

CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE MUESTRAS DE FIQUE TEJIDO Y NO TEJIDO

PACS: 43.55.Ev

M. A. Navacerrada, C. Diaz y A. Pedrero

Grupo de Acústica Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica, Avda. Juan de Herrera 4, 28040 Madrid
Teléfono 91 336 42 49, Fax 91 336 65 54
E-mail: mdelosangeles.navacerrada@upm.es

P. Fernández-Morales, G. Navarro y O. Cardona

Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín (Colombia)

RESUMEN

La cabuya es una fibra natural obtenida del fique, originario de América tropical. Sus principales usos están en la industria del agro o la artesanal como la elaboración de empaques industriales, cordelería, artesanías, agrotexiles. Recientes estudios muestran otros usos en sectores diferentes al agro como refuerzo para materiales de construcción y aislantes térmicos, abriendo la posibilidad de desarrollar nuevos productos derivados del fique. En este trabajo se busca la caracterización acústica del fique mediante la medida de su coeficiente de absorción en tubo de impedancia y la resistencia al flujo del aire.

ABSTRACT

The cabuya is a natural fiber derived from fique original from America Tropical. The manufacture of packaging and cordages are their principal uses. However new uses as reinforcement in the fabrication of construction materials and heat insulation, show the possibility of developing new products based on the fique. In this work, we analyze the acoustic properties of this material based on the measurement of the absorption coefficient in impedance tube and the air flow resistivity.

1. INTRODUCCIÓN

Se conoce con el nombre genérico de fibras a un amplio conjunto de materiales que tienen en común la característica de poseer un alto valor de la relación longitud/diámetro [1]. Entre ellas se encuentran las fibras naturales de origen vegetal como el cáñamo, el lino, el yute, el algodón, el sisal, la lana, el henequén, etc. En particular, la seda es la fibra natural con mayor relación longitud/diámetro, ya que se pueden conseguir filamentos de hasta 500 m de longitud y unas pocas micras de diámetro [2].

Desde comienzos de la existencia de los seres humanos, las herramientas y utensilios se han fabricado a partir de recursos naturales debido a su gran abundancia y disponibilidad, a lo que no han sido ajenas las fibras naturales [3]. Con el paso del tiempo su uso ha disminuido debido al surgimiento de otros materiales como los metales, los plásticos y las cerámicas. No obstante el interés de la sociedad por conservar el ambiente y no causar un grave impacto en la naturaleza ha favorecido de nuevo su uso. Comercialmente las fibras vegetales pueden clasificarse en duras y blandas. Las blandas como el lino y el kenaf se obtienen de la corteza o tallo, y se caracterizan por ser suaves, elásticas y flexibles. Las duras son aquellas que tienen su origen en las hojas como el fique y el sisal, y tienen una textura rígida [4].

Los usos más legendarios de las fibras naturales han tenido lugar en el campo de la agricultura, empaques, decoración y artesanía. Sin embargo, debido a su fácil procesamiento, disponibilidad, bajo peso, bajo costo, alta resistencia y biodegradabilidad, las fibras naturales han recuperado nuevamente espacios perdidos en el mercado mundial presentando una excelente alternativa para muchas otras aplicaciones. En esta línea, se han fabricado materiales en los que las fibras naturales tales como el sisal, fique o yute se utilizan como refuerzo para la obtención de materiales compuestos [5-6]. Esto ha despertado el interés de otros sectores industriales que han puesto en marcha investigaciones que buscan optimizar todas estas ventajas. Algunas fibras como el lino, algodón, yute, sisal, kenaf y fibras de plantas similares, empiezan a utilizarse como materia prima no solamente para la industria textil, sino también para compuestos modernos usados en diferentes áreas de aplicación como nutrición, cosméticos, filtros y medicina [2, 7].

En este contexto, el fique se convierte en una buena opción [8], dada su alta disponibilidad en países como Colombia. En los últimos años se han impulsado las investigaciones sobre sus posibilidades de uso, con futuro amplio y prometedor en cuanto a su aprovechamiento en aplicaciones térmicas [9-10]. El contar con diferentes propiedades en una sola planta permite llamar la atención de diversos mercados y países del mundo entero. De aquí la necesidad de conocer las propiedades de esta fibra, lo que representa el objetivo principal de este trabajo: se presenta entonces un análisis de las propiedades acústicas y térmicas de la fibra de fique tejida y no tejida.

2. MATERIALES Y MÉTODOS DE MEDIDA

2.1. Fibra de fique y preparación de las muestras

El fique es una fibra natural producto de la planta del mismo nombre, originaria de la región andina de Colombia y Ecuador que luego se extendió a Venezuela, Brasil y otros países. Con una producción cercana a 30.000 toneladas anuales, Colombia es el mayor productor mundial de fique, cuyos cultivos se ubican en la parte alta de la sierra templada y fría. En el siglo XVIII se fundó en Dagua (Valle del Cauca) la primera fábrica de empaques y lazos realizados con esta fibra, y desde la década de los años 50 el gobierno inició a través de programas agrarios el fomento de su cultivo por lo cual se establecieron empresas para la maquinación de la fibra. Actualmente las regiones donde más se siembra son los departamentos del Cauca, Nariño, Huila, Santander y Antioquia [11].

El fique proviene del género *Furcraea microphylla*. El tallo de sus plantas es pequeño y fuerte, sus hojas son tiesas y en forma de espada, un poco curvas y con espinas en sus bordes tal y como se muestra en la Figura 1. La fibra se obtiene de la hoja, se separa por despulpado, manual o mecánica y se seca (Figura 1), representando aproximadamente el 4 % del peso de toda la planta. Se han caracterizado muestras de fique tejido y no tejido. En la Figura 2 se muestra una foto de ambos tipos de muestras. Las muestras fueron suministradas por la empresa colombiana Compañía de Empaques.



Figura 1. Foto de la planta de figuero y de las fibras extraídas de la planta.

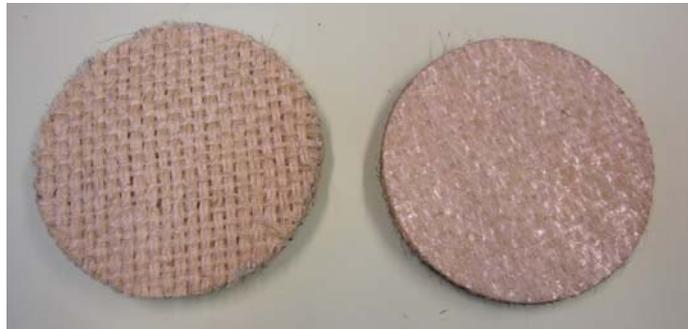


Figura 2. Fotos del figuero tejido y no tejido.

2.2. Medida del coeficiente de absorción sonora

El coeficiente de absorción sonora a incidencia normal de las muestras de figuero se ha medido en un tubo de impedancia Modelo 4206 con dos micrófonos Modelo 4186 de Bruel&Kjaer según la norma ISO 10534-2: 1988 [12]. Para medir el coeficiente de absorción acústica en todo el rango de frecuencias son necesarias dos configuraciones de medida. En la primera el tubo se cierra con una muestra de 100 mm de diámetro y permite la medida del coeficiente de absorción sonora en un rango de frecuencias comprendido entre 50 y 1660 Hz. En la segunda configuración, el tubo se cierra con una muestra de 29 mm de diámetro y permite la medida del coeficiente de absorción entre 500 y 6400 Hz. Las muestras deben prepararse con el diámetro exacto del tubo para no dejar cámaras de aire que puedan alterar la medida. El montaje de la muestra es un factor crítico [13-14]. Se han caracterizado entre dos y tres muestras y se ha calculado el coeficiente de absorción como un promedio de todas las medidas realizadas.

2.3. Resistencia al flujo del aire

Uno de los parámetros que determinan el comportamiento acústico de un material poroso o fibroso, es la resistencia al flujo del aire R que se define como:

$$R = \frac{\Delta P}{F}$$

donde ΔP es la caída de presión y F es el flujo de aire a través de la muestra [15]. La resistividad al flujo de aire σ es la resistencia al flujo del aire por unidad de espesor d en la dirección del flujo de aire:

$$\sigma = \frac{\Delta P}{F} \frac{S}{d}$$

Este parámetro es apropiado como descriptor del comportamiento acústico de materiales homogéneos. La resistividad al flujo del aire σ de las muestras de fiqué ha sido medida con un dispositivo diseñado en nuestro laboratorio siguiendo las especificaciones de la norma. El dispositivo básicamente consiste en un compresor de aire, un medidor de flujo y un manómetro. El manómetro digital tiene una resolución de 0.1 Pascal y se usa para medir la caída de presión a través de la muestra cuando se ha alcanzado el estado estacionario y régimen laminar. En el cálculo, el cociente $\frac{\Delta P}{F}$ se ha obtenido como la pendiente de la caída de presión ΔP frente a F para diferentes valores del flujo del aire.

2.4. Medida de la conductividad térmica

La medida de la conductividad térmica de las muestras de fiqué se ha llevado a cabo en una caja térmica. En cada una de las paredes de la caja térmica existe una abertura cuadrada de 21 x 21 cm, tal y como se muestra en la Figura 3, en la que se fijan las láminas de los materiales cuya conductividad térmica se quiere determinar. Dentro de la caja térmica se encuentra una caja negra en cuyo interior hay una bombilla de 100 W que sirve para elevar la temperatura del interior de la caja.

La medida de las distintas temperaturas se realiza con termopares que se introducen en la caja térmica a través de agujeros laterales provistos de espuma aislante. La medida de las temperaturas se realiza transcurridas unas cinco horas desde el inicio del proceso de calentamiento, cuando las lecturas de los termopares son estables para garantizar que el sistema está en condiciones próximas al régimen estacionario. Aunque este método no sigue las especificaciones de la normativa que describe la medida del coeficiente de conductividad térmica es un método fiable con un error menor del 10 %.

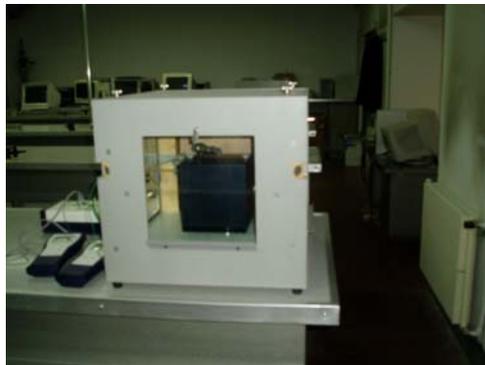


Figura 3. Caja térmica para la medida de la conductividad térmica.

El intercambio de calor entre dos sistemas puede ser debido a tres posibles mecanismos: conducción, convección y radiación. La bombilla se encuentra en el interior de la caja negra para reducir los efectos del calentamiento por radiación. El espesor máximo permitido para las muestras cuya conductividad térmica se desea medir es 5 cm. En general, la fracción de flujo transmitida por radiación, en el caso de superficies paralelas es comparable al transmitido por conducción (inversamente proporcional al espesor) cuando el espesor del material aumenta. El espesor ejerce una influencia considerable, especialmente en el caso de malos conductores. Por todo lo expuesto, en el caso de una lámina de material homogénea y de espesor inferior a 5 cm se puede considerar que los fenómenos que participan en el proceso de transferencia de calor son fundamentalmente los mecanismos de conducción y convección [16]. En régimen estacionario y considerando el flujo unidireccional, las expresiones de la ley de Fourier para los mecanismos de conducción y convección son las siguientes:

Convección aire-pared interior del material: $\Phi = h_{\text{int}} \cdot S \cdot (t_1 - t_2)$ (1) siendo h_{int} el coeficiente de convección del aire interior, S el área de la muestra, t_1 la temperatura del aire interior y t_2 la temperatura de la pared interior del material.

Conducción a través del material: $\Phi = \lambda \cdot S \cdot \frac{(t_2 - t_3)}{d}$ (2) siendo k la conductividad térmica del material, d el espesor del material y t_3 la temperatura de la pared exterior del material.

Convección aire-pared exterior del material: $\Phi = h_{\text{ext}} \cdot S \cdot (t_3 - t_4)$ (3) siendo h_{ext} el coeficiente de convección del aire exterior y t_4 la temperatura del aire exterior.

El valor promedio del cociente $\frac{\Phi}{S}$ se determina experimentalmente a partir de las expresiones (1) y (3). Conocido este promedio, λ se obtiene de la ecuación (2). Para los coeficientes h_{int} y h_{ext} se ha utilizado un valor de $8.1 \frac{W}{K \cdot m^2}$ tal y como recomienda el fabricante del equipo en el caso de movimiento del aire en recintos cerrados [16].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 4 se representa el coeficiente de absorción para tres espesores distintos de las muestras de fique no tejido: 0,5, 1 y 1,5 cm y cinco densidades diferentes, 700, 850, 1000, 1200 y 1500 kg/m². El fique no tejido es un material fibroso formado por gran cantidad de fibras entrecruzadas y comprimidas. En estos materiales la energía acústica incidente se transforma en energía calorífica fundamentalmente debido al rozamiento interno del aire que pasa a través de las fibras. Para las muestras de fique tejido y no tejido se ha medido el coeficiente de absorción típico de un material fibroso con un pico de absorción máxima cuya posición es dependiente de la densidad y espesor del material. No obstante, en las muestras de fique no tejido este comportamiento parece evidente solo para las muestras con un espesor de 0,5 cm: cuanto mayor es el empaquetamiento y menor el tamaño de los espacios vacíos a menor frecuencia aparece. Cuando el espesor de las muestras es de 1,5 cm la curva medida es prácticamente independiente de su densidad (ver Figura 4(c)). Para estos tres espesores, el comportamiento del fique no tejido se ha comparado al del fique tejido en la figura 4(d). Cuando el espesor aumenta la red entrecruzada de hilos tejidos crea un camino con mayor rozamiento para la onda sonora.

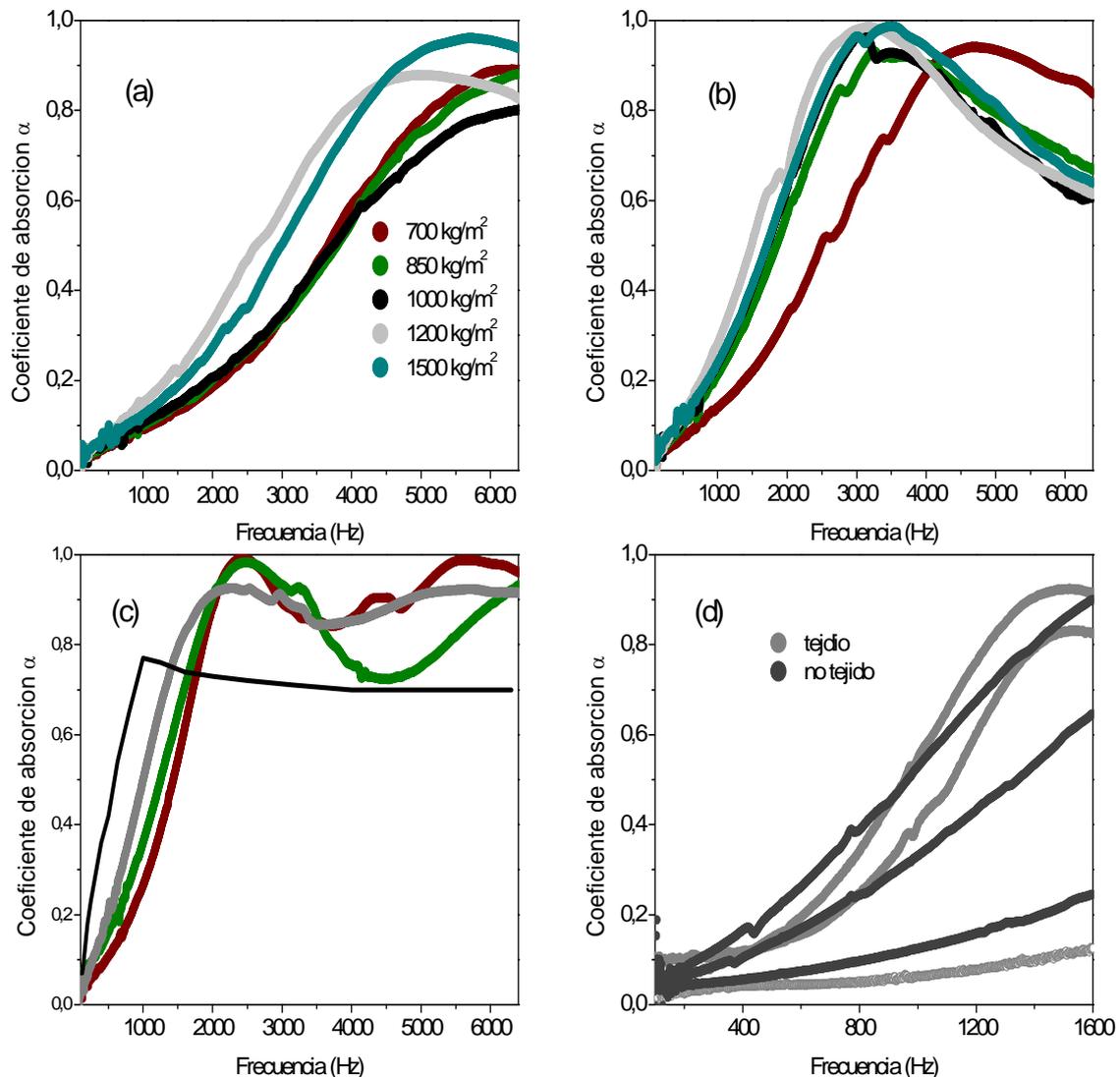


Figura 4. Coeficiente de absorción de fiqué no tejido para tres espesores diferentes: (a) 5 cm, (b) 1 cm y (c) 1,5 cm. En (d) para estos tres espesores se compara el coeficiente de absorción del fiqué no tejido y tejido.

La absorción acústica y la transmisión a través de un material fibroso son también descritas por su resistividad al flujo del aire. La resistencia al flujo del aire en un material fibroso es debida a la fricción entre las fibras y las partículas de aire moviéndose entre las fibras, depende del tamaño de las fibras y de su forma, densidad de fibras y de su distribución. En la Figura 5 se han representado los valores de la resistividad al flujo del aire del fiqué tejido y no tejido. Aunque para algunos materiales fibrosos, como las lanas minerales se han encontrado relaciones empíricas entre la resistividad al flujo del aire y la densidad del material [17], dependiendo del tipo de material fibroso la relación empírica puede ser diferente e incluso puede ser necesaria más de una relación empírica para cubrir todo el rango de densidades. Para las muestras de fiqué la resistividad al flujo aumenta con la densidad pero las diferencias son pequeñas: para las densidades de 700, 850 y 1000 kg/m² σ es prácticamente constante y para valores mayores el aumento es lineal, pero más datos son necesarios para corroborar esta tendencia. Para el fiqué tejido el valor de σ es del orden de $4 \times 10^4 \text{ Nm}^{-4}\text{s}$.

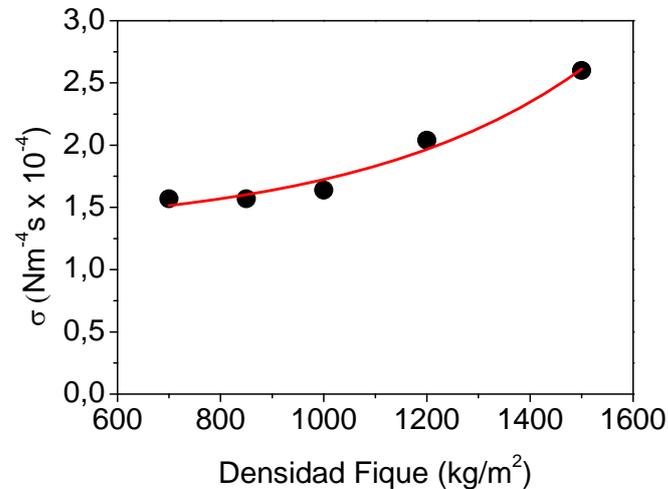


Figura 5. Resistencia al flujo del aire del fiqué no tejido en función de la densidad

En la Figura 6 se han representado los valores medidos para la conductividad térmica en función de la densidad para el fiqué no tejido. La conductividad térmica medida es una combinación de la conductividad térmica del fiqué y del aire. El flujo de calor que se transporta por conducción en el sólido se reduce cuando disminuye la fracción de volumen de sólido presente. Para esta magnitud en todo el intervalo de densidades se encuentra un aumento lineal con la densidad de las muestras. La conductividad térmica se eleva hasta 0,13 W/K×m para el fiqué tejido.

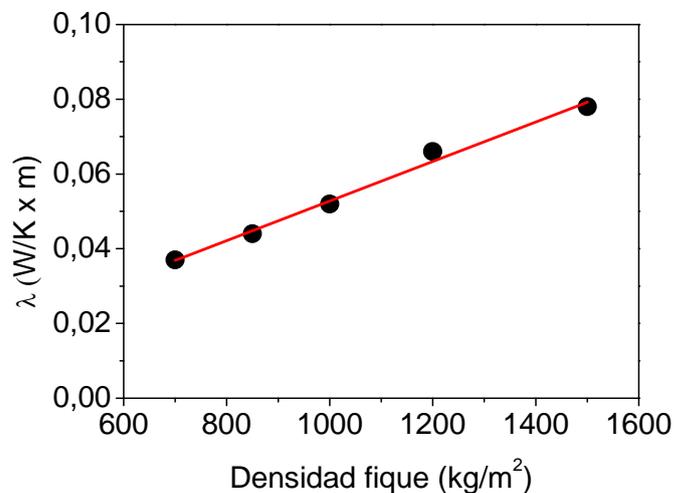


Figura 6. Conductividad térmica del fiqué no tejido en función de la densidad

Entre los materiales más utilizados en el aislamiento y acondicionamiento acústicos destacan las lanas de fibras artificiales: las lanas de vidrio y las lanas minerales. La conductividad térmica de estas lanas es del orden de 0,04 W/(K·m) comparable a la de la fibra de fiqué no tejido cuya valor oscila entre 0,03 y 0,08 W/(K·m) dependiendo de su densidad. De hecho se usa en la conservación de algunos productos agrícolas y pecuarios. Las propiedades acústicas también son comparables, en la Figura 4(c) se ha representado el coeficiente de absorción (línea negra) de una lana mineral del mismo espesor. El principal inconveniente de las lanas son las pequeñas fibras que se desprenden en su fabricación e instalación, por ello, requieren una serie de medidas de seguridad para estos procesos aunque una vez colocadas en las viviendas no existiría este problema. Por otro lado también se requiere gran energía para su fabricación. En esta línea se están ensayando “nuevos materiales” con las fibras naturales. La investigación va encaminada en obtener materiales compuestos de mejores propiedades

mecánicas, acústicas y térmicas, mediante la combinación de dos elementos, donde uno actúa como refuerzo y el otro como matriz y que presentan buena adherencia entre ellos. Existen compuestos poliméricos reforzados con fibra que presentan altos valores de resistencia comparado con los metales y que se usan en el sector automotriz y la construcción. En el caso del fique la gran longitud de sus fibras es la responsable de su gran resistencia de ahí sus posibilidades como reforzante.

5. CONCLUSIÓN

Se han estudiado las propiedades acústicas y térmicas del fique tejido y no tejido. El fique no tejido presenta unas propiedades que lo pueden hacer comparable a las lanas minerales con la ventaja de su fácil procesamiento, disponibilidad, bajo peso, bajo costo, alta resistencia y biodegradabilidad. Como trabajo futuro, se propone la modelización matemática de las curvas de absorción medidas y el estudio del comportamiento mecánico de las fibras de fique.

7. REFERENCIAS

- [1] Saiz E. y Riande E., Temas de divulgación: Materiales de altas prestaciones (I). Revista de Plásticos Modernos. Madrid. Vol. 75, No. 500 (Feb. 1998); p. 154.
- [2] Müssig, J., Industrial Applications of Natural Fibres, Wiley, Bremen, (2010).
- [3] Kirby R. H., Vegetable Fibres-Botany cultivation and utilization. Londres (1963).
- [4] Cook, J. Gordon. Handbook of textile fibres: Natural Fibres. Woodhead Publishing Co. Cambridge, (2006).
- [5] V. Amigó et al., Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas, X Congreso Nacional de Materiales, Donostia - San Sebastián, 18-20 Junio (2008).
- [6] Hidalgo, M. A. Muñoz, M. F., Quintana, K. J., Desempeño mecánico del compuesto polietileno aluminio reforzado con agro fibras continuas de fique, Rev. LatinAm. Metal. Mat. 2011; 31 (2): 187-194.
- [7] K. G. Satyanarayana, G. Arizaga, F. Wypych, Biodegradable composites based on lignocellulosic fiber-An overview, Progress in Polymer Science 34 (2009) 982-1021.
- [8] Wambua, P., Ivens J., Verpoest I., Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?, Composites Science and Technology. Bélgica. Vol. 63, No. 9 (Jul.2003); p.1261-1259
- [9] Cadena, C., Bula Silvera, A. J., Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales, Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 12: 8-9, (2002)
- [10] Muñoz Muñoz, D, Cabrera Cifuentes, G. El fique como aislante térmico, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Vol 5 No.1 Marzo 2007.
- [11] Alvarez. C. A. Los mil usos del fique
aupec.univalle.edu.co/informes/mayo97/boletin37/fique.html.
- [12] ISO 10534-2: 1998 Acoustics determination of sound absorption coefficient and impedance or admittance by the impedance tube. Part II: Transfer function method.
- [13] Seybert A. F. and Ross D. F. Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone randomexcitation technique Journal of Acoustics of American Society 2009. 68: 1362-1369.
- [14] Bodén H. and Abom M. Influence of errors on the two-microphone method for measuring acoustics properties in ducts Journal of Acoustics of American Society 1986. 79.
- [15] Allard J. F. Propagation of sound in porous media Elsevier Science Publishers England 1993.
- [16] P2360300 PHYWE series of publications, Laboratory Experiments, Physics, PHYWE SYSTEME GMBH & Co. KG, Göttingen.
- [17] Hopkins C., Sound Insulation, Elseiver, Oxford (2007).