

RAE

- 1. TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO.
- 2. TÍTULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PANEL ABSORBENTE CON MATERIALES DE RESIDUO SÓLIDO
- 3. AUTORES:** Jonathan Infante Salamanca, Edgar Darío Proaño Navas.
- 4. LUGAR:** Bogotá D.C.
- 5. FECHA:** Junio de 2012.
- 6. PALABRAS CLAVE:** Coeficiente de absorción sonora, ondas estacionarias, incidencia normal de sonido.
- 7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El objetivo principal de este proyecto es el diseño y construcción de un panel absorbente con materiales de residuo sólido que ofrecen propiedades acústicas al sector de la construcción, entendiendo esta opción como una alternativa para la elaboración y/o desarrollo de nuevos materiales que aporten soluciones a los diferentes acondicionamientos en el campo de la acústica.
- 8. LINEAS DE INVESTIGACIÓN:** Línea de investigación de la USB: Tecnologías actuales y Sociedad. Línea de investigación de la Facultad: Análisis y procesamiento de Señales. Campo Temático del Programa: Acústica.
- 9. FUENTES CONSULTADAS:** CARRION Isbert Antoni, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos (2001). ALMANZA, Giovanni y LASCANO, Daniel. Diseño, construcción y medición de un panel absorbente de sonido, con materiales de desecho. Tesis de grado Ingeniería de Sonido, Bogotá D.C. Universidad de San Buenaventura (2006). RODRÍGUEZ MONTEJANO, Rosa María Propiedades acústica del caucho granular. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Industriales (UPM) (2003). CARRION, Imbert Antoni. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos (2001). BERANEK, Leo Leroy, Acústica (1961).
- 10. CONTENIDOS:** La acústica es una ciencia que tiene como objetivo principal el estudio del sonido y su propagación por medios sólidos, líquidos y gaseosos, en resumen la acústica estudia cómo se transmite, almacena, percibe y reproduce el sonido. Para este proyecto se pretende trabajar con una de las ramas de la acústica que es la acústica arquitectónica que se encarga del tratamiento, acondicionamiento y aislamiento de recintos, auditorios, edificios, salas de concierto y todo tipo de espacios tanto abiertos como cerrados. Este tipo de acondicionamientos se realizan mediante la instalación de difusores, absortores, y materiales aislantes, que permiten redistribuir uniformemente el sonido y aproximarse al campo difuso ideal. El coeficiente de absorción sonora y la frecuencia crítica de los materiales acústicos ha sido calculada en laboratorios y aparece relacionada en las especificaciones técnicas que aporta cada fabricante y/o distribuidor para cada material. En este proyecto se desarrolló un panel absorbente que tiene como función principal como su nombre lo indica absorber la mayor cantidad de energía que al reflejar disminuya la intensidad sonora y se puedan corregir los posibles defectos acústicos que presente el recinto.

Además de esto se cuenta con una investigación que proporciona información acerca de materiales acústicos basados en materiales de residuo sólido que primordialmente incentivarán a la preservación y reutilización de los recursos naturales.

11. METODOLOGÍA: Definido de carácter empírico-analítico haciendo una medición mediante el método de ondas estacionarias en un tubo de impedancias por lo cual pretende lograr con este proyecto el desarrollo de componentes constructivos alternativos a base de desperdicios de la industria y la sociedad con una serie de métodos de recuperación de recursos, con nuevas tecnologías y métodos que están siendo desarrollados continuamente.

12. CONCLUSIONES: Al obtener un total de 65 muestras en la investigación, se pudo determinar que compuestos son más efectivos al momento de funcionar como elementos absorbente de sonido. La teoría de ondas estacionarias se aplica de manera práctica y efectiva para la obtención de los coeficientes de absorción de los diferentes materiales y muestras. La medición de coeficientes de absorción mediante el tubo de impedancias es un método que requiere muestras con áreas superficiales pequeñas que facilitan la investigación de nuevos materiales acústicos, debido a que no es necesario realizar y contar con muestras de áreas grandes como en el método de cámara reverberante. Es determinante realizar una estructura que soporte el material debido a que esta le da la posibilidad al panel de ser instalado en cualquier tipo de espacio y/o recinto. Se demostró que es posible realizar un panel absorbente con materiales de residuo sólido que cuenta con propiedades acústicas y a su vez sea amigable con el medio ambiente. El panel demuestra tener buenas propiedades como material absorbente de sonido en frecuencias medias. La investigación demostró ser exitosa puesto que la absorción de sonido es constante y uniforme en todas las frecuencias. Es necesario continuar la investigación de materiales alternativos tanto para el área de la acústica como para las otras áreas, ya que son proyectos que van en pro del medio ambiente y de la generación de materiales alternativos.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PANEL ABSORBENTE CON
MATERIALES DE RESIDUO SÓLIDO**

**EDGAR DARÍO PROAÑO NAVAS
JONATHAN ALEXANDER INFANTE SALAMANCA**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ D.C.
2012**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PANEL ABSORBENTE CON
MATERIALES DE RESIDUO SÓLIDO**

**EDGAR DARÍO PROAÑO
JONATHAN INFANTE SALAMANCA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO DE
SONIDO**

**PROFESOR
MSC. ALEXANDER ORTEGA
ING. SHIMMY GARCIA**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ D.C.
2012**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. Mayo de 2012

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3 JUSTIFICACIÓN	6
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	7
1.5.1 Alcances	7
1.5.2 Limitaciones	7
2. MARCO DE REFERENCIA	8
2.1 MARCO CONCEPTUAL	8
2.1.1 Velocidad de propagación del sonido	8
2.1.2 Longitud de onda	8
2.1.3 Nivel de presión sonora	9
2.1.4 Octava, media octava y tercio de octava	9

2.1.5	Difusión del sonido	9
2.1.6	Reciclaje	10
2.1.7	Residuos	10
2.1.7.1	Residuos orgánicos	10
2.1.7.2	Residuos inorgánicos	11
2.2	MARCO TEÓRICO	11
2.2.1	Acústica	11
2.2.2	Acústica arquitectónica	11
2.2.3	Absorción del sonido	12
2.2.4	Coeficiente de absorción en materiales	13
2.2.5	Materiales absorbentes	14
2.2.5.1	Materiales porosos	15
2.2.5.2	Materiales porosos-rígidos	15
2.2.5.3	Materiales porosos-elásticos	16
2.2.5.4	Materiales para argamasa	17
2.2.6	Medición del coeficiente de absorción del sonido	17
2.2.7	Método de medición con cámara reverberante	19
2.2.8	Manejo y tratamiento de los materiales	19
2.2.8.1	Tratamiento del cartón	19
•	Tratamiento de los tetra pack	19

2.2.8.2	Tratamiento del caucho	20
2.2.8.3	Tratamiento del poliestileno expandido (Icopor)	21
•	Tipos de tratamiento del EPS	21
2.2.8.4	Tratamiento del corcho	23
2.2.8.5	Tratamiento de los residuos textiles	23
2.3	MARCO LEGAL O NORMATIVO	24
2.3.1	Ámbito de aplicación	25
2.3.1.1	Diferencias entre el tubo de impedancias (ISO 10534-1) y el método de medición de absorción sonora en un cuarto reverberante (ISO 354)	25
2.3.2	Referencia normativa	25
2.3.3	Definiciones	25
2.3.4	Principio	26
2.3.5	Fundamentales	26
2.3.6	Equipamiento	26
3	METODOLOGÍA	28
3.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.2	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN/ SUBLÍNEA DE LA FACULTAD/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	28
3.2.1	Línea de investigación de la Universidad	28

3.2.2	Sublínea de investigación de la Universidad	29
3.2.3	Campo de la facultad	29
3.2.3.1	Acústica	29
3.3	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	30
3.4	HIPÓTESIS	30
3.5	VARIABLES	30
3.5.1	Variables Independientes	30
3.5.2	Variables Dependientes	30
4.	DESARROLLO INGENIERIL	31
4.1	MANEJO Y TRATAMIENTO DE LOS DIFERENTES MATERIALES	31
4.1.1	Cartón	31
4.1.1.1	Definición	31
4.1.1.2	Manejo y tratamiento	32
4.1.2	Poliestireno expandido (Icopor)	32
4.1.2.1	Definición	32
4.1.2.2	Manejo y tratamiento	32
4.1.3	Corcho	33
4.1.3.1	Definición	33
4.1.3.2	Manejo y tratamiento	33

4.1.4	Tela	33
4.1.4.1	Definición	33
4.1.4.2	Manejo y tratamiento	34
4.1.5	Caucho	34
4.1.5.1	Definición	34
4.1.5.2	Manejo y tratamiento	34
4.2	PROCESO DE MEZCLA	35
4.3	ADHESIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES	35
4.3.1	Adhesivos	35
4.3.2	Adhesivos de origen natural	36
4.3.2.1	Adhesivos de origen animal	36
•	Ingredientes y dosificación	36
•	Procedimiento de preparación	37
4.3.2.2	Adhesivos de origen vegetal	38
•	Ingredientes y dosificación	38
•	Procedimiento de preparación	38
•	Mezcla de materiales	39
4.3.3	Adhesivos de origen sintético	40
4.3.3.1	Ingredientes y dosificación	41
4.3.3.2	Procedimiento de preparación	41

4.3.3.3	Mezcla de materiales	41
4.3.4	Adhesivo sintético a base de agua	42
4.3.4.1	Ingredientes y dosificación	43
4.3.4.2	Procedimiento de preparación	43
4.3.4.3	Mezcla de materiales	43
4.4	MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN EN TUBO DE IMPEDANCIAS MEDIANTE ISO 10534-1: MÉTODO DE ONDAS ESTACIONARIAS	45
4.4.1	Principio	45
4.4.2	Condiciones generales	46
4.4.3	Equipo de prueba	46
4.4.4	Montaje, conexión y calibración	47
4.4.5	Determinación del coeficiente de absorción acústica	48
4.4.5.1	Procedimiento	48
4.4.5.2	Informe de la medición	50
4.5	TABLA INFORMATIVA	51
5.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
5.1	ERRORES SISTEMÁTICOS	57
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
6.1	CONCLUSIONES	58

6.2 RECOMENDACIONES 58

7. BIBLIOGRAFÍA 60

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cartón triturado	32
Figura 2. Icopor triturado	33
Figura 3. Corcho triturado	33
Figura 4. Tela cortada	34
Figura 5. Caucho triturado	34
Figura 6. Adhesivos de origen animal	37
Figura 7. Adhesivos de origen vegetal	39
Figura 8. a) y b) Proceso de elaboración de muestra	40
Figura 8. c) Muestras con microorganismos	40
Figura 9. Muestras realizadas con adhesivos a base de solventes	42
Figura 10. PVA	43
Figura 11. Proceso de elaboración de las muestras	44
Figura 12. Muestras realizadas	45
Figura 12. a) Muestras circulares	45
Figura 13. a), b) y c) Equipamiento	46
Figura 14. a), b) y c) Equipamiento	46
Figura 15. Montaje y conexión	47

Figura 16. Montaje ensamblado	47
Figura 17. Montaje de muestra	48
Figura 18. Desfase de 90^0	48
Figura 19. Amplitud	49
Figura 20. Promedio de datos	50
Figura 21. Estructura y panel	52
Figura 22. Panel absorbente	52
Figura 23. Medición 1	53
Figura 24. Medición 2	54
Figura 25. Medición 3	54
Figura 26. Medición 4	55
Figura 27. Promedio coeficiente de absorción	55
Figura 28. Coeficientes de absorción y promedio.	56

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coeficientes de absorción de materiales	14
Tabla 2. Determinación de las propiedades de los materiales	31
Tabla 3. Componentes del adhesivo de origen natural	36
Tabla 4. Componentes del engrudo (origen vegetal)	38
Tabla 5. Cantidad de adhesivo y material a adherir	39
Tabla 6. Componentes del alcopol adhesivo	41
Tabla 7. Dosificación de aglutinante y material a aglutinar	42
Tabla 8. Componentes del PVA	43
Tabla 9. Dosificación de aglutinante y material a aglutinar	44

INTRODUCCIÓN

La acústica es una ciencia que tiene como objetivo principal el estudio del sonido y su propagación por medios sólidos, líquidos y gaseosos, en resumen la acústica estudia cómo se transmite, almacena, percibe y reproduce el sonido. Para este proyecto se pretende trabajar con una de las ramas de la acústica que es la acústica arquitectónica que se encarga del tratamiento, acondicionamiento y aislamiento de recintos, auditorios, edificios, salas de concierto y todo tipo de espacios tanto abiertos como cerrados.

Este tipo de acondicionamientos se realizan mediante la instalación de difusores, absortores, y materiales aislantes, que permiten redistribuir uniformemente el sonido y aproximarse al campo difuso ideal. El coeficiente de absorción sonora y la frecuencia crítica de los materiales acústicos ha sido calculada en laboratorios y aparece relacionada en las especificaciones técnicas que aporta cada fabricante y/o distribuidor para cada material.

En este proyecto se desarrolló un panel absorbente que tiene como función principal como su nombre lo indica absorber la mayor cantidad de energía que al reflejar disminuya la intensidad sonora y se puedan corregir los posibles defectos acústicos que presente el recinto. Además de esto se cuenta con una investigación que proporciona información acerca de materiales acústicos basados en materiales de residuo sólido que primordialmente incentivarán a la preservación y reutilización de los recursos naturales.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Marco Vitrubio fue la primera persona que realizó las primeras investigaciones acerca de la acústica arquitectónica de los diferentes teatros romanos, entre sus primeros desarrollos se encuentra el uso de vasijas de cobre colocadas en sitios estratégicos para que actuaran como resonadores y a su vez para redirigir el sonido¹, en cambio los griegos construyeron sus teatros en espacios al aire libre (espacios abiertos) usando las gradas como reflectores, permitiendo que el sonido reflejado refuerce el sonido directo. A partir de esto los romanos utilizaron una técnica parecida, sino que a diferencia de la pared plana que se encontraba en los teatros griegos ellos decidieron hacer la pared curva, lo que permitía que se perdiese menor cantidad de sonido y se focalizara mejor hacia un mismo punto. Actualmente, se hace uso de estos conocimientos para aplicarlos en los acondicionamientos de recintos abiertos y cerrados, además los diferentes materiales que tienen propiedades acústicas para facilitar el direccionamiento y difusión del sonido hacia donde se ubican los espectadores.

- Almanza, Giovanni. Lascano, Daniel (2006) Diseño, construcción y medición de un panel absorbente de sonido, con materiales de desecho. Universidad de San Buenaventura

El producto final de este proyecto fue la creación de un panel absorbente de sonido elaborado con materiales de desecho, que ofrecen un excelente coeficiente de absorción el cual es el resultado de una ardua investigación sobre materiales para su composición, resinas de pegado, y la creación de un proceso de fabricación; que llevo a la elaboración de un material alternativo de optimo desempeño.

En el proceso de investigación se estudiaron diferentes tipos de fibras textiles y vegetales, donde se observaron las características físicas y técnicas. Estas fibras se compararon de acuerdo con las propiedades que se requieren para la composición del panel absorbente. El resultado de este proceso fue la selección de la fibra de poliéster que presenta excelentes características de absorción y durabilidad, y la fibra de coco que posee buena respuesta en frecuencias bajas y le da rigidez al panel.

Al tener seleccionadas las fibras se realizaron pruebas y estudios sobre resinas de pegado que no alteraran las características de las fibras y que le proporcionaran buen desempeño y estructura al panel. Teniendo los componentes se busco el

¹ CARRION, Isbert Antoni. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. 2001

método de elaboración, por medio de pruebas y análisis que diera como resultado un panel uniforme, compacto y con características absorbentes².

- Rodríguez Montejano, Rosa María (2003) *Propiedades acústica del caucho granular*. Tesis(Doctoral), E.T.S.I. Industriales (UPM)

La necesidad global de disminuir el impacto ambiental en cada uno de los campos profesionales se encuentra la necesidad de encontrar, estudiar y analizar materiales acústicos absorbentes alternativos a los fibrosos tradicionales, para su utilización en interiores y exteriores. Otro tema de interés consiste en la reutilización de neumáticos que generalmente son considerados como agentes contaminantes de primer orden.

Principalmente se realizó un análisis teórico de las características del caucho procedente de los neumáticos para determinar sus propiedades como material absorbente además de estudiar diversos usos aplicados a la acústica. El tratamiento utilizado para la obtención y/o transformación del caucho es la trituración que lo convierte en un material granular con la posibilidad de obtener muestras de granulometrías y distribución de tamaño de partículas controladas.

El análisis teórico de este material se realiza con los datos y/o conocimiento preexistentes, además, se describen los aspectos generales sobre la absorción como son: resistividad al flujo de aire, porosidad, dichos parámetros deben ser medidos y, por ello, fue necesario diseñar y construir un laboratorio con los dispositivos y técnicas apropiadas a tal fin³.

Para calcular la absorción acústica de los materiales se realizaron ensayos experimentales los cuales demostraron las propiedades de la granza de caucho como absorbente acústico. Entre los primeros ensayos se comprobó que el tamaño de grano en el grado de absorción acústica de las muestras es significativo. El resultado de esta investigación es un dispositivo a base de caucho granular para uso como material absorbente acústico de barreras antiruido.

- Celano, Jorge Alberto (2008) *Paneles termo-acústicos a base de residuos de madera*. Universidad Nacional de Misiones

La investigación tiene como fin el desarrollo de componentes constructivos a base de desperdicios de la industria de la madera como aserrín y virutas, una vez determinados los materiales se evaluó la factibilidad técnica para ser utilizado

² ALMANZA, Giovanni y LASCANO, Daniel. Diseño, construcción y medición de un panel absorbente de sonido, con materiales de desecho. Tesis de grado Ingeniería de Sonido, Bogotá D.C. Universidad de San Buenaventura (2006).

³ RODRÍGUEZ MONTEJANO, Rosa María *Propiedades acústica del caucho granular*. Tesis(Doctoral), E.T.S.I. Industriales (UPM) (2003)

como aislante termoacústico en el área de la acústica y la construcción en cambio de los materiales aislantes tradicionales como la fibra de vidrio, el poliestireno, y el poliuretano.

Para los ensayos se realizaron probetas compuestas con el material (aserrín y viruta) en tres concentraciones diferentes 100-0% fino, 50-50% y 0-100% grueso; además de tres adhesivos como son el cemento pórtland, vinílico "D3", resina urea-formaldehído, que se mezclaron en concentraciones alta y baja. Esta investigación determinó un total de 90 probetas a las cuales se le realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas (térmicas y acústicas), mecánicas y tecnológicas (resistencia al fuego, agua) y condiciones de trabajabilidad y uso (manipulación, aserrado, disgregado)⁴. La técnica de ensayo se desarrolló en base a la normativa IRAM, que se registraron metódicamente para su posterior repetición. Los resultados de ensayos demostraron ser eficientes respecto al aislamiento térmico y como buen material absorbente acústico.

- Audiotec (2008) Desarrolló un aislante acústico para suelos y soluciones verticales (paredes) a partir de materiales reciclables de la automoción. Instituto de Acústica del CSIC

El Instituto de Acústica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas realizó un proyecto en el que se reutilizaron materiales de la industria automotriz para el acondicionamiento acústico, se escogió el caucho procedente de los neumáticos de desecho como material absorbente acústico ya que inicialmente sólo requiere de tratamientos mecánicos de mecanizado y molienda. Estos tratamientos conducen a un producto de granulometría acorde con las características de absorción acústica de gran efectividad.

El objetivo de la empresa con este proyecto es solucionar el tan extendido problema de falta de amortiguación del ruido y vibraciones que sufren la mayoría de viviendas. Y conseguirlo de una manera eficiente, no contaminante y respetuosa con el medio ambiente.

La compañía estima que todavía falta cerca de un año para que pueda comenzar a comercializarse e indica que se verán beneficiados con él, tanto potenciales clientes, como usuarios finales: constructoras, empresas instaladoras de soluciones acústicas en edificación, promotores y prescriptores técnicos de edificios, fabricantes de estos materiales (elastómeros acrílicos) y los inquilinos de las viviendas⁵.

⁴ CELANO, Jorge Alberto. Paneles Termo-Acústicos a base de residuos de madera. Trabajo de grado Ingeniería Acústica. Posadas Argentina. Universidad Nacional de Misiones. 2008.

⁵ Audiotec. Aislante acústico para suelos y soluciones verticales (paredes) a partir de materiales reciclables de la automoción. Instituto de Acústica del CSIC. 2008

- AIDICO (2009), *Paneles construtex para aislamiento acústico y térmico a bases de residuos textiles*. Instituto tecnológico de la construcción

Esta empresa realiza paneles para aislamiento acústico y térmico a partir de residuos textiles, los paneles han sido desarrollados como una solución sostenible a la gestión actual de los residuos textiles ya que en la industria textil se genera un gran volumen de residuos.

Entre los resultados obtenidos cabe destacar que los paneles desarrollados a base de residuo textil no se acerca a los altos valores de absorción que presenta la lana de roca que se encuentran en el rango de (0.9 a 1) para frecuencias medias-altas, sin embargo sí se obtienen comportamientos similares e incluso superiores en ocasiones (coeficientes de absorción de 0.8), a los de otros materiales como el de la lana de poliéster, que también se aplican en la actualidad en multitud de proyectos de construcción⁶.

En la comparación de estos materiales con los tradicionales, los materiales desarrollados presentan unos coeficientes que sin llegar a los valores de la lana de roca o la espuma de poliuretano, que están alrededor de 0.80, se puede considerar que tiene un comportamiento relativamente alto como absorbente acústico alrededor de 0.5.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La calidad de audición sonora de un recinto puede ser excelente, buena, pobre o deficiente, este indicador está determinado por las cualidades acústicas de los materiales que se encuentran en el recinto, por ende los materiales a usar son de vital importancia a la hora de pensar en un acondicionamiento acústico.

Generalmente para un acondicionamiento acústico se hace uso de paneles absorbentes que requieren que su estructura y composición sea porosa o fibrosa, a base de materiales tradicionales (fibra de vidrio, lana de vidrio, poliestireno, poliuretano etc) que requieren únicamente materiales que son extraídos como materia prima.

Para este proyecto se hace necesario hacer una investigación para un tipo de paneles basados en materiales de residuo, ya que la actividad humana tiene consecuencias positivas y negativas en la sociedad, derivada de diferentes actividades como el comercio, la industria, la urbe y otros tipos de actividades que hacen que se generen una gran cantidad de residuos que normalmente no son valorizados, reutilizados o reciclados y tienden a generar efectos nocivos sobre el medio ambiente y la salud humana.

⁶ AIDICO, *Paneles construtex para aislamiento acústico y térmico a bases de residuos textiles*. Instituto tecnológico de la construcción. (2009)

Para esta investigación se hace necesarios dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿A partir del uso de materiales de residuo sólido, es posible desarrollar paneles absorbentes que permitan el acondicionamiento acústico de salas?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El trabajo tiene por objetivo el desarrollo de componentes constructivos alternativos a base de desperdicios de la industria y la sociedad con una serie de métodos de recuperación de recursos, con nuevas tecnologías y métodos que están siendo desarrollados continuamente. Lo ideal sería recuperar y reutilizar la mayor parte de los residuos sólidos urbanos (RSU). La construcción de paneles absorbentes en nuestro país, demostró poca utilización de materiales constructivos alternativos como los industrializados, y la utilización de materiales innovadores y el aprovechamiento integral de los recursos renovables, como es el caso de los residuos, que ofrecen una variedad de productos y materiales para la construcción de paneles.

Con el papel, telas, cartón se hace nueva pasta de papel, lo que evita talar nuevos árboles. Con el vidrio se puede fabricar nuevas botellas y envases sin necesidad de extraer más materias primas y, sobre todo, con mucho menor gasto de energía. Los plásticos se separan, porque algunos se pueden usar para fabricar nueva materia prima y otros para construir objetos diversos.

La importancia de gestionar bien los recursos es tal que diversos acuerdos internacionales y las Conferencias mundiales sobre el medio Ambiente, como la de Río de 1992, han tratado el tema. También la Unión Europea ha legislado sobre esta cuestión.

Las grandes líneas en las que se deben mover las actuaciones son:

- Reducir la explotación de recursos naturales.
- Tratar adecuadamente los residuos producidos.
- Se debe impulsar el reciclaje con campañas de sensibilización que tanto éxito han tenido en muchas comunidades.

Es un esfuerzo por reducir efectos perjudiciales en la salud humana y la estética del entorno, para reducir los efectos perjudiciales ocasionados al Medio Ambiente y en recuperar los recursos del mismo.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar y construir un panel absorbente con materiales de residuo solido

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Establecer el manejo y tratamiento de los tipos de materiales de residuo que son adecuados para el funcionamiento del panel absorbente
- ✓ Combinar los distintos materiales (cartón, icopor, caucho, corcho, tela) con diferentes porcentajes de mezcla (75%-25%, 50%-50% y 25%-75%) para la obtención de 65 muestras
- ✓ Medir el coeficiente de absorción de las 65 diferentes muestras de paneles mediante el tubo de impedancias según la norma ISO 10534-1
- ✓ Crear una tabla informativa que contenga los coeficientes de absorción de los distintos materiales
- ✓ Construir el panel absorbente con el material que demostró mayor absorción

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 ALCANCES

- Desarrollar un panel que se pueda comercializar para todo tipo de recintos
- Incentivar y fomentar la investigación acústica de materiales residuales que preserven el medio ambiente
- Elaborar y proponer normas, especificaciones, métodos o procedimientos para el diseño y construcción de paneles acústicos con materiales de residuo

1.5.2 LIMITACIONES

- Falta de empresas que se dediquen a la investigación acústica con materiales alternativos
- Escasa información acerca de las propiedades de materiales residuales

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Para este proyecto se debe tener claro diferentes conceptos acústicos, principios, teorías físicas del comportamiento del sonido en diferentes espacios, teorías de acústica arquitectónica y sus materiales.

2.1.1 Velocidad de propagación del sonido

La velocidad del sonido c en un gas depende de su peso molecular y de su temperatura, según la ecuación

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Ecuación 1.

donde $\gamma = C_p/C_v = 1,4$ para gases *diatómicos* (como el aire),

$R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{°K}$,

$M =$ masa de 1 mol en kg/mol = 0,0288 kg/mol para el aire,

$T =$ temperatura absoluta en K.

Para temperaturas cercanas a la temperatura ambiente, esta expresión puede aproximarse (para el aire) por

$$c \cong 332 + 0,608 \cdot t,$$

donde t es la temperatura en °C y c está en m/s. En particular, para $t = 20 \text{ °C}$ resulta $c = 344 \text{ m/seg}$ ⁷.

2.1.2 Longitud de onda

Se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante de tiempo. La relación entre las tres magnitudes: frecuencia (f), velocidad de propagación del sonido (c) y longitud de onda λ y vendrá dada por la siguiente expresión⁸:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

Ecuación 2.

⁷ CARRION, Isbert Antoni. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos (2001)

⁸ IBID P. 33

2.1.3 Nivel de presión sonora

Debido al rango extraordinariamente amplio de la presión sonora, resulta conveniente utilizar una escala logarítmica para expresar sus valores. Así, se define el nivel de presión sonora, L_p , como⁹

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{P_{ef}}{P_{ref}}$$

Ecuación 3.

Donde P_{ref} es el valor eficaz de la presión sonora y P_{ref} es la presión de referencia, que vale

$$P_{ref} = 20 \times 10^{-6} \text{ Pa.}$$

Ecuación 4.

El nivel de presión sonora se expresa en decibeles (dB). Un incremento de 1 dB no representa un incremento fijo de la presión sino un *aumento relativo* de un 12,2%.

2.1.4 Octava y tercio de octava

La octava se utiliza en la notación musical y está comprendida por ocho notas para conformar dicha escala musical, una octava está determinada por intervalo entre dos sonidos que tienen una relación de frecuencias igual a 2. Por ejemplo: si se ejecuta la nota La en un piano la octava estaría compuesta por La-Si-Do-Re-Mi-Fa-Sol-La. Si el primer DO esta afinado en 440 Hz el segundo estará en 880 Hz, ya que hay una relación de frecuencias igual a 2.

Los casos en los que se podría utilizar el tercio de octava sería en un ecualizador gráfico de tercio octava, las frecuencias centrales de los filtros podían ser las siguientes: 16:20:25:31.5:40:50:63:80:100:125:160:200:250:315:400:500:630:800:1k:1k25:1k6:2k:2k5:3k15:4k:5k:6k:8k:10:12k5:16k:20kHz. En algunos casos la relación de 3:1 de la octava no se cumple exactamente.

2.1.5 Difusión del sonido

La acústica hace uso de elementos y herramientas diseñadas acústicamente para dispersar de forma uniforme y en múltiples direcciones la energía sonora que incide sobre los mismos por ende para que el sonido en un espacio sea lo mas

⁹ Si bien la abreviatura natural en castellano para nivel de presión sonora sería NPS, internacionalmente se utilizan abreviaturas en inglés. Este texto se adhiere a la simbología internacional.

difuso posible en una sala se colocan elementos expresamente diseñados para este fin.

El cálculo que permite obtener una buena difusión del sonido en un recinto, es generalmente complejo, más aún si se trata de ambientes pequeños que necesitan buena difusión en frecuencias bajas. Estudios de grabación, salas de control y salas para escuchar música, presentan espacios modales en frecuencias inferiores a 300 Hz., donde el campo se halla muy lejos de ser difuso¹⁰.

2.1.6 Reciclaje

El reciclaje hace uso de residuos para ser reutilizados como materia prima para la fabricación de nuevos objetos para la industria como por ejemplo cartones, vidrios, plásticos, etc. El desecho o residuo una vez transformado no necesariamente desarrollara o cumplirá la misma función o propósito para el que fue hecho.

Actualmente, el aumento de productos ha ido creciendo debido a la gran demanda, ya que se generan mas necesidades en la sociedad, y al existir un aumento en la demanda de mercancías y/o productos, se eleva el número de desechos y residuos. La mayoría de estos residuos resultan perjudiciales para la salud, el medio ambiente y los animales, por esta razón las sociedades modernas han iniciado una conciencia en pro del reciclaje¹¹.

2.1.7 Residuos

Es cualquier tipo de material que este generado por la actividad humana y que este destinado a ser desechado, los materiales y objetos generan residuos en la mayoría de industrias pero en otras industrias estos residuos se aprovechan o reutilizan, Los países en vía de desarrollo son los que mas reutilizan los residuos ya que gran parte de estos se pueden reciclar si se dispone de las tecnologías adecuadas y el proceso es económicamente rentable. Una buena gestión de los residuos persigue precisamente no perder el valor económico y la utilidad que pueden tener muchos de ellos y usarlos como materiales útiles en vez de tirarlos¹². Existen distintos tipos de residuos, a continuación se expondrá los residuos orgánicos e inorgánicos:

2.1.7.1 Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos son biodegradables ya que se descomponen naturalmente y son aquellos que se pueden desintegrar o degradarse

¹⁰ BERANEK, Leo Leroy, Acústica (1961)

¹¹ PEÑA, Ivan Dario, Manual de residuos sólidos y su tratamiento (2002)

¹² SÁNCHEZ CALVO, Mariano .- Residuos : problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción.- Madrid : Mundi-Prensa, 2000

rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, sus cáscaras, carne, huevos¹³.

2.1.7.2 Residuos inorgánicos

Los residuos inorgánicos son los que por sus características químicas sufren una descomposición natural muy lenta. Muchos de ellos son de origen natural pero no son biodegradables, por ejemplo los envases de plástico. Generalmente se reciclan a través de métodos artificiales y mecánicos, como las latas, vidrios, plásticos, gomas. En muchos casos es imposible su transformación o reciclaje; esto ocurre con el telgopor, que seguirá presente en el planeta dentro de 500 años. Otros, como las pilas, son peligrosos y contaminantes¹⁴.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Acústica

“La acústica es una ciencia que tiene como objetivo principal el estudio del sonido y su propagación por medios sólidos, líquidos y gaseosos”¹⁵, en resumen la acústica estudia cómo se produce, transmite, almacena, percibe y reproduce el sonido.

2.2.2 Acústica arquitectónica

La acústica arquitectónica es la encargada de estudiar el comportamiento del sonido en diferentes espacios como lo son los estudios de grabación, teatros auditorios, edificios y todo tipo de recintos con el fin de hacer un tratamiento ya sea de aislamiento o acondicionamiento acústico.

Se ha considerado que las ondas sonoras que se encuentran en un espacio o recinto son incidentes sobre un material y una parte de la energía se refleja, otra se absorbe y otra se transmite al otro lado. A continuación se describe cada uno de estos factores:

Reflexión: Una onda se refleja cuando se encuentra con un obstáculo que no puede traspasar ni rodear. El tamaño del obstáculo y la longitud de onda determinan si una onda rodea el obstáculo o se refleja en la dirección de la que provenía. Si el obstáculo es pequeño en relación con la longitud de onda, el sonido lo rodeara (difracción), en cambio, si sucede lo contrario, el sonido se refleja (reflexión).

¹³ GIL BERCERO, J. R.; Gómez Antón, M^a Rosa.- Educación medioambiental: reciclaje y recuperación de residuos domésticos.-Madrid: UNED, 1995.

¹⁴ SUNS, Fonfria, Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos (1989)

¹⁵ RECUERO López Manuel, Ingeniería Acústica (1995)

El aislamiento acústico supone impedir que un sonido penetre en un medio o salga de él. Por ello, para aislar, se usan tanto materiales absorbentes, como materiales aislantes. El aislamiento que ofrece el elemento es la diferencia entre la energía incidente y la energía transmitida, es decir, equivale a la suma de la parte reflejada y la parte absorbida.

“El objetivo del acondicionamiento acústico de un local es conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo. Con ello se pretende mejorar las condiciones acústicas de sonoridad aumentando el confort acústico interno del local”¹⁶. Las propiedades acústicas de un local están determinadas por la proporción de energía sonora absorbida por paredes, techos, suelos y objetos.

2.2.3 Absorción del sonido

Puede suceder que en un recinto cualquiera, la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, tanto en la incidencia sobre sus superficies límite o en su propagación a través del aire, es determinante en la calidad acústica final del mismo.

Los materiales absorbentes y/o los absorbentes selectivos (resonadores), expresamente colocados sobre determinadas zonas a modo de revestimientos del recinto.

Todas aquellas superficies límite de la sala susceptible de entrar en vibración (como, por ejemplo, puertas, ventanas y paredes separadoras ligeras). Los materiales rígidos y no porosos utilizados en la construcción de las paredes y techo del recinto (como, por ejemplo, el hormigón).

Antes de exponer con detalle y por separado las diferentes características de absorción de los elementos anteriores, es preciso seguir la recomendación de tipo práctico expuesta a continuación. Las características de absorción de los materiales absorbentes y de los resonadores dependen no sólo de sus propiedades físicas, sino también en gran parte de un sinfín de condicionantes y de detalles constructivos, que varían sustancialmente de un caso a otro y que no se pueden representar mediante una expresión matemática. Es por ello que, para realizar cualquier diseño acústico, resulta imprescindible disponer de los coeficientes de absorción α obtenidos mediante ensayos de laboratorio, según un procedimiento homologado (Norma ISO 10534-1). Dichos coeficientes deberán ser

¹⁶ CARRION Isbert Antoni, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos (2001)

solicitados, en cada caso, al correspondiente proveedor, que tendrá que acreditar su validez mediante el pertinente certificado.

2.2.4 Coeficiente de Absorción en materiales

“El coeficiente de absorción de un material es la relación entre la energía absorbida por el material y la energía reflejada por el mismo”¹⁷. está determinada de 0 a 1 donde cero es el menor valor de absorción y 1 es el máximo coeficiente de absorción. Un material depende de la naturaleza del mismo, de la frecuencia de la onda sonora y del ángulo con que incide la onda sobre la superficie. Como el coeficiente de absorción varía con la frecuencia, se suelen dar los mismos a las frecuencias de 250, 500, 1000, 2000 y 4000Hz (según la Norma ISO 10534-1 Determinación del coeficiente de absorción sonora mediante el tubo de impedancias.

Teniendo en cuenta que siempre los materiales acústicos absorbentes son los encargados de recibir las ondas bajo distintos ángulos de incidencia más o menos aleatorios, sus coeficientes de absorción se calculan en cámaras reverberantes o tubos de impedancia y el resultado se considera que es un valor medio para todos los ángulos de incidencia. “El coeficiente de absorción de cualquier material absorbente cae cuando incide ruido a frecuencias inferiores a una de corte dada por el espesor del volumen de aire, ya que cuando su espesor es menor que 1/4 de la longitud de onda incidente, el volumen actúa como resistencia acústica rígida. De forma aproximada, esta frecuencia de corte viene dada por:

$$f = \frac{c}{2d}$$

Ecuación 5.

Siendo "d" la anchura total del volumen de aire. De aquí la baja absorción de materiales de poco espesor (1 ó 2 cm) cuando se montan directamente sobre un soporte rígido, para frecuencias de 125 y 250 Hz. Se observa que es necesaria una cámara de aire de al menos 10 cm para mantener una absorción elevada a las bajas frecuencias.

Un elemento que interviene en la absorción acústica, sobre todo a bajas frecuencias, es el espesor del volumen de aire existente entre la cara del material y la superficie rígida que lo soporta. Este volumen puede variar desde cero, cuando el material se monta directamente sobre el soporte rígido, hasta algunos metros como es el caso de los techos acústicos suspendidos. Se necesitan al menos 10 cm para mantener una alta absorción a las bajas frecuencias.

¹⁷ ALTON, Everest. The master *handbook* of acoustics,

La tabla No. 1 presenta los coeficientes de absorción de los materiales relacionados con esta investigación y que son frecuentemente utilizados en la construcción y/o acondicionamiento de edificios, los valores que aparecen son aproximados, los valores reales de los coeficientes de absorción dependen de la construcción específica, la densidad del material, el tipo de acabado, el tamaño del panel, el tipo de montaje y otros factores.

Coeficientes de absorción de sonido						
Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Corcho perforado y pegado a la pared	0.14	0.32	0.95	0.90	0.72	0.65
Tejido de algodón	0.12	0.31	0.49	0.86	0.66	0.44
Filtro 2.5 cm	0.13	0.41	0.56	0.69	0.65	0.49
Caucho de 0.5 cm	0.15	0.25	0.58	0.64	0.62	0.54
Cartón corrugado	0.16	0.32	0.65	0.59	0.64	0.72
Poliestireno Expandido	0.19	0.42	0.54	0.69	0.74	0.65
Panel absorbente con materiales de desecho	---	0.77	0.93	0.87	0.80	0.78

Tabla No 1. Coeficientes de absorción de materiales

2.2.5 Materiales absorbentes

La ondas sonoras sufren una absorción cuando inciden sobre los distintos materiales absorbentes utilizados como revestimientos de las superficies límite del recinto, así como su dependencia en función de la frecuencia, varía considerablemente de un material a otro. Por tanto, la correcta elección de los mismos permitirá obtener, en cada caso, la absorción más adecuada en todas las bandas de frecuencias de interés.

Existen dos tipos genéricos de elementos específicamente diseñados para producir una determinada absorción: los simplemente denominados materiales absorbentes y los llamados absorbentes selectivos o resonadores.

“En ambos casos, cuando la absorción en una o más bandas de frecuencias es muy elevada, puede ocurrir que el coeficiente de absorción medido α sea superior a 1. Ello no debe conducir a la interpretación totalmente errónea y carente de sentido desde un punto de vista físico de que la energía absorbida en dichas bandas es mayor que la energía incidente”¹⁸.

¹⁸ BERANEK Leo Leroy, Acústica (1961)

Los materiales absorbentes se utilizan generalmente para conseguir:

- Obtención de los tiempos de reverberación más adecuados en función de la actividad (o actividades) a la cual se haya previsto destinar el espacio objeto de diseño.
- Prevención o eliminación de ecos.
- Reducción del nivel de campo reverberante en espacios ruidosos (restaurantes, fábricas, estaciones, etc.).

Los materiales comúnmente utilizados como absorbentes acústicos son:

2.2.5.1 Materiales porosos:

Disipan la energía acústica transformándola en calor. Su principal eficacia es para frecuencias medias y altas, donde las longitudes de onda coinciden con los espesores normales de los materiales utilizados (fibra de vidrio, lana mineral, corcho, etc). Son de estructura granular o fibrosa, siendo muy importante el espesor de la capa y su distancia a la pared soporte. El espesor se suele elegir en función del coeficiente de absorción deseado, ya que si es demasiado delgado se reduce el coeficiente de absorción a bajas frecuencias, y si es muy grueso resulta bastante caro. Dentro de los materiales porosos podemos a su vez distinguir varios tipos como son los porosos-rígidos y los porosos-elásticos.

2.2.5.2 Materiales poroso-rígidos

Se usan como yesos absorbentes sonoros con una estructura granular o fibrosa de tela o esterilla hecha con material orgánico o lana artificial, o de losetas acústicas y bloques comprimidos de fibras con aglutinantes. Los yesos absorbentes sonoros son resistentes y se montan con facilidad siempre que la superficie que los recibe esté preparada.

La disminución en el espesor del material causa la disminución del coeficiente de absorción al reflejarse parte de la energía sonora en la superficie rígida de soporte y volver al interior del recinto. Esto ocurre sobre todo a las frecuencias de 250, 500 y 1.000Hz. Si se montan dejando un espacio de aire entre el material y la pared, aumenta la absorción sobre todo a 250Hz y algo a 125Hz, disminuyendo algo a 500Hz. De todas formas es conveniente solicitar del fabricante la información técnica en función de los diferentes tipos de montaje, a la hora de utilizar valores reales.

Estos materiales suelen presentarse en forma de paneles o tableros acústicos de fácil instalación. También suelen poder colocarse como techo suspendido mediante elementos metálicos, aunque pueden darse problemas por la flexión de los materiales. "Los sistemas de suspensión mecánica permiten la combinación de

techos absorbentes con la iluminación, aire acondicionado y elementos de calor radiante. Los tamaños oscilan normalmente desde 30x30cm a 30x60cm, y espesores de 1 a 3cm¹⁹. También, según su formación, presentan diferentes propiedades como apariencia estética, facilidad de limpieza, posibilidad de pintado, reflectancia lumínica, resistencia al fuego, etc. Este último punto de resistencia es de gran importancia tenerlo en cuenta para que cumplan la legislación vigente al respecto.

Una de sus ventajas principales es su fácil adaptación tanto en edificios nuevos como en los ya construidos.

Como conclusiones sobre este tipo de materiales se puede decir que:

- La capacidad de absorción disminuye con la reducción del espesor de la capa.
- El coeficiente de absorción disminuye a bajas frecuencias.
- La presencia de un espacio de aire entre el material y la pared rígida origina un aumento de la absorción a bajas frecuencias y también en el valor máximo del coeficiente de absorción sonora²⁰.

2.2.5.3 Materiales poroso-elásticos

Si el material absorbente presenta un esqueleto no rígido sino elástico, dicho esqueleto estará sujeto a vibraciones al igual que el aire contenido en los poros. Estos sistemas se suelen instalar como sistemas de dos capas con la formación capa de material absorbente-aire-capo de material-aire-pared. Las conclusiones sobre este material son:

- Un aumento en el número de capas del sistema, de una a dos, aumenta de manera importante las frecuencias para las que el coeficiente de absorción es relativamente alto.
- Para aumentar la anchura de la variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, se aumenta la distancia entre capas a medida que nos alejamos de la pared rígida.
- Para evitar saltos en la variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, los espacios de aire no deben ser iguales ni múltiplos unos de otros.

¹⁹ HIGINI Arau, ABC de la Acústica Arquitectónica (1999)

²⁰ COX Trevor J, Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, design and application (2006)

2.2.5.4 Materiales para argamasa

Son materiales acústicos que se aplican en estado húmedo con paleta o pistola para formar superficies continuas de un espesor deseado. Se conocen también como morteros acústicos. Estos materiales se forman por una mezcla de ingredientes secos, a los que se les añade un aglutinante líquido. Estos morteros acústicos se aplican normalmente a una capa de cemento o sobre cualquier otro material. Se puede aplicar en dos o más capas usando métodos normales de fratasado o con pistola. La mayoría de los morteros están formados por un agregado de perlita o vermiculita y aglutinante (normalmente yeso). Los huecos entre las partículas dan la porosidad necesaria para la absorción sonora.

- Sus coeficientes de absorción suelen ser del orden de 0,3-0,4 hasta frecuencias de 500Hz, aumentando a partir de ahí de manera importante, presentando los valores más altos para frecuencias a partir de los 1000Hz con coeficientes alrededor de 0,8-0,9.

2.2.6 Medición del coeficiente de absorción del sonido

La medición del coeficiente de absorción de sonido de algunas muestras de materiales se realiza mediante la utilización del tubo de impedancia²¹, es de gran importancia para construcciones acústicas como estudios de grabación y salas de conciertos. Este método requiere de un amplio conocimiento de las propiedades absorbentes de los materiales, los cuales cubren las superficies de los espacios y/o recintos a analizar.

El tubo de impedancia, entre muchos de sus usos, permite medir las propiedades de los materiales de construcción mediante la utilización de muestras, y utilizando un método rápido y sencillo que permite reproducir perfectamente el coeficiente de absorción. Este tubo está provisto de un parlante, el cual produce ondas acústicas, las cuales viajan dentro del tubo y son reflejadas por la muestra de prueba; la fase de interferencia entre la onda dentro del tubo, las cuales son incidente y reflejada desde la muestra de prueba, resultan en la formación de un patrón de ondas estacionarias dentro del tubo. Si el 100% de la onda incidente es reflejada, entonces la onda incidente y la onda reflejada tendrán la misma amplitud; los nodos en el tubo tienen presión cero y los antinodos el doble de presión.

Si un porcentaje de energía incidente es absorbido por la muestra, esto nos indica que, la onda incidente y reflejada tienen diferente amplitud; los nodos muy largos tienen presión cero. La magnitud de la presión en los nodos y antinodos es medida con un micrófono de prueba, el cual se desliza dentro del tubo. “La relación de presión máxima (antinodo) y la presión mínima (nodo) es llamada *standing wave*

²¹ NORMA ISO 10534-1 (1996) ICONTEC

ratio SWR, esta relación, la cual es mayor o igual a la unidad, es usado para determinar el coeficiente de amplitud reflejada R de la muestra y su coeficiente de absorción²².

La energía total que choca contra una pared, una parte se refleja, otra parte, es absorbida en la propia pared y la otra parte, transmitida al espacio detrás de la pared. Dividiendo éstos, los fragmentos de energía son:

- El coeficiente de reflexión de energía $|r|^2$
- El coeficiente de absorción α
- El coeficiente de transmisión de energía $|t|^2$ y aplicando conservación de energía se tiene:

$$|r|^2 + \alpha |t|^2 = 1$$

Ecuación 6.

Si alguna parte de la energía incidente es absorbida por la muestra, las ondas incidente y reflejada tendrán diferentes amplitudes; y los nodos en un tubo no muy largo tienen presión cero. Las amplitudes de presión en los nodos y antinodos son medidas con un micrófono, el cual se desliza a lo largo del tubo y su posición es determinada por una regla graduada paralela al tubo.

“La amplitud en un antinodo de presión (máxima presión) es $(A+B)$, y la amplitud en un nodo de presión (mínima presión) es $(A-B)$, es posible medir A o B directamente pero se puede medir $(A+B)$ y $(A-B)$, esto se logra al resonar la onda en el tubo, formándose de esta manera ondas estacionarias. Se puede definir la relación de presión máxima a presión mínima como SWR (standing wave ratio), mediante la ecuación²³,

$$SWR = \frac{A + B}{A - B}$$

Ecuación 7.

La ecuación puede ser manipulada para determinar el coeficiente de reflexión de la potencia del sonido, expresada mediante la ecuación

$$R = \frac{B}{A} = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}$$

Ecuación 8.

²² NORMA ISO 10534-1 (1996) ICONTEC

²³ NORMA ISO 10534-1 (1996) ICONTEC

La energía reflejada es proporcional al cuadrado de las relaciones de amplitud de las ondas, por lo tanto, el coeficiente de absorción del sonido (α) de la muestra a una frecuencia dada esta dado por la ecuación

$$\alpha = 1 - R^2 = (SWR - 1)^2 / (SWR + 1)^2$$

Ecuación 9.

2.2.7 Método de medición con cámara reverberante

Un método alternativo para determinar las propiedades absorbentes de un material, el cual es ampliamente usado actualmente, involucra la colocación de una unidad de área de una pieza de material (el cual podría ser un metro cuadrado) en un cuarto especial de reverberación. La diferencia entre el tiempo de reverberación con y sin el material permite determinar las propiedades absorbentes del material. Este método es generalmente más costoso, requiere de calibración precisa de los sensores y de un especial diseño de la cámara de reverberación y es mucho menos conveniente, es superior para la medición de características de absorción para promediar ondas de sonido incidente, y es preferible para la determinación de propiedades de absorción que dependen del tamaño del material²⁴.

2.2.8 Manejo y tratamiento de los materiales

2.2.8.1 Tratamiento del cartón

Consiste en la recuperación de las fibras de celulosa mediante separación en soluciones acuosas a las que se incorporan sustancias tensioactivas con el fin de eliminar la tinta. La tinta queda en la superficie del baño y se puede separar con facilidad.

Una vez retirada la tinta, se somete la suspensión de las fibras a un secado sobre una superficie plana, para recuperarlas. Después se las hace pasar por unos rodillos que las aplanan y compactan, saliendo finalmente la lámina de papel reciclado²⁵.

2.2.8.1.1 Tratamiento de los tetra pack

Se reciclan de dos maneras:

- Reciclado conjunto. Dando lugar a un material aglomerado denominado Tectán.

²⁴ Norma ISO 354, ICONTEC

²⁵ SUNS Fonfria, Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos (1989)

- Reciclado por separado. Los componentes se aprovechan de modo independiente.

En éste último se separan las fibras de celulosa del polietileno y del aluminio en un hidropulper por frotamiento. Tras finalizar el proceso se vacía el hidropulper por su parte inferior a través de un filtro que deja pasar el agua y la fibra de celulosa.

Con la recuperación de ésta se ha reciclado un 80% en peso del envase. Para aprovechar el resto se puede recuperar de forma conjunta obteniéndose una granza de polietileno reforzada por el aluminio. Este resto también se usa como combustible en las cementeras, ya que el polietileno es buen combustible y el aluminio oxidado sule a la bauxita, ingrediente del cemento.

Por último para separar el polietileno del aluminio se pueden usar disolventes, recuperando de la disolución el polietileno. También se puede recuperar el aluminio por combustión.

2.2.8.2 Tratamiento del caucho

Los neumáticos pueden sufrir diferentes procesos:

- Recauchutado. Con lo que puede volver a utilizarse. Consiste en volver a realizar el dibujo gastado.
- Corte. Para que mediante un fundido a presión se puedan fabricar felpudos, zapatillas, etc. Trituración. Con dos variantes:
 - Trituración a temperatura ambiente.
 - Trituración criogénica²⁶.

Ésta última utiliza bajas temperaturas por debajo de su temperatura de transición vítrea convirtiéndolo en un material frágil y quebradizo. Se obtiene así un grano fino y homogéneo.

Triturado se emplea en:

- Como caucho asfáltico. Mejora el drenaje de la capa asfáltica así como prolonga la duración del pavimento y reduce su fragilidad.
- Como hormigón de asfalto modificado.

²⁶ CONTRERAS López, Alfonso; Molero Meneses, Mariano.- Introducción al estudio de la contaminación y su control.- Madrid: UNED, 1995.

- Como combustible en grano. El caucho compuesto por un 83% de carbono en peso tiene una capacidad calorífica de 35MJ/kg. La combustión debe estar muy controlada porque los neumáticos contienen azufre.
- Pirólisis.
- Utilización en el compostaje de fangos. El neumático triturado se utiliza para favorecer la oxigenación y el compostaje.

2.2.8.3 Tratamiento del Poliestireno Expandido (Icopor)

Generalmente el icopor lo clasifican y se mete en bolsas para molerlo o triturarlo. Luego de que tenga menos volumen, comienza el proceso de eliminación mediante procesos térmicos y mecánicos. De esta fase se puede obtener material sano para usar el icopor en nuevos productos o una resina para la elaboración de plásticos.

2.2.8.3.1 Tipos de tratamiento del EPS:

El icopor se puede tratar de las siguientes formas:

El reciclado mecánico

El EPS puede reciclarse mecánicamente a través de diferentes formas y para distintas aplicaciones:

1. Fabricación de nuevas piezas de EPS: Los envases y embalajes post-consumo pueden triturarse y destinarse a la fabricación de nuevas piezas en Poliestireno Expandido. De esta forma se fabrican nuevos embalajes con contenido reciclado o planchas para la construcción.

2. Mejora de suelos: Los residuos de EPS una vez triturados y molidos se emplean para ser mezclados con la tierra y de esta forma mejorar su drenaje y aireación. También pueden destinarse a la aireación de los residuos orgánicos constituyendo una valiosa ayuda para la elaboración del compost (tipo de abono).

3. Incorporación a otros materiales de construcción: Los residuos de EPS tras su molido a diferentes granulometrías, se mezclan con otros materiales de construcción para fabricar ladrillos ligeros y porosos, morteros y enlucidos aislantes, hormigones ligeros, etc.

4. Producción de gránulos de PS: los embalajes de EPS usados se transforman fácilmente mediante simples procesos de fusión o sinterizado obteniéndose nuevamente el material de partida: el poliestireno compacto-PS en forma de granulo. La granza así obtenida puede utilizarse para fabricar piezas sencillas mediante moldeo por inyección, como perchas, bolígrafos, carcasas, material de

oficina, etc. o extrusión en placas u otras formas para utilizarse como sustituto de la madera.

La recuperación energética

La recuperación energética es la obtención de energía, normalmente en forma de calor a partir de la combustión de los residuos. Este proceso, es una opción de gestión de los residuos muy adecuada para aquellos productos y materiales que por diversos motivos no pueden ser reciclados fácilmente. La combustión del EPS en instalaciones de recuperación energética no produce gases dañinos ya que las emisiones se controlan y filtran cuidadosamente.

El vertido

El vertido de los residuos de embalajes de EPS es el método de gestión de residuos menos aceptable porque implica perder una oportunidad de recuperar recursos valiosos.

Pero cuando no haya otro método de recuperación alternativo y viable, los residuos de EPS pueden destinarse al vertido con total seguridad ya que el material es biológicamente inerte, no tóxico y estable. El EPS no contribuye a la formación de gas metano (con su correspondiente potencial de efecto invernadero), ni tampoco supone ningún riesgo, por su carácter inerte y estable, para las aguas subterráneas²⁷.

En el caso del poliestireno expandido, casi la totalidad de su volumen de recogida es de procedencia industrial. Los residuos de este material procedentes del sector de la construcción no son aceptados en los vertederos de inertes y normalmente es la industria de fabricación de este material la que acepta de nuevo estos residuos para su reciclado, cerrándose así su ciclo de vida.

El poliestireno expandido se tritura para volver a obtener planchas de poliestireno expandido reciclado, pudiendo obtenerse buenas calidades y fabricarse elementos de similares características, en muchos casos con los mismos usos a los empleados en el caso de poliestireno expandido virgen.

Las aplicaciones pueden ser las mismas que la de los materiales vírgenes, ya que la grana de poliestireno reciclada puede ser utilizada como sustitutiva del poliestireno virgen en la mayoría de los casos.

Algunos productos fabricados con poliestireno son:

- Embalajes y protectores de embalaje: hueveras, bandejas, moldes
- Elementos escénicos para escenarios de teatro y televisión

²⁷ TEJADA, Julio Alberto, u. de Antioquia Recuperación y reciclado de EPS,

- Electrodomésticos: contrapuestas de frigoríficos, bases de televisores
- Construcción: Placas y paneles de aislamiento termoacústico, casetones y bovedillas para forjados, moldes de encofrado, juntas de dilatación, elementos decorativos interiores, bloques de EPS para dotar de ligereza a terraplenes de carreteras, pantalanés flotantes, islas artificiales, etc.

2.2.8.4 Tratamiento del Corcho

El reciclaje de los residuos de madera supone un importante ahorro energético y salva de la tala millones de árboles. Dicho proceso consiste, primeramente, en la separación de otros materiales considerados impurezas, como son las grapas, los plásticos, los papeles, etc. Esa separación suele realizarse manualmente, salvo en el caso de tratarse de materiales férricos, que son separados de forma magnética. A continuación, se tritura la madera y se lleva a cabo su astillado, cuya granulometría suele estar entre los 40 y 50 mm.

Estos residuos dan lugar a la materia prima que será empleada en la fabricación de nuevos productos. La principal aplicación es la fabricación de tablero aglomerado, que se emplea en la fabricación de muebles para cocinas, en carpintería industrial (puertas y mamparas), en el sector de la construcción para la fabricación de suelos, encofrados, falsos techos, base de cubiertas, etc. La madera astillada también puede ser utilizada para la fabricación de aislantes térmicos y acústicos para construcción, pasta de papel, así como combustible para calderas.

El corcho se limpia, tritura, aglutina y prensa para obtener un aglomerado de corcho en muy diversas presentaciones: gránulos, planchas, rollos, barras, u otras formas geométricas. Su uso es variado, desde tapones de botellas hasta baldosas para pisos o techos, como material aislante en paneles ya sean acústicos o decorativos.

2.2.8.4 Tratamiento de los residuos textiles

Los textiles y cueros procedentes de la recogida selectiva o triaje de los RSU se separan por calidades (lana, algodón, fibras sintéticas) y se desguazan para su comercialización como trapos industriales, previo lavado y desinfección.

Los no comercializables pasan directamente a valorización energética.

Se calcula que el consumo anual de textil por persona en países del primer mundo es de entre 7 y 10 kg por lo que se puede calcular que los residuos de este material oscilan en las mismas proporciones, esto sin contar la cantidad de residuo de este tipo que genera la industria del sector textil y de confección. En el municipio de Madrid los residuos textiles representan aproximadamente el 2% en peso de los residuos urbanos generados.

Los residuos textiles de estas industrias pueden ser utilizados para la elaboración de nuevas materias primas. Para ello se necesita clasificar por tipos de fibras para posteriormente desmontar las piezas y volver a hilar. Los nuevos hilados pueden ser usados por el sector de la confección para la fabricación de piezas nuevas. Las fibras recuperadas y recicladas también pueden ser utilizados en la fabricación de acolchados de muebles y colchones, rellenos aislantes, soportes para alfombras, filtros, etc.

El reciclaje de los residuos textiles evita que éstos se acumulen en los vertederos, además de dar continuidad al ciclo de vida del producto. Sin embargo, con las nuevas costumbres de consumo y moda la mejor opción para la ropa de la que nos deshacemos y que está en buen estado, es siempre la reutilización. Esta ropa que muchas veces es tratada como basura, puede ser reutilizada, siempre y cuando haya separado selectivamente por los ciudadanos, por ello los que quieran deshacerse de ropa y otros textiles del hogar que estén en buen estado, pueden donarlos o bien depositarlos en los contenedores específicos de ropa usada que hay instalados en la vía pública o llevarlo a los Puntos Limpios de su municipio.

Muchas entidades sin ánimo de lucro se dedican a la recogida de ropa usada, que después de pasar por un proceso de manipulación, son entregadas a grupos necesitados ó comercializadas en mercadillos como ropa de segunda mano o vendidas como trapos de limpieza.

La actividad que llevan a cabo las organizaciones de recuperación y reciclaje de textiles proporciona ventajas tanto de carácter social como ambiental, además de la creación de puestos de trabajo para colectivos con dificultades para insertarse en la vida social y laboral.

2.3 MARCO LEGAL O NORMATIVO

Para determinar el coeficiente de absorción de los distintos materiales se usara la Norma ISO 10534-1 a continuación se hará una breve descripción de la norma y sus requerimientos:

ISO 10534-1:1996

Acoustic – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes²⁸

²⁸ NORMA ISO 10534-1 (1996) ICONTEC

Part: 1 Method using Standing Wave Ratio

2.3.1 Ámbito de aplicación

Esta ISO especifica un método para determinar el coeficiente de absorción sonora, factor de reflexión e impedancia de superficie. Estos valores son determinados por incidencia normal del sonido y se evalúa por el método de ondas estacionarias en un tubo de impedancias, el cual es generado por una superposición de una onda senoidal plana. Este método es usado para el diseño de absorbentes de sonido, porque solo necesita pequeñas muestras de material absorbente.

2.3.1.1 Diferencias entre el tubo de impedancias (ISO 10534-1) y el método de medición de absorción sonora en un cuarto reverberante (ISO 354)

El tubo de impedancia puede ser usado para determinar el factor de reflexión y admitancia o impedancia con incidencia normal sobre el objeto.

- El método de cámara reverberante determina el coeficiente de absorción sonora por incidencia normal aleatoria (random).
- El método de tubo de impedancia da valores exactos sobre condiciones ideales y el método de cámara reverberante está basado en un número de simplificaciones y aproximaciones debido al tamaño de la muestra.
- El método de tubo de impedancia requiere muestras del objeto medido el cual son del tamaño del área del diámetro, en cambio el método de cámara reverberante requiere muestras grandes.

2.3.2 Referencia normativa

- ISO 266-acustica-frecuencias requeridas
- ISO 354: 1985-Acústica-Medición de absorción sonora en una cámara reverberante.

2.3.3 Definiciones

- Presión sonora: La presión sonora o acústica es producto de la propia propagación del sonido. La energía provocada por las ondas sonoras generan un movimiento ondulatorio de las partículas del aire, provocando la variación alterna en la presión estática del aire (pequeñas variaciones en la presión atmosférica. La presión atmosférica es la presión del aire sobre la superficie terrestre). La razón de estas variaciones de presión atmosférica es que se producen áreas donde se concentran estas partículas (zonas de

concentración) y otras áreas quedan menos saturadas (zonas de rarefacción).

- Plano de referencia: Cualquier punto, línea o superficie que se emplea como referencia para medir alturas. También llamado dato, nivel de comparación, nivel de referencia, plano de comparación
- Coeficiente de absorción sonora: Se define el Coeficiente de Absorción de un material como la relación entre la energía que absorbe y la energía de las ondas sonoras que inciden sobre él por unidad de superficie. Valores de igual a 1 indican que toda la energía sonora incidente es absorbida, mientras que:

$\alpha = 0$ representa que toda la energía es reflejada.

- Impedancia acústica: La impedancia acústica (z) es una propiedad de estado intensiva. Es la resistencia que opone un medio a las ondas que se propagan sobre este y por lo tanto es equivalente a la impedancia eléctrica, es decir una forma de disipación de energía de las ondas que se desplazan en un medio. Se define como la razón entre la presión sonora (p) y la velocidad de las partículas (v) de un medio material.

2.3.4 Principio

La muestra es montada en un extremo del tubo y se genera una onda senoidal plana con un parlante que se encuentra al otro extremo del tubo, la superposición $P=P_i+P_r$ de la onda incidente P_i (presión incidente) con la onda reflejada del material de muestra P_r (presión reflejada) produce una onda estacionaria en el tubo.

La evaluación continúa con una cantidad de mediciones de la presión de amplitud sonora $P(X_{min})$ en presión mínima y $P(X_{max})$ en presión máxima. Esta información es suficiente para determinar el coeficiente de absorción sonora.

2.3.5 Fundamentales

Condiciones generales: Este método requiere que exista una onda plana y ondas reflectantes paralelas al tubo en la sección de muestra, además debemos asumir que la onda sonora propagada en el tubo no tiene atenuación.

2.3.6 Equipamiento

El equipo consiste en un tubo de impedancias, un porta muestras, una sonda de micrófono, un dispositivo para mover y posicionar el micrófono, procesador de

señal para la señal de micrófono, un parlante, un generador de señal, una muestra absorbente y un termómetro.

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque del proyecto se puede describir como un método empírico-analítico porque se hace un análisis de lo que se pretende lograr con este proyecto de acuerdo a las necesidades imperantes en las personas que tienen un vínculo con los estudios de grabación y distintos recintos en los que se requiere que la difusión sonora tenga un papel importante, con esto, se quiere decir que para desarrollar un panel absorbente será de gran ayuda para el usuario ya que podrá utilizar esta herramienta como un método para acondicionamiento de recintos, para que de esta forma pueda llegar a resolver los alcances determinados a lo largo del proyecto.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN / SUBLÍNEA DE LA FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

3.2.1 Línea de Investigación de la Universidad: Tecnologías Actuales y Sociedad

Las tecnologías con las que se trabajan actualmente permiten facilitar la recolección de información o datos, por tal motivo se dispone aun más de herramientas en el campo Ingenieril. Para lograr esto se incorpora un área de conocimiento como es la acústica, con el fin de efectuar las respectivas aplicaciones y desarrollo en el recinto tratado, para una futura base de datos por parte de los estudiantes bonaventurianos.

➤ **Conocimientos Implicados**

- Acústica
- Aplicaciones de nuevos sistemas de sonido
- Adaptación y/o adopción de tecnologías

➤ **Resultados esperados**

- Soluciones viables en el campo acústico
- Obtención de un banco de datos con diferentes muestras y su respectiva información para acondicionamientos que requieran de paneles absorbentes

➤ **Aplicabilidad**

- Acondicionamiento acústico para todo tipo de recintos

➤ **Recursos**

- Recurso humano calificado y capacitado (investigadores y docentes)
- Bibliografía y recursos actualizados sobre tecnologías de punta

3.2.2 Sublínea de Investigación de la Universidad: Procesamiento digital de señales

3.2.3 CAMPO DE LA FACULTAD

3.2.3.1 ACÚSTICA

El campo de investigación de Acústica, requiere de un alto valor formativo en Ingeniería, que suministran las ciencias básicas aplicadas a las temáticas específicas del espectro de posibilidades de la Ingeniería de Sonido.

El mercado nacional e internacional exige que el Ingeniero de Sonido sea competente, para asumir problemas y generar soluciones al mundo globalizado, por medio de creación y posterior fortalecimiento de un semillero de investigación. En este campo de investigación, el Ingeniero de Sonido se apropia del conocimiento desarrollando habilidades y destrezas, que le permiten asumir cada una de las aplicaciones requeridas y estar abiertos a nuevas aplicaciones a través del trabajo interdisciplinario.

➤ **Conceptos generales**

- La acústica arquitectónica estudia el comportamiento del sonido al interior de las salas y las características acústicas y constructivas de los materiales de construcción utilizados para el aislamiento de ruido y acondicionamiento interior de ellas. De este modo, por medio de cálculos y mediciones, es posible especificar diseños acústicos que buscarán optimizar la emisión, difusión y control del sonido en auditorios, teatros, salas de concierto, teatros, conchas acústicas, salas de cine, estudios de grabación, radiodifusión, multimedios y cuartos de control para la producción en medios audiovisuales, entre muchos otros posibles.

➤ **Conocimientos implicados**

- Física mecánica, oscilaciones y ondas.
- Análisis y procesamiento de señales.
- Diseño y simulación asistido por computador.
- Psicoacústica, electroacústica, control y mediciones acústicas.
- Interpretación de información gráfica (planos, esquemas).
- Normatividad y legislación acústica en procedimientos o métodos, en verificación de procesos y control de calidad.

➤ **Resultados esperados**

- Construcción de un panel absorbente que cuente coeficientes de absorción apropiados para la implementación en acondicionamientos acústicos.

➤ **Aplicabilidad**

- Acústica arquitectónica y control de ruido.

➤ **Recursos**

- Personal docente calificado y capacitado.
- Laboratorio de acústica
- Tubo de impedancias.
- Software actualizado de la Universidad.
- Bibliografía y recursos sobre tecnologías de punta.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Programas especializados de diseño (AUTOCAD), programas de medición (EASE), manuales, tutoriales, proyectos de grado; todo esto se reunirá con el fin de diseñar y construir un panel absorbente para aplicarlo en diferentes recintos y/o espacios

Esta etapa comprende específicamente la recopilación de información existente sobre el tema referido en los distintos medios de información entre ellos: programas especializados para planos arquitectónicos (AUTOCAD), simulaciones acústicas (CATTAcoustic demo, EASE), libros, manuales, tutoriales, proyectos de grado; todo esto se reunirá con el fin de diseñar y construir un panel absorbente con materiales de residuo para aplicarlos en diferentes espacios y/o recintos.

3.4 HIPÓTESIS

El panel absorbente será útil para el acondicionamiento acústico, adaptando materiales de residuo con el fin de utilizarlos en auditorios, edificios, salas de concierto y todo tipo de espacios que requieran un confort acústico.

3.5 VARIABLES

3.5.1 Variables Independientes

- Condiciones atmosféricas para la medición
- El espesor de los materiales
- La densidad de los materiales
- Estructura y composición de los materiales
- Respuesta en frecuencia del parlante

3.5.2 Variables Dependientes

- El coeficiente de absorción por banda de frecuencia de las distintas muestras fabricadas

4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1 MANEJO Y TRATAMIENTO DE LOS DIFERENTES MATERIALES

A partir de 5 materiales de residuo sólido como cartón, icopor, corcho, tela y caucho se realizó la investigación acerca de su composición, textura, manejo y tratamiento de estos materiales.

A continuación se presenta las propiedades que determinaron la selección, manejo y tratamiento de cada uno de los materiales, en cuanto a la dureza es importante contar con un material que sea dúctil y maleable para su posterior proceso de triturado, la porosidad es el tamaño al que se puede reducir cada una de sus partículas, además de esto es importante que los materiales seleccionados brinden escasas o nulas posibilidades de generación de estos microorganismos, y finalmente la cantidad de material que se encuentra en el medio ambiente como residuo sólido.

Materiales	Dureza	Porosidad	Microorganismos	Recolección
Cartón Corrugado	✓	✓	✓	✓
Poliestireno Expandido (Icopor)	✓	✓	✓	✓
Corcho	✓	✓	✓	X
Hilos De Algodón (Tela)	✓	✓	✓	✓
Caucho Granular (Neumáticos)	✓	✓	✓	✓

Tabla No. 2 Determinación de las propiedades de los materiales

Posteriormente se hace una breve descripción de las características de cada uno de los materiales:

4.1.1 Cartón

4.1.1.1 Definición

El cartón es un material formado por varias capas de papel superpuestas, a base de fibra virgen o de papel reciclado. El cartón es más grueso, duro y resistente que el papel.

En esta investigación se hizo uso de cartón corrugado que generalmente, se compone de tres o cinco papeles; las dos capas exteriores son lisas y el interior o los interiores ondulados, lo que confiere a la estructura una gran resistencia mecánica.

4.1.1.2 Manejo y tratamiento

Para este proyecto se hizo necesario triturar el cartón corrugado, este material se introduce en una máquina trituradora Black & Decker diseñadas para medianas o pequeñas cantidades de residuo, esta máquina es capaz de triturar papel, cartón, hojas enteras, rollos de papel o cualquier otro residuo de papel, para que de esta manera quede un material de fácil manipulación y procesamiento.



Figura 1. Cartón triturado

4.1.2 Poliestireno Expandido –EPS- (Icopor)

4.1.2.1 Definición

El icopor es un material plástico espumado, derivado del poliestireno y utilizado en el sector del envase y la construcción. Su cualidad más destacada es su higiene al no constituir sustrato nutritivo para microorganismos. Es decir, no se pudre, no se enmohece ni se descompone, lo que lo convierte en un material idóneo.

Otras características importantes del Icopor (EPS) son su ligereza, resistencia a la humedad y capacidad de absorción de los impactos. El poliestireno expandido es reutilizable al 100% para formar bloques del mismo material y también es reciclable para fabricar materias primas para otra clase de productos.

4.1.2.2 Manejo y tratamiento

El principal método para reciclar el poliestireno se ha usado desde hace décadas y consiste en despedazar mecánicamente el material para posteriormente mezclarlo con material nuevo y así formar bloques de EPS que pueden contener hasta un 50% de material reciclado. El tratamiento utilizado para este material fue el raspado o triturado manual para dejarlo en forma de perla y/o granular.



Figura 2. Icopor triturado

4.1.3 Corcho

4.1.3.1 Definición

El corcho se extrae de la corteza del árbol de alcornoque. Esta corteza se extrae durante el mes de julio, que es el mes en el que el corcho puede ser separado del árbol sin dañarlo.

4.1.3.2 Manejo y tratamiento

El corcho se limpia, tritura, aglutina y prensa para obtener un aglomerado de corcho en muy diversas presentaciones: gránulos, planchas, rollos, barras, u otras formas geométricas. Su uso es variado, desde tapones de botellas hasta baldosas para pisos o techos, como material aislante en paneles ya sean acústicos o decorativos. Este material se tritura en molinillo y se deja en gránulos de pequeñas dimensiones.



Figura 3. Corcho triturado

4.1.4 Tela

4.1.4.1 Definición

Una tela es una estructura laminar flexible, resultante de la unión de hilos o fibras de manera coherente al entrelazarlos o al unirlos por otros medios. Para esta investigación se hace uso de hilos de algodón de la industria textil, debido a que la cantidad de desechos generados en esta industria es amplia.

4.1.4.2 Manejo y tratamiento

Para la manipulación de este material se hace necesario cortar el material en pequeños trozos de manera manual para de esta forma hacer más fácil su manipulación y mezcla con los distintos materiales.



Figura 4. Tela cortada

4.1.5 Caucho

4.1.5.1 Definición

El caucho es una sustancia natural o sintética caracterizada por su elasticidad, repelencia al agua, y resistencia eléctrica. Se obtiene el caucho natural del fluido lácteo blanco llamado látex, hallado en muchas plantas; se produce caucho sintético de los hidrocarburos, el caucho empleado es el generado por la industria automotriz representado en grandes cantidades de neumáticos y que actualmente cada uno de los gobiernos exige que este material sea triturado granular mente para su reutilización en diferentes campos.

4.1.5.2 Manejo y tratamiento

La trituración es un proceso puramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos.

Una vez definidos los tipos de tratamientos utilizados en cada uno de los residuos se procede a realizar las respectivas pruebas de pegado con distintos adhesivos, pegantes y resinas.



Figura 5. Caucho triturado

4.2 PROCESO DE MEZCLA

En el proceso de mezcla se adiciona los materiales en cada una de las proporciones determinadas en el objetivo específico de esta investigación generando de esta forma un total de 65 muestras, la composición de cada proporción de las muestras se determinaron median volumen debido a la variación en la densidad de cada uno de los materiales, por ejemplo no es posible obtener la misma cantidad en peso del caucho con el Icopor, ya que este ultimo material tiene una densidad bastante baja y por ende se necesitaría una cantidad demasiado grande hecho por el cual las dimensiones del panel en cuanto a su espesor variaría en detrimento del espesor determinado.

Con el volumen se pueden adicionar las proporciones correctas en cuanto a cantidad y dimensión del producto final, ya que al determinar un volumen total y al aplicar cada una de las proporciones de los materiales se acerca de manera mas efectiva al producto con el que se quiere contar para de esta forma lograr la homogeneidad en cada una de las muestras.

4.3 ADHESIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES.

Para el proceso de mezcla y adhesión de los 5 materiales se realizaron pruebas con 4 diferentes adhesivos y/o pegamentos de origen natural y sintético, este proceso se realizo con el fin de determinar qué tipo y/o clase de adhesivo es más recomendable para la unión o pegado de cada uno de estos materiales.

Se seleccionaron diversos tipos de adhesivos de acuerdo a su origen, composición, clasificación y modo de aplicación. A continuación se hace una breve descripción las características anteriormente mencionadas y el proceso desarrollado para cada uno de los adhesivos:

4.3.1 Adhesivos

Los adhesivos son sustancias que pueden mantener unidos a dos o más cuerpos por contacto superficial. Aunque la adherencia puede obedecer a diversos mecanismos de naturaleza física y química, como lo son el magnetismo o las fuerzas electrostáticas, desde el punto de vista tecnológico los adhesivos son los integrantes del grupo de productos, naturales o sintéticos, que permiten obtener una fijación de carácter mecánico.

Los adhesivos se clasifican en sintéticos y de origen natural (vegetal y animal).

4.3.2 Adhesivos de origen natural:

4.3.2.1 Adhesivo de origen animal

El termino cola o pegamento animal, se aplica generalmente a sustancias preparadas a partir de colágeno de mamíferos, proteína principal del cuero, huesos y tendones. La mayor parte de colas animales se fabrican basándose en huesos o cueros de ganado. Se clasifican en dos tipos principales: cola de huesos y cola de cuero. La diferencia entre ambos tipos se debe principalmente a los diferentes métodos de tratamiento.

El colágeno constituye el 30% de toda materia orgánica del cuerpo de un animal, o el 60% de las proteínas totales del cuerpo, por lo cual es obvio que se pueden utilizar muchos tejidos como materia prima para la fabricación de gelatina. Los tejidos con las mayores cantidades de colágeno, que se pueden encontrar entre los subproductos son usualmente las pieles y los huesos.

Las colas y gelatinas contienen normalmente un porcentaje mayor de agua que de colágeno o gelatina. Pueden contener también una pequeña cantidad de grasa, una muestra de gelatina tiene varios pesos moleculares. La distribución de pesos moleculares de la gelatina determina características como la dispersabilidad en agua, la viscosidad, la adherencia y la resistencia de los geles, la rigidez de los geles depende de la concentración de gelatina, tiempo de maduración y temperatura.

Para la elaboración del adhesivo de origen animal a base de huesos se determinaron las etapas comunes en el proceso de preparación, éstas constituyeron la base fundamental para conformar el pegamento. A continuación se definen los ingredientes y los pasos que la constituyen.

4.3.2.1.1 Ingredientes y dosificación

El adhesivo de origen animal está constituido por tres componentes: agua, huesos y sal, estos fueron mezclados en masa a través de la dosificación expresada en la Tabla 1.

Material	Cantidad (gr)
Huesos	100
Agua	560
Sal	5

Tabla No 3. Componentes del adhesivo de origen natural

4.3.2.1.2 Procedimiento de preparación

A continuación se presenta la secuencia de pasos para la elaboración del adhesivo de origen animal usando la información de la Tabla 1, algunos de éstos son ilustrados en la Figura 6.

- Paso 1: Limpie los huesos para extraer la mayor parte de grasa que se encuentra en su exterior, el proceso de desengrase en frío (agua) perjudica menos al colágeno y hace posible la obtención una mayor cantidad de este producto. Figura 6-a
- Paso 2: Vierta los huesos sobre el agua a fuego medio y deje hervir. Ver Figura 6-b.
- Paso 3: Una vez que alcance punto de ebullición agregue la sal y mezcle. Figura 6-c.
- Paso 4: Mantenga el producto hasta que la solución se torne en una liquido viscoso y consistente. Deje enfriar. Figura 6-d.

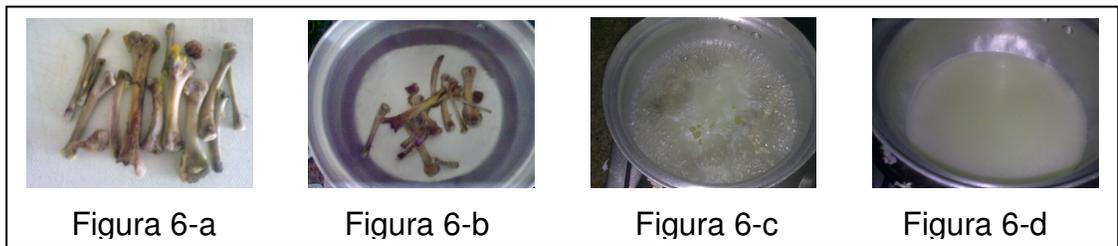


Figura 6. Adhesivo de origen animal

El calor convierte el colágeno en cola y el agua la extrae de los huesos. De esta forma se obtiene la cola como una sucesión de soluciones diluidas en forma de gelatina. Los resultados obtenidos de este tratamiento dieron como resultado un adhesivo que está conformado en su mayor parte por agua de tal modo que sus propiedades de adhesión sobre el material no fue el mas optimo o el que se requiere para estos tipos de materiales, además el adhesivo se degrada, lo que tomado en sentido literal significa que se reduce de una calidad mas alta a otra más baja y por otra parte el proceso de fabricación dispone de gran cantidad de tiempo alrededor de 6 horas para finalmente adquirir 400 mililitros de material que se utilizaron en la obtención de 3 muestras únicamente por lo que quiere decir que para obtener las 65 muestras se haría necesario procesar 9 litros de este adhesivo y una cantidad mayor en horas de tratamiento, por lo cual finalmente quedo descartado este tipo de adhesivo para la fabricación de la cantidad total de muestras.

4.3.2.2 Adhesivos de origen vegetal

Los pegamentos naturales han sido sustituidos en muchas aplicaciones por los sintéticos, pero aún se siguen utilizando en grandes cantidades almidones, gomas, celulosa, betunes y cementos de goma naturales.

Entre los pegamentos y/o adhesivos vegetales se encuentran los almidones y las dextrinas derivadas de maíz, trigo, patatas (papas) y arroz, que se utilizan para pegar papel, madera y cartón; los pegamentos de celulosa, empleados para pegar tela, papel y caucho. Los almidones, o llamados colas vegetales, de harinas o engrudos, proceden de arroz y maíz.

Un adhesivo de origen natural es el llamado engrudo que es una solución o pasta viscosa obtenida cuando una suspensión de almidón (maicena) en agua es calentada a una temperatura a la cual sus gránulos absorben agua y se hinchan aumentando varias veces su tamaño original, el aumento de tamaño de las partículas está directamente asociado a la viscosidad resultante de la solución o pasta. Para el caso del almidón (maicena) la temperatura de gelatinización es aproximadamente 60° C.

Para la elaboración del engrudo se definió una receta, la cual fue obtenida a partir de una amplia búsqueda en la que se obtuvo un conjunto de recetas, sobre las cuales se determinó las etapas comunes en el proceso de preparación, éstas constituyeron la base fundamental para conformar la receta propuesta. A continuación se definen los ingredientes y los pasos que la constituyen.

4.3.2.2.1 Ingredientes y dosificación

El engrudo está constituido por tres componentes: agua, maicena y vinagre, estos fueron mezclados en masa a través de la dosificación expresada en la Tabla 2.

Material	Cantidad (gr)
Maicena	200
Agua	430
Vinagre	65

Tabla No 4. Componentes del engrudo (origen vegetal)

4.3.2.2.2 Procedimiento de preparación

A continuación se presenta la secuencia de pasos para la elaboración del engrudo usando la información de la Tabla 2, algunos de éstos son ilustrados en la Figura 7.

- Paso 1: Vierta el almidón sobre el 75% del agua y mezcle en frío. Ver Figura 7-a.
- Paso 2: Caliente la solución a fuego medio (temperatura aproximada 60° C) y mezcle constantemente durante 10 minutos. Ver Figura 7-b.
- Paso 3: Agregue a la solución el 25% del agua restante y mezcle constantemente durante 10 minutos hasta que la solución se torne en una pasta viscosa y consistente.
- Paso 4: Agregue el vinagre y mezcle uniformemente. La mezcla resultante constituye el engrudo. Figura 7-c.



Figura 7. Adhesivo de origen vegetal (engrudo)

4.3.2.2.3 Mezcla de materiales

Para la elaboración de las muestras es necesario realizar la mezcla entre los diferentes materiales y el engrudo. En la tabla 3 se presentan las proporciones de cada uno de los componentes, en este caso se hizo uso de los materiales al 100% para que de esta manera con una pequeña cantidad de pruebas se logre determinar si el adhesivo presenta los resultados esperados.

Material	Composición	Adhesivo (ml)
Icopor	100%	80
Cartón	100%	80
Corcho	100%	80
Tela	100%	80
Caucho	100%	80

Tabla No 5. Cantidad de adhesivo y material a adherir

Esta dosificación fue obtenida a través de observación, usando como parámetro básico la manejabilidad de la mezcla, la cual está directamente asociada a la cantidad de engrudo participante, variable que se sensibilizó hasta obtener la mezcla que garantizó la facilidad constructiva de la unidad.

La mezcla fue realizada manualmente a través de un proceso de amasado orientado a la distribución uniforme del engrudo sobre los 5 materiales evitando la formación de grumos, éste mezcla tiene una duración aproximada de 5 minutos,

periodo al final del cual se obtiene una masa que posteriormente es introducida en un molde de 10 x 10 cm para aplicarlo una presión sobre su parte posterior para que de esta manera se compacte el material, es necesario incluir un plástico entre la muestra y el molde para evitar que el material se adhiera al molde y se pueda manipular de manera segura sin deteriorar o destruir la prueba al momento de extraerlo del molde.. En la secuencia de fotos de la Figura 8 se presenta el proceso de mezcla con adhesivo Figura 8-a y sin adhesivo Figura 8-b



Figura 8. Proceso elaboración de muestra

Se realizaron 5 paneles o muestras iniciales de 10 x 10 cm con un espesor de 2,5 cm para analizar su consistencia y propiedades. Estas 5 muestras presentan unas características geométricas y morfológicas no homogéneas pero biológicamente adquirió microorganismos que hace que sean muestras inviables para este proyecto, debido a que se requiere un producto que no se pudra y no presente problemas de higiene para los espacios en los que pueda ser implementado.

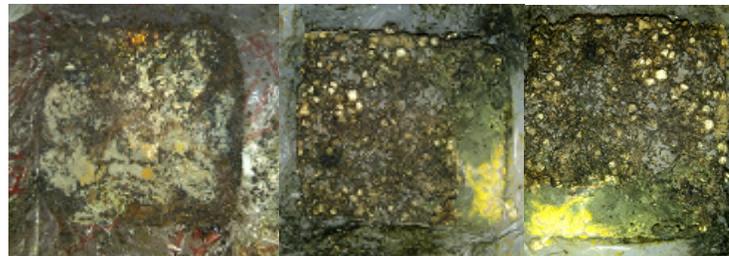


Figura 8-c Muestras con microorganismos

4.3.3 Adhesivos de origen sintético

Los adhesivos sintéticos se suelen clasificar de acuerdo con el tipo de resinas base que lleva en su composición, ya que ésta le confiere muchas de sus propiedades. Sin embargo, en la práctica es difícil la asignación de propiedades a una determinada sustancia, y se prefieren otras maneras de clasificación. La más sencilla y tradicional es la que se refiere al tipo de superficie al que van a ser

destinados; existen adhesivos sintéticos para superficies metálicas, para madera, cartón y papel, para plásticos, para cerámica, para piel y cuero.

Esta prueba se realizó con una clase de adhesivo a base de solventes que se dividen en no reactivos que son sustancias que se secan simplemente por evaporación del disolvente que contienen y reactivos que generalmente pueden ser de 1 o 2 componentes como en el caso de las lacas y su curamiento se efectúa al evaporarse el disolvente y empezar así la reacción entre el catalizador y la resina.

Para la elaboración del adhesivo sintético a base de solvente se requiere de una mezcla exacta entre alcopol y cobe que es el solvente, si se aplica en mayor o menor medida pierde sus propiedades de adhesión con diferentes materiales. A continuación se definen los ingredientes y los pasos que la constituyen.

4.3.3.1 Ingredientes y dosificación

El adhesivo de poliuretano está constituido por dos componentes: alcopol y cobe, estos fueron mezclados a través de la dosificación expresada en la Tabla 4.

Material	Cantidad (gr)
Alcopol	200
Cobe	150

Tabla No 6. Componentes del alcopol adhesivo

4.3.3.2 Procedimiento de preparación

A continuación se presenta la secuencia de pasos para la elaboración del adhesivo usando la información de la Tabla 4.

- Paso 1: Vierta al 100% el alcopol en un recipiente.
- Paso 2: Vierta sobre el recipiente el cobe en una proporción de 75% respecto a la cantidad de alcopol utilizado.
- Paso 3: Mezcle constantemente durante 10 minutos hasta que la solución se torne en un aspecto viscosa y consistente.

4.3.3.3 Mezcla de materiales

Para la elaboración de las muestras es necesario realizar la mezcla entre los diferentes materiales y el poliuretano. En la Tabla 4 se presentan las proporciones de cada uno de los componentes, en este caso se hizo uso de los materiales al 100% para que de esta manera con una pequeña cantidad de pruebas se logre determinar si el adhesivo presenta los resultados esperados.

Material	Composición	Adhesivo (ml)
Icopor	100%	50
Cartón	100%	50
Corcho	100%	50

Tabla No 7. Dosificación de aglutinante y material a aglutinar

Esta dosificación fue obtenida a través de observación, usando como parámetro básico la manejabilidad de la mezcla, la cual está directamente asociada a la cantidad de engrudo participante, variable que se sensibilizó hasta obtener la mezcla que garantizó la facilidad constructiva de la unidad.

La mezcla fue realizada manualmente a través de un proceso de amasado orientado a la distribución uniforme del engrudo sobre los 5 materiales evitando la formación de grumos, éste mezcla tiene una duración de 5 minutos, periodo al final del cual se obtiene una masa que posteriormente es introducida en un molde de 10 x 10 cm para aplicarlo una presión sobre su parte posterior para que de esta manera se compacte el material.

Se realizaron 3 muestras iniciales de 10 x 10 cm con un espesor de 2,5 cm para analizar su consistencia y propiedades. Estas 5 muestras presentaron unas características geométricas no homogéneas ya que en 3 de estas el material se deforma. La muestra de caucho no presentó adhesión en ninguna de sus partículas y además no permitió que el disolvente se evaporara motivo por el cual la muestra no se compacto. Este adhesivo fue descartado debido a los problemas anteriormente mencionados.



Figura 9. Muestras realizadas con adhesivo a base de solventes

4.3.4 Adhesivo sintético a base de agua

Finalmente se hizo la prueba con resina adhesiva de polivinil de acetato (PVA) a base de agua comúnmente conocido como colbon, específicamente es una emulsión líquida de aspecto lácteo que tiene pequeñísimas partículas de sustancias aceitosas o resinosas de polivinil acetato o polivinil acrilato (pva). Los pegamentos sintéticos, sí se utilizan solos o como modificantes de los pegamentos

naturales, tienen mejor rendimiento y una gama de aplicación más amplia que los productos naturales.

La elaboración del PVA está determinada por los siguientes elementos y el siguiente proceso, a continuación se definen los ingredientes y los pasos que la constituyen.

4.3.4.1 Ingredientes y dosificación

El polivinil de acetato (PVA) está constituido por tres componentes: acetato de polivinilo (PVA) referencia 295, dibutiltalato y metilcelulosa, estos fueron mezclados en masa a través de la dosificación expresada en la Tabla.

Material	Cantidad (gr)
PVA	182
Dibutiltalato	12
Metilcelulosa	10

Tabla No 8. Componentes del PVA

4.3.4.2 Procedimiento de preparación

A continuación se presenta la secuencia de pasos para la elaboración del PVA usando la información de la Tabla 6.

- Paso 1: En un recipiente plástico mezclar estos tres ingredientes en orden.
- Paso 2: Agitar continuamente, preferiblemente con una batidora si es en pequeñas cantidades, para grandes cantidades utilizar un motor agitador de 2 caballos de fuerza.
- Paso 3: Se envasa en recipientes plásticos. Figura 10.



Figura 10. PVA

4.3.4.3 Mezcla de materiales

Para la elaboración de las muestras es necesario realizar la mezcla entre los diferentes materiales y el PVA. En la Tabla se presentan las proporciones de cada uno de los componentes, en este caso se hizo uso de los materiales al 100% para que de esta manera con una pequeña cantidad de pruebas se logre determinar si el adhesivo presenta los resultados esperados.

Material	Composición	Adhesivo (ml)
Icopor	100%	50
Cartón	100%	50
Corcho	100%	50
Tela	100%	50
Caucho	100%	50

Tabla No 9. Dosificación de aglutinante y material a aglutinar

Esta dosificación fue obtenida a través de observación, usando como parámetro básico la manejabilidad de la mezcla, la cual está directamente asociada a la cantidad de PVA participante, variable que se sensibilizó hasta obtener la mezcla que garantizó la facilidad constructiva de la unidad.

La mezcla fue realizada manualmente a través de un proceso de amasado orientado a la distribución uniforme del PVA sobre los 5 materiales evitando la formación de grumos, éste mezcla tiene una duración de 7 minutos, periodo al final del cual se obtiene una masa que posteriormente es introducida en un molde de 10 x 10 cm que contiene un plástico para de esta manera evitar que el material mezclado se adhiera al molde, luego se aplica una presión sobre su parte posterior para que de esta manera se compacte el material . En la secuencia de fotos de la Figura 11 se presenta el proceso de mezcla y el aglomerado en estado pastoso.



Figura 11. Proceso elaboración de las muestras

Se realizaron 5 paneles o muestras iniciales de 10 x 10 cm con un espesor de 2,5 cm ya que habitualmente en el campo de la acústica los paneles desarrollados están en función de 1 pulgada, por ende este espesor se determino de la misma manera para estar acorde con los estándares en cuanto a dimensiones de los paneles en la industria.

Estas 5 muestras presentan una características geométricas y morfológicas homogéneas esta característica hace que este adhesivo se viable para la elaboración de las 65 muestras determinadas desde el inicio del proyecto con el fin de seleccionar el componente de mejor coeficiente de absorción. En la figura 12 se muestran las diferentes muestras realizadas.



Figura 12. Muestras realizadas

Posteriormente se realizaron las 65 muestras circulares con un diámetro de 35 mm que es el diámetro que tiene el tubo de impedancias. Con las 65 muestras se hace necesario medirlas en un tubo de impedancias bajo la Norma ISO 10534 Parte 1.



Figura 12 a) Muestras circulares

4.4 MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN EN TUBO DE IMPEDANCIAS MEDIANTE ISO 10534-PARTE 1: MÉTODO DE ONDAS ESTACIONARIAS.

4.4.1 Principio

El objeto de prueba se monta en el final de un tubo de impedancia que sea recto, rígido, y liso con un ajuste perfecto. La onda sonora plana sinusoidal incidente p_i es generada por un altavoz en el otro extremo del tubo. La superposición $p = p_i + p_r$ de la onda incidente p_i con la onda reflejada en el objeto de prueba, p_r , produce un patrón de ondas estacionarias en el tubo. El producto de evaluación de las cantidades medidas (ya sea en forma lineal o en una escala

logarítmica) de las amplitudes de presión sonora $|p(X_{\min})|$ a la presión mínima (uno o más), y $|p(X_{\max})|$ a la presión máxima.

Estos datos son suficientes para determinar el coeficiente de absorción. Además, la distancia $X_{\min 1}$ de la primera presión sonora mínima en el plano de referencia $X = 0$ (que normalmente es el plano donde se coloca la superficie del objeto de prueba) y la longitud de onda λ_0 debe ser determinado para dar el factor de reflexión r y la impedancia Z o la admisión (o admitancia) $G = 1/Z$.

4.4.2 Condiciones generales

El método de esta parte de ISO 10534 se basa principalmente en el hecho de que existen ondas plana incidentes y sólo refleja ondas que se propagan paralelamente al eje del tubo en la sección de prueba del tubo (la sección donde se explora el patrón de ondas estacionarias). La generación de otras formas de onda (los modos más altos) se evitará. Se supone también que la onda sonora se propaga en el tubo sin atenuación.

4.4.3 Equipo de prueba

El equipo de prueba consistirá en:

Tubo de impedancia PASCO WA=9612 (Figura 13-a), muestras de prueba de ensayo (Figura 13-b), un micrófono de sonda con dispositivo para mover y colocar el micrófono de sonda (Figura 13-c), equipo de procesamiento de señal para la señal del micrófono (Figura 14-a), un altavoz (Figura 14-b), un generador de señal (Figura 14-c).

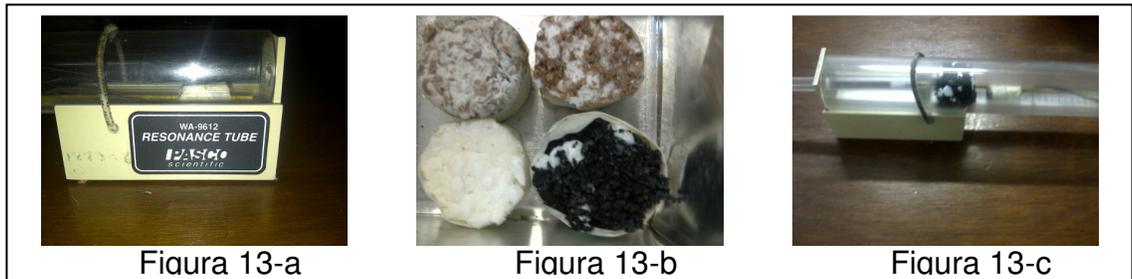


Figura 13. Equipamiento

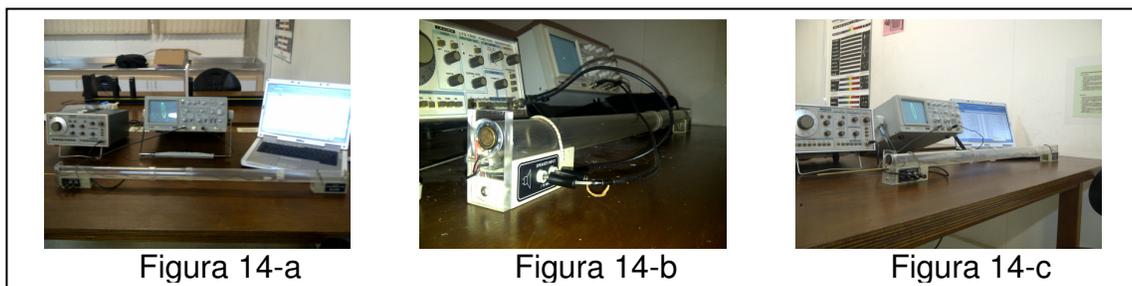


Figura 14. Equipamiento

4.4.4 Montaje, conexión y calibración

Se debe conectar el generador de frecuencias (canal 1) hacia el parlante, luego se conecta el micrófono al osciloscopio (canal 2) y de nuevo del generador de frecuencias (canal 1) a la entrada del osciloscopio (canal 1) esta conexión se debe hacer así debido a que el generador solo dispone de un canal. Figura 15.

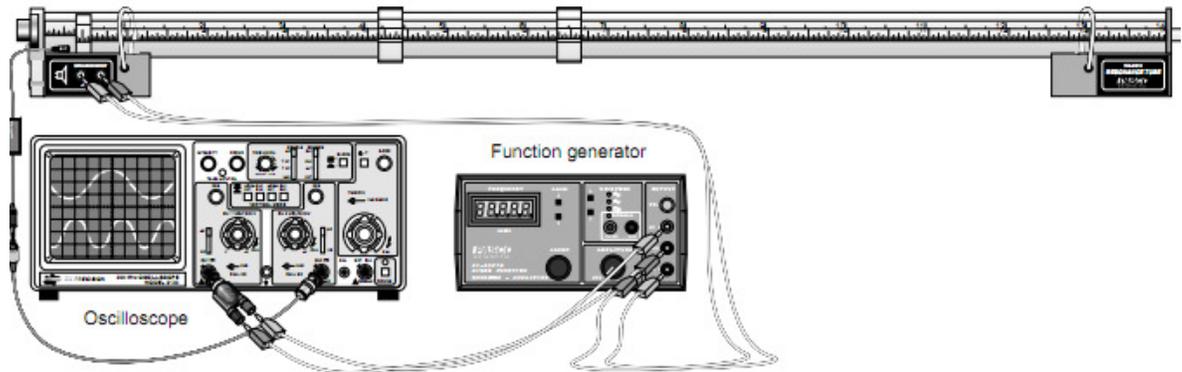


Figura 15. Montaje y conexión

- Luego se comprueba que la frecuencia que emite el generador llegue correctamente al parlante
- Se verifica que el osciloscopio reciba las señales del generador y las señales que recibe el micrófono.
- Se configuro la amplitud del generador a 2.5 milivoltios
- Se calibra el generador para que trabaje con frecuencias de 250,500,1000, 2000 y 4000 Hz en ondas seno
- Se comprobó que el generador de señales emite la señal configurada , mediante su conexión al osciloscopio y corresponde a la visualizada en el osciloscopio
- Se configura el osciloscopio a una velocidad de barrido de 5ms/div y una ganancia en el canal de 0,5 v/div

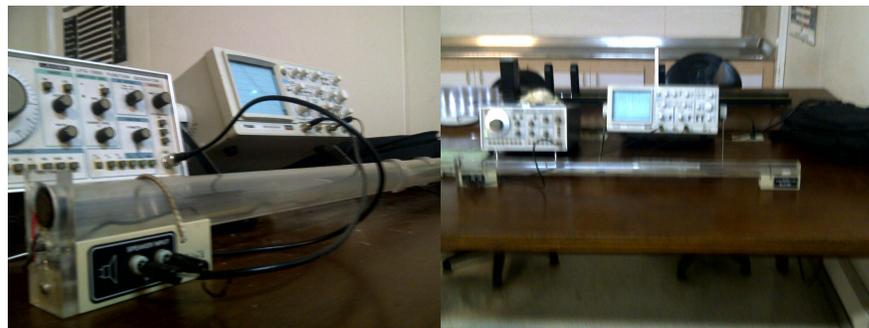


Figura 16. Montaje ensamblado

4.4.5 Determinación del coeficiente de absorción acústica

4.4.5.1 Procedimiento

- El coeficiente de absorción de un material puede ser afectada muy fuertemente por las condiciones de montaje, y estos deben ser cuidadosamente controladas y se especifica con el fin de obtener resultados consistentes. Los requisitos generales son que la muestra encaje cómodamente en el soporte, además la muestra debe quedar totalmente paralela al parlante evitando cualquier posible inclinación para garantizar la incidencia normal.
- . Se requiere que las muestras tenga un diámetro de 35 mm para que de esta manera al momento de ingresar al tubo lo hagan con la presión necesaria, la muestra se debe introducir con el embolo que posee el tubo de impedancias Figura 17-a. Muestra introducida en el tubo. Figura 17-b.

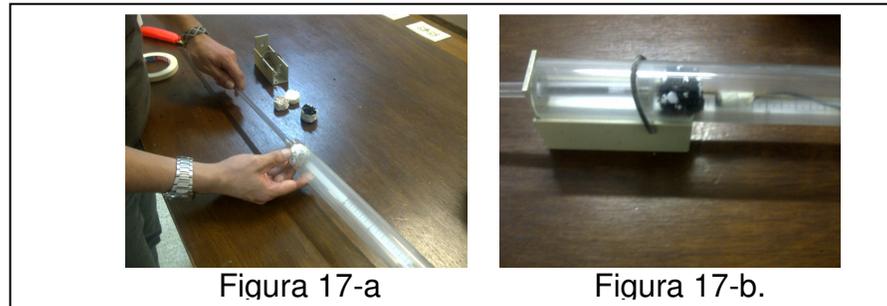


Figura 17. Montaje de muestra.

- El micrófono se colocó dentro del tubo a 1 mm de la superficie de la muestra
- Se activó el modo xy del osciloscopio para poder visualizar las figuras de Lissajous ya que este nos ayuda a determinar el desfase de 90° que es lo requerido para esta medición. Figura 18.



Figura 18. Desfase de 90°

- Posteriormente se desactiva el modo xy para obtener una lectura acerca de la amplitud de la onda, esta amplitud se calcula midiendo la cantidad de cuadros de la grilla del osciloscopio, cada cuadro es de 0,5v. Figura 19.



Figura 19. Amplitud

- Luego se tiene que determinar el $(A+B)$ que es la máxima presión (antinodo) que se logra haciendo que el tubo entre en resonancia formándose de esta manera ondas estacionarias, esta señal siempre se obtuvo a 1mm de la muestra en las 65 muestras
- Luego se tiene que determinar el $(A-B)$ que es la mínima presión correspondiente a la amplitud del nodo, esto se logro desplazando el micrófono en dirección opuesta a la muestra hasta obtener en el osciloscopio la primera con menor amplitud.
- El procedimiento se repite pero configurando las frecuencias en 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz
- Se realizaron 8 mediciones por cada frecuencia en cada una de las 65 muestras.
- Teniendo los datos se realizaron los cálculos correspondientes para obtener los coeficientes de absorción de las 65 muestras. Mediante las siguientes ecuaciones:
- La relación de presión máxima a presión mínima SWR (método de ondas estacionarias)

$$SWR = \frac{(A + B)}{(A - B)}$$

Ecuación 7.

- Luego de obtener la relación de presiones (SWR), se calculo el coeficiente de reflexión

$$R = \frac{B}{A} = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}$$

Ecuación 8.

- Al tener el valor del coeficiente de reflexión se halla el coeficiente de absorción sonora α para las frecuencias de 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz

$$\alpha = 1 - R^2 = \frac{(SWR - 1)^2}{(SWR + 1)^2}$$

Ecuación 9.

- Una vez obtenidos los 8 coeficientes de absorción α se promedian para cada una de las frecuencias y cada uno de los 65 materiales. Figura 20.

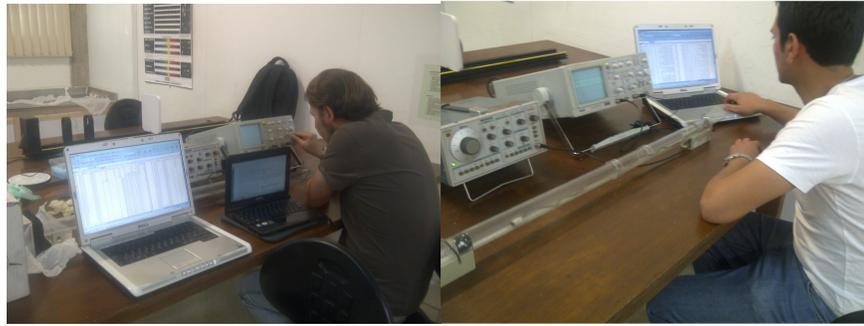


Figura 20. Promedio de datos

4.4.5.2 Informe de la medición

- a) Nombre del laboratorio de pruebas: Universidad Tecnológica de Pereira, laboratorio de Física Aula 3
- b) Fecha de la prueba: 12, 13 y 14 de Octubre de 2011
- c) El nombre del nombre del producto: Panel absorbente con materiales de residuo solido
- d) Descripción del objeto del ensayo, incluidas sus características acústicas pertinentes, es decir:

1) Los datos estructurales, tales como:

- Espesor total: 2.5 cm
- Superficie característica: Superficie porosa
- Dimensiones de las unidades estructurales: Diámetro de 3.5 cm x 2.5 cm de espesor
- Posiciones de los cortes de la muestra en relación con las líneas características de los objetos de prueba con estructuras laterales: Perpendiculares
- La estructura, el espesor y la porosidad de las cubiertas: Estructura conformada por la mezcla de 5 materiales para un total de 65 muestras, todas las muestras tienen superficie porosa y espesor de 2.5 cm.

2) Los datos del material, tales como:

- La densidad aparente: Material blando y poroso
- Los materiales de los componentes del objeto de prueba: Ver los materiales en los anexos

3) Características de construcción, tales como:

- Conexión de las capas entre sí: Unión mediante adhesivo a base de PVA

- e) Montaje de las condiciones del objeto de prueba en el tubo: Las muestras se introdujeron con el embolo y siempre totalmente perpendiculares al parlante, los objetos de prueba fueron cubiertos en sus lados para evitar desprendimiento del material.
- f) Número de muestras del objeto de prueba: 65
- g) Dimensiones interiores del tubo de impedancia y su forma: Tubo de forma circular con un diámetro de 3.5 cm y 1 metro de largo.
- h) El material y el grosor de las paredes del tubo: Material acrílico de 3 mm de espesor en sus paredes
- i) La representación de los resultados de la prueba en forma de cuadros y / o en forma gráfica: Ver anexos
- j) La temperatura: 24^oC
- o) Declaración de que las pruebas se realizaron de acuerdo con esta parte de ISO 10534: Estas pruebas se realizaron de acuerdo a la Norma ISO 10534 Parte 1: Método de ondas estacionarias

4.5 TABLA INFORMATIVA

Ver anexo 1.

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El producto de esta investigación es el diseño y construcción de un panel con materiales de residuo sólido que posee propiedades acústicas, los materiales que finalmente se escogieron para la muestra final fue Icopor al 75% y Caucho al 25%, esto debido a que el Icopor y el Caucho poseen cualidades debido a su composición fibrosa y granular para transformar la energía incidente en calor, además de la porosidad que se genera de la unión de estos dos materiales haciendo que la onda al incidir tenga que recorrer un mayor camino a través de sus poros.

Se realizó una estructura de madera que consta de un marco de madera liviana, en su interior se realizó una cuadrícula que finalmente será la que soporte la mezcla de los dos materiales anteriormente mencionados.



Figura 21. Estructura autoportante

El proceso de pegado o unión se realizó mediante un adhesivo de tipo orgánico, sintético; específicamente es una emulsión líquida de aspecto lácteo que tiene en suspensión pequeñas partículas de sustancias aceitosas o resinosas de polivinil acetato (PVA) más aditivos que sirven para darle ciertas características especiales, tales como: adhesividad, tiempo de secado, color, resistencia a la humedad y a la corrosión, posteriormente se le aplica una presión de 200 kilos para que de esta manera el panel se compacte de una manera óptima.



Figura 22. Panel absorbente

Una vez que el material está completamente seco y compacto se procede a recubrir el panel con un material (paño escorial) que está diseñado para darle un acabado elegante para que de esta manera pueda ser instalado en cualquier recinto como una herramienta que pueda ser estéticamente atractivo.

Características técnicas del Panel:

Peso: 2.2 Kilos

Dimensiones marco: 1m x 1,02 m

Espesor marco 3 cm

Dimensiones cuadrícula: 23 x 22 cm

Espesor material: 2.5 cm

Material: Icopor 75% - Caucho 25%

Características acústicas

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la medición del coeficiente de absorción (α) mediante el tubo de impedancias según Norma ISO 10534.

Medición 1

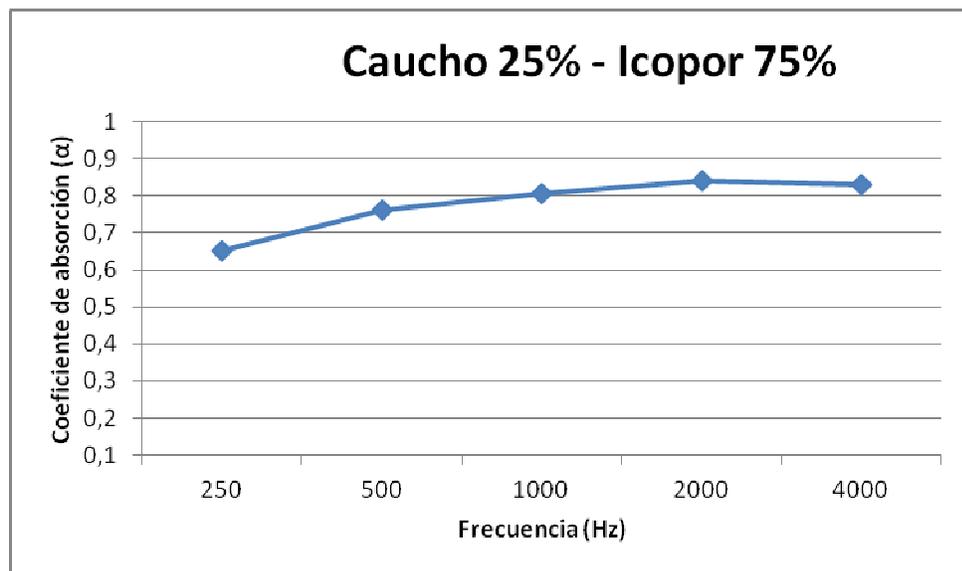


Figura 23. Medicion 1

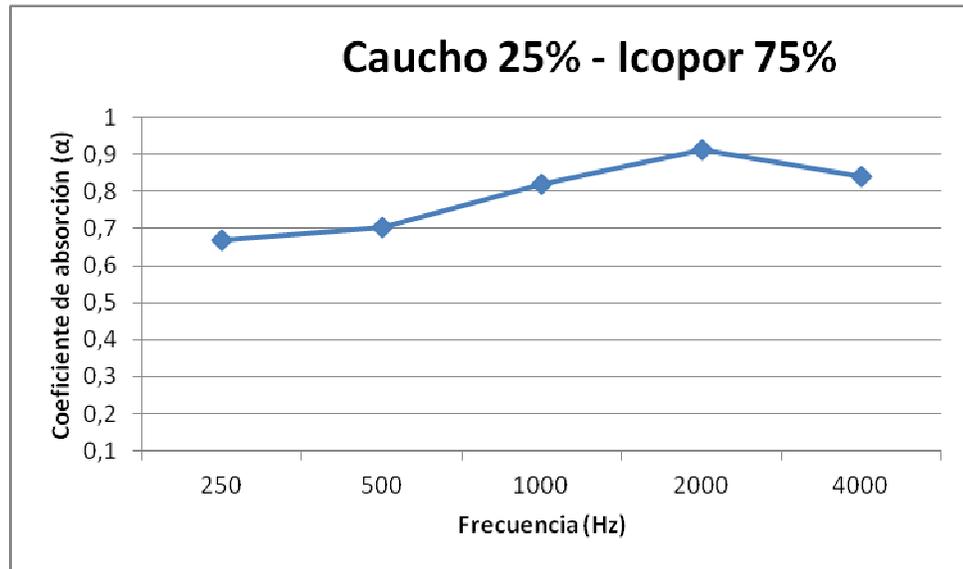
Medición 2

Figura 24. Medicion 2

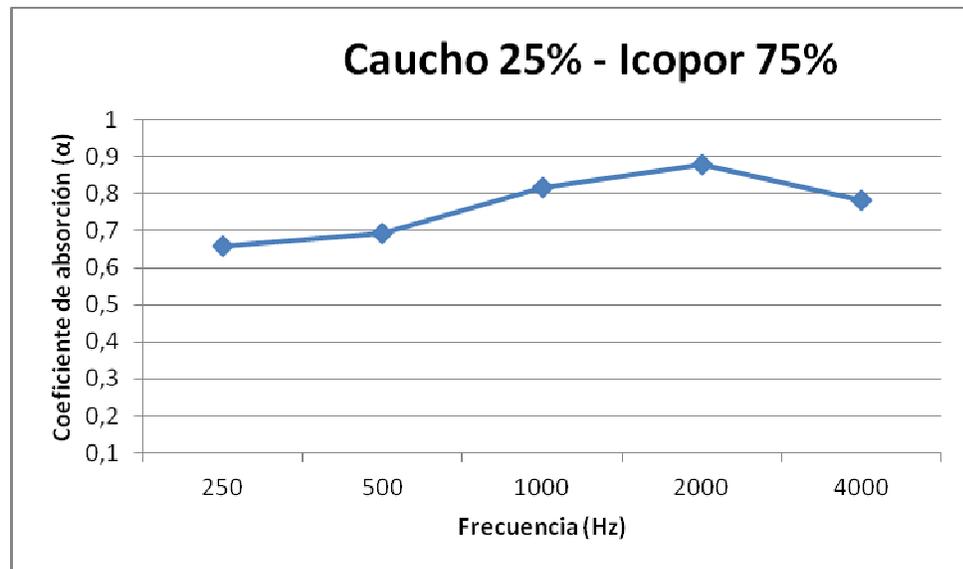
Medición 3

Figura 25. Medicion 3.

Medición 4

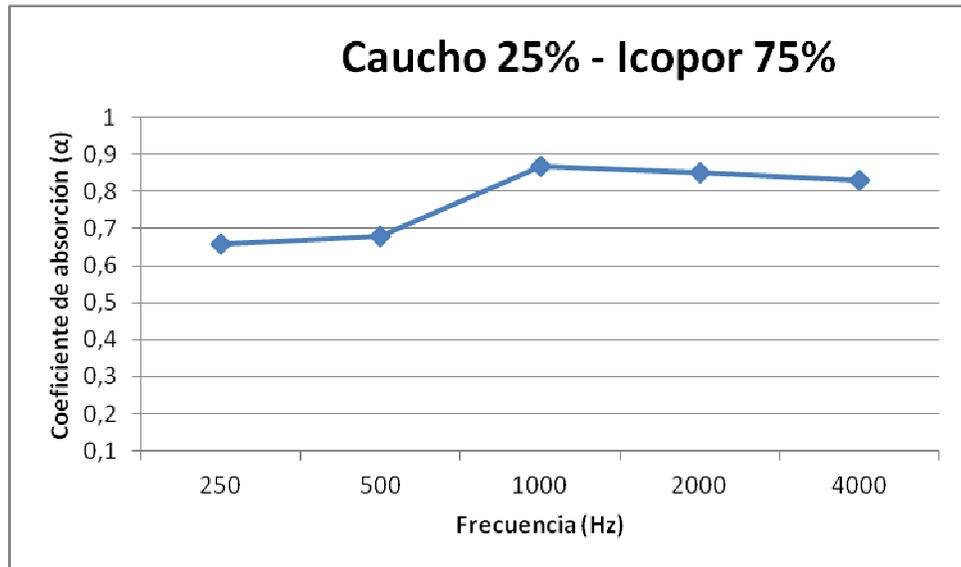


Figura 26. Medicion 4.

Promedio del coeficiente de absorcion del panel desarrollado

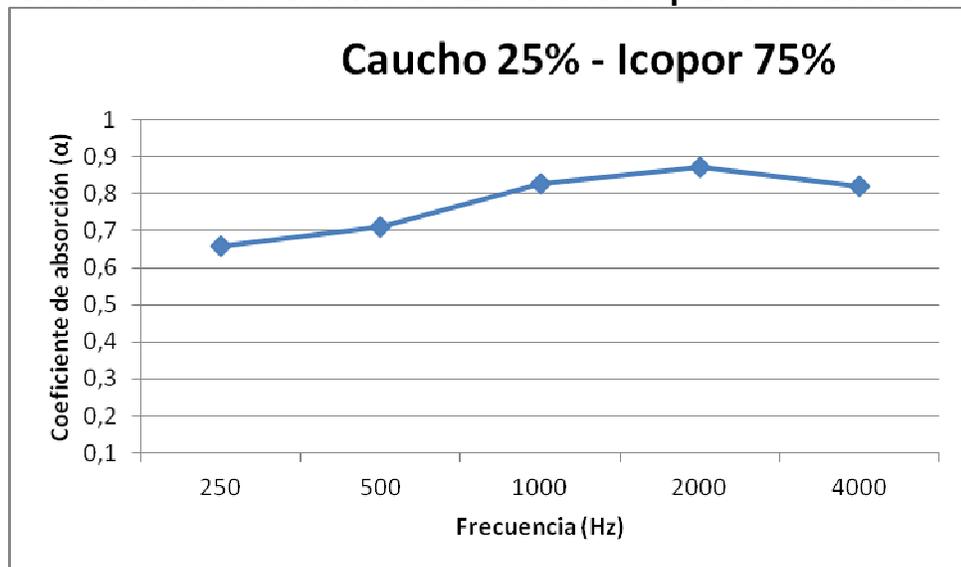


Figura 27. Promedio coeficiente de absorción.

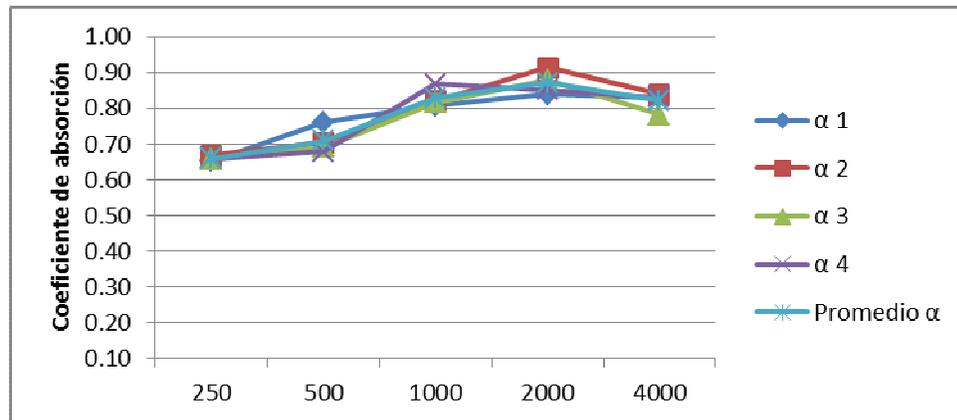


Figura 28. Coeficientes de absorción y promedio.

Comparación del coeficiente de absorción del panel objeto de esta tesis frente a los resultados aportados por diversas investigaciones y/o proyectos como por ejemplo el panel de residuos de desecho realizado por los estudiantes de Ingeniería de Sonido de la Universidad San Buenaventura como proyecto de grado, en este aspecto se realizarán comparaciones frente a cada uno de los coeficientes de absorción obtenidos para cada una de las frecuencias determinadas en la medición.

- El panel absorbente de materiales de residuo sólido a una frecuencia de 250 Hz presenta un coeficiente de absorción (α) de 0,6595, al comparar estos resultados con los datos obtenidos de las diferentes investigaciones se puede determinar que el coeficiente de absorción es superior al encontrado en la literatura debido a que en el tubo de impedancias es necesario contar con una longitud de tubo mayor a 2 metros para poder encontrar como mínimo 2 nodos y antinodos, hecho por el cual el coeficiente de absorción es mayor. Cabe destacar que en la investigación realizada con materiales de desecho se presenta un coeficiente de absorción de 0.77, este proyecto se realizó con el mismo tubo de impedancias que presenta el mismo diámetro (3 cm) y la misma longitud (100 cm).
- El panel absorbente de materiales de residuo sólido a una frecuencia de 500 Hz presenta un coeficiente de absorción (α) de 0,7087, aproximándose a los diferentes coeficientes de absorción de las diferentes investigaciones, respecto a la investigación realizada previamente con materiales de desecho en el mismo tubo se puede determinar que el coeficiente de absorción es menor debido a que los resultados obtenidos en aquel proyecto es de 0.93 demostrando de esta forma propiedades elevadas de absorción para esta frecuencia.
- El panel absorbente de residuo sólido a una frecuencia de 1000 Hz presenta un coeficiente de absorción (α) de 0,8277, esta frecuencia es la que más igualdad presenta en cuanto a los diferentes coeficientes de

absorción, este resultado comparado frente al panel de desecho que está determinado por 0,87 se aproxima bastante, hecho por el cual se puede concluir que el tubo de impedancias a 1000 Hz trabaja de manera optima ya que debido a la longitud de onda se pueden determinar varios cambios de presiones frente a presiones máximas (nodos y antinodos).

- El panel absorbente de residuo solido a una frecuencia de 2000 Hz presenta un coeficiente de absorción (α) de 0,8711, en esta banda de frecuencia su respuesta mejora respecto a los diferentes materiales debido a que es un material poroso, hecho por el cual hace que absorba gran parte de la energía que incide sobre el material, entre los diferentes coeficientes de absorción de los distintos proyectos para este frecuencia se encuentran valores cercanos a 0,7 y 0,6. Por lo cual se puede concluir que el panel absorbente de materiales de residuo solido tiene una respuesta plana en las frecuencias medias.
- El panel absorbente de residuo solido a una frecuencia de 4000 Hz presenta un coeficiente de absorción (α) de 0,8207, este valor hace que este panel absorbente presenta una respuesta plana en las frecuencias medias-altas, frente a los otros materiales un poco mas elevado pero sin ser un valor muy significativo de los valores encontrados en la literatura que contiene datos de los diferentes coeficientes de absorción de los distintos materiales.

5.1 ERRORES SISTEMÁTICOS

Existe una limitación en el rango de frecuencias bajas ya que el limite inferior esta determinado por la longitud del tubo por ejemplo para medir en 250 Hz dos mínimos de presión, la longitud del tubo debe ser de por lo menos dos metros ya que la norma expresa que la longitud $l=3/4 \lambda$, siendo λ la longitud de onda de la frecuencia inferior medida, esto quiere decir que el tubo utilizado en la medición no alcanza a tener dos mínimos de presión.

Entre los errores sistemáticos encontramos la temperatura y el ruido de fondo ya que estos son variables que no se pueden controlar por el espacio en el que se realiza la medición ya que son espacios que no están acústicamente acondicionados para este tipo de mediciones.

La calibración del sistema se realizo antes de iniciar la medición debido a que los equipos utilizados en la Universidad Tecnológica de Pereira no se encuentran totalmente calibrados.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Al obtener un total de 65 muestras en la investigación, se pudo determinar que compuestos son más efectivos al momento de funcionar como elementos absorbente de sonido.

La teoría de ondas estacionarias se aplica de manera práctica y efectiva para la obtención de los coeficientes de absorción de los diferentes materiales y muestras.

La medición de coeficientes de absorción mediante el tubo de impedancias es un método que requiere muestras con áreas superficiales pequeñas que facilitan la investigación de nuevos materiales acústicos, debido a que no es necesario realizar y contar con muestras de áreas grandes como en el método de cámara reverberante.

Es determinante realizar una estructura que soporte el material debido a que esta le da la posibilidad al panel de ser instalado en cualquier tipo de espacio y/o recinto.

Se demostró que es posible realizar un panel absorbente con materiales de residuo sólido que cuenta con propiedades acústicas y a su vez sea amigable con el medio ambiente.

El panel demuestra tener buenas propiedades como material absorbente de sonido en frecuencias medias.

La investigación demostró ser exitosa puesto que la absorción de sonido es constante y uniforme en todas las frecuencias.

Es necesario continuar la investigación de materiales alternativos tanto para el área de la acústica como para las otras áreas, ya que son proyectos que van en pro del medio ambiente y de la generación de materiales alternativos.

6.2 RECOMENDACIONES

Es muy importante que los materiales de residuo sólido sean descompuestos en partículas más pequeñas para que de esta manera estos puedan ser perfectamente adicionados y/o mezclados con los otros materiales

Para la manipulación, tratamiento y mezcla de los materiales es indispensable contar con los elementos de protección personal (EPP) además de elementos de

primeros auxilios ya que se manejan procesos en los que se puede incurrir en algún tipo de accidente.

Es importante recubrir la estructura de madera con un material frontal que proteja y adicionalmente le proporcione una estética amigable con el entorno en el que vaya a ser acondicionado.

Realizar las mediciones en ambientes controlados en cuanto a ruido de fondo de forma que estas variables no afecten la medición.

La calibración de los instrumentos antes de iniciar la respectiva medición es determinante ya que cambios en los valores de medición alteran los resultados obtenidos.

Realizar las mediciones del coeficiente de absorción para frecuencias bajas con un tubo de mayor longitud.

Para incrementar el coeficiente de absorción, en la instalación se puede crear un espacio o cámara de aire para aumentar el rendimiento de esta herramienta

7. BIBLIOGRAFÍA

1. CARRION Isbert Antoni, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos (2001)
2. ALMANZA, Giovanni y LASCANO, Daniel. Diseño, construcción y medición de un panel absorbente de sonido, con materiales de desecho. Tesis de grado Ingeniería de Sonido, Bogotá D.C. Universidad de San Buenaventura (2006).
3. RODRÍGUEZ MONTEJANO, Rosa María Propiedades acústica del caucho granular. Tesis(Doctoral), E.T.S.I. Industriales (UPM) (2003)
4. CELANO, Jorge Alberto. Paneles Termo-Acústicos a base de residuos de madera. Trabajo de grado Ingeniería Acústica. Posadas Argentina. Universidad Nacional de Misiones. 2008.
5. Audiotec. Aislante acústico para suelos y soluciones verticales (paredes) a partir de materiales reciclables de la automoción. Instituto de Acústica del CSIC. 2008
6. AIDICO, Paneles construtex para aislamiento acústico y térmico a bases de residuos textiles. Instituto tecnológico de la construcción. (2009)
7. CARRION, Isbert Antoni. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos (2001)
8. CARRION, Isbert Antoni. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos (2001)
9. NPS Simbología tradicional en sistemas de medición (1998)
10. BERANEK, Leo Leroy, Acústica (1961)
11. PEÑA, Ivan Dario, Manual de residuos sólidos y su tratamiento (2002)
12. SÁNCHEZ CALVO, Mariano .- Residuos : problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción.- Madrid : Mundi-Prensa, 2000
13. GIL BERCERO, J. R.; Gómez Antón, M^a Rosa.- Educación medioambiental: reciclaje y recuperación de residuos domésticos.-Madrid: UNED, 1995.
14. SUNS, Fonfria, Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos (1989)
15. RECUERO López Manuel, Ingeniería Acústica (1995)

16. CARRION Isbert Antoni, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos (2001)
17. ALTON, Everest. The master handbook of acoustics,
18. BERANEK Leo Leroy, Acústica (1961)
19. HIGINI Arau, ABC de la Acústica Arquitectónica (1999)
20. COX Trevor J, Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, design and application (2006)
21. NORMA ISO 10534-1 (1996) ICONTEC
22. NORMA ISO 10534-1 (1996) ICONTEC
23. NORMA ISO 10534-1 (1996) ICONTEC
24. NORMA ISO 10534-1 (1996) ICONTEC
25. SUNS Fonfria, Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos (1989)
26. CONTRERAS López, Alfonso ; Molero Meneses, Mariano .- Introducción al estudio de la contaminación y su control.- Madrid : UNED, 1995.
27. TEJADA, Julio Alberto, u. de Antioquia Recuperación y reciclado de EPS.
28. NORMA ISO 10534-1 (1996) ICONTEC

ANEXOS

TABLA INFORMATIVA DE MATERIALES

Por medio de esta tabla podrá comparar la absorción de sonido de cinco (5) materiales:

- Caucho
- Icopor
- Corcho
- Cartón
- Tela

En diferentes combinaciones; las cuales están distribuidas de la siguiente manera:

- Material al 100%
- Materiales al 50%-50%
- Materiales al 75%-25%
- Materiales al 25%-75%

La combinación da como resultado 35 muestras, pero se fabricaron 2 muestras de cada combinación para que el resultado fuera más próximo, esto quiere decir que se hicieron 65 muestras.

Para encontrar el coeficiente de absorción se midieron las muestras en un tubo de impedancia por octava en 5 frecuencias (250, 500, 1000, 2000 y 4000). Para calcular el coeficiente de absorción se tomo la presión máxima (A+B) y la presión mínima (A-B) para hallar el standing wave ratio (SWR):

$$SWR = (A+B) / (A-B)$$

Luego se encontró el coeficiente de reflexión de la potencia del sonido con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}$$

Y por último se calculo el coeficiente de absorción del sonido:

$$\alpha = 1 - R^2$$

A continuación se encuentra la medición de cada una de las 65 muestras con sus respectivas gráficas, cada muestra se midió cuatro (4) veces para hacer un

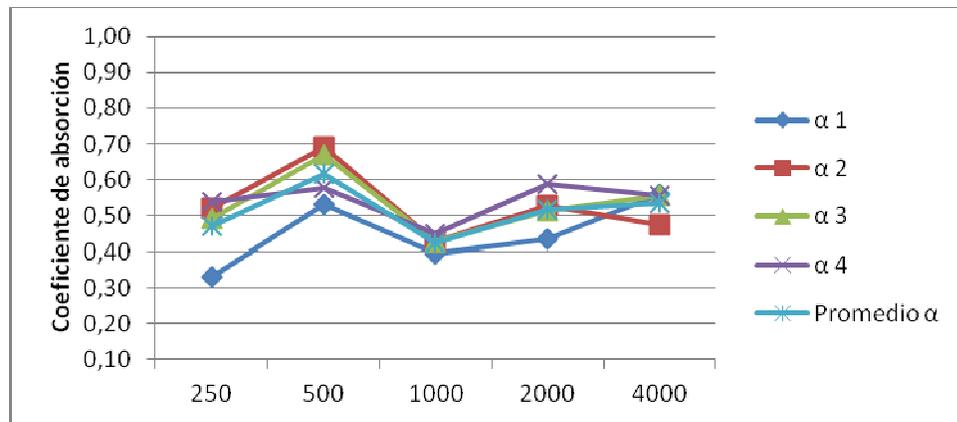
promedio del resultado. Este trabajo se hizo con el fin de poder analizar cual combinación es la más óptima para la fabricación de un panel absorbente.

Al final de este informe se dará a conocer la combinación más óptima para la realización de un panel absorbente.

ICOPOR AL 100%

F	A+B	A-B	SWR	R	α 1	A+B	A-B	SWR	R	α 2	A+B	A-B	SWR	R	α 3	A+B	A-B	SWR	R	α 4
250	1,00	0,10	10,00	0,82	0,33	2,20	0,40	5,50	0,69	0,52	2,40	0,40	6,00	0,71	0,49	2,10	0,40	5,25	0,68	0,54
500	6,40	1,20	5,33	0,68	0,53	4,20	1,20	3,50	0,56	0,69	5,20	1,40	3,71	0,58	0,67	5,20	1,10	4,73	0,65	0,58
1000	6,00	0,75	8,00	0,78	0,40	5,80	0,80	7,25	0,76	0,43	5,80	0,80	7,25	0,76	0,43	5,40	0,80	6,75	0,74	0,45
2000	2,83	0,40	7,08	0,75	0,43	2,70	0,50	5,40	0,69	0,53	2,80	0,50	5,60	0,70	0,51	2,30	0,50	4,60	0,64	0,59
4000	1,24	0,25	4,96	0,66	0,56	1,58	0,25	6,32	0,73	0,47	1,00	0,20	5,00	0,67	0,56	1,00	0,20	5,00	0,67	0,56

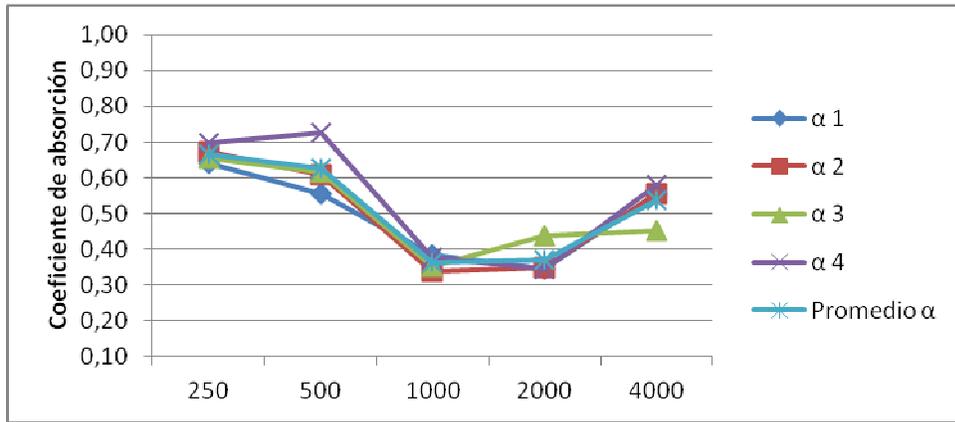
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,47
500 Hz	0,62
1000 Hz	0,42
2000 Hz	0,52
4000 Hz	0,54



CORCHO AL 100%

F	A+B	A-B	SWR	R	α 1	A+B	A-B	SWR	R	α 2	A+B	A-B	SWR	R	α 3	A+B	A-B	SWR	R	α 4
250	2,40	0,60	4,00	0,60	0,64	2,20	0,60	3,67	0,57	0,67	2,30	0,60	3,83	0,59	0,66	2,40	0,70	3,43	0,55	0,70
500	7,00	1,40	5,00	0,67	0,56	5,20	1,20	4,33	0,63	0,61	6,80	1,60	4,25	0,62	0,62	6,40	2,00	3,20	0,52	0,73
1000	5,80	0,70	8,29	0,78	0,38	5,80	0,60	9,67	0,81	0,34	5,80	0,63	9,21	0,80	0,35	6,80	0,80	8,50	0,79	0,38
2000	3,80	0,40	9,50	0,81	0,34	2,80	0,30	9,33	0,81	0,35	2,80	0,40	7,00	0,75	0,44	3,80	0,40	9,50	0,81	0,34
4000	1,10	0,22	5,00	0,67	0,56	1,00	0,20	5,00	0,67	0,56	1,00	0,15	6,67	0,74	0,45	1,40	0,30	4,67	0,65	0,58

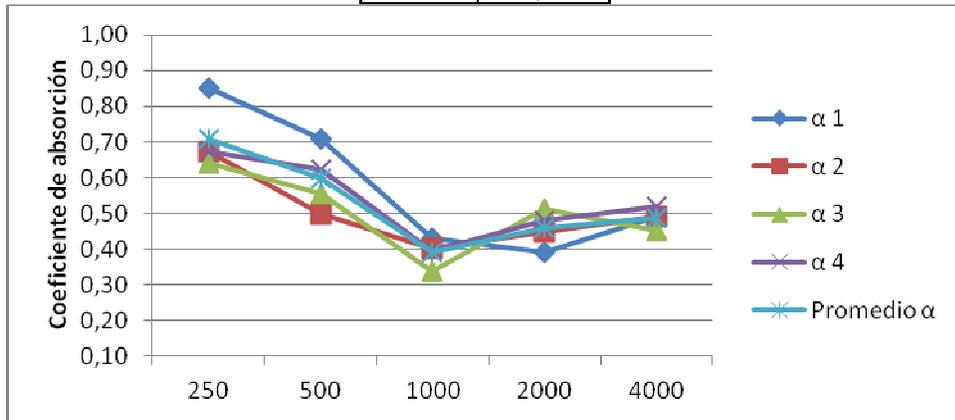
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,67
500 Hz	0,63
1000 Hz	0,36
2000 Hz	0,37
4000 Hz	0,54



CARTON AL 100%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	1,80	0,80	2,25	0,38	0,85	2,20	0,60	3,67	0,57	0,67	2,40	0,60	4,00	0,60	0,64	2,20	0,60	3,67	0,57	0,67
500	6,00	1,80	3,33	0,54	0,71	7,00	1,20	5,83	0,71	0,50	5,00	1,00	5,00	0,67	0,56	5,00	1,20	4,17	0,61	0,62
1000	5,70	0,80	7,13	0,75	0,43	5,50	0,70	7,86	0,77	0,40	5,80	0,60	9,67	0,81	0,34	5,60	0,70	8,00	0,78	0,40
2000	3,80	0,47	8,09	0,78	0,39	2,70	0,40	6,75	0,74	0,45	2,80	0,50	5,60	0,70	0,51	2,60	0,42	6,19	0,72	0,48
4000	3,60	0,60	6,00	0,71	0,49	1,20	0,20	6,00	0,71	0,49	1,20	0,18	6,67	0,74	0,45	1,10	0,20	5,50	0,69	0,52

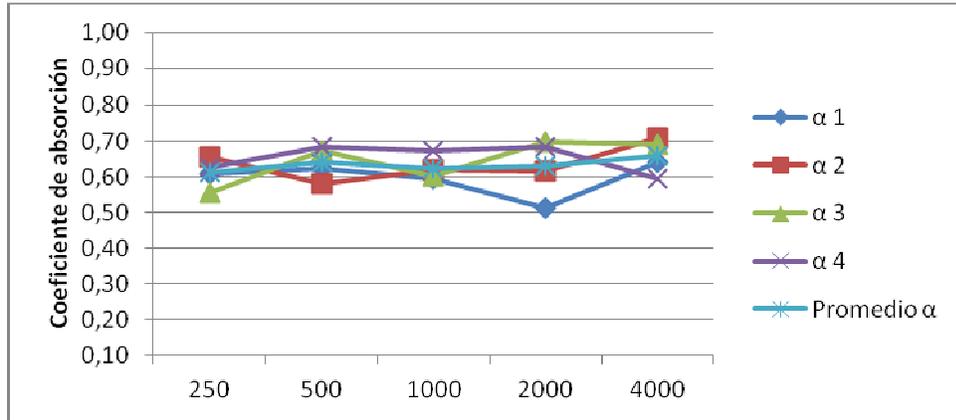
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,71
500 Hz	0,60
1000 Hz	0,39
2000 Hz	0,46
4000 Hz	0,49



TELA AL 100%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,60	0,60	4,33	0,63	0,61	2,30	0,60	3,83	0,59	0,66	2,50	0,50	5,00	0,67	0,56	3,30	0,80	4,13	0,61	0,63
500	4,60	1,10	4,18	0,61	0,62	4,20	0,90	4,67	0,65	0,58	4,40	1,20	3,67	0,57	0,67	4,30	1,20	3,58	0,56	0,68
1000	5,40	1,20	4,50	0,64	0,60	3,80	0,90	4,22	0,62	0,62	5,30	1,20	4,42	0,63	0,60	5,50	1,50	3,67	0,57	0,67
2000	5,60	1,00	5,60	0,70	0,51	3,40	0,80	4,25	0,62	0,62	3,10	0,90	3,44	0,55	0,70	3,20	0,90	3,56	0,56	0,69
4000	1,60	0,40	4,00	0,60	0,64	1,00	0,30	3,33	0,54	0,71	1,40	0,40	3,50	0,56	0,69	2,70	0,60	4,50	0,64	0,60

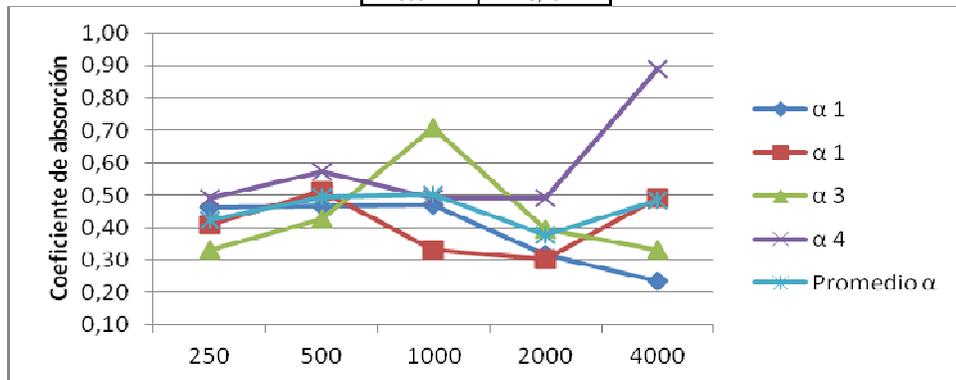
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,61
500 Hz	0,64
1000 Hz	0,62
2000 Hz	0,63
4000 Hz	0,66



CAUCHO AL 100%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,60	0,40	6,50	0,73	0,46	2,30	0,30	7,67	0,77	0,41	3,00	0,30	10,00	0,82	0,33	1,80	0,30	6,00	0,71	0,49
500	3,20	0,50	6,40	0,73	0,47	2,80	0,50	5,60	0,70	0,51	2,90	0,40	7,25	0,76	0,43	2,10	0,44	4,77	0,65	0,57
1000	1,90	0,30	6,33	0,73	0,47	3,00	0,30	10,00	0,82	0,33	2,00	0,60	3,33	0,54	0,71	1,80	0,30	6,00	0,71	0,49
2000	2,10	0,20	10,50	0,83	0,32	1,00	0,09	11,11	0,83	0,30	0,80	0,10	8,00	0,78	0,40	0,60	0,10	6,00	0,71	0,49
4000	0,30	0,02	15,00	0,88	0,23	0,30	0,05	6,00	0,71	0,49	0,30	0,03	10,00	0,82	0,33	0,10	0,05	2,00	0,33	0,89

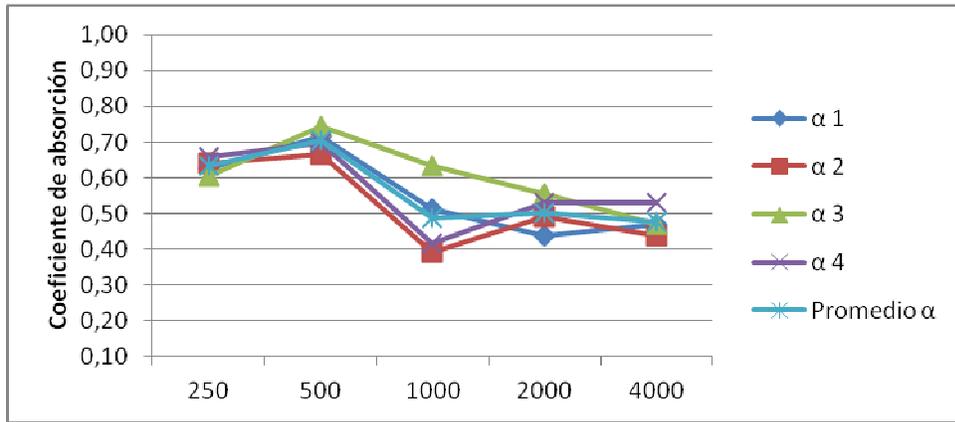
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,42
500 Hz	0,50
1000 Hz	0,50
2000 Hz	0,38
4000 Hz	0,49



CAUCHO 50% - ICOPOR 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,90	0,70	4,14	0,61	0,63	2,00	0,50	4,00	0,60	0,64	3,50	0,80	4,38	0,63	0,61	1,90	0,50	3,80	0,58	0,66
500	6,60	2,00	3,30	0,53	0,71	6,00	1,60	3,75	0,58	0,66	6,40	2,10	3,05	0,51	0,74	6,20	1,80	3,44	0,55	0,70
1000	5,60	1,00	5,60	0,70	0,51	6,50	0,80	8,13	0,78	0,39	5,30	1,30	4,08	0,61	0,63	6,70	0,90	7,44	0,76	0,42
2000	2,80	0,40	7,00	0,75	0,44	3,00	0,50	6,00	0,71	0,49	2,50	0,50	5,00	0,67	0,56	3,20	0,60	5,33	0,68	0,53
4000	3,80	0,60	6,33	0,73	0,47	4,20	0,60	7,00	0,75	0,44	3,80	0,60	6,33	0,73	0,47	4,30	0,80	5,38	0,69	0,53

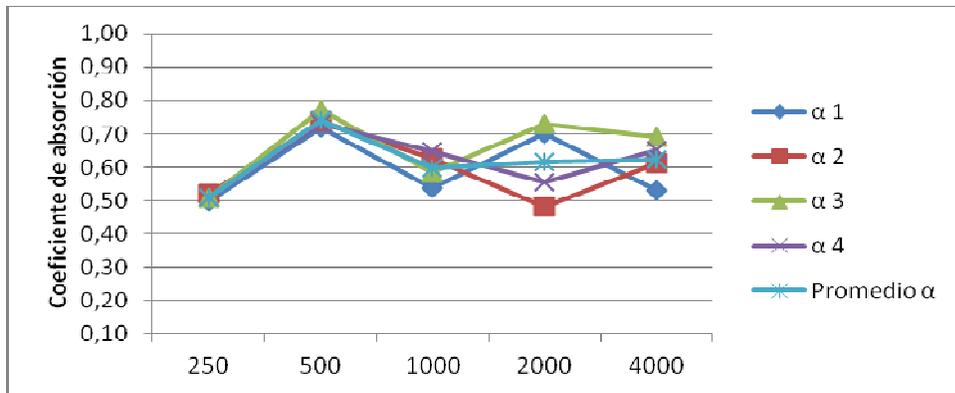
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,63
500 Hz	0,71
1000 Hz	0,49
2000 Hz	0,50
4000 Hz	0,48



CAUCHO 50% - CORCHO 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	4,10	0,70	5,86	0,71	0,50	4,40	0,80	5,50	0,69	0,52	5,10	0,90	5,67	0,70	0,51	5,10	0,90	5,67	0,70	0,51
500	6,50	2,00	3,25	0,53	0,72	6,20	2,00	3,10	0,51	0,74	6,20	2,20	2,82	0,48	0,77	6,00	1,90	3,16	0,52	0,73
1000	5,80	1,10	5,27	0,68	0,54	5,40	1,30	4,15	0,61	0,63	6,00	1,30	4,62	0,64	0,59	5,50	1,40	3,93	0,59	0,65
2000	1,70	0,50	3,40	0,55	0,70	3,70	0,60	6,17	0,72	0,48	1,90	0,60	3,17	0,52	0,73	3,50	0,70	5,00	0,67	0,56
4000	1,60	0,30	5,33	0,68	0,53	3,00	0,70	4,29	0,62	0,61	1,40	0,40	3,50	0,56	0,69	3,10	0,80	3,88	0,59	0,65

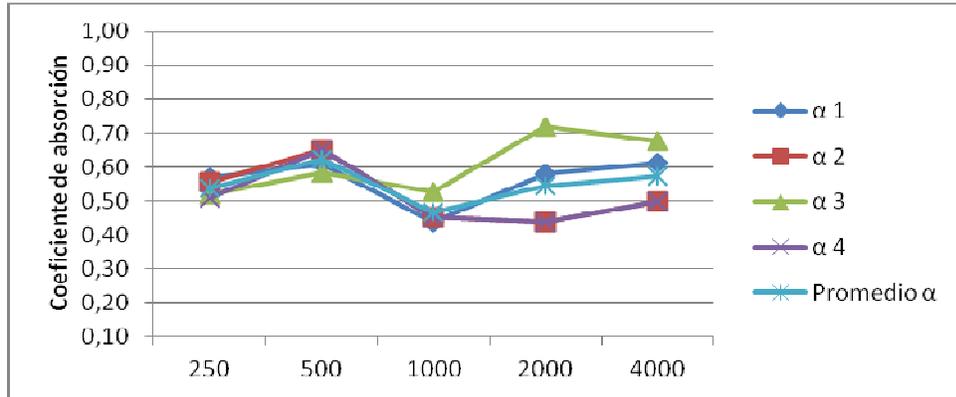
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,51
500 Hz	0,74
1000 Hz	0,60
2000 Hz	0,62
4000 Hz	0,62



CAUCHO 50% - CARTON 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,90	0,60	4,83	0,66	0,57	2,00	0,40	5,00	0,67	0,56	3,30	0,60	5,50	0,69	0,52	5,10	0,90	5,67	0,70	0,51
500	5,20	1,20	4,33	0,63	0,61	7,00	1,80	3,89	0,59	0,65	5,10	1,10	4,64	0,65	0,58	7,00	1,80	3,89	0,59	0,65
1000	5,60	0,80	7,00	0,75	0,44	6,00	0,90	6,67	0,74	0,45	5,40	1,00	5,40	0,69	0,53	6,00	0,90	6,67	0,74	0,45
2000	2,80	0,60	4,67	0,65	0,58	2,80	0,40	7,00	0,75	0,44	2,60	0,80	3,25	0,53	0,72	2,80	0,40	7,00	0,75	0,44
4000	3,00	0,70	4,29	0,62	0,61	3,50	0,60	5,83	0,71	0,50	2,90	0,80	3,63	0,57	0,68	3,50	0,60	5,83	0,71	0,50

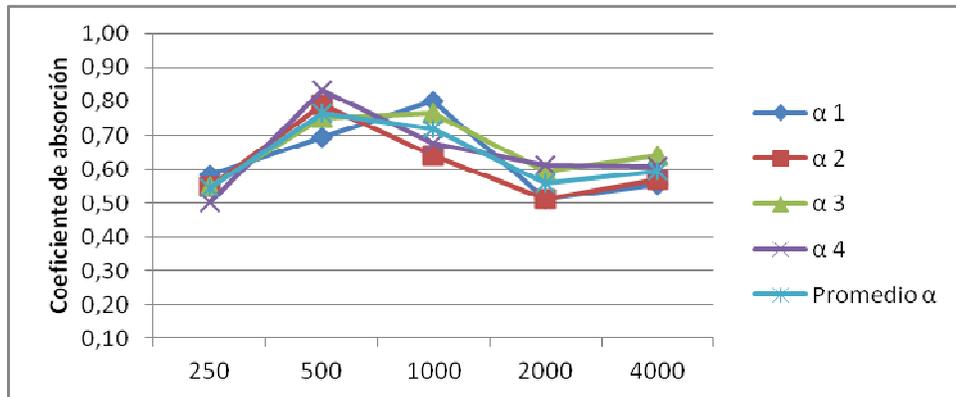
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,54
500 Hz	0,62
1000 Hz	0,47
2000 Hz	0,54
4000 Hz	0,57



CAUCHO 50% - TELA 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,10	0,60	5,17	0,68	0,54	3,30	0,70	4,71	0,65	0,58	3,20	0,70	4,57	0,64	0,59	2,70	0,60	4,50	0,64	0,60
500	4,10	1,50	2,73	0,46	0,78	4,20	1,40	3,00	0,50	0,75	4,80	1,60	3,00	0,50	0,75	5,20	1,60	3,25	0,53	0,72
1000	2,40	0,70	3,43	0,55	0,70	3,40	1,00	3,40	0,55	0,70	2,80	0,90	3,11	0,51	0,74	2,30	0,70	3,29	0,53	0,72
2000	3,40	0,60	5,67	0,70	0,51	3,20	0,60	5,33	0,68	0,53	2,90	0,50	5,80	0,71	0,50	2,80	0,50	5,60	0,70	0,51
4000	2,20	0,50	4,40	0,63	0,60	2,00	0,40	5,00	0,67	0,56	2,50	0,50	5,00	0,67	0,56	2,20	0,50	4,40	0,63	0,60

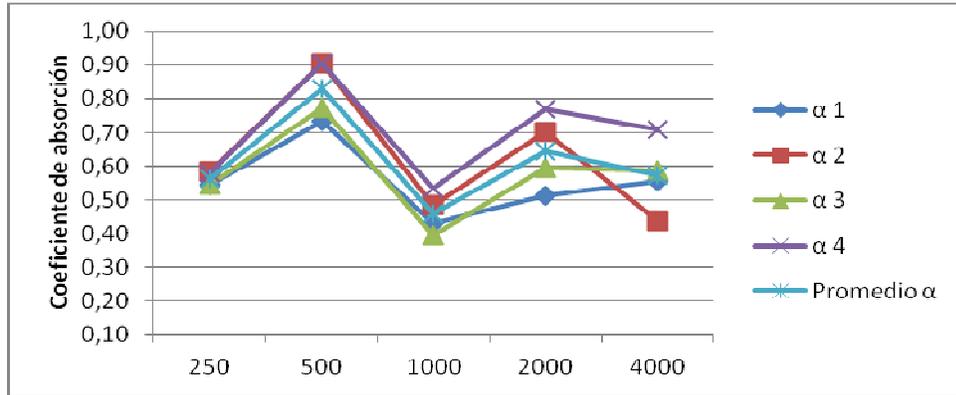
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,58
500 Hz	0,75
1000 Hz	0,71
2000 Hz	0,51
4000 Hz	0,58



ICOPOR 50% - CORCHO 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	4,10	0,80	5,13	0,67	0,55	5,10	1,10	4,64	0,65	0,58	3,60	0,70	5,14	0,67	0,55	4,70	1,00	4,70	0,65	0,58
500	5,00	1,60	3,13	0,52	0,73	3,60	1,90	1,89	0,31	0,90	4,80	1,70	2,82	0,48	0,77	3,80	2,00	1,90	0,31	0,90
1000	5,70	0,80	7,13	0,75	0,43	5,50	0,90	6,11	0,72	0,48	5,60	0,70	8,00	0,78	0,40	5,30	1,00	5,30	0,68	0,53
2000	2,80	0,50	5,60	0,70	0,51	1,70	0,50	3,40	0,55	0,70	2,70	0,60	4,50	0,64	0,60	2,00	0,70	2,86	0,48	0,77
4000	2,00	0,40	5,00	0,67	0,56	1,40	0,20	7,00	0,75	0,44	2,30	0,50	4,60	0,64	0,59	2,00	0,60	3,33	0,54	0,71

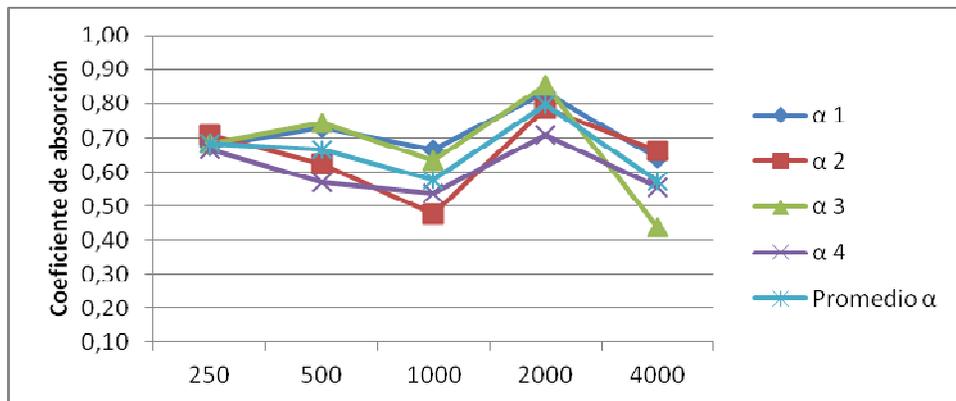
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,56
500 Hz	0,83
1000 Hz	0,46
2000 Hz	0,64
4000 Hz	0,57



ICOPOR 50% - CARTON 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	5,00	1,20	4,17	0,61	0,62	4,10	1,00	4,10	0,61	0,63	3,90	1,00	3,90	0,59	0,65	2,90	0,70	4,14	0,61	0,63
500	1,80	0,50	3,60	0,57	0,68	1,90	0,50	3,80	0,58	0,66	2,20	0,60	3,67	0,57	0,67	2,10	0,50	4,20	0,62	0,62
1000	3,30	0,70	4,71	0,65	0,58	3,60	0,60	6,00	0,71	0,49	2,80	0,60	4,67	0,65	0,58	2,60	0,50	5,20	0,68	0,54
2000	3,30	1,10	3,00	0,50	0,75	2,90	1,00	2,90	0,49	0,76	2,20	0,80	2,75	0,47	0,78	2,10	0,70	3,00	0,50	0,75
4000	2,10	0,40	5,25	0,68	0,54	2,20	0,40	5,50	0,69	0,52	1,90	0,40	4,75	0,65	0,57	1,80	0,30	6,00	0,71	0,49

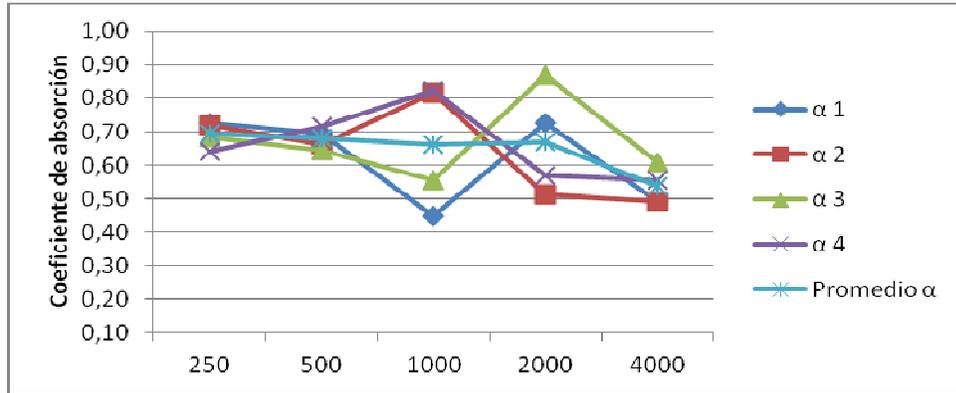
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,63
500 Hz	0,66
1000 Hz	0,55
2000 Hz	0,76
4000 Hz	0,53



ICOPOR 50% - TELA 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,50	1,10	3,18	0,52	0,73	2,60	0,80	3,25	0,53	0,72	2,50	0,70	3,57	0,56	0,68	2,80	0,70	4,00	0,60	0,64
500	6,60	1,90	3,47	0,55	0,69	6,40	1,70	3,76	0,58	0,66	6,70	1,70	3,94	0,60	0,65	6,60	2,00	3,30	0,53	0,71
1000	6,80	1,00	6,80	0,74	0,45	2,00	0,80	2,50	0,43	0,82	6,00	1,20	5,00	0,67	0,56	2,20	0,90	2,44	0,42	0,82
2000	1,60	0,50	3,20	0,52	0,73	2,80	0,50	5,60	0,70	0,51	1,50	0,70	2,14	0,36	0,87	2,90	0,60	4,83	0,66	0,57
4000	1,20	0,20	6,00	0,71	0,49	1,80	0,30	6,00	0,71	0,49	1,30	0,30	4,33	0,63	0,61	2,00	0,40	5,00	0,67	0,56

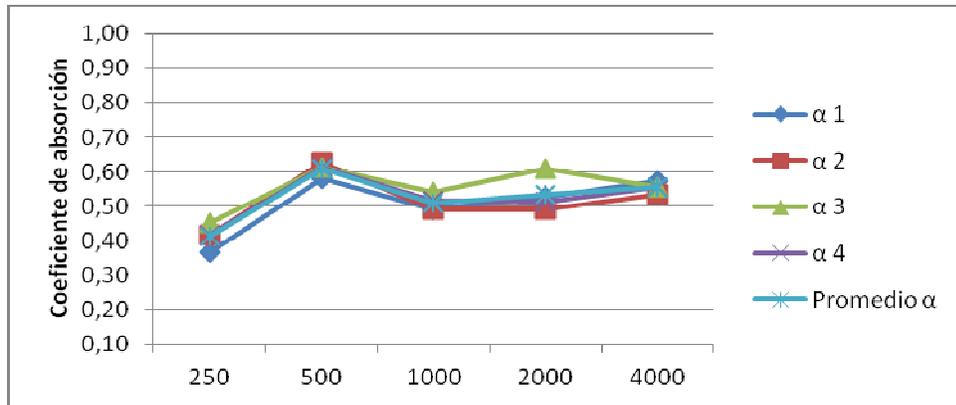
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,69
500 Hz	0,68
1000 Hz	0,66
2000 Hz	0,67
4000 Hz	0,54



CORCHO 50% - CARTON 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,20	0,40	8,00	0,78	0,40	2,60	0,40	6,50	0,73	0,46	2,40	0,30	8,00	0,78	0,60	2,20	0,30	7,33	0,76	0,42
500	5,10	1,10	4,64	0,65	0,58	5,20	1,20	4,33	0,63	0,61	4,90	1,10	4,45	0,63	0,60	5,10	1,10	4,64	0,65	0,58
1000	3,00	0,50	6,00	0,71	0,49	3,20	0,60	5,33	0,68	0,53	2,80	0,50	5,60	0,70	0,51	2,90	0,50	5,80	0,71	0,50
2000	1,50	0,30	5,00	0,67	0,56	1,90	0,40	4,75	0,65	0,57	2,00	0,40	5,00	0,67	0,56	1,90	0,40	4,75	0,65	0,57
4000	1,00	0,20	5,00	0,67	0,56	1,10	0,20	5,50	0,69	0,52	1,40	0,30	4,67	0,65	0,58	1,10	0,20	5,50	0,69	0,52

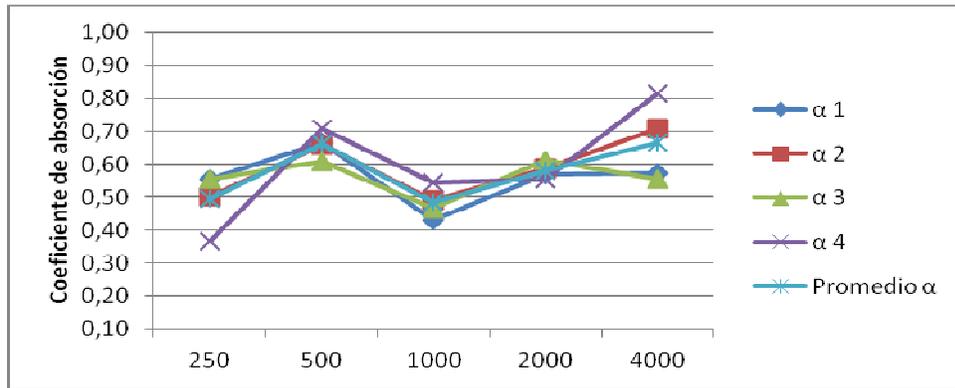
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,42
500 Hz	0,59
1000 Hz	0,51
2000 Hz	0,57
4000 Hz	0,54



CORCHO 50% - TELA 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	4,00	0,80	5,00	0,67	0,56	2,90	0,50	5,80	0,71	0,50	3,00	0,60	5,00	0,67	0,56	3,50	0,40	8,75	0,79	0,37
500	7,50	2,00	3,75	0,58	0,66	1,90	0,50	3,80	0,58	0,66	6,50	1,50	4,33	0,63	0,61	2,00	0,60	3,33	0,54	0,71
1000	6,40	0,90	7,11	0,75	0,43	4,20	0,70	6,00	0,71	0,49	6,40	1,00	6,40	0,73	0,47	4,10	0,80	5,13	0,67	0,55
2000	2,90	0,60	4,83	0,66	0,57	3,20	0,70	4,57	0,64	0,59	3,00	0,70	4,29	0,62	0,61	3,00	0,60	5,00	0,67	0,56
4000	0,95	0,20	4,75	0,65	0,57	1,00	0,30	3,33	0,54	0,71	1,00	0,20	5,00	0,67	0,56	1,00	0,40	2,50	0,43	0,82

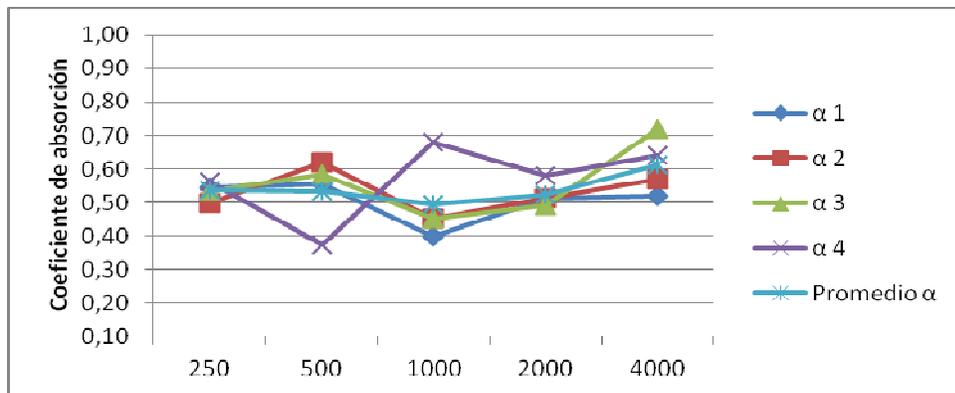
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,50
500 Hz	0,66
1000 Hz	0,48
2000 Hz	0,58
4000 Hz	0,66



CARTON 50% - TELA 50%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,60	0,50	5,20	0,68	0,54	2,40	0,50	4,80	0,66	0,57	2,60	0,50	5,20	0,68	0,54	2,10	0,40	5,25	0,68	0,54
500	5,10	1,00	5,10	0,67	0,55	4,60	0,90	5,11	0,67	0,55	5,00	0,90	5,56	0,69	0,52	4,90	0,90	5,44	0,69	0,52
1000	3,90	0,60	6,50	0,73	0,46	3,70	0,60	6,17	0,72	0,48	3,30	0,50	6,60	0,74	0,46	3,50	0,60	5,83	0,71	0,50
2000	4,10	0,80	5,13	0,67	0,55	3,90	0,70	5,57	0,70	0,52	3,40	0,60	5,67	0,70	0,51	3,70	0,70	5,29	0,68	0,54
4000	3,00	0,70	4,29	0,62	0,61	2,80	0,70	4,00	0,60	0,64	2,90	0,70	4,14	0,61	0,63	3,00	0,70	4,29	0,62	0,61

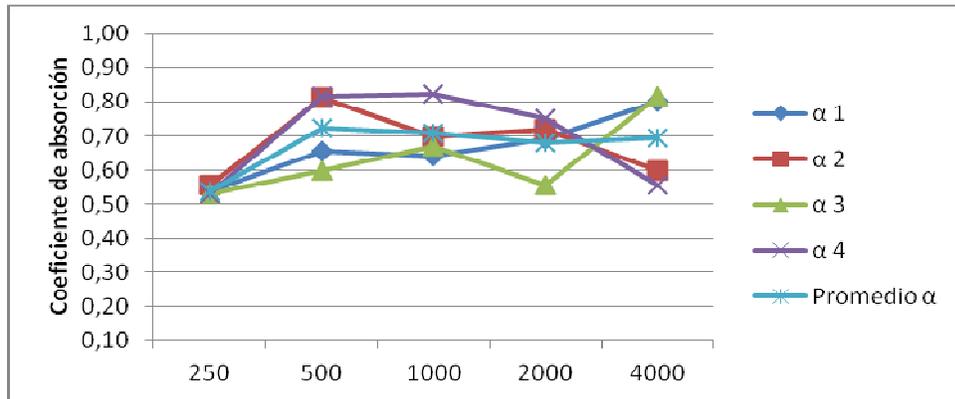
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,55
500 Hz	0,53
1000 Hz	0,47
2000 Hz	0,53
4000 Hz	0,62



CAUCHO 75% - ICOPOR 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,20	0,60	5,33	0,68	0,53	3,30	0,60	5,50	0,69	0,52	3,10	0,60	5,17	0,68	0,54	3,00	0,50	6,00	0,71	0,49
500	2,40	0,70	3,43	0,55	0,70	2,30	0,60	3,83	0,59	0,66	1,90	0,50	3,80	0,58	0,66	2,60	0,70	3,71	0,58	0,67
1000	4,10	1,20	3,42	0,55	0,70	4,20	1,20	3,50	0,56	0,69	4,00	1,30	3,08	0,51	0,74	4,30	1,20	3,58	0,56	0,68
2000	3,10	0,90	3,44	0,55	0,70	3,40	1,00	3,40	0,55	0,70	3,00	0,90	3,33	0,54	0,71	2,80	0,80	3,50	0,56	0,69
4000	2,50	0,70	3,57	0,56	0,68	2,30	0,70	3,29	0,53	0,72	2,50	0,80	3,13	0,52	0,73	2,20	0,60	3,67	0,57	0,67

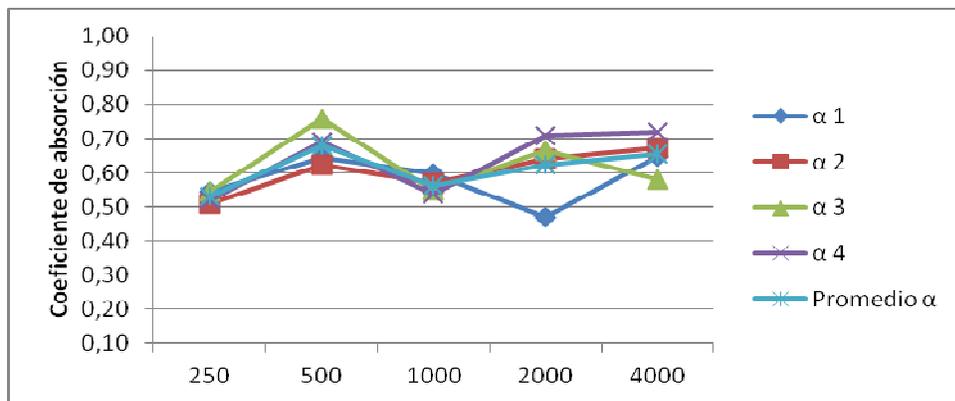
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,52
500 Hz	0,67
1000 Hz	0,70
2000 Hz	0,70
4000 Hz	0,70



CAUCHO 75% - CORCHO 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,10	0,60	5,17	0,68	0,54	3,40	0,60	5,67	0,70	0,51	3,60	0,70	5,14	0,67	0,55	3,30	0,60	5,50	0,69	0,52
500	5,20	1,32	3,94	0,60	0,65	7,50	1,80	4,17	0,61	0,62	4,70	1,60	2,94	0,49	0,76	7,00	2,00	3,50	0,56	0,69
1000	5,80	1,30	4,46	0,63	0,60	5,80	1,20	4,83	0,66	0,57	5,10	1,00	5,10	0,67	0,55	5,80	1,10	5,27	0,68	0,54
2000	3,80	0,60	6,33	0,73	0,47	2,80	0,70	4,00	0,60	0,64	3,00	0,80	3,75	0,58	0,66	3,00	0,90	3,33	0,54	0,71
4000	1,60	0,41	3,90	0,59	0,65	1,10	0,30	3,67	0,57	0,67	1,40	0,30	4,67	0,65	0,58	1,30	0,40	3,25	0,53	0,72

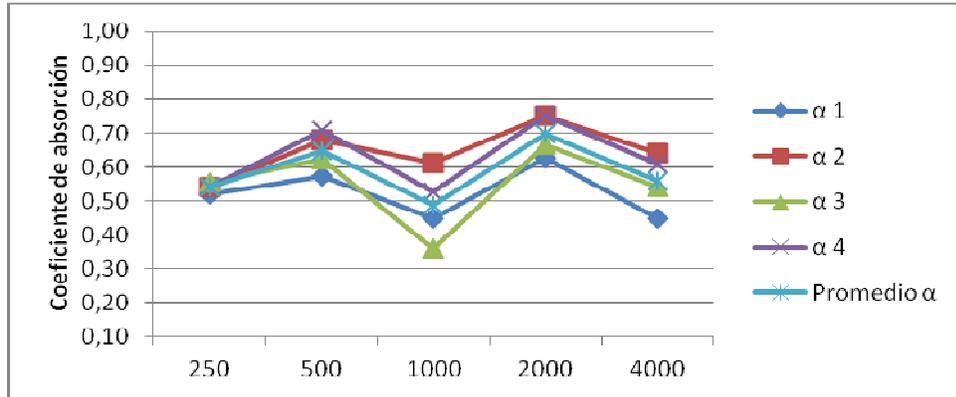
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,53
500 Hz	0,68
1000 Hz	0,56
2000 Hz	0,62
4000 Hz	0,66



CAUCHO 75% - CARTON 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,60	0,50	5,20	0,68	0,54	2,20	0,40	5,50	0,69	0,52	2,60	0,50	5,20	0,68	0,54	2,40	0,50	4,80	0,66	0,57
500	5,10	1,40	3,64	0,57	0,68	5,30	1,40	3,79	0,58	0,66	5,10	1,40	3,64	0,57	0,68	5,50	1,50	3,67	0,57	0,67
1000	3,20	0,50	6,40	0,73	0,47	3,40	0,60	5,67	0,70	0,51	3,00	0,50	6,00	0,71	0,49	3,30	0,60	5,50	0,69	0,52
2000	4,10	1,20	3,42	0,55	0,70	4,40	1,30	3,38	0,54	0,70	4,30	1,20	3,58	0,56	0,68	4,40	1,30	3,38	0,54	0,70
4000	3,20	0,70	4,57	0,64	0,59	3,50	0,70	5,00	0,67	0,56	3,40	0,70	4,86	0,66	0,57	3,30	0,70	4,71	0,65	0,58

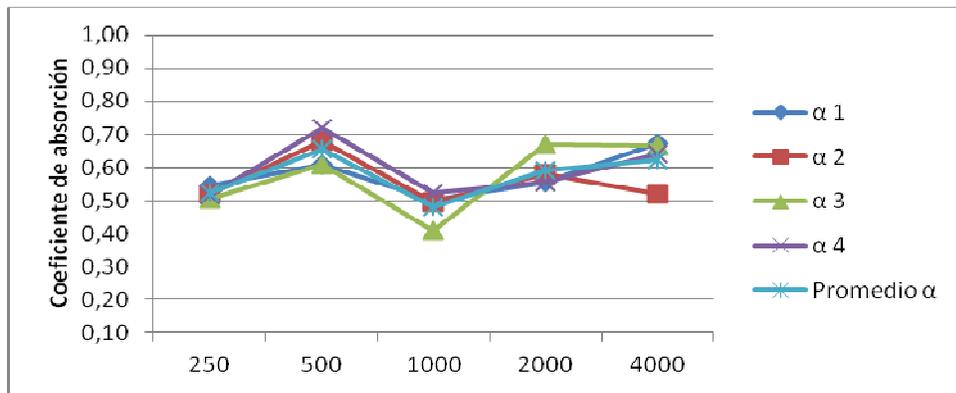
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,54
500 Hz	0,67
1000 Hz	0,50
2000 Hz	0,70
4000 Hz	0,57



CAUCHO 75% - TELA 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	4,10	0,80	5,13	0,67	0,55	4,40	0,80	5,50	0,69	0,52	4,00	0,70	5,71	0,70	0,51	3,90	0,70	5,57	0,70	0,52
500	7,80	1,80	4,33	0,63	0,61	7,90	2,20	3,59	0,56	0,68	6,10	1,40	4,36	0,63	0,61	6,50	2,00	3,25	0,53	0,72
1000	5,80	1,00	5,80	0,71	0,50	5,90	1,00	5,90	0,71	0,50	4,60	0,60	7,67	0,77	0,41	6,00	1,10	5,45	0,69	0,52
2000	3,00	0,60	5,00	0,67	0,56	2,90	0,62	4,68	0,65	0,58	2,60	0,70	3,71	0,58	0,67	3,00	0,60	5,00	0,67	0,56
4000	1,10	0,30	3,67	0,57	0,67	1,10	0,20	5,50	0,69	0,52	1,50	0,40	3,75	0,58	0,66	1,20	0,30	4,00	0,60	0,64

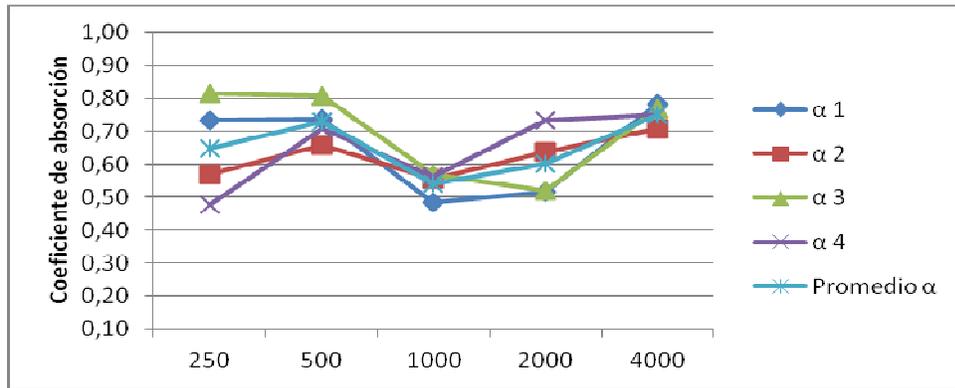
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,52
500 Hz	0,65
1000 Hz	0,48
2000 Hz	0,59
4000 Hz	0,62



ICOPOR 75% - CORCHO 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,30	0,80	4,13	0,61	0,63	3,30	0,80	4,13	0,61	0,63	3,10	0,80	3,88	0,59	0,65	3,30	0,80	4,13	0,61	0,63
500	4,70	1,50	3,13	0,52	0,73	4,30	1,30	3,31	0,54	0,71	4,70	1,40	3,36	0,54	0,71	4,50	1,40	3,21	0,53	0,72
1000	3,30	0,70	4,71	0,65	0,58	3,50	0,80	4,38	0,63	0,61	3,30	0,70	4,71	0,65	0,58	3,40	0,70	4,86	0,66	0,57
2000	3,20	0,80	4,00	0,60	0,64	3,30	0,70	4,71	0,65	0,58	3,20	0,80	4,00	0,60	0,64	3,40	0,70	4,86	0,66	0,57
4000	2,30	0,80	2,88	0,48	0,77	2,40	0,80	3,00	0,50	0,75	2,30	0,80	2,88	0,48	0,77	2,40	0,80	3,00	0,50	0,75

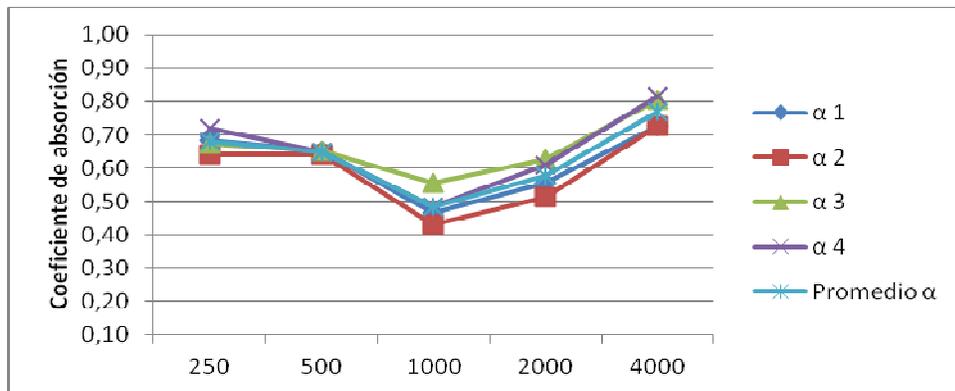
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,63
500 Hz	0,72
1000 Hz	0,58
2000 Hz	0,61
4000 Hz	0,76



ICOPOR 75% - CARTON 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,50	0,70	3,57	0,56	0,68	2,40	0,60	4,00	0,60	0,64	2,20	0,60	3,67	0,57	0,67	2,60	0,80	3,25	0,53	0,72
500	6,20	1,60	3,88	0,59	0,65	4,80	1,20	4,00	0,60	0,64	5,80	1,50	3,87	0,59	0,65	4,70	1,20	3,92	0,59	0,65
1000	5,80	0,90	6,44	0,73	0,47	5,00	0,70	7,14	0,75	0,43	5,50	1,10	5,00	0,67	0,56	4,90	0,80	6,13	0,72	0,48
2000	3,00	0,60	5,00	0,67	0,56	2,80	0,50	5,60	0,70	0,51	3,30	0,80	4,13	0,61	0,63	2,60	0,60	4,33	0,63	0,61
4000	1,60	0,50	3,20	0,52	0,73	1,60	0,50	3,20	0,52	0,73	1,80	0,70	2,57	0,44	0,81	2,00	0,80	2,50	0,43	0,82

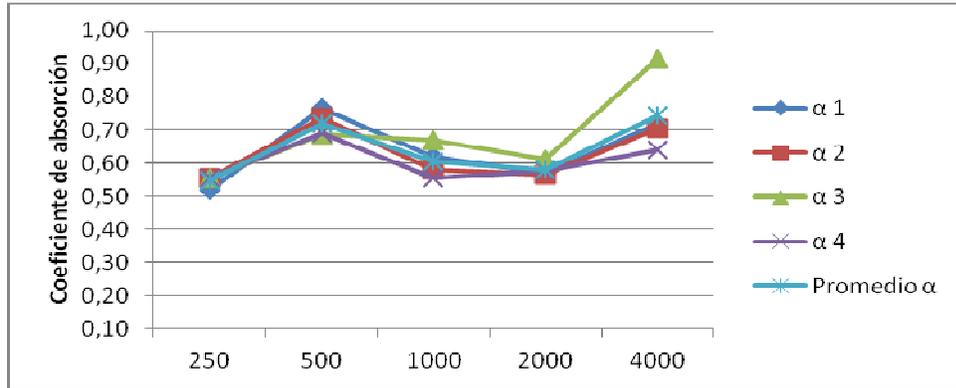
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,68
500 Hz	0,65
1000 Hz	0,48
2000 Hz	0,58
4000 Hz	0,77



ICOPOR 75% - TELA 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,20	0,40	5,50	0,69	0,52	2,20	0,40	5,50	0,69	0,52	2,30	0,40	5,75	0,70	0,50	2,10	0,30	7,00	0,75	0,44
500	3,30	1,00	3,30	0,53	0,71	3,50	1,10	3,18	0,52	0,73	3,30	0,90	3,67	0,57	0,67	3,20	1,00	3,20	0,52	0,73
1000	5,10	1,40	3,64	0,57	0,68	4,60	1,40	3,29	0,53	0,72	4,50	1,30	3,46	0,55	0,70	4,90	1,40	3,50	0,56	0,69
2000	2,90	0,90	3,22	0,53	0,72	2,60	0,80	3,25	0,53	0,72	2,50	0,70	3,57	0,56	0,68	2,60	0,80	3,25	0,53	0,72
4000	3,20	0,90	3,56	0,56	0,69	3,70	1,00	3,70	0,57	0,67	3,30	0,90	3,67	0,57	0,67	3,60	1,00	3,60	0,57	0,68

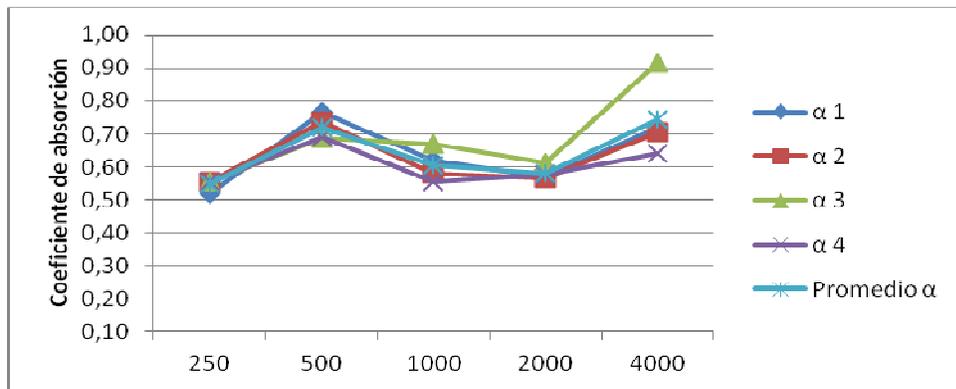
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,50
500 Hz	0,71
1000 Hz	0,69
2000 Hz	0,71
4000 Hz	0,68



CORCHO 75% - CARTON 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,50	0,80	4,38	0,63	0,61	2,60	0,60	4,33	0,63	0,61	3,00	0,70	4,29	0,62	0,61	2,50	0,60	4,17	0,61	0,62
500	6,20	2,10	2,95	0,49	0,76	5,40	1,50	3,60	0,57	0,68	5,20	1,70	3,06	0,51	0,74	5,50	1,30	4,23	0,62	0,62
1000	5,60	0,90	6,22	0,72	0,48	5,60	1,20	4,67	0,65	0,58	5,30	1,10	4,82	0,66	0,57	5,00	0,70	7,14	0,75	0,43
2000	2,80	0,60	4,67	0,65	0,58	2,50	0,50	5,00	0,67	0,56	2,50	0,70	3,57	0,56	0,68	2,60	0,60	4,33	0,63	0,61
4000	1,10	0,20	5,50	0,69	0,52	1,00	0,20	5,00	0,67	0,56	1,00	0,30	3,33	0,54	0,71	1,10	0,40	2,75	0,47	0,78

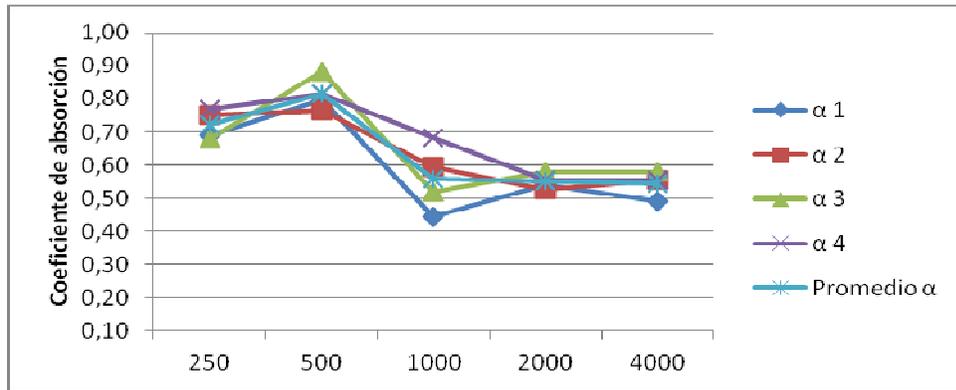
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,61
500 Hz	0,70
1000 Hz	0,51
2000 Hz	0,61
4000 Hz	0,64



CORCHO 75% - TELA 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,30	1,10	3,00	0,50	0,75	3,90	1,30	3,00	0,50	0,75	3,40	1,10	3,09	0,51	0,74	3,30	1,10	3,00	0,50	0,75
500	1,90	0,70	2,71	0,46	0,79	2,10	0,80	2,63	0,45	0,80	2,10	0,80	2,63	0,45	0,80	1,70	0,70	2,43	0,42	0,83
1000	5,10	1,00	5,10	0,67	0,55	5,00	1,00	5,00	0,67	0,56	5,40	1,10	4,91	0,66	0,56	5,00	1,00	5,00	0,67	0,56
2000	3,80	0,80	4,75	0,65	0,57	3,60	0,80	4,50	0,64	0,60	3,50	0,70	5,00	0,67	0,56	3,60	0,70	5,14	0,67	0,55
4000	2,20	0,40	5,50	0,69	0,52	2,40	0,50	4,80	0,66	0,57	2,20	0,40	5,50	0,69	0,52	2,40	0,50	4,80	0,66	0,57

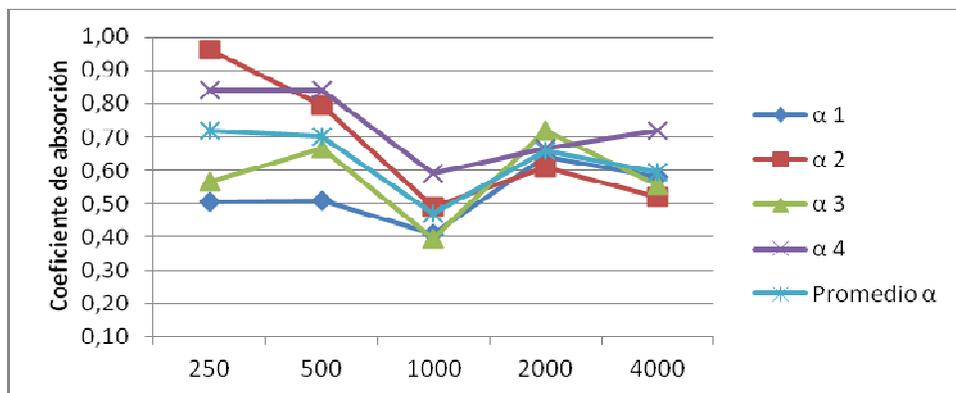
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,75
500 Hz	0,80
1000 Hz	0,56
2000 Hz	0,57
4000 Hz	0,55



CARTON 75% - TELA 25%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	4,00	0,70	5,71	0,70	0,51	0,60	0,40	1,50	0,20	0,96	3,90	0,80	4,88	0,66	0,56	0,70	0,30	2,33	0,40	0,84
500	7,40	1,30	5,69	0,70	0,51	1,60	0,60	2,67	0,45	0,79	6,00	1,60	3,75	0,58	0,66	1,40	0,60	2,33	0,40	0,84
1000	6,10	0,80	7,63	0,77	0,41	3,60	0,60	6,00	0,71	0,49	4,80	0,60	8,00	0,78	0,40	4,10	0,90	4,56	0,64	0,59
2000	2,80	0,70	4,00	0,60	0,64	2,60	0,60	4,33	0,63	0,61	2,60	0,80	3,25	0,53	0,72	3,00	0,80	3,75	0,58	0,66
4000	1,40	0,30	4,67	0,65	0,58	1,10	0,20	5,50	0,69	0,52	1,50	0,30	5,00	0,67	0,56	1,30	0,40	3,25	0,53	0,72

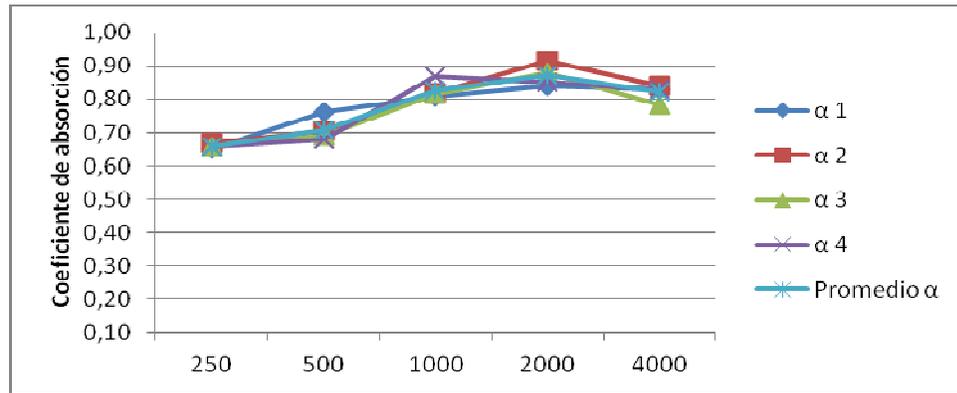
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,72
500 Hz	0,70
1000 Hz	0,47
2000 Hz	0,66
4000 Hz	0,59



CAUCHO 25% - ICOPOR 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	1,90	0,50	3,80	0,58	0,66	3,10	0,80	3,88	0,59	0,65	2,60	0,70	3,71	0,58	0,67	2,20	0,60	3,67	0,57	0,67
500	4,60	1,30	3,54	0,56	0,69	5,60	1,50	3,73	0,58	0,67	3,80	1,10	3,45	0,55	0,70	2,60	0,80	3,25	0,53	0,72
1000	4,00	1,60	2,50	0,43	0,82	5,20	2,10	2,48	0,42	0,82	3,80	1,50	2,53	0,43	0,81	5,50	2,00	2,75	0,47	0,78
2000	3,70	1,80	2,06	0,35	0,88	4,10	1,80	2,28	0,39	0,85	1,40	0,70	2,00	0,33	0,89	2,80	1,40	2,00	0,33	0,89
4000	3,20	1,30	2,46	0,42	0,82	3,30	1,40	2,36	0,40	0,84	2,70	1,10	2,45	0,42	0,82	3,00	1,00	3,00	0,50	0,75

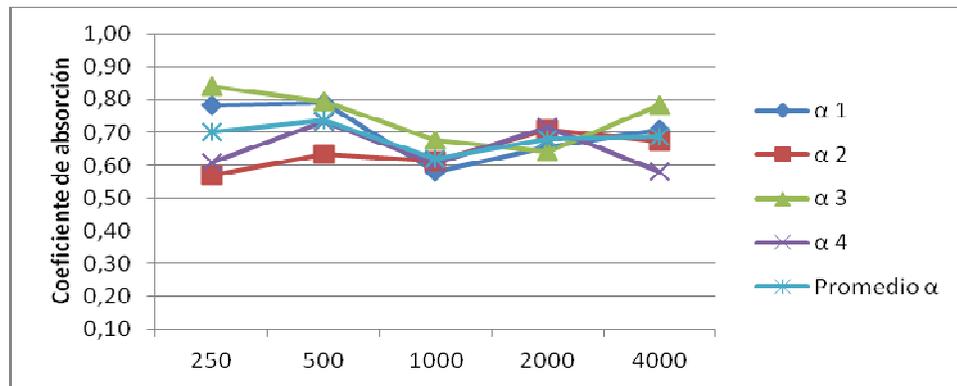
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,66
500 Hz	0,69
1000 Hz	0,81
2000 Hz	0,88
4000 Hz	0,81



CAUCHO 25% - CORCHO 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,20	0,80	2,75	0,47	0,78	2,40	0,50	4,80	0,66	0,57	2,10	0,90	2,33	0,40	0,84	2,60	0,60	4,33	0,63	0,61
500	5,90	2,20	2,68	0,46	0,79	4,90	1,20	4,08	0,61	0,63	5,60	2,10	2,67	0,45	0,79	5,00	1,60	3,13	0,52	0,73
1000	5,60	1,20	4,67	0,65	0,58	5,60	1,30	4,31	0,62	0,61	5,10	1,40	3,64	0,57	0,68	4,80	1,10	4,36	0,63	0,61
2000	2,70	0,70	3,86	0,59	0,65	3,00	0,90	3,33	0,54	0,71	2,40	0,60	4,00	0,60	0,64	3,30	1,00	3,30	0,53	0,71
4000	1,00	0,30	3,33	0,54	0,71	1,10	0,30	3,67	0,57	0,67	1,10	0,40	2,75	0,47	0,78	1,40	0,30	4,67	0,65	0,58

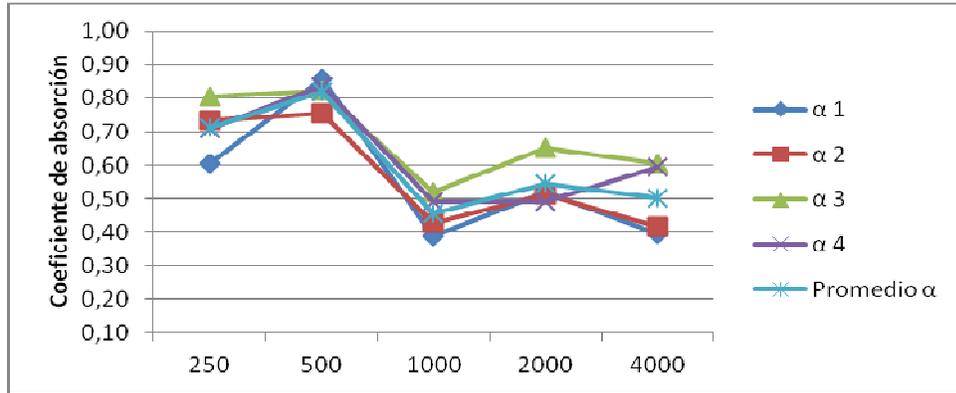
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,70
500 Hz	0,74
1000 Hz	0,62
2000 Hz	0,68
4000 Hz	0,69



CAUCHO 25% - CARTON 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	4,10	1,20	3,42	0,55	0,70	3,60	1,00	3,60	0,57	0,68	4,20	1,20	3,50	0,56	0,69	3,90	1,20	3,25	0,53	0,72
500	3,10	1,20	2,58	0,44	0,80	3,50	1,30	2,69	0,46	0,79	3,50	1,40	2,50	0,43	0,82	3,20	1,20	2,67	0,45	0,79
1000	1,10	0,20	5,50	0,69	0,52	1,50	0,30	5,00	0,67	0,56	1,30	0,30	4,33	0,63	0,61	1,10	0,20	5,50	0,69	0,52
2000	2,80	0,60	4,67	0,65	0,58	3,20	0,70	4,57	0,64	0,59	3,00	0,60	5,00	0,67	0,56	2,80	0,60	4,67	0,65	0,58
4000	2,50	0,50	5,00	0,67	0,56	2,40	0,50	4,80	0,66	0,57	1,80	0,40	4,50	0,64	0,60	1,60	0,30	5,33	0,68	0,53

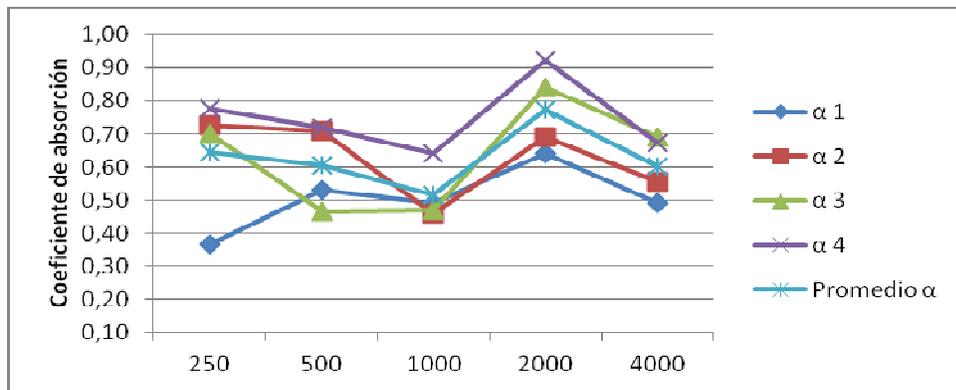
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,70
500 Hz	0,80
1000 Hz	0,55
2000 Hz	0,58
4000 Hz	0,56



CAUCHO 25% - TELA 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	4,40	0,50	8,80	0,80	0,37	3,50	1,10	3,18	0,52	0,73	5,10	1,50	3,40	0,55	0,70	4,20	1,50	2,80	0,47	0,78
500	6,40	1,20	5,33	0,68	0,53	6,00	1,80	3,33	0,54	0,71	5,80	0,90	6,44	0,73	0,47	6,20	1,90	3,26	0,53	0,72
1000	6,60	1,10	6,00	0,71	0,49	7,20	1,10	6,55	0,73	0,46	5,70	0,90	6,33	0,73	0,47	6,00	1,50	4,00	0,60	0,64
2000	2,80	0,70	4,00	0,60	0,64	2,80	0,80	3,50	0,56	0,69	2,10	0,90	2,33	0,40	0,84	3,00	1,70	1,76	0,28	0,92
4000	1,20	0,20	6,00	0,71	0,49	1,00	0,20	5,00	0,67	0,56	1,40	0,40	3,50	0,56	0,69	1,10	0,30	3,67	0,57	0,67

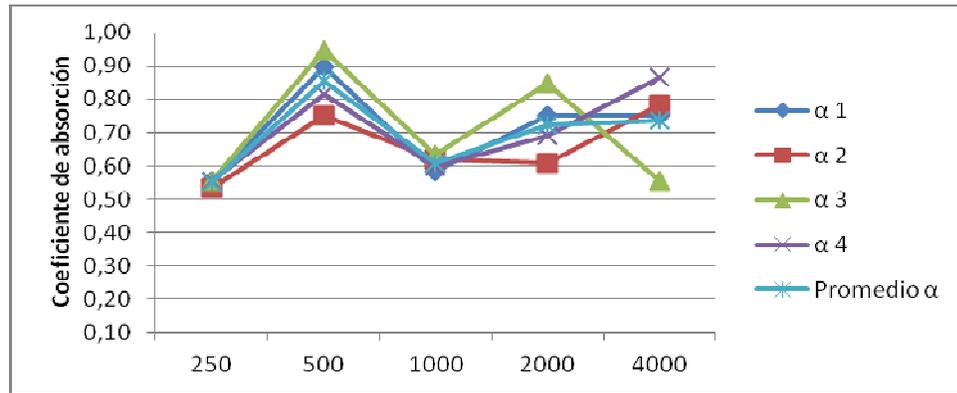
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,64
500 Hz	0,61
1000 Hz	0,52
2000 Hz	0,77
4000 Hz	0,60



ICOPOR 25% - CORCHO 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,80	0,80	4,75	0,65	0,57	3,30	0,70	4,71	0,65	0,58	3,00	0,60	5,00	0,67	0,56	3,20	0,70	4,57	0,64	0,59
500	1,40	0,60	2,33	0,40	0,84	1,90	0,80	2,38	0,41	0,83	2,00	0,80	2,50	0,43	0,82	1,60	0,60	2,67	0,45	0,79
1000	4,10	1,10	3,73	0,58	0,67	3,70	1,00	3,70	0,57	0,67	3,70	1,10	3,36	0,54	0,71	3,50	0,90	3,89	0,59	0,65
2000	4,00	1,30	3,08	0,51	0,74	3,60	1,10	3,27	0,53	0,72	4,40	1,40	3,14	0,52	0,73	4,10	1,30	3,15	0,52	0,73
4000	2,20	0,70	3,14	0,52	0,73	2,60	0,80	3,25	0,53	0,72	2,40	0,80	3,00	0,50	0,75	2,20	0,70	3,14	0,52	0,73

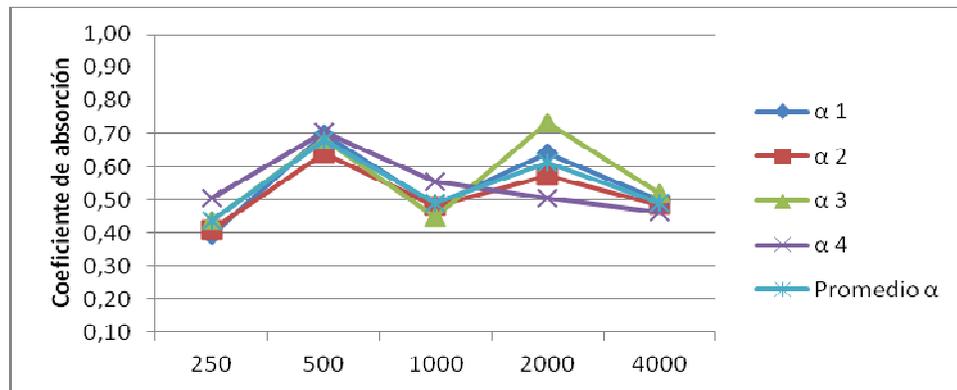
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,57
500 Hz	0,82
1000 Hz	0,67
2000 Hz	0,73
4000 Hz	0,73



ICOPOR 25% - CARTON 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	7,20	0,90	8,00	0,78	0,40	6,10	0,80	7,63	0,77	0,41	4,20	0,60	7,00	0,75	0,44	4,00	0,70	5,71	0,70	0,51
500	6,20	1,80	3,44	0,55	0,70	6,80	1,70	4,00	0,60	0,64	5,70	1,60	3,56	0,56	0,68	6,10	1,80	3,39	0,54	0,70
1000	6,70	1,10	6,09	0,72	0,48	6,80	1,10	6,18	0,72	0,48	6,10	0,90	6,78	0,74	0,45	6,50	1,30	5,00	0,67	0,56
2000	2,80	0,70	4,00	0,60	0,64	3,80	0,80	4,75	0,65	0,57	2,50	0,80	3,13	0,52	0,73	4,00	0,70	5,71	0,70	0,51
4000	1,00	0,17	5,88	0,71	0,50	1,10	0,18	6,11	0,72	0,48	1,10	0,20	5,50	0,69	0,52	1,30	0,20	6,50	0,73	0,46

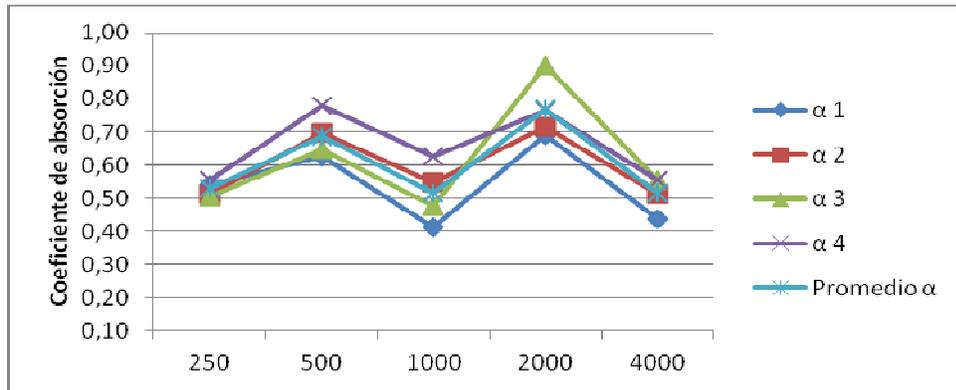
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,44
500 Hz	0,68
1000 Hz	0,49
2000 Hz	0,61
4000 Hz	0,49



ICOPOR 25% - TELA 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	4,10	0,80	5,13	0,67	0,55	2,00	0,40	5,00	0,67	0,56	4,30	0,80	5,38	0,69	0,53	2,40	0,50	4,80	0,66	0,57
500	3,70	1,10	3,36	0,54	0,71	3,10	1,00	3,10	0,51	0,74	4,00	1,20	3,33	0,54	0,71	2,90	0,90	3,22	0,53	0,72
1000	5,20	1,00	5,20	0,68	0,54	4,40	0,80	5,50	0,69	0,52	4,80	0,90	5,33	0,68	0,53	3,40	0,60	5,67	0,70	0,51
2000	2,40	0,80	3,00	0,50	0,75	3,00	1,00	3,00	0,50	0,75	2,60	0,90	2,89	0,49	0,76	1,60	0,50	3,20	0,52	0,73
4000	3,40	0,70	4,86	0,66	0,57	3,00	0,70	4,29	0,62	0,61	3,70	0,80	4,63	0,64	0,58	2,60	0,60	4,33	0,63	0,61

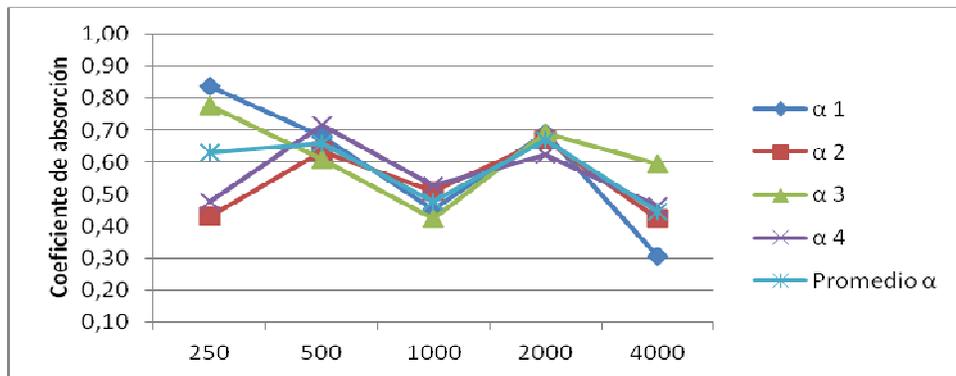
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,55
500 Hz	0,72
1000 Hz	0,53
2000 Hz	0,75
4000 Hz	0,59



CORCHO 25% - CARTON 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	2,60	1,10	2,36	0,41	0,84	6,40	0,90	7,11	0,75	0,43	2,80	1,00	2,80	0,47	0,78	6,20	1,00	6,20	0,72	0,48
500	7,20	2,00	3,60	0,57	0,68	5,70	1,40	4,07	0,61	0,63	6,10	1,40	4,36	0,63	0,61	6,60	2,00	3,30	0,53	0,71
1000	7,40	1,10	6,73	0,74	0,45	7,10	1,25	5,68	0,70	0,51	6,60	0,90	7,33	0,76	0,42	6,50	1,20	5,42	0,69	0,53
2000	2,80	0,80	3,50	0,56	0,69	2,60	0,70	3,71	0,58	0,67	2,10	0,60	3,50	0,56	0,69	2,50	0,60	4,17	0,61	0,62
4000	1,10	0,10	11,00	0,83	0,31	1,10	0,15	7,33	0,76	0,42	0,90	0,20	4,50	0,64	0,60	1,30	0,20	6,50	0,73	0,46

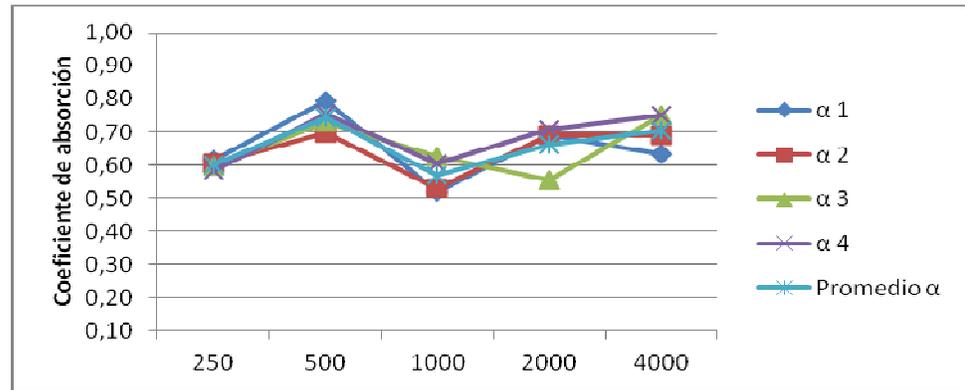
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,63
500 Hz	0,66
1000 Hz	0,48
2000 Hz	0,67
4000 Hz	0,45



CORCHO 25% - TELA 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,20	0,70	4,57	0,64	0,59	4,10	1,00	4,10	0,61	0,63	3,60	0,80	4,50	0,64	0,60	3,40	0,90	3,78	0,58	0,66
500	2,40	0,80	3,00	0,50	0,75	2,90	0,90	3,22	0,53	0,72	1,80	0,60	3,00	0,50	0,75	2,40	0,90	2,67	0,45	0,79
1000	5,10	1,10	4,64	0,65	0,58	4,20	1,00	4,20	0,62	0,62	4,90	1,10	4,45	0,63	0,60	3,30	0,70	4,71	0,65	0,58
2000	3,30	0,90	3,67	0,57	0,67	2,40	0,70	3,43	0,55	0,70	4,20	1,10	3,82	0,58	0,66	1,70	0,50	3,40	0,55	0,70
4000	6,20	1,70	3,65	0,57	0,68	5,60	1,50	3,73	0,58	0,67	6,50	1,80	3,61	0,57	0,68	6,00	1,50	4,00	0,60	0,64

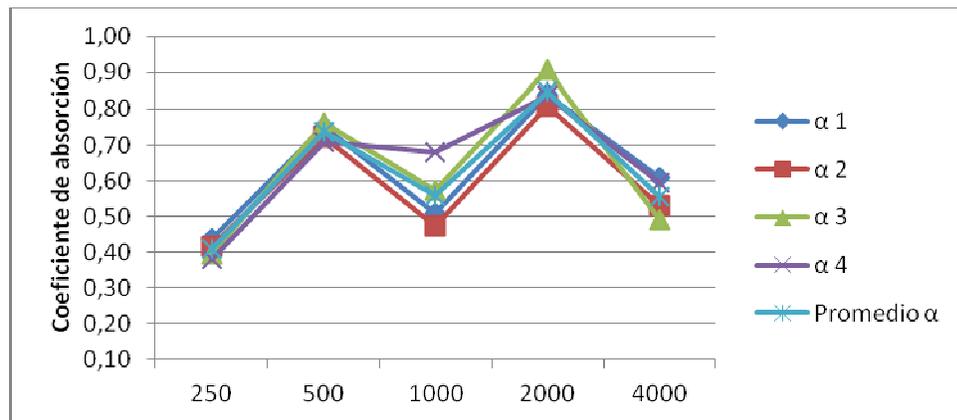
Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,62
500 Hz	0,75
1000 Hz	0,60
2000 Hz	0,68
4000 Hz	0,67



CARTON 25% - TELA 75%

F	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 1$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 2$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 3$	A+B	A-B	SWR	R	$\alpha 4$
250	3,50	0,50	7,00	0,75	0,44	5,20	0,70	7,43	0,76	0,42	1,60	0,20	8,00	0,78	0,40	2,50	0,30	8,33	0,79	0,38
500	7,20	2,40	3,00	0,50	0,75	7,40	2,30	3,22	0,53	0,72	6,10	2,10	2,90	0,49	0,76	6,70	2,00	3,35	0,54	0,71
1000	6,80	1,20	5,67	0,70	0,51	6,90	1,10	6,27	0,73	0,47	6,20	1,30	4,77	0,65	0,57	6,50	1,80	3,61	0,57	0,68
2000	2,80	1,20	2,33	0,40	0,84	2,80	1,10	2,55	0,44	0,81	3,00	1,60	1,88	0,30	0,91	2,60	1,10	2,36	0,41	0,84
4000	1,60	0,37	4,32	0,62	0,61	1,60	0,30	5,33	0,68	0,53	1,20	0,20	6,00	0,71	0,49	1,80	0,40	4,50	0,64	0,60

Frecuencia	Promedio α
250 Hz	0,41
500 Hz	0,74
1000 Hz	0,56
2000 Hz	0,85
4000 Hz	0,56



Luego de analizar los resultados obtenidos y las gráficas se pudo observar que la mejor combinación de materiales fue la de Caucho 25% - Icopor 75% por su estable comportamiento en todas las frecuencias medidas.