con módulo de software de acústica de edificios, un micrófono Brüel & Kjær tipo 4189, una fuente de sonido omnidireccional Brüel & Kjær 4292, y un amplificador de potencia Lab Gruppen LAB 300. Los tiempos de reverberación se midieron mediante el método de señal de ruido interrumpido utilizando ruido rosa. El sonómetro se configuró para registrar datos en bandas de un tercio de octava en un rango de frecuencia entre 100 Hz y 5 kHz, y se obtuvo el tiempo de reverberación promedio de las 12 combinaciones fuente-micrófono para cada una de las frecuencias en el rango elegido (UNE-EN ISO 354: 2003). Las mediciones del tiempo de reverberación de la cámara vacía se llevaron a cabo cada día de prueba. La temperatura y la humedad relativa dentro de la cámara estuvieron

dentro de los rangos establecidos por la norma UNE-EN ISO 354: 2003 durante las pruebas ( $> 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $30\% - 90\%$  de humedad relativa). Las muestras se colocaron en el suelo de la cámara de acuerdo con el montaje tipo A indicado en el anexo B de la norma UNE-EN ISO 354: 2003.

Para el estudio en el tubo de impedancia, se llevaron a cabo medidas del coeficiente de absorción acústica a incidencia normal de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 10534-2:2002. Para ellos, se utilizó un tubo de impedancia Brüel & Kjær tipo 4206. Las señales se analizaron con un sistema portátil Brüel & Kjær PULSE. Para lograr mediciones precisas en el rango de frecuencia de 50 a 6400 Hz, se utilizaron dos tubos diferentes con diferentes diámetros: Uno para mediciones en el rango de frecuencia de 50 Hz a 1600 Hz (100 mm de diámetro) y otro para el rango de frecuencia de 500 Hz a 6400 Hz (29 mm de diámetro). Previamente para iniciar cualquier medición y después del posicionamiento de la muestra, se midieron e introdujeron en el software de PULSE, *Material Testing*, los parámetros ambientales que influyen en la propagación de la onda sonora en el interior del tubo (presión atmosférica, temperatura del aire y humedad relativa).

Como resultado de los ensayos realizados con diferentes muestras de corcho bornizo, se obtuvo el coeficiente de absorción acústica ( $\alpha_s$ ) junto con los coeficientes de absorción acústica prácticos ( $\alpha_p$ ) y ponderados ( $\alpha_w$ ) con incidencia acústica normal y aleatoria siguiendo las especificaciones de las normas UNE-EN ISO 354: 2003, UNE-EN ISO 10534-1: 2002, UNE-EN ISO 10534-2: 2002 y UNE-EN ISO 11654: 1997.

### 3.1. Muestras analizadas

En el estudio en cámara reverberante, se configuraron diferentes muestras de corcho bornizo, como se puede ver en la Figura 1. En el primer caso (S1), la corteza exterior del corcho mira hacia arriba, mientras que en el segundo caso (S2), la corteza exterior mira hacia abajo. La muestra S3 es un panel absorbente decorativo propuesto como producto final para su posible comercialización. Su lado expuesto tenía una composición mayoritaria de muestra tipo S1 con elementos decorativos de corcho de muestra tipo S2.



Figura 1. Las diferentes muestras de corcho bornizo ensayadas en la cámara reverberante. (a) S1; (b) S2; (c) S3.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del tubo de impedancia, se realizaron 7 ensayos con muestras diferentes, repitiéndose 5 veces las medidas en cada ensayo, siguiendo lo indicado en la norma UNE-EN ISO 10534-2:2002 para incidencia normal. En este estudio, la incidencia de las ondas sólo se realizó sobre la cara externa del corcho. Para obtener los resultados en el caso de incidencia aleatoria, se han seguido las instrucciones dadas en el anexo D de la norma UNE-EN ISO 10534-1:2002, utilizando la parte real e imaginaria de los valores de impedancia obtenidos en los tubos de impedancias grande (100 mm de diámetro) y pequeño (29 mm de diámetro) para cada una de las 7 muestras.

## 4. Resultados

### 4.1. Cámara reverberante

Los resultados obtenidos en el estudio del corcho bornizo en la cámara reverberante de la Escuela Politécnica pueden verse en la Tabla 1 y en la Figura 2.

La Figura 2 muestra el coeficiente de absorción acústica ( $\alpha_i$ ) en bandas de tercio de octava obtenido para cada una de las muestras S1, S2 y S3. Además, y dada la creciente necesidad de uso de materiales sostenibles, se consideró de interés realizar una comparación de estas muestras de corcho bornizo con algunos materiales reciclados probados en una cámara reverberante estandarizada y con tamaños de muestra similares. Así, se encontraron en la literatura, muestras de materiales tales como lana de oveja mezclada con PET como aglutinante (del Rey et al., 2017) y PET de botellas recicladas (del Rey et al., 2011). No se han encontrado otros trabajos publicados en la literatura científica sobre materiales naturales o reciclados estudiados en cámaras reverberantes estandarizadas. Para completar la Figura 2, se muestran también los valores de materiales

comerciales como lana de vidrio de 50 mm de espesor y lana mineral natural de 45 mm, caracterizados por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura en la cámara reverberante de la Escuela Politécnica (Barrigón Morillas et al., 2020; Barrigón Morillas et al., 2021).

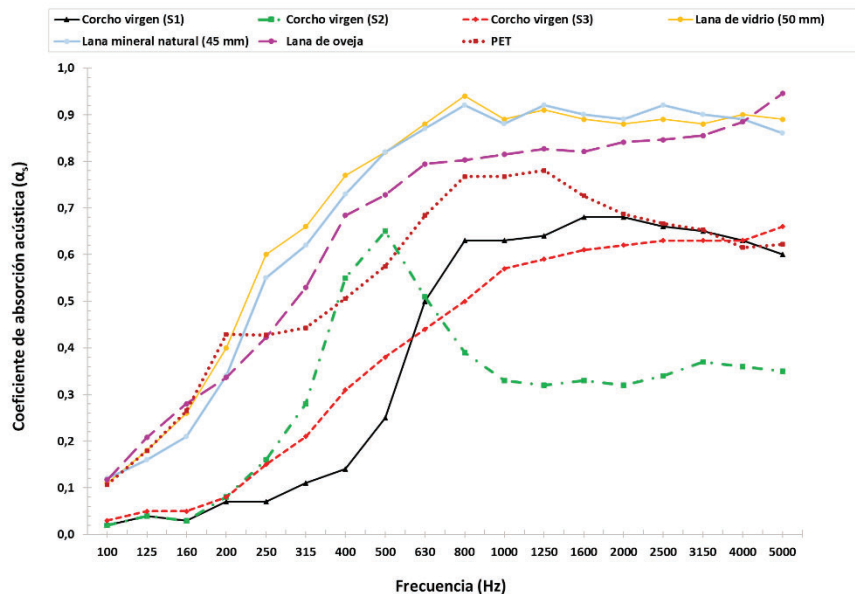


Figura 2. Valores obtenidos de  $\alpha_s$  para las muestras de corcho bornizo estudiadas en la cámara reverberante junto con valores para otros materiales reciclados (PET y lana de oveja) y comerciales (lana de vidrio de 50 mm y lana mineral natural de 45 mm).

Fuente: Datos propios para lana de vidrio y lana mineral natural; Barrigón Morillas et al. (2020) y Barrigón Morillas et al. (2021) para el corcho; del Rey et al. (2011) para el PET; del Rey et al. (2017) para la lana de oveja.

Los resultados obtenidos para S1 muestran una mayor absorción que S2 en frecuencias medias y altas a partir de la banda de 800 Hz, con valores iguales o superiores a 0,60 hasta 5 kHz. Sin embargo, la absorción a frecuencias bajas y medias hasta 500 Hz no supera el valor de 0,25. En el caso de la muestra S2, los resultados obtenidos muestran que el mejor comportamiento del coeficiente de absorción para este material es para la banda de tercio de octava de 500 Hz, donde alcanza un valor de 0,65. Por debajo de la banda de 400 Hz, el coeficiente toma valores por debajo de 0,30, como en el caso de S1, mientras que, para frecuencias superiores a 630 Hz, el valor oscila entre 0,30 y 0,40. Las diferencias encontradas en las curvas de absorción de las muestras S1 y S2 se deberían a la diferente estructura superficial de la cara superior de cada muestra (Figura 1a, b).



La muestra S3 tiene un comportamiento más cercano al de la muestra S1. Sin embargo, presenta una mayor absorción en las bandas de frecuencia entre 200 y 500 Hz, alcanzando una diferencia máxima de 0,17 a 400 Hz con respecto a S1, mientras que la curva de absorción es un poco más baja entre las bandas de frecuencia de 800 y 5000 Hz. En cuanto a los valores de  $\alpha_s$  para las muestras de otros materiales reciclados (lana de oveja y PET), estos presentan en general un mejor comportamiento absorbente que las muestras S1, S2 y S3 de corcho bornizo. En el rango de altas frecuencias, las muestras de corcho bornizo S1 y S3 se acercan a la curva de absorción del PET, mientras que la muestra S2 alcanza valores similares a los de la lana de oveja y el PET en las bandas de 400 y 500 Hz. En el caso de los materiales comerciales, estos se muestran con una capacidad de absorción bastante superior a la de los materiales reciclados, con la excepción de la lana de oveja que llega incluso a comportarse mejor que estos materiales comerciales a bajas frecuencias (100 Hz, 125 Hz y 160 Hz) y a altas frecuencias (5000 Hz).

En la tabla 1, se muestran los valores obtenidos para el coeficiente de absorción ponderado ( $\alpha_w$ ) con los factores de forma asociados (L, M, H) y la clase de absorción acústica según están definidos en la norma UNE-EN ISO 11654:1998. Puede verse que, aunque las tres muestras presentan un valor de  $\alpha_w$  bastante parecido, también existen diferencias apreciables. Aunque S1 y S2 muestran el mismo valor de  $\alpha_w = 0,35$ , los factores de forma para S1 (M y H) indican un mejor rendimiento en términos de absorción acústica a frecuencias medias (500 Hz y 1 kHz) y altas (2 y 4 kHz) que en el caso de S2. En el caso de S3, la muestra presenta un valor de  $\alpha_w = 0,4$ , que es ligeramente superior a los anteriores, y el factor de forma H, lo que significa que los valores de  $\alpha_p$  en altas frecuencias son superiores a los de la curva de referencia desplazada. Los otros materiales, reciclados y comerciales, presentan un mejor comportamiento general a la hora de considerar su absorción acústica ((Barrigón Morillas et al., 2020; Barrigón Morillas et al., 2021).

*Tabla 1. Valores de  $\alpha_w$  y de clase de absorción acústica para las muestras de corcho bornizo estudiadas en la cámara reverberante junto con valores para otros materiales reciclados (PET y lana de oveja) y comerciales (lana de vidrio 50 mm y lana mineral natural 45 mm).*

<b>Muestra</b>	<b><math>\alpha_w</math></b>	<b>Clase de absorción acústica</b>
Bornizo S1 <sup>(1)</sup>	0,35 (MH)	D
Bornizo S2 <sup>(1)</sup>	0,35	D
Bornizo S3 <sup>(1)</sup>	0,40 (H)	D
PET <sup>(2)</sup>	0,70 (H)	C
Lana de oveja <sup>(3)</sup>	0,75	C
Lana de vidrio (50 mm) <sup>(4)</sup>	0,85	B
Lana mineral natural (45 mm) <sup>(4)</sup>	0,80	B

*Fuente: (1) Barrigón Morillas et al. (2020) y Barrigón Morillas et al. (2021); (2) del Rey et al. (2011); (3) del Rey et al. (2017); (4) Datos propios.*

#### 4.2. Tubo de impedancia

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos en el estudio realizado del corcho bornizo en el tubo de impedancia. Dado que los valores obtenidos son el resultado de un promedio, también se muestra en la Figura 3 el error de la media asociado. Se ha representado el promedio de todas las muestras. La Figura 3a muestra los resultados obtenidos para el caso de incidencia de las ondas sonoras normal a la superficie externa del corcho bornizo. A partir de estos valores obtenidos con incidencia normal, la norma permite obtener una estimación del coeficiente de absorción acústica con incidencia aleatoria, pero pueden estimarse valores espurios, menores que cero o mayores que uno, valores que son un artificio debido al procedimiento matemático establecido en la norma para la conversión de la incidencia normal en aleatoria. En este caso, se han simplificado, para cada una de las muestras, los valores por encima de uno a uno, y los valores por debajo de cero a cero. Los resultados para incidencia aleatoria se muestran en la Figura 3b.

El tubo grande (100 mm de diámetro) funciona mejor a bajas frecuencias (hasta aproximadamente 750 Hz) que el tubo pequeño (29 mm de diámetro), momento en el que parecen coincidir valores para ambos tubos, por lo que entre 750 Hz y 1600 Hz se ha representado el promedio de ambos tubos. A partir de 1600 Hz, es el tubo pequeño es el que parece funcionar de manera correcta.

El rango de frecuencias óptimo utilizado está entre 50 Hz y 4400 Hz. A partir de esta frecuencia, en el caso de la incidencia aleatoria, se encuentran valores por muestra por encima de uno o por debajo de cero, por lo que no tiene sentido representar coeficientes de absorción acústica no reales.



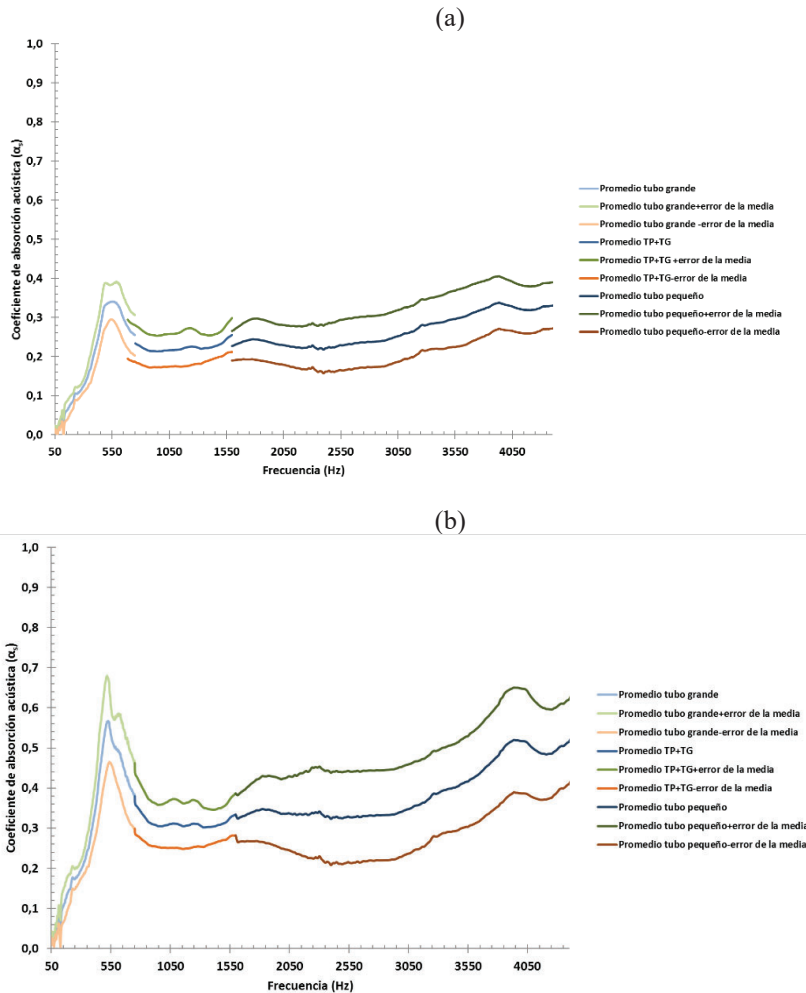


Figura 3. Resultados obtenidos en el tubo de impedancia para muestras de corcho bornizo con las ondas sonoras incidiendo en la cara externa del material. Los valores para el tubo grande (100 mm de diámetro) cubren el rango de frecuencias de 50 Hz a 750 Hz; el tubo pequeño (29 mm de diámetro) cubre el rango de frecuencias entre 1600 Hz y 4400 Hz; el rango de frecuencias entre 750 Hz y 1600 Hz es un promedio de los resultados obtenidos en ambos tubos. (a) Incidencia normal de las ondas sonoras; (b) Incidencia aleatoria obtenida a partir de las instrucciones dadas en el anexo D de la norma UNE-EN ISO 10534-1:2002. Los resultados vienen acompañados con el error de la media.

Fuente: datos propios.

Se puede apreciar en la Figura 3 un primer máximo de absorción importante en torno a 500 Hz, tanto en el caso de incidencia normal como en el caso de incidencia aleatoria, máximo que no aparece cuando el estudio se realiza en cámara reverberante con la cara exterior del corcho hacia arriba (muestra S1). Entre 1000 y 2500 Hz, el coeficiente de absorción acústica presenta un valor estable (0,25 en el caso de la incidencia normal y 0,35 en el caso de la incidencia aleatoria). A partir de esta frecuencia y hasta 4400 Hz, comienza a aumentar hasta alcanzar el valor de 0,30, en el caso de incidencia normal y 0,50, en el caso de incidencia aleatoria. En el caso de la cámara reverberante, a 4000 Hz se alcanzan valores ligeramente superiores a 0,60. Podemos concluir que el comportamiento obtenido para el coeficiente de absorción acústica con la corteza vista en la cámara reverberante (Figura 2, S1) y en el tubo de impedancia acústica con incidencia aleatoria (Figura 3b) muestran un comportamiento diferente.

## **5. Discusión**

Desde el punto de vista acústico, el uso del corcho bornizo así como los otros materiales reciclados considerados, puede ser básicamente doble como materiales absorbentes acústicos: (a) como materiales absorbentes en el interior de paredes dobles para reducir el acoplamiento de las hojas de la pared por la aparición de ondas estacionarias en la cavidad con lo que se consigue aumentar el aislamiento acústico de la pared en su conjunto; (b) dentro de paneles perforados en pantallas acústicas para aumentar la absorción acústica de la pared y mejorar, en consecuencia, el acondicionamiento acústico del local.

Dados los valores de los coeficientes de absorción acústica obtenidos en la cámara reverberante, el uso de materiales como la lana de oveja o el PET reciclado podría resultar más interesante que el uso del corcho bornizo. Sin embargo, para hacer esta afirmación de forma categórica sería necesario realizar un análisis más completo, incluyendo otros criterios relacionados con el proceso de instalación en obra, costes de producción, sostenibilidad, etc. En este sentido, cabe destacar que el corcho bornizo estudiado es un material totalmente ecológico, no reciclado, sin productos aglomerantes añadidos y con poco tratamiento de agua, que se ha considerado un material de desecho hasta ahora pero que puede tener un uso acústico bastante interesante. Es necesario tener en cuenta que el uso de absorbentes en espacios como teatros, auditorios, salas de conciertos, salas de conferencias, etc., requiere un formato con características decorativas acordes a las del local. Las muestras de corcho bornizo podrían tener un mayor interés de uso, ya que su proceso de

producción es sencillo y energéticamente sostenible al no requerir ningún tratamiento añadido y presentan directamente su propia estética, lo que no sería en el caso de la lana de oveja o el PET.

Los resultados obtenidos en el tubo de impedancia acústica difieren apreciablemente de los obtenidos en la cámara reverberante. Por la propia naturaleza de la medición, los valores obtenidos en el tubo de impedancia pueden ser más cuestionables, dado que la incidencia es normal y los resultados para la incidencia aleatoria (la que se estudia en una cámara reverberante y que está más cerca de la situación real) se obtienen a partir de una expresión matemática que puede amplificar peculiaridades presentes en el caso de incidencia normal, pero que no están presentes realmente cuando la incidencia es aleatoria. En este sentido, consideramos que los valores obtenidos en cámara reverberante reflejan mejor lo que cabe esperar del comportamiento acústico del corcho bornizo en una situación real.

## **6. Conclusiones**

Se ensayaron diferentes muestras de corcho bornizo no aglomerado: (a) en condiciones de incidencia sonora aleatorias en una cámara reverberante estandarizada según la norma UNE-EN ISO 354:2003; (b) en tubo de impedancia según la norma la UNE-EN ISO 10534-2:2002. Con este estudio, se ha pretendido caracterizar la absorción acústica de este material sostenible, de baja huella de carbono y coste reducido, con el fin de explorar otros posibles usos como es el diseño de soluciones acústicas para aislamiento acústico, acondicionamiento acústico y control del ruido.

Las muestras en las que la corteza exterior del corcho estaba orientada hacia arriba mostraron un mejor comportamiento como absorbente acústico, con valores de la absorción acústica (coeficientes  $\alpha_s$  y  $\alpha_p$ ) iguales o superiores a 0,6 para bandas de frecuencia entre 1 y 5 kHz.

Se realizó una comparación de su comportamiento como absorbente acústico con respecto a otros materiales reciclados ensayados en cámara de reverberación estandarizada, como la lana de oveja mezclada con PET como aglutinante y el PET de botellas recicladas. Diferentes indicadores muestran que las muestras de lana de oveja y PET presentan un mejor comportamiento como absorbente acústico que las muestras de corcho bornizo en todo el rango de frecuencias. Sin embargo, cabe señalar que no todas las muestras pueden considerarse productos finales para su instalación como absorbentes acústicos, ya que en algunos casos el proceso

de personalización podría conllevar algunas modificaciones en el comportamiento acústico. En este sentido, la elección de un material u otro para los diferentes tipos de soluciones acústicas de aislamiento, acondicionamiento y control del ruido puede depender no solo de criterios puramente acústicos, sino también de otros criterios asociados a la instalación, costes de producción, sostenibilidad, estética, etc.

Finalmente, cabe señalar las diferencias encontradas en los ensayos en la cámara reverberante y en el tubo de impedancia acústica. Dada la proliferación de estudios de las propiedades acústicas de nuevos materiales reciclados o ecológicos, es altamente aconsejable que aquellos materiales que presenten unas características más prometedoras sean finalmente validados en una cámara reverberante homologada, considerándose los valores obtenidos en el tubo de impedancia como una primera aproximación al comportamiento acústico real del material.

**Agradecimientos:** D.M.G. agradece a la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura, a la Unión Europea y al Fondo Social Europeo (FSE) las ayudas para el fortalecimiento de la I+D+i a través de la movilidad de investigadores postdoctorales (PO17014) y G.R.G. agradece a la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura las ayudas para la atracción y retorno del talento investigador a los centros de I+D+i pertenecientes al Sistema Extremeño de Ciencia, Tecnología e Innovación (TA18019), siendo la Universidad de Extremadura la entidad beneficiaria en ambos casos. Los autores agradecen también el proyecto NEOSUBER «Selvicultura adaptativa para el alcornocal en Extremadura. Nuevas aplicaciones del bornizo», coordinado por el CICYTEX (Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura) y cofinanciado por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Junta de Extremadura, por facilitar las muestras de corcho para las pruebas experimentales.

## 7. Bibliografía

- Arenas, J. P., del Rey, R., Alba, J., y Oltra, R. (2020). Sound-Absorption Properties of Materials Made of Esparto Grass Fibers. *Sustainability*, 12(14), Article number 5533. doi: <https://doi.org/10.3390/su12145533>
- Arshadi, M., Attard, T. M., Lukasik, R. M., Brncic, M., da Costa Lopes, A. M., Finell, M., Geladi, P., Gerchesnon, L. M., Gogus, F., Herrero, M., Hunt, A. J., e Ibáñez, E. (2016). Pre-treatment and extraction techniques for recovery of added value compounds from wastes throughout the agri-food chain. *Green Chem.*, 18(23), 6160–6204. doi: <https://doi.org/10.1039/c6gc01389a>
- Barrigón Morillas, J. M., Maderuelo-Sanz, R., Atanasio Moraga, P., Gómez Escobar, V., Vilchez-Gómez, R., Rey Gozalo, G., y Montes González, D. (2020). Virgin cork, a possible environmentally friendly by-product of the cork with acoustic properties for its use inside dwellings? *Wood Research*, 65(6), 1025-1030. doi: <https://doi.org//10.37763/wr.1336-4561/65.6.10251030>
- Barrigón Morillas, J. M., Montes González, D., Vilchez-Gómez, R., Gómez Escobar, V., Maderuelo-Sanz, R., Rey Gozalo, G., y Atanasio Moraga, P. (2021). Virgin Natural Cork Characterization as a Sustainable Material for Use in Acoustic Solutions. *Sustainability*, 13, 4976. doi: <https://doi.org/10.3390/su13094976>
- Berardi, U., e Iannace, G. (2015). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Build. Environ.*, 94, 840–852. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.029>
- Del Rey, R., Alba, J., Ramis, J. y Sanchis, V. J. (2011) New absorbent acoustic materials from plastic bottle remnants. *Mater. Constr.*, 61(304), 547–558. doi: <https://doi.org/10.3989/mc.2011.59610>
- Del Rey, R., Urís, A., Alba, J., y Candelas, P. (2017). Characterization of sheep wool as a sustainable material for acoustic applications. *Materials*, 10(11), 1277. doi: <https://doi.org/10.3390/ma10111277>
- Duarte, A. P., y Bordado, J. C. (2015). Cork—A renewable raw material: Forecast of industrial potential and development priorities. *Front. Mater.*, 2, 1–8. doi: <https://doi.org/10.3389/fmats.2015.00002>
- García Pereda, I. (2015). *Diccionario Ilustrado del Corcho*. Aranjuez: Doce Calles. ISBN: 978-84-9744-179-7
- GlobalABC (2021). Situación mundial de los edificios y la construcción de 2020. Global Alliance for Buildings and Construction, recuperado de [https://globalabc.org/sites/default/files/2021-02/Buildings-GSR-2020\\_ES\\_SPANISH.pdf](https://globalabc.org/sites/default/files/2021-02/Buildings-GSR-2020_ES_SPANISH.pdf). Última visita: 25/10/2021.
- Gomes, L., Borges, C., Serralheiro, M. L. M., Minhalma, M., y Pacheco, R. (2018). Cork processing wastewaters components fractionated by ultrafiltration membranes – studies of antioxidant and antitumoral activity. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 93(3), 861–870. doi: <https://doi.org/10.1002/jctb.5441>
- 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(16), 2584. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12162584>



- González, M. J., y García Navarro, J. (2006). Assessment of the decrease of CO<sub>2</sub> emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact. *Building and Environment*, 41(7), 902–909. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.006>
- IPCC (2021). *Climate Change Report 2021*. The Intergovernmental Panel on Climate Change, recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Última visita: 25/10/2021.
- Knapic, S., Oliveira, V., Machado, J. S., y Pereira, H. (2016). Cork as a building material: A review. *Eur. J. Wood Wood Prod.*, 74(6), 775–791. doi: <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1076-4>
- Lauria, A., Secchi, S., y Vessella, L. (2020) Acoustic Comfort as a Salutogenic Resource in Learning Environments—A Proposal for the Design of a System to Improve the Acoustic Quality of Classrooms. *Sustainability*, 12(22), 9733. doi: <https://doi.org/10.3390/su12229733>
- Maderuelo-Sanz, R., Barrigón Morillas, J. M., y Gómez Escobar, V. (2014a). Acoustical performance of loose cork granulates. *Eur. J. Wood Wood Prod.*, 72(3), 321–330. doi: <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0784-x>
- Maderuelo-Sanz, R., Barrigón Morillas, J. M., y Gómez Escobar, V. (2014b). The performance of resilient layers made from cork granulates mixed with resins for impact noise reduction. *Eur. J. Wood Wood Prod.*, 72(6), 833–835. doi: <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0845-1>
- Maderuelo-Sanz, R., Martín-Castizo, M., y Vílchez-Gómez, R. (2011). The performance of resilient layers made from recycled rubber fluff for impact noise reduction. *Appl. Acoust.*, 72(11), 823–828. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.05.004>
- Martellotta, F., Cannavale, A., De Matteis, V., y Ayr, U. (2018). Sustainable sound absorbers obtained from olive pruning wastes and chitosan binder. *Appl. Acoust.*, 141, 71–78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.06.022>
- Martínez Cañas, M. A. (2014). La sostenibilidad del tapón de corcho: del campo a la bodega. En: Ponencias del XIII curso de verano. Innovación vitivinícola en la Ribera del Duero: Sostenibilidad III (eds.: A. Tobes Velasco, P. Rodríguez de las Heras, M. L. González San José). Burgos: Consejo Regulador de la Denominación de Origen Ribera del Duero. ISBN: 978-84-697-0564-3.
- Moreno Rollano, E. M. (2020) Sector corchero en Extremadura. El caso de las empresas corcheras de San Vicente de Alcántara. *Almenara*, 12, 11-49.
- Muñoz, A., y Echevarría, G. (2011). Corklab. Experiencias en diseño y arquitectura con corcho. RETECORK, recuperado de [https://www.retecork.org/old/pdf/publicaciones/1\\_corklab\\_2011\\_rete\\_cork\\_es.pdf](https://www.retecork.org/old/pdf/publicaciones/1_corklab_2011_rete_cork_es.pdf). Última visita: 25/10/2021.
- OMS (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Organización Mundial de la Salud, Regional Office for Europe. Copenhagen, recuperado de



- <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>. Última visita: 25/10/2021.
- Pereira, H. (2007). *Cork: Biology, Production and Uses*. Lisboa: Elsevier. ISBN: 13-978-0-444-52967-1.
- Pérez Marqués, F., y Pérez González, M. C. (1996) *El alcornoque y el corcho*. 2ª Edición. Badajoz: Asociación Cultural «Vicente Rollano».
- Ponce-Robles, L., Miralles-Cuevas, S., Oller, I., Agüera, A., Trinidad-Lozano, M. J., Yuste, F. J., y Malato, S. (2017). Cork boiling wastewater treatment and reuse through combination of advanced oxidation technologies. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24(7), 6317–6328. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7274-0>
- Prieto Gajardo, C., Barrigón Morillas, J. M., Vilchez-Gómez, R., Gómez Escobar, V., Rey Gozalo, G., Méndez Sierra, J. A., y Carmona del Río, F. J. (2012). Acondicionamiento de la cámara reverberante de la Universidad de Extremadura. En: *Actas del VIII Congreso Iberoamericano de Acústica*, Évora, Portugal. ISBN: 978-989-20-3284-9. Recuperado en: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Evora12/123.pdf>. Última visita: 25/10/2021.
- Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., y Gabarrell, X. (2012). Environmental analysis of raw cork extraction in cork oak forests in southern Europe (Catalonia-Spain). *J. Environ. Manag.*, 110, 236–245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.024>
- Silva, S. P., Sabino, M. A., Fernandes, E. M.; Correlo, V. M., Boesel, L. F., y Reis, R. L. (2005). Cork: Properties, capabilities and applications. *Int. Mater. Rev.*, 50(6), 345–365. doi: <https://doi.org/10.1179/174328005X41168>
- Torresin, S., Albatici, R., Aletta, F., Babich, F., y Kang, J. (2019) Assessment Methods and Factors Determining Positive Indoor Soundscapes in Residential Buildings: A Systematic Review. *Sustainability*, 11(19), 5290. doi: <https://doi.org/10.3390/su11195290>
- UNE-ISO 633 (2010). *Corcho. Vocabulario (ISO 633:2007)*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)
- UNE-EN ISO 354:2004 *Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354:2003)*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)
- UNE-EN ISO 3740:2020 *Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica de las fuentes de ruido. Guía para la utilización de las normas básicas. (ISO 3740:2019)*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)
- UNE-EN ISO 3741:2011 *Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica y de los niveles de energía acústica de las fuentes de ruido a partir de la presión acústica. Métodos de laboratorio en cámaras reverberantes. (ISO 3741:2010)*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)
- UNE-EN ISO 10534-1:2002 *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1:*

- Método del rango de onda estacionaria. (ISO 10534-1:1996). Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)
- UNE-EN ISO 10534-2:2002 Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. (ISO 10534-2:1998). Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)
- UNE-EN ISO 11654:1998 Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica. (ISO 11654:1997). Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- Wu, Z., Yuste-Córdoba, F. J., Cintas, P., Wu, Z., Boffa, L., Mantegna, S., y Cravotto, G. (2018). Effects of ultrasonic and hydrodynamic cavitation on the treatment of cork wastewater by flocculation and Fenton processes. *Ultrason. Sonochem.*, 40, 3–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.04.016>