

# CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE MATERIALES ABSORBENTES SONOROS POROSOS

JOAQUÍN CASTILLO<sup>1</sup> y ALEJANDRO COSTA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC), Maestro López Esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, República Argentina.  
castillojoaquin@gmail.com, alejandro.costa@hotmail.com

Resumen – Para generar la condición de espacio libre o controlar el ruido por vía aérea en un recinto cerrado, se recurre habitualmente a los absorbentes sonoros, siendo el más utilizado el construido con materiales porosos. En este trabajo se realiza el estudio de las características físicas de los mismos para comprender su comportamiento y optimizar su aplicación.

## 1. INTRODUCCIÓN

En un recinto cualquiera, la reducción de la energía sonora, debida a la propagación de las ondas a través del aire y a la interacción sobre diferentes superficies, es uno de los factores determinantes de la calidad acústica del mismo. Las características de los materiales absorbentes dependen no sólo de sus propiedades físicas, sino también en gran parte de un sinfín de condicionantes y detalles constructivos, que varían sustancialmente de un caso a otro y que no se pueden representar mediante una expresión matemática [1].

El objetivo de este trabajo es analizar las características físicas de materiales porosos que influyen en la absorción del sonido, abarcando también su diseño, construcción, clasificación, disposición espacial y modelización utilizando el método de elementos finitos (Finite Element Method: FEM).

El trabajo está organizado de la siguiente manera: en primer lugar, se estudian características y principio de funcionamiento. En segundo lugar, se analizan los tipos más difundidos y utilizados en la actualidad. Por último se realiza una introducción sobre modelización de estos materiales utilizando FEM.

## 2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La absorción del sonido es un proceso disipativo que se produce sólo cuando los movimientos vibratorios son amortiguados por la acción de las fuerzas de fricción (a través de la elasticidad del material) o viscosidad (entre el aire y el material en los intersticios de la estructura del material) [2, 3]. Es decir, absorben la energía acústica de las ondas que inciden en su superficie transformándola en calor, y reduciendo por consiguiente la energía acumulada en un recinto [2].

Un material absorbente poroso es aquel que posee canales intercomunicados que penetran desde la superficie donde incide la onda sonora hacia su interior ó seno [3] como se muestra en la Figura 1 c.

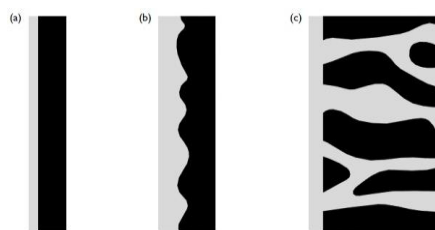


Figura 1: a) Superficie suave b) Superficie rugosa  
c) Superficie material poroso [5].

Un ejemplo de una onda sonora sobre un absorbente poroso es representado en la Figura 2. En la misma se observa un rayo sonoro incidente S sobre un absorbente poroso montado directamente sobre una pared. Debido al cambio de densidad entre los materiales, el rayo incidente sufre varias refracciones y además sufre reflexiones debido a las diferencias de las impedancias acústicas (rayos A, B y C). El rayo E indica transformación de energía sonora en energía calórica en el aire y los rayos F, H e I en el material absorbente poroso [4].

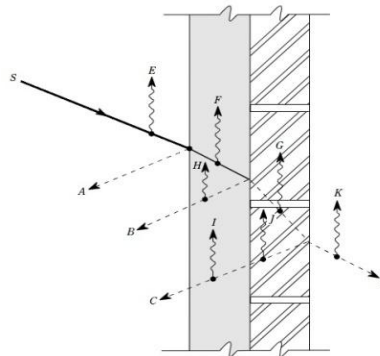


Figura 2: Disipación de energía de un rayo sonoro al incidir sobre un absorbente poroso [4].

### 3. PROPIEDADES FÍSICAS DE MATERIALES ABSORBENTES SONOROS POROSOS

#### 3.1 Propiedades microscópicas

Existen dos parámetros fundamentales para determinar el comportamiento acústico de un absorbente poroso: la resistividad al flujo y la porosidad [6]. Los mismos son los parámetros principales en la determinación del coeficiente de absorción.

##### 3.1.1 Resistividad al flujo

La resistividad al flujo es una medida de la facilidad con que el aire puede ingresar en un material poroso y la resistencia que ese flujo de aire encuentra a través de su estructura. Por lo tanto, da una idea de la cantidad de energía sonora que puede perderse debido a los efectos que produce la capa superficial del absorbente. Una rebanada del material poroso de grosor “d” está sujeta a una velocidad de flujo media constante, U. Se supone que la velocidad de flujo es pequeña y que es posible medir la caída de presión “ΔP”. A partir de estas cantidades, la resistividad al flujo, σ se define como [6]:

$$\sigma = \frac{\Delta P}{U \cdot d} \quad (1)$$

y la resistencia al flujo, σ<sub>s</sub> es:

$$\sigma_s = \sigma \cdot d \quad (2)$$

La resistividad al flujo es efectivamente la resistencia por unidad de espesor de material. Si la velocidad de flujo no es pequeña, entonces los factores no lineales deben ser considerados.

Existen muchas formulaciones empíricas y semi-empíricas que pueden ser utilizadas para estimar la resistividad al flujo [6].

##### 3.1.2 Porosidad

La porosidad define la cantidad fraccional de volumen de aire dentro del absorbente. Es una relación entre el volumen total de poros y el volumen total del absorbente. Los buenos absorbentes poseen alta porosidad (cerca de 1), pero en el diseño de los mismos, es posible que sea necesario reducir la misma para obtener una mayor resistividad al flujo. Cuando se determina la porosidad, los poros cerrados no deben ser incluidos en el volumen total de poros ya que estos son relativamente inaccesibles a las ondas sonoras (los poros cerrados se encuentran comúnmente en espumas, incluso los diseñados para ser de celdillas abiertas). En la Tabla 1, se muestra la porosidad típica de los materiales más utilizados para la construcción de absorbentes porosos [6].

Material	Porosidad Característica
Lana mineral	0,92-0,99
Espumas de celda abierta	0,95-0,995
Tabla de fibra de madera	0,65-0,80
Tabla de fibra de madera	0,50-0,65
Hormigón de piedra pómez	0,25-0,50
Relleno de piedras y gravas	0,25-0,45
Filtros cerámicos	0,33-0,42
Ladrillo	0,25-0,30
Metal sinterizado	0,10-0,25
Ladrillo refractario	0,15-0,35
Arenilla	0,02-0,06
Mármol	0,005 aprox.

Tabla 1: Porosidad típica de algunos materiales [6].

#### 3.2 Propiedades macroscópicas

##### 3.2.1 Factor de forma y dimensiones

La forma de los poros influye en la propagación del sonido y es por esta causa que el material absorbente varía con la forma de los poros. Diferentes formas de poros presentan diferentes áreas de superficie y por lo tanto producen diferentes efectos térmicos y viscosos. Es casi imposible obtener el factor de forma de los poros para la mayoría de los materiales porosos ya que éstos normalmente no se ajustan a las formas geométricas simples. En consecuencia, los factores de forma de los poros son encontrados empíricamente a través de ajustes en las mediciones acústicas de la densidad efectiva y el módulo del material a granel. El factor de forma, por lo tanto, depende del modelo que se utiliza para predecir la propagación dentro del absorbente. Existen dos factores de forma importantes: A y A'. La dimensión característica A es una relación ponderada del volumen y la superficie de los poros. Se pondera según el cuadrado del módulo de la velocidad microscópica, incluyendo los efectos de la viscosidad. Se puede encontrar por simples formas de poros utilizando la siguiente formulación [6].

$$A = \frac{1}{S} \sqrt{\frac{8\eta K_s}{\epsilon \sigma}} \quad (3)$$

Donde s es una constante que para la mayoría de los materiales absorbentes se encuentra entre 0,3 y 3. Además, s es 1, 1,07 y 1,14 para poros circulares, cuadrados y triangulares; k<sub>s</sub> es la tortuosidad, ε es la porosidad, σ es la resistividad al flujo y η es la viscosidad del aire [6]. Para materiales con poros no cilíndricos y complicadas estructuras internas, es necesario usar otra dimensión característica. La

densidad efectiva de los absorbedores porosos reales tiende a ser determinada por parte de los poros de secciones transversales más pequeños, mientras que el módulo de volumen es determinado por las grandes áreas de sección transversal. Por esta razón, se necesita una segunda dimensión característica,  $A'$  [6].

$$A' = \frac{2V_P}{S_P} \quad (4)$$

Donde  $S_p$  y  $V_p$  son el área superficial y volumen de los poros, respectivamente. Esta es la misma proporción que la utilizada para  $A$  pero sin la ponderación de la velocidad microscópica. La determinación de estas dimensiones características constituye uno de los mayores problemas en el uso de los modelos teóricos. Para la mayoría de los absorbentes, la forma de los poros es tan compleja que es imposible predecir con exactitud la absorción de un material antes de que sea construido [6].

### 3.2.2 Tortuosidad

La orientación de los poros en relación con el campo de sonido incidente tiene un efecto sobre la propagación del sonido. Este efecto se representa por la tortuosidad,  $k_s$ . Cuanto más compleja la trayectoria de propagación a través del absorbente, mayor es la absorción, y esa complejidad de la ruta está parcialmente representada por la tortuosidad. Además, la tortuosidad afecta a la facilidad con que la onda sonora puede penetrar en el material absorbente. Para simples poros cilíndricos, todos alineados en la misma dirección, la tortuosidad es simplemente relacionada con el ángulo entre los poros y el sonido incidente [6].

La tortuosidad se puede encontrar para un material no conductor (lana mineral y espumas no conductoras) el cual puede ser saturado con un fluido conductor y medir la resistividad eléctrica. Desde la resistencia eléctrica, la tortuosidad se puede encontrar. La resistencia eléctrica del fluido conductor,  $r_f$ , es medida sola y luego la resistencia eléctrica del material poroso impregnado con el fluido conductor,  $r_A$ . Entonces la tortuosidad se puede encontrar como [6].

$$k_s = \frac{\epsilon r_A}{r_f} \quad (5)$$

Para materiales fibrosos  $k_s$  es típicamente 1 y para materiales granulados es de aproximadamente 2 [6].

## 4. PARÁMETROS

### 4.1 Coeficiente de absorción sonora, $\alpha$

Una de las formas de medir la absorción de un material es utilizando un recinto reverberante (en laboratorios se utilizan cámaras reverberantes con

tiempo de reverberación de 10 s aproximadamente y volumen no menor que 200 m<sup>3</sup>) en el cual se mide el tiempo de reverberación antes y después de colocar la muestra de material absorbente. Suponiendo despreciable la atenuación sonora producida por el aire, llamamos  $T$  y  $T_\alpha$  a los tiempos de reverberación antes y después de colocar la muestra, resulta [2]:

$$T = 0,161 \frac{V}{\alpha \sim S} \quad (6)$$

$$T\alpha = 0,161 \frac{V}{\alpha \sim (S - S\alpha) + \alpha S\alpha} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{0,161}{S\alpha} \left( \frac{1}{T\alpha} - \frac{1}{T} \left( 1 - \frac{S\alpha}{S} \right) \right) \quad (8)$$

La muestra de material es de unos 3 o 4 m<sup>2</sup> aproximadamente de manera que resulte  $S\alpha \ll S$  y así cumplir con las aproximaciones que se exigen para una correcta medición [2].

En algunos casos resulta  $\alpha > 1$ , lo que implicaría que el material absorbe más energía sonora que la que incide sobre él. En realidad, es el resultado de difracción en los bordes de la muestra y del hecho de que las ecuaciones utilizadas son solo aproximadas, como es el caso de la formula de Sabine simplificada. Conceptualmente correspondería ajustar dicho valor a 0,99 (ya que técnicamente no es posible una absorción absoluta) [2].

### 4. Coeficiente de reducción acústica, NRC

En lugar de hacer uso de todos los valores de los coeficientes de absorción para cada banda de frecuencias (octava), se utiliza un único coeficiente para el material absorbente. Dicho coeficiente denominado coeficiente de reducción acústica (NRC: Noise Reduction Coefficient) se define como la media aritmética de los coeficiente de absorción correspondientes a las bandas centradas en 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz [1].

Si bien el uso de un solo coeficiente simplifica los cálculos, se debe tener precaución, ya que puede existir un mismo valor de NRC para dos materiales que tienen comportamientos totalmente distintos debido a las distintas respuestas en frecuencia de los materiales [1].

$$NRC = \frac{\alpha(250Hz) + \alpha(500Hz) + \alpha(1KHz) + \alpha(2KHz)}{4} \quad (9)$$

## 5. VARIACION DEL COEFICIENTE DE ABSORCION SONORA DEL MATERIAL POROSO EN FUNCION DE SU POSICION Y CARACTERISTICAS.

### 5.1 Efecto del espesor

El coeficiente de absorción sonora de los materiales porosos tiende a incrementar con un aumento del espesor del material. En este caso se analizará un material absorbente colocado sobre una pared rígida. En la Figura 3 se pueden observar dos

casos: el primero el espesor  $D$  es mucho menor que la longitud  $\lambda$  de la onda sonora ( $D \ll \lambda$ ), la pared rígida obliga a que no se muevan las partículas de aire situadas en sus inmediaciones, al ser dicha velocidad tan baja en todos los puntos del material absorbente, la fricción de las partículas de aire con las paredes de los canales del material hacen que la transformación de energía sonora en energía calorífica sea mínima. En el segundo caso, el espesor  $D$  es comparable con  $\lambda/4$  lo que implica que la velocidad dentro del material sea máxima, logrando la máxima fricción de las partículas de aire con las paredes del material y por consiguiente logrando la máxima transformación de la energía [1].

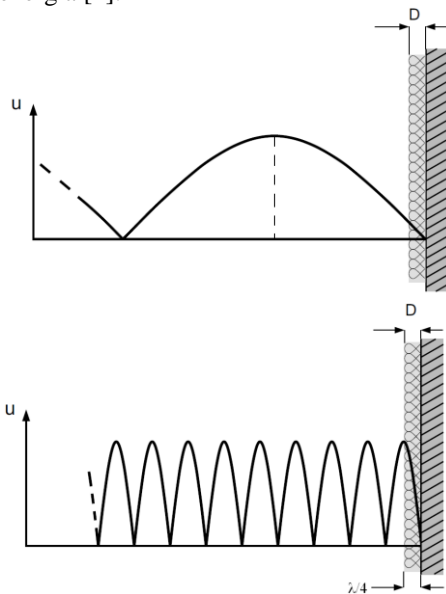


Figura 3: Evolución de la amplitud de la velocidad de las partículas de aire en función de la distancia a la pared rígida [1].

En la Figura 4 se muestra la variación de la absorción en función de la frecuencia para diferentes espesores de la lana de vidrio [1].

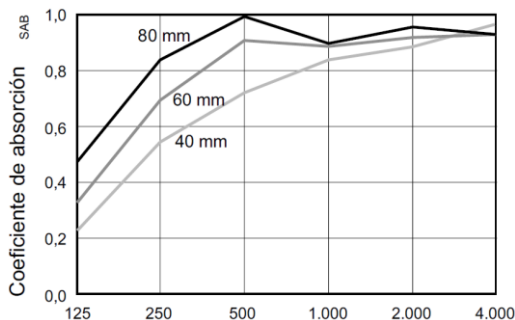


Figura 4: Coeficiente de absorción en función de la frecuencia para material absorbente sonoro de distintos espesores [1].

### 5.2 Efecto de la porosidad

Al incrementarse la porosidad del material, aumenta la absorción sonora debido a que el frente de onda incidente penetra en mayor medida dentro del

material. Al producirse una mayor penetración de la onda, la fricción del aire con las paredes del material aumenta incrementando la tasa de transformación de energía sonora a calorífica. La variación del coeficiente de absorción en función de la frecuencia y de la porosidad del material se ilustra en la Figura 5 [1].

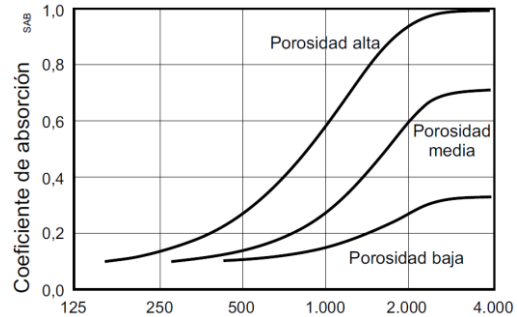


Figura 5: Variación del coeficiente de absorción en función de la frecuencia y de la porosidad del material (lana de vidrio) [1].

### 5.3 Efecto de la densidad

El aumento de la densidad del material genera mayor fricción produciendo mayor absorción de la onda sonora incidente. Existe un límite en el aumento de la densidad del material, ya que si se sigue aumentando la densidad la onda sonora no podrá penetrar el material y, en consecuencia, existirá una mayor reflexión de la energía. Desde el punto de vista práctico, la densidad de un material absorbente debe estar comprendida entre 40 y 100  $\text{Kg/m}^3$ . En la Figura 6 se puede observar la variación del coeficiente en función de la densidad y la frecuencia de una lana de roca [1].

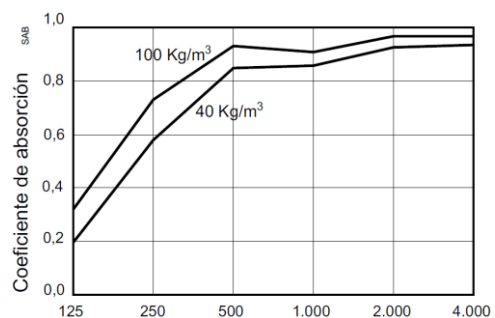


Figura 6: Coeficientes de absorción sonora en función de la frecuencia para lana de roca de 60 mm [1].

### 5.4 Efecto de la distancia a la pared rígida

Para lograr coeficientes de absorción elevados para bajas frecuencias, no es necesario el uso de materiales de gran espesor. Basta con utilizar un material con un espesor medio y colocarlo a una cierta distancia de la pared rígida. Como la máxima absorción se da para  $\lambda/4$  de la onda sonora, se ubica el material a una distancia de la pared rígida igual a  $\lambda/4$  ( $d=\lambda/4$ ). En la figura 7, se observa un material

poroso (lana de roca) situado a una distancia  $d$  y el coeficiente de absorción en función de la frecuencia para una lana de roca de 30 mm de espesor, 46 Kg/m<sup>3</sup> de densidad y situado a 50 mm de la pared. Como se puede observar, el máximo coeficiente de absorción se logra a la frecuencia de 500 Hz [1].

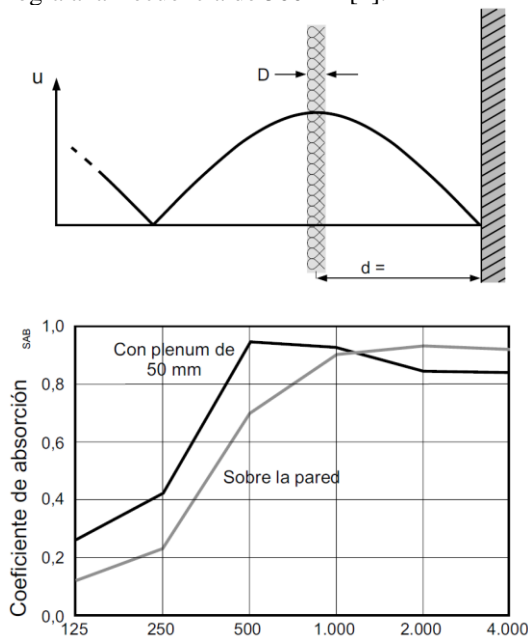


Figura 7: Coeficientes de absorción de una lana de roca de 30 mm de espesor y 46 Kg/m<sup>3</sup> de densidad, montada: a) sobre una pared de hormigón; b) a una distancia de 50 mm de la pared [1].

Si el espesor del material absorbente tiende a cero, se comporta como una tela porosa. Los valores de absorción oscilan de forma periódica entre un máximo y un mínimo. El coeficiente de absorción de este material depende de la resistencia de flujo  $R_s$ , que se define como la relación entre la diferencia de presiones correspondientes a las dos caras del material y la velocidad de flujo de aire que atraviesa sus poros [1].

En la Figura 8 se muestran diversas curvas del coeficiente de absorción en función de la relación  $d/\lambda$ , como puede observarse los nulos se encuentran a una distancia  $\lambda/2$  de la onda sonora incidente [1].

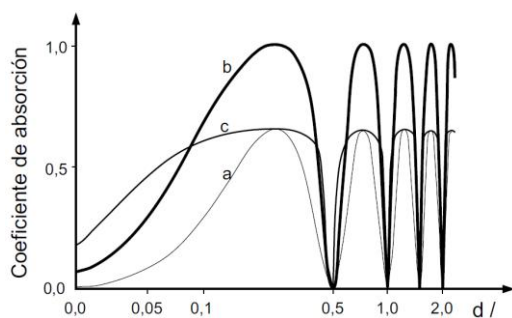


Figura 8: Coeficientes de absorción de una tela porosa situada a una distancia “d” de una pared rígida, en función de  $d/\lambda$ , para los siguientes valores de  $R_s$ : a)  $R_s = 0,25 \rho_0 c$ ; b)  $R_s = \rho_0 c$ ; c)  $R_s = 4 \rho_0 c$  [1].

## 5.5 Efecto de la geometría superficial

Las diversas geometrías superficiales en los materiales porosos cumplen principalmente la función de aumentar la superficie en la que incide la onda sonora sobre el material.

Los absorbentes porosos por lo general se fabrican con relieve en forma de cuñas anecoicas. Este relieve permite incrementar considerablemente la absorción (reduciendo además la cantidad de material), ya que la superficie equivalente se multiplica por 3 ó más.

El principio de las cuñas anecoicas se basa en que dos cuñas vecinas se comportan como una trampa de sonido, es decir que las ondas sonoras quedan momentáneamente confinadas entre ambas, experimentando numerosas reflexiones antes de retornar al ambiente, como se ilustra la Figura 9 [2].



Figura 9: Relieve del material en forma de cuña anecoica [1].

## 6. TIPOS DE ABSORTORES POROSOS

Existen varios tipos de materiales absorbentes disponibles comercialmente. Entre éstos se encuentran las fibras de vidrio o lana de vidrio, y la lana mineral (obtenida por soplado de escoria fundida), que, dotadas de mayor o menor densidad por medio de resinas aglomerantes, permiten diversos grados de absorción. Se fabrican en forma de fieltros o de paneles semirrígidos, que requieren alguna estructura auxiliar para sostenerlos, y en forma de tabiques autoportantes. Éstos suelen ser de mayor densidad y alcanzan coeficientes de absorción muy elevados.

Luego están las espumas polímeras de células abiertas, como el poliuretano (poliéster), la poliimida y la melamina. Por ser compuestos orgánicos, estas espumas son sensibles en mayor o menor grado a la llama.

La melamina tiene la particularidad de no producir llama autopropagante, de modo que en caso de exposición a la llama sólo produce un chamuscamiento local, previniendo la posibilidad de un incendio. Esta es una característica deseable, que justifica la mayor inversión en aquellos casos en que la seguridad sea un factor importante o en los que el riesgo de llama pudiera ser considerable [2].

## 6.1 Fibras

### 6.1.1 Fibra de Kenaf

Es un material obtenido a partir de fibras naturales, concretamente, el kenaf. Es un material poroso y fibroso. Estos materiales se obtienen utilizando la fibra de poliéster en porcentaje conocido como elemento de termofusión para unir las fibras de kenaf, consiguiendo un material compuesto en su mayoría por fibra de kenaf y sin el uso de adhesivos para conformarlo. Además, se ha desarrollado un modelo que se ajusta a los valores experimentales para este biomaterial fibroso. En la Figura 10 se observa imágenes en acercamiento de la fibra y su curva de los coeficientes de absorción en función de la frecuencia [7]. A la izquierda de la Figura 10 se puede observar a nivel microscópico las fibras de kenaf.

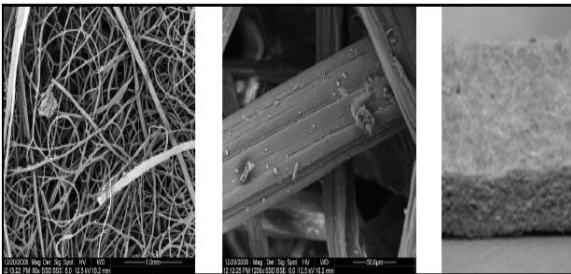


Figura 10: Fibra de kenaf. Distintos tipos de acercamientos [7].

En la Figura 11 se puede apreciar que a partir de los 1000 Hz la absorción de la fibra de kenaf es elevada.

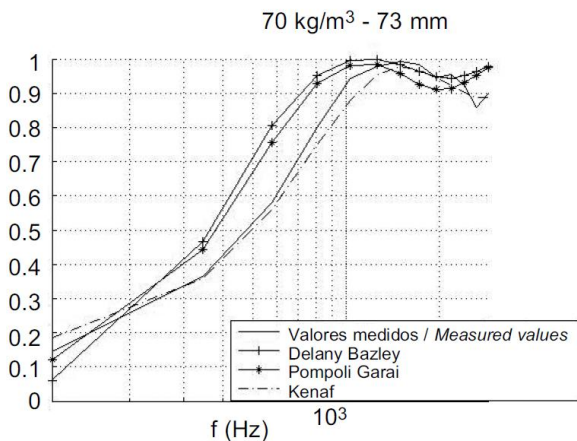


Figura 11: Coeficiente de absorción en función de la frecuencia de fibra de kenaf [7].

### 6.1.2 Fibra de poliéster

Los absorbentes de fibra de poliéster fueron productos innovadores, que rápidamente se convirtieron en los más utilizados. Existe una tendencia a sustituir a la lana de vidrio y lana de roca. El material de fibra de poliéster se fabrica en mantas

con diferente densidad, espesor, composición y tratamiento de superficies. Es constituido por una mezcla de dos diferentes tipos de fibras, en un porcentaje en función el tipo de producto: fibras de politereftalato de etileno, que van desde 70% a 80%; "bicomponente" fibras constituidas por un núcleo de revestimiento y un politereftalato de etileno de copoliéster, que van desde 30% a 20%.

El revestimiento de copoliéster tiene su punto de fusión a aproximadamente 110 °C, mientras que el politereftalato de etileno tiene su punto de fusión a aproximadamente 255 °C. La mezcla de fibras es térmicamente tratada a 150 °C en el fin de fundir el revestimiento externo del bicomponente para formar un esqueleto de fibras térmicamente unidas. En la Figura 12 se observa la respuesta en frecuencia de la absorción para esta fibra y en la Figura 13 una imagen microscópica de la misma [8].

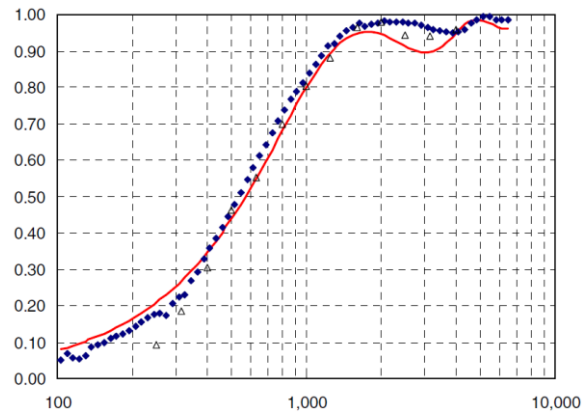


Figura 12: Coeficientes de absorción sonora vs frecuencia de la fibra de poliéster [8].

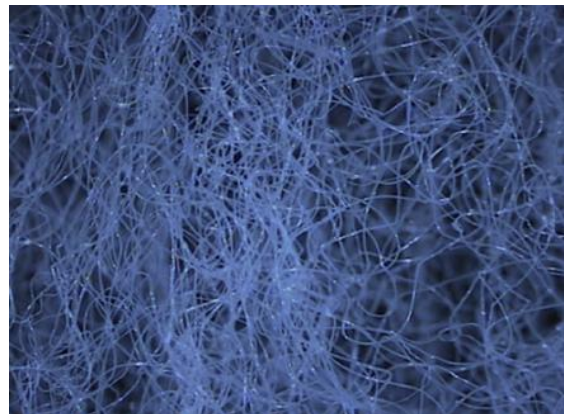


Figura 13: Imagen microscópica de fibra de poliéster [8].

### 6.1.3 Lana mineral o lana de roca

El concepto lana mineral, es sólo una denominación genérica para diferenciar los materiales plásticos de los minerales. Las lanas minerales son productos aislantes constituidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que

forman un fieltro que mantiene entre ellos aire en estado inmóvil.

### 6.1.4 Fibra de vidrio

Las principales materias primas que se utilizan son silicio, silicato de aluminio y potasio, carbonato de calcio, borax, vidrio de reciclaje entre otros. Es un proceso de horneado de los materiales para formar el vidrio para luego, por medio de un proceso, ser transformado en fibras para luego constituir la lana. En la figura 14 se puede observar una vista microscópica del material y su coeficiente de absorción en función de la frecuencia para distintos tipos de montajes [9].

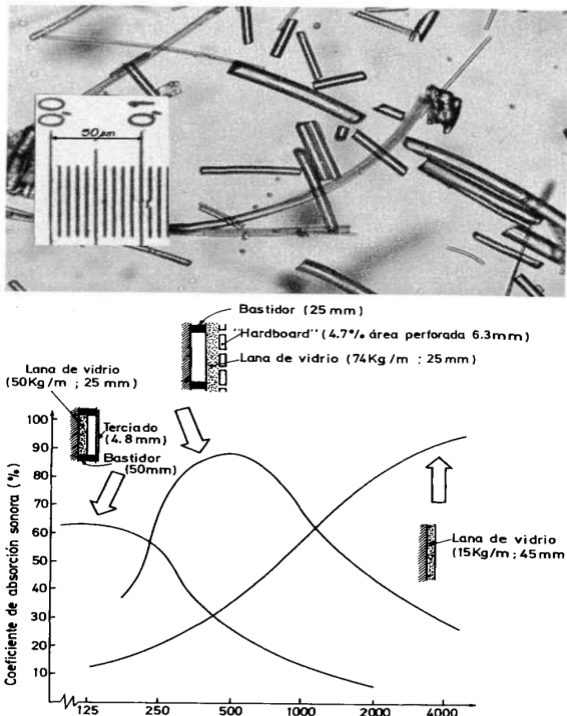


Figura 14: Arriba. Vista microscópica de la fibra de vidrio. Abajo. Coeficiente de absorción en función de la frecuencia para distintos sistemas de montaje [9].

## 6.2 Polímeros

### 6.2.1 Melamina

La espuma de melamina es conocida por ser uno de los mejores materiales acústicos en términos de absorción sonora. Es muy utilizado para diseñar cámaras anecoicas, y para aplicaciones de aeronáutica. Posee una estructura muy porosa con ligamentos delgados muy alargados. En algunos casos puede ser vista como una estructura fibrosa. La forma de la sección transversal de los ligamentos de la espuma de melamina está hecha de triángulos cóncavos. Una imagen microscópica de una muestra real de la espuma de melamina se muestra en la Figura 15 [10].

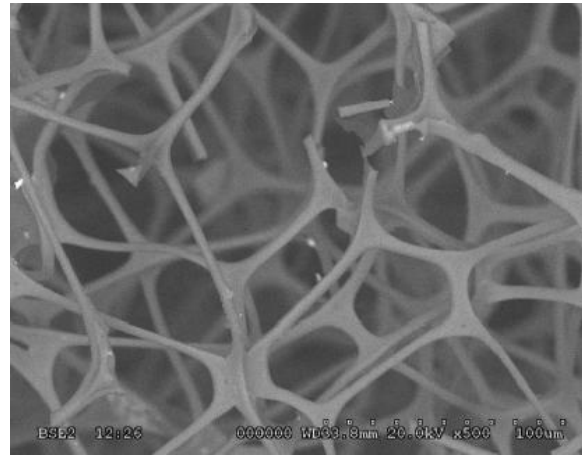


Figura 15: imagen microscópica de la espuma de melamina [10].

## 7. MODELIZACION UTILIZANDO FEM

El medio acústico se encuentra descrito en términos de su presión de campo  $p$ . Se define a  $\Omega$  y a  $\Gamma$  como su volumen y su superficie. Utilizando la presión como variable de fluido y suponiendo oscilaciones armónicas, la forma de la integral del sistema de fluido está dada por la ecuación (9).

$$\int_{\Omega} \left( \frac{1}{\rho_0 \omega^2} \frac{\partial p^a}{\partial x_i} \frac{\partial (\delta p^a)}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho_0 c_0^2} p^a \delta p^a \right) d\Omega - \frac{1}{\rho_0 \omega^2} \int_{\Gamma} \frac{\partial p^a}{\partial n} \delta p^a dS = 0 \quad (9)$$

donde  $\gamma$  es una variación admisible arbitraria. La integral de superficie queda determinada por la ecuación:

$$I^a = - \frac{1}{\rho_0 \omega^2} \int_{\Gamma} \frac{\partial p^a}{\partial n} \delta p^a dS \quad (10)$$

que representa el trabajo virtual realizado por la presión interna sobre el dominio acústico. Combinando las ecuaciones anteriores (9) y (10) se puede obtener la integral de límite:

$$I^p + I^a = - \int_{\Gamma} \sigma_{ij}^t n_j \delta u_i^e dS - \int_{\Gamma} \phi (u_n^f - u_n^e) \delta p dS + \int_{\Gamma} \frac{1}{\rho_0 \omega^2} \frac{\partial p^a}{\partial n} \cdot \delta p^a dS \quad (11)$$

realizando una sustitución más, finalmente queda la modelización.

$$I^p + I^a = \int_{\Gamma} \delta (p^a u_n^e) dS \quad (12)$$

Esta ecuación muestra que el medio poroelástico será acoplado al medio acústico a través de la dupla clásica cavidad-estructura. Además, la condición de energía cinética debe ser impuesta explícitamente en  $\Gamma$ . Una vez más, en la implementación de elementos finitos, ésta condición es realizada de manera automática [11].

## 8. CONCLUSION

Los absorbentes porosos resultan un elemento necesario a la hora de controlar eficientemente los tiempos de reverberación de un recinto. Este tipo de elemento tiene una absorción sonora en un rango amplio de frecuencias. Para realizar un control de una frecuencia en particular es necesario utilizar otro tipo de elemento como los absorbentes selectivos (resonadores).

Una ventaja de este tipo de elementos es que además de ser utilizados como absorbentes sonoros también pueden ser utilizados, en conjunción con otros materiales, para controlar el aislamiento termoacústico de recintos.

En este trabajo se especifican los materiales absorbentes porosos más utilizados. Cualquier material que cumpla con las características físicas antes mencionadas, puede ser utilizado (en su medida) como absorbente poroso. Ej: hormigón poroso, pavimentos porosos, entre otros.

Se concluye que las características físicas más importantes de estos materiales son la porosidad y la resistividad al flujo, ya que determinan el coeficiente de absorción sonora del mismo. Además, para lograr una mayor absorción de la energía sonora en un recinto cerrado, se debe tener en cuenta: el tipo, la posición, la forma geométrica, el espesor y la densidad del material.

## 8. REFERENCIAS

- [1] Carrión Isbert A. “*Diseño acústicos de espacios arquitectónicos*”. Edición UPC. España. 1998.
- [2] Miyara F. “*Control de ruido*”. Universidad Nacional de Rosario, República Argentina, 1999.
- [3] Sabine P. E. “*Acoustic and architecture*”. McGraw Hill. New York & Londres. 1932.
- [4] Everest A. “*The Master Handbook Of Acoustics*”. 4<sup>th</sup> Edition McGraw-Hill, 2001.
- [5] Kuttruff H., “*Acoustics*” Taylor & Francis Group 2007
- [6] Trevor J. C., Dantonio P. “*Acoustic absorbers*”. Taylor y Francis Group. 2004.
- [7] Ramis J., Alba J., del Rey R., Escuder E., Sanchís V. J. “*Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf*” Materiales de Construcción Vol. 60. 2010
- [8] Garai M., Pompoli F. “*A simple empirical model of polyester fibre materials for acoustical applications*”,. Department of Energetics, Nuclear and Environmental Control Engineering, Università di Bologna, Italy.
- [9] Giménez de Paz J. C. “*Lana de vidrio como material acústico: modelo predictivo*”, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio nº 29, 1990.
- [10] Perrot C., Chevillotte F., Panneton R.”*Bottom-up*

UTN FRC-Depto. Ing. Electrónica-FAyE0412E1: CASTILLO J.- COSTA A., *Características físicas de materiales absorbentes sonoros porosos.*

*approach for microstructure optimization of sound absorbing materials*” Groupe d’Acoustique de l’Université de Sherbrooke (GAUS), Department of Mechanical Engineering, Université de Sherbrooke, Quebec J1K 2R1, Canada.

[11] Allard J. F. “*Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials*”, Université de Le Mans, France, 2009.

## DATOS BIOGRAFICOS

**Castillo Joaquín**, nacido en Cutral-Có el 22/09/1985. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Sus intereses son: acústica de recintos, electroacústica. E-mail: [49536@electronica.frc.utn.edu.ar](mailto:49536@electronica.frc.utn.edu.ar)

**Costa Alejandro**, nacido en Neuquén el 11/01/1985. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Sus intereses son: acústica de recintos, control de ruido, estudios de grabación. E-mail: [49535@electronica.frc.utn.edu.ar](mailto:49535@electronica.frc.utn.edu.ar)