ESTUDIO DE MATERIALES ABSORBENTES DEL SONIDO EN CAJAS ACUSTICAS

Marín, Beatriz E. [1*], *Benavidez, Alberto* [2], *Delvasto, Silvio* [3], *Mejía de Gutiérrez Ruby* [3], *Chavarro, Santiago*[4]

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (3): 1135-1142

ESTUDIO DE MATERIALES ABSORBENTES DEL SONIDO EN CAJAS ACUSTICAS

Marín, Beatriz E. [1], Benavidez, Alberto [2], Delvasto, Silvio [3], Mejía de Gutiérrez Ruby [3], Chavarro, Santiago[4]*

1: Ingeniera de Materiales, Grupo de Materiales Compuestos (CENM), Universidad del Valle.
2: Físico, profesor Universidad Javeriana, Cali
3: Profesores Titulares, Grupo de Materiales Compuestos (CENM), Universidad del Valle.
4: Gerente, Fundiciones Universo S.A.

** E-mail: belena06@gmail.com*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008
Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

Esta investigación surgió de la necesidad de fabricar mejores materiales insonorizantes en una industria de cajas acústicas. Mediante ella, se evaluaron diferentes tipos de materiales para su utilización como material de relleno en cajas acústicas. En esta investigación se estudiaron tanto propiedades acústicas como no acústicas de: una vermiculita exfoliada, una arena de cromita y un carbonato de calcio, los cuales se aglomeraron con resina poliéster. Se observó el efecto que tiene el modificar el porcentaje en volumen de resina sobre las propiedades finales de absorción acústica; estos resultados se compararon con los reportados por materiales utilizados actualmente como relleno acústico. Se evaluaron las siguientes propiedades de los composites: tortuosidad, porosidad, factor acústico de pérdida (η), resiliencia y coeficiente de absorción de sonido (α). Las propiedades de tortuosidad, porosidad y resistencia a la tensión se determinaron por métodos no acústicos y el coeficiente de absorción sonora se determinó por el método acústico de tubo de Kundt. Un material compuesto con vermiculita (15% vermiculita, 36.5% resina, 48.5% poros) presentó la más alta absorción acústica con un coeficiente promedio de 0.65, seguido de espuma, felpa, lana de vidrio, las dosificaciones de cromita con resina y las que contenían carbonato de calcio y por último tabla MDF el cual presenta el valor más bajo, con un coeficiente promedio de 0.35.

Palabras Claves: *Cajas acústicas, absorción acústica, materiales insonorizantes, tubo de Kundt.*

Abstract

This research was motivated by the necessity to manufacture better soundproofing materials in a local industry of acoustic boxes. Different types of materials were evaluated for its use as filler material in acoustic boxes. In this investigation, it was studied the acoustic and not acoustic properties of: an exfoliate vermiculite, a cromite sand and a Calcium carbonate. These particles were embedded in a polyester resin. It was observed the effect of modifying the percentage in volume of resin on the final properties of acoustic absorption. These results were compared to the acoustic absorption of materials actually used as acoustic fillers. The following properties of the composites were evaluated: tortuosity, porosity, lost coefficient (η), resilience and coefficient of sound absorption. The properties of tortuosity, porosity and tensile strength were determined by non acoustic methods and the coefficient of sound absorption was determined by the acoustic method of Kundt tube. A composite with vermiculite (15% vermiculite, 36.5% resin, 48.5% pores) reported the highest acoustic absorption, followed by a commercial plastic foam, a plush, a glass wool, cromite and Calcium carbonate polyester composites, and finally a MDF board with the lowest acoustic absorption (0.35).

Keywords: Acoustic boxes, acoustic absorption, soundproofing materials, Kundt tube.

1. INTRODUCCION

Todo material absorbe energía sonora en algún grado. Cuando las ondas sonoras alcanzan un material, parte de la energía acústica de la onda es absorbida y/o transmitida, y la restante es reflejada. La energía reflejada de la onda es siempre menor que la energía incidente y la energía acústica absorbida es transformada en calor. La cantidad de energía absorbida es expresada en términos del coeficiente de absorción sonora, habitualmente

representado con la letra Alfa (α). El cual es, la fracción decimal de la energía absorbida por el material.

Dentro de la clasificación de materiales acústicos encontramos a los materiales absorbentes acústicos y en esta categoría a los materiales porosos en los cuales el punto clave de la absorción es cuando la onda acústica llega a la superficie y el aire es empujado dentro de los poros, por lo tanto, solo ocurre una reflexión de onda parcial y la onda transmitida es amortiguada. La descripción de este fenómeno requiere un análisis físico del flujo de gases en poros [1]. Se precisa que el aire se mueva intensamente entre la matriz sólida de estos materiales y que los elementos de esta matriz no se muevan.

En un material absorbente del sonido las ondas penetran en los orificios y el roce de las partículas de aire contra las paredes internas del material provoca una reducción en su movimiento, transformando la energía acústica en calor. Alfombras, cortinas, tapices, ropa, etc., todos estos son materiales porosos que absorben las altas frecuencias.

Los materiales acústicos profesionales suelen construirse a partir de espumas con esqueleto rígido. Los poros de la espuma provocan la absorción por fricción y el hecho de contar con un esqueleto rígido aumenta este efecto: cuanto menor es el movimiento de las partículas del material, mayor es el movimiento relativo del aire contra ellas, y por tanto mayor es la absorción. Sin embargo, este tipo de materiales tienen poco o ningún efecto en las frecuencias más bajas. Para longitudes de onda grandes los pequeños poros son virtualmente "invisibles" y las ondas se reflejan como si incidieran sobre una pared lisa [2].

De acuerdo con la ¨ACOUSTICAL MATERIAL ASSOCIATION (AMA) ¨ [3]: ¨Para que un material tenga la habilidad de absorber el sonido de forma apropiada, debe dificultar el paso de corrientes de aire. Si la resistencia al flujo es demasiado alta, por la baja porosidad del material o posiblemente por la total falta de intercomunicación entre poros, la absorción del sonido es baja porque las ondas no penetran el material. Si la estructura porosa es muy larga y abierta, con una baja resistencia al flujo de aire correspondiente, la onda sonora penetra fácilmente, pero la fricción desarrollada es relativamente baja y la absorción también será baja. En este caso el sonido se refleja en el material sólido inmediatamente posterior (muro, placa, teja, etc.) y devuelve el sonido a través del material hasta el salón o espacio, con poca pérdida de energía Por lo tanto, para que los materiales presenten un alto grado de absorción de sonido deberán ser diseñados con estructuras porosas para que se alcance el flujo de aire ideal.¨

Sus características se pueden describir así:

- Los materiales porosos absorben mejor los sonidos agudos pues sus longitudes de onda son menores e ingresan con mayor facilidad a los poros.
- Cuando el material poroso posee un espesor igual a la mitad de la longitud de onda del sonido incidente, la absorción alcanza un máximo valor para este material. No obstante, puede decirse que aumentando el espesor del material la absorción crece hasta un cierto límite, pero superado los 7 cm (3 plg.) el incremento es relativamente poco.

1.1 Cajas acústicas

Una caja acústica es un mueble de madera de **MDF** (médium density fiberboard), el cual esta compuesto por altavoces (tweeter y woofer) que emiten una onda hacia fuera como hacia adentro de la caja, esta ultima distorsiona el sonido que le llega al oyente, por lo cual es preciso eliminar esta onda introduciendo un material absorbente de sonido como se observa en la figura 1.

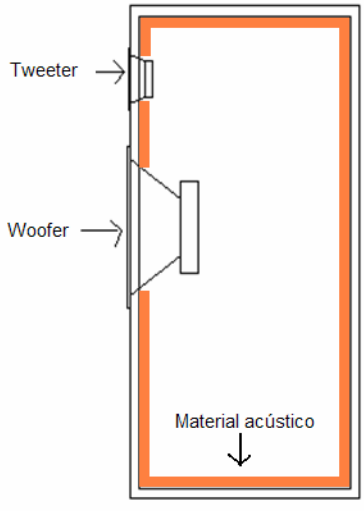


Figura 1. Caja acústica sellada.

Con esta investigación se dan a conocer las propiedades más relevantes a tener en cuenta para fabricar un material que absorba el mayor porcentaje de sonido y una vez que el material este puesto en la caja acústica pueda hacer que la calidad del sonido mejore.

2. METODOLOGIA

La metodología utilizada se describe a continuación.

2.1 Selección de materiales

Los materiales con los cuales se trabajó en el proyecto fueron: Vermiculita exfoliada fina, carbonato de cálcio, arena (cromita).

La vermiculita exfoliada fina, es generalmente empleada como aislamiento térmico para sistemas que operan a alta y baja temperatura, tratamientos acústicos, barreras retardantes de incendio en estructuras metálicas y en la agricultura en mejoramiento de la tierra como retenedor de aire y agua. Gracias a la porosidad, esta es capaz de retener notables cantidades de aire, este aire retenido lo dota de propiedades para la absorción y reducción de ruidos. Amortigua los ruidos y reduce la reverberación, gracias a pequeñas partículas de aire que aíslan y absorben el sonido en una zona muy ancha de frecuencias [4,5].

La investigación del carbonato de calcio se basó en que actúa como filtro acústico eficiente que silencia a los ruidos de fondo de baja frecuencia como el murmullo de una multitud y refleja los ruidos de alta frecuencia, por ejemplo los intérpretes sobre un escenario [6]. El estudio de la arena cromita se decidió por su disponibilidad y por su elevada densidad. Además, porque las partículas arenosas presentan un buen comportamiento a las vibraciones.

Se utilizó como ligante de las partículas una resina poliéster disponible localmente y de bajo costo, pues se necesitaba obtener un material compuesto que se pudiese adosar como un laminado al MDF de la caja acústica, que tuviese resistencia a la vibración y a las solicitaciones por impacto que ordinariamente sufren las cajas acústicas durante sus frecuentes instalaciones y desmontes.

2.2 Caracterización de materias primas

El material granular se caracterizó siguiendo los ensayos de laboratorio que aparecen en la tabla 1 (propiedades físicas), tabla 2 (análisis granulométrico) y figura 2 (microscopia óptica).

Tabla 1. Propiedades físicas.

Propiedades	*Cromita*	*Vermiculita*	*$CaCO_3$*
Masa unitaria compacta [g/cm^3]	2,77	0,27	1,18
Densidad [g/cm^3]	4,45	1,77	2,70

Tabla 2. Valores de diámetros máximos de partícula al 10, 50 y 90% de volumen de partículas calculadas por el granulómetro laser

Descripción	*Cromita*	*Vermiculita*	*$CaCO_3$*
Diámetro d (0,1) [μm]	151,2	72,1	0,6
Diámetro d (0,5) [μm]	325,0	227,5	6,0
Diámetro d (0,9) [μm]	620,2	542,9	18,0

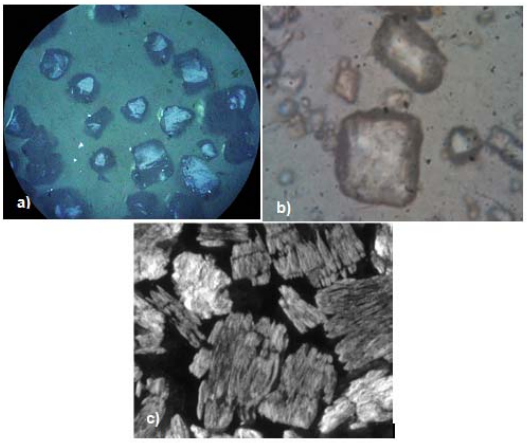


Figura 2. Forma partícula a) arena cromita, b) $CaCO_3$, c) vermiculita exfoliada fina [7].

2.3 Diseño de mezcla

Debido a que no se conoce un método estándar para la obtención de materiales absorbentes acústicos con base en resina poliéster, se tuvo en cuenta que el fin de diseñar un material acústico es poder conseguir las propiedades extrínsecas deseadas mediante el control de parámetros iníciales de fabricación. No solo es importante la relación entre cada tipo de variable sino conocer cuál de las variables que se pueden controlar tiene un efecto destacable sobre las propiedades finales, por lo tanto la preparación de la mezcla se realizó mediante el método de espacios libres, con el cual se quiso generar porosidad variando el porcentaje en volumen del aglomerante, para lo que se obtuvo un valor base de espacios

libres y a partir de este valor se escogieron aleatoriamente porcentajes en volumen, los cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Composición final de mezcla.

Descripción	*% volumen agregado*	*% volumen resina*	*% volumen poros*
	14,9	66,7	18,4
Vermiculita	16,7	57,3	26,0
	15,0	36,5	48,5
	44,9	52,2	2,9
Cromita	50,6	44,7	4,8
	58,2	35,3	6,5
	39,1	60,9	0,0
$CaCO_3$	43,9	56,1	0,0
	51,1	47,9	2,0

2.4 Caracterización de materiales

Para la caracterización de los materiales se fabricaron 237 probetas, entre las cuales se realizaron cilindros de 25 y 12.5 mm (1 y ½ pulgada) de espesor y 30 mm de diámetro (figura 3), los ensayos realizados a cada una de las probetas se muestran en la tabla 4.

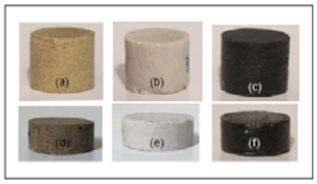


Figura 3. Probetas (a) y (d) Vermiculita exfoliada, (b) y (e) $CaCO_3$, (c) y (f) Cromita.

Tabla 4. Ensayos realizados

Ensayo	*Norma*
Absorción y porosidad	ASTM C 642
Tortuosidad	Método Fagerlund
Peso especifico del compuesto	NTC 221
Tracción	ASTM D 638
Coeficiente de absorción de sonido	ASTM C 384-98

3. ANALISIS DE RESULTADOS

En la tabla 5 se muestra los datos obtenidos mediante la Norma ASTM C 642. En ella se observa los diferentes porcentajes de porosidad total y efectiva de las dosificaciones estudiadas; se aprecia que de ellas, la vermiculita exfoliada mezclada con un 36.5% en volumen de resina tiene una porosidad total del 49.7% del cual el 46.3% es porosidad intercomunicada o efectiva, que es la más determinante en la propagación del sonido en medios porosos, y justo como se observa, la dosificación con vermiculita exfoliada es la que presenta mayores valores de porosidades.

Tabla 5. Porosidad efectiva y total de mezclas

agregado	*% volumen resina*	*Porosidad efectiva (%)*	*Porosidad total (%)*
	66.7	1.0	19.0
Vermiculita	57.3	2.0	24.4
	36.5	46.3	49.7
	52.2	1.0	2.8
Cromita	44.7	1.0	5.0
	35.3	1.3	7.1
	60.9	-	-
$CaCO_3$	56.1	-	-
	47.9	0.5	2,0

3.1 Ensayos de tortuosidad

Para los ensayos de tortuosidad se encontró que a tiempos de exposición a humedad de las probetas menores de un día, los porcentajes de absorción en las dosificaciones con vermiculita exfoliada con el 57.3% y 36.5% en volumen de resina fueron similares, sin embargo a tiempos de exposición mayores ocurrió una temprana saturación de la mezcla que tenía el 57.3% de resina y lo contrario ocurrió con la que contenía 36.5% de resina, indicando que tener una adición menor de resina en la mezcla de vermiculita exfoliada generó un aumento en la absorción de agua, debido a que se generaron poros intercomunicados. Por el contrario, para el caso de las mezclas de $CaCO_3$ y arena de cromita con resina se encontró que no se generó porosidad intercomunicada en las respectivas mezclas, debido a que la resina embebió completamente al sólido, por lo cual la pequeña absorción de agua en este ensayo está asociada es al secado.

3.2 Ensayo de tracción

En la tabla 6 se hace un resumen de los datos obtenidos de la prueba de tracción realizada siguiendo la Norma ASTM D 638, en la que la resistencia a la tracción disminuye conforme disminuye el porcentaje en volumen de resina de las mezclas, con respecto a la mezcla de referencia hecha solamente de resina, también se aprecia que el modulo aumenta ya que las mezclas se vuelven más rígidas al disminuir el porcentaje en volumen de resina (esto para $CaCO_3$ y cromita), se observa además, que existe un decrecimiento muy significativo de resiliencia de las mezclas en comparación con la resina sola, los valores de resiliencia encontrados son útiles como caracterización del material, ya que no se puede correlacionar directamente con el coeficiente de absorción de sonido.

Tabla 6. Datos ensayos de tracción

Agregado	*% volumen resina*	*Promedio Resis. tracción (MPa)*	*Promedio modulo (GPa)*	*Promedio resiliencia (MPa)*
	66.7	15.30	5.60	0.10
Vermiculita	57.3	12.50	4.50	0.05
	36.5	-	-	-
	52.2	7.84	2.74	0.06
Cromita	44.7	5.63	4.40	0.02
	35.3	-	-	-
	60.9	13.30	3.25	0.11
$CaCO_3$	56.1	15.26	4.70	0.11
	47.9	8.75	4.40	0.05
Resina	100	35.4	3.20	0.98

3.3 Determinación del factor de perdida (η)

Una aproximación para encontrar un rango donde se mueve el factor acústico de pérdida (η) se halla por medio de la figura 4 [8], una vez obtenidos los módulos de Young de las diferentes mezclas estudiadas, de las cuales las mezclas con vermiculita exfoliada fina se encuentran en un rango entre 4.5 y 5.6 GPa, las mezclas con $CaCO_3$ se encuentran entre 3.25 y 4.40 GPa y las mezclas con cromita entre 2.7 y 4.4 GPa. Estos módulos se encuentran ubicados en la figura 4 en un rango correspondiente a los materiales de poliéster ya que este abarca desde 1.5 GPa hasta aproximadamente 6 GPa, lo que corresponde a un factor acústico de pérdida (η) que está entre 0.01 y 0.04.

El factor acústico de pérdida (η) se relaciona con la proporción de energía que es disipada mediante transformación en calor por medio de la fricción interna de los átomos del material, lo cual indica qué tanta energía acústica que le llegue al material va a ser disipada mediante transformación de calor.

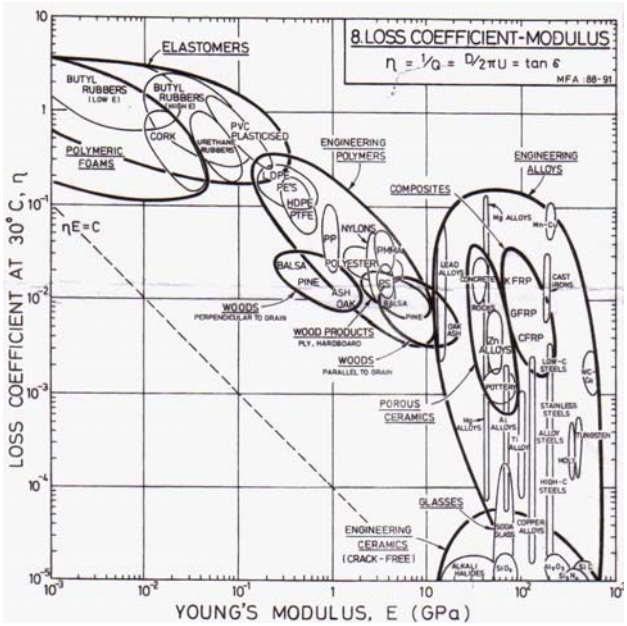


Figura 4. Factor Acústico de pérdida vs Modulo de Young **[8].**

3.4 Ensayos de absorción de sonido

La razón de ondas estacionarias *n* se define como el cociente entre los valores máximo y mínimo de la presión de la onda estacionaria formada en el interior del tubo de ondas estacionarias (o de impedancia o de Kundt) (ecuación 1) [9]. Este método está normalizado en la norma europea-internacional EN-ISO 110534-1: "Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 1: Method using standing wave ratio".

$$n = \frac{P\max}{P\min} = \frac{A+B}{A-B} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Por definición, el coeficiente de reflexión es r = B/A, de modo que en función de *n*, será:

$$r = \frac{n-1}{n+1} \qquad \text{Ecuación 2}$$

Y teniendo en cuenta la relación que existe entre el coeficiente de reflexión y el de absorción, este será, en función de *n*:

$$\alpha = 1 - r^2 = \frac{4n}{(n+1)^2} \qquad \text{Ecuación 3}$$

En las figuras 5 y 6 se observa el comportamiento de los materiales particulados con la incidencia de las ondas sonoras, y en la figura 7 se observan las muestras comerciales ensayadas, a modo de referencia. Los datos se obtuvieron de acuerdo a la ecuación (3) [10]. En estos ensayos se ha obtenido como resultado final el espectro de absorción de las probetas (coeficiente de absorción) en las bandas de frecuencia de interés (250-2000 Hz).

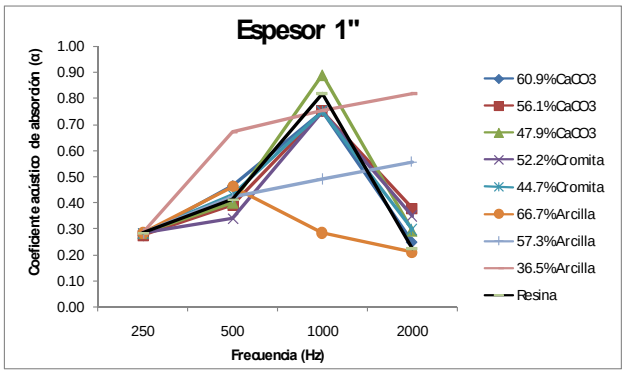


Figura 5. Coeficiente de absorción muestras de 1" de espesor

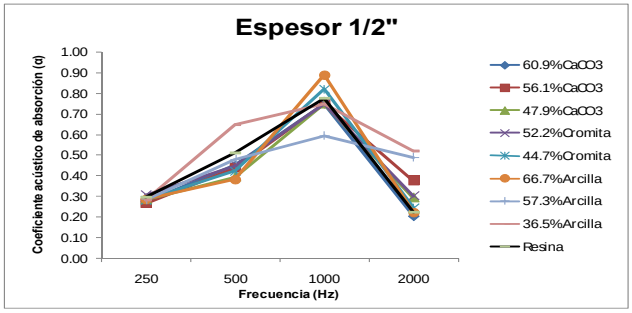


Figura 6. Coeficiente de absorción de muestras de ½" de espesor

En las figuras 5 y 6 se observan los coeficientes de absorción de las muestras de 1 y ½ pulgada de espesor, de donde se pueden deducir varios aspectos. Existe comportamiento de absorción similar de las mezclas de cromita, $CaCO_3$ y resina, esto se pudo presentar debido al predominio que tiene la resina en las mezclas, es decir a pesar de que se disminuía el porcentaje de aglomerante no fue significativo para generar variación en las mezclas. Se observa en la figura 5, que las mezclas de vermiculita exfoliada (arcilla) presentan un comportamiento creciente en el coeficiente de absorción a lo largo de las frecuencias evaluadas al variar el porcentaje en volumen de resina, lo que corrobora que la generación de porosidad tiene un efecto importante en el coeficiente de absorción de los materiales.

De las figuras 5 y 6 también se observa que variar el espesor de ½" a 1" es significativo en muestras porosas en el rango de frecuencias de 1000 a 2000 Hz, para frecuencias menores no es muy significativa esta absorción. Cuando se trata de muestras no porosas como lo fueron $CaCO_3$ y cromita no se consigue un aumento en el coeficiente de absorción al aumentar el espesor. Se observa también que en las frecuencias de 250 Hz las mezclas tiene un comportamiento bajo y muy similar, esto es debido a que las bajas frecuencias (25 – 250 Hz) son difíciles de absorber debido a sus grandes longitudes de onda.

En general las mezclas de $CaCO_3$ y cromita presentan un comportamiento de absorción aceptable sabiendo que son materiales que no presentan porosidad intercomunicada. La absorción presentada pudo deberse a que las caras por las cuales incidieron las ondas no eran perfectamente planas sino que presentaban rugosidad debido a la formación de poros en esta zona. Para estas muestras se esperaba un comportamiento más bajo de absorción especialmente cuando se tiene resina sola y sin duda alguna el mejor comportamiento se obtuvo con la vermiculita exfoliada.

Con respecto a los materiales comerciales ensayados, cuyo comportamiento en absorción acústica se observa en la figura 7, se escoge la felpa para realizar la comparación con la mejor dosificación obtenida de las fabricadas (vermiculita), debido a que la felpa fue el material que según los ensayos realizados presenta el mejor

comportamiento hasta 1000 Hz, además es el material de relleno acústico de las cajas actualmente fabricadas. Al realizar la comparación entre los materiales, dosificación óptima con vermiculita (arcilla) y felpa (uso tradicional en las cajas), se aprecia en la figura 8 que para frecuencias de 250, 500 y 1000 Hz ambos tiene un comportamiento muy similar pero al evaluar la frecuencia de 2000 Hz la dosificación con vermiculita exfoliada presenta el mejor comportamiento en el coeficiente de absorción de sonido con un valor de 0.80 mientras que la felpa para esta frecuencia tiene un valor de 0.50. Lo cual nos muestra que las dosificaciones con vermiculita exfoliada están encaminadas a superar la absorción de los materiales actualmente utilizados para este propósito (absorción de sonido).

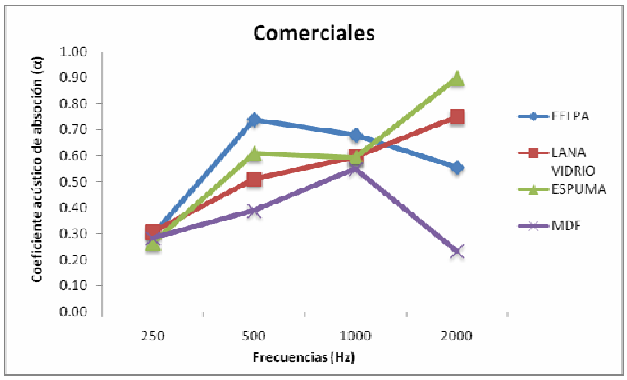


Figura 7. Coeficiente de absorcion de muestras comerciales

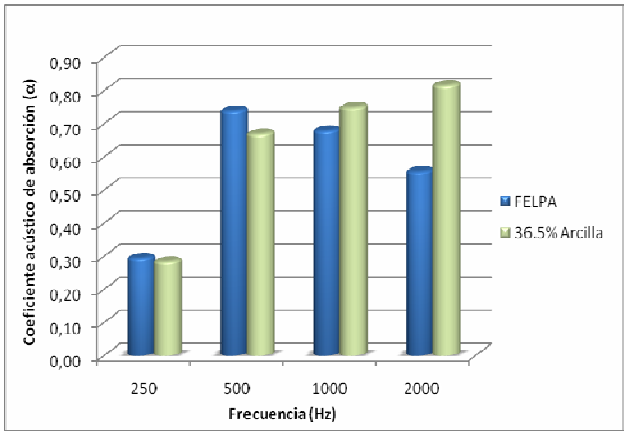


Figura 8. Comparación del coeficiente de absorción muestra comercial y mejor dosificación (arcilla con 36.5% en volumen de resina).

4. CONCLUSIONES

La absorción del sonido se ve afectada por la cantidad del aglomerante y por la estructura granulada de los agregados.

Se debe lograr un equilibrio entre porosidad intercomunicada y aglomerante para que se proporcione la resistencia mecánica adecuada sin afectar la absorción de sonido.

De los parámetros evaluados: densidad, porcentaje en volumen del aglomerado y porosidad, se puede decir que los dos últimos son dependientes solo cuando contienen agregados granulados y que es por la formación de porosidad que los materiales ven incrementado el coeficiente de absorción de sonido y esto se pudo observar en los resultados obtenidos ya que la mezcla de vermiculita exfoliada más porosa fue la que tuvo mejor comportamiento a lo largo de las frecuencias estudiadas en el Tubo de Kundt. Al evaluar el efecto que tiene la densidad en el mejoramiento de la absorción de sonido este no tuvo efecto alguno.

Con respecto a los resultados obtenidos se saca una clasificación con base a la eficiencia de absorción de sonido, en la cual se tiene que la vermiculita exfoliada con composición final (15% vermiculita, 36.5% resina, 48.5% poros) presenta una alta absorción con un coeficiente promedio de 0.65, seguida de espuma, felpa, lana de vidrio, dosificaciones de cromita, carbonato de calcio y por ultimo MDF el cual presenta el valor más bajo, con un coeficiente promedio de 0.35.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Boutin, C; Royer, P; Auriault, J. Acoustic absorption of porous surfacing with dual porosity. International Journal of Solids and Structures. January, vol. 35, nº 34-35, 1998 (522 p.)
2. Montejano Roger, Materiales acústicos. ISP música. <http://www.ispmusica.com/articulo.asp?id=756>. Consultado el 26 de agosto de 2008:
3. Fiberglass Colombia S.A. Notas Técnicas #2 Construcción. División: Arquitectura (noviembre 1995). Materiales acústicos – como reconocerlos. <http://www.fiberglasscolombia.com/admin/assetmanager/images/notas/acustica/ntarq2.pdf>. Consultado el 26 de agosto de 2008.
4. Vasina, M; Hughes, D.C; Horoshenkov, K.V; Lapcik,L. The acoustical properties of

consolidated expanded clay granulates. Journal Applied Acoustics. vol. 67, 2006 (p.p. 787-796)
5. YILMAZER Semiha ; OZDENIZ Mesut B. The effect of moisture content on sound absorption of expanded perlite plates. Journal Building and Environment , 2005, vol. 40, nº3, pp. 311-318.
6. Asientos ayudaban a los antiguos griegos a escuchar desde la última fila, <http://www.amazings.com>. Consultado el 21 agosto de 2008.
7. Goodall, R; Williams, C; Fernie, J. A; Clyne, T. W. Thermal expansion and stiffness characteristics of a highly porous, fire-resistant composite material, in ECCM-10 (European Conference on Composite Materials) (ed. H.Sol, J.Degrieck (3-7 June 2002), Brugge, Belgium, paper 375.
<http://www.msm.cam.ac.uk/mmc/publications/proceed/rg_eccm10.pdf>. Consultado en agosto 26 de 2008.
8. Ashby, M.F., Materials Selection in Mechanical Design, Butterworth – Heinemann, 1996, pag. 40.
9. Medida del coeficiente de absorción acústica. Estimación de la velocidad del sonido en el aire. Universidad de Sevilla, Departamento de Física Aplicada, consultado el 19 de agosto de 2008: <http://www.cica.es>.
10. Héctor Álvaro Gonzales, Jaime Andrés Castañeda. Medición del coeficiente de absorción del sonido. Scientia et Technica Año X, No 25, Agosto 2004. UTP. (pp. 101-106).