

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE  
RECURSOS NATURALES



INFORME DE TESIS

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE**  
**ABSORCIÓN SONORA DE BARRERAS ACÚSTICAS**  
**A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIEROS AMBIENTALES Y DE RECURSOS NATURALES**

**ANNIE VICTORIA CARRANZA CHAVARRÍA**  
**LUIS MIGUEL TOVAR PALOMINO**

**ASESOR: CARMEN ELIZABETH BARRETO PIO**

Callao, Octubre del 2014  
PERÚ

---

## DEDICATORIA

---

Dedico este trabajo a la familia más hermosa que alguien ha de tener, la familia Carranza Chavarría, integrada por mis queridos padres, Cristina y Clemente, quienes han forjado en mí valores que me hacen una mejor persona cada día; y mis queridos hermanos: Yadi, Waita, Rola, Diomi, Yayi, Dori; a todos ellos por sus enormes soportes, por depositar la confianza en mí, por sus consejos y el amor por la familia.

Annie Carranza

---

---

Quiero dedicar la realización de este proyecto a:

Mis padres: María Reina Palomino Gutiérrez, Víctor Manuel Tovar Mansilla por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y su comprensión.

Mis hermanos: Jhoan, Pepe y Farry.

Mi abuelito que desde el cielo guía mis pasos.

Mis amigos, compañeros, colegas cuyas vivencias y experiencias me ayudaron ser una mejor persona cada vez.

Luis Tovar

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Expresamos nuestros agradecimientos a:

La profesora Carmen Barreto Pío, Ingeniera Química y asesora de este proyecto por su entrega, colaboración, motivación y respaldo durante la realización del trabajo.

A los señores Lynch y Pizango, por su asistencia y amabilidad durante la elaboración de las muestras.

Al profesor Richard Toribio Saavedra, Ingeniero y Jefe del Laboratorio de Física II de la Facultad de Ciencias y Matemáticas, por su apoyo y cooperación al facilitarnos las instalaciones y equipos de medición.

Mariano Lopez Carrillo, Gerente General de Ecomapping S.A.C.

Andrés Bríos, por su gran aporte durante la realización del proyecto.

Amigos, colegas y profesores, por sus apoyos, amabilidad y asistencias en el desarrollo de la investigación.

Mi agradecimiento mayor y eterno es a Dios por ser mi guía, mi apoyo, mi camino y mi luz. Por darme la fortaleza en los momentos de debilidad de mi vida.



---

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>13</b>
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN	16
1.5. IMPORTANCIA	17
1.5.1. AMBIENTAL	17
1.5.2. SOCIAL	17
1.5.3. ECONÓMICA	17
1.5.4. LEGAL	18
1.6. LIMITACIONES	18
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>19</b>
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.2. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL SONIDO	27
2.2.1. EL SONIDO	27
2.2.2. EL RUIDO	41
2.2.3. INTERACCIÓN DEL SONIDO CON EL MEDIO	44
2.2.4. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIOS CERRADOS	47
2.2.5. ABSORCIÓN ACÚSTICA	51
2.3. MATERIALES ABSORBENTES ACÚSTICOS	55
2.3.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ABSORBENTES	56
2.3.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN	57
2.3.3. USO DE MATERIALES ORGÁNICOS PARA LA ELABORACIÓN DE BARRERAS ACÚSTICAS	60
2.4. BARRERAS ACÚSTICAS Y RUIDO AMBIENTAL	64
2.4.1. TEORÍA BÁSICA DE LAS BARRERAS ACÚSTICAS	64
2.4.2. EFECTOS DEL RUIDO AMBIENTAL	68
2.4.3. BARRERAS ACÚSTICAS	70
2.5. NORMATIVAS RESPECTO AL RUIDO AMBIENTAL	71
2.6. DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS	73

<b>III. VARIABLES E HIPÓTESIS</b>	<b>75</b>
3.1. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	75
3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	75
3.3. HIPÓTESIS GENERAL	76
3.4. INDICADORES DE LAS VARIABLES	76
<b>IV. METODOLOGÍA</b>	<b>78</b>
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	78
4.1.1. INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL	78
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	78
4.2.1. DISEÑO DE CARÁCTER EXPERIMENTAL:	78
4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	79
4.3.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	79
4.3.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	80
4.4. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	87
4.4.1. SELECCIÓN DE MATERIALES	87
4.4.2. ELABORACIÓN DE LAS BARRERAS ACÚSTICAS	89
4.4.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA	95
4.4.4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	98
<b>V. RESULTADOS</b>	<b>100</b>
5.1. RESULTADOS DE MUESTRAS DE HOJAS DE PIÑA	100
5.2. RESULTADOS DE MUESTRAS DE CORONTA DE MAÍZ	105
5.3. RESULTADOS DE COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE RUIDO	110
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>112</b>
6.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS	118
6.2. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS SIMILARES	119
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	<b>123</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES</b>	<b>125</b>
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>126</b>
<b>X. ANEXOS</b>	<b>129</b>
A. MATRIZ DE CONSISTENCIA	129
B. PANEL FOTOGRÁFICO	130
C. RESULTADOS DE LABORATORIO	139

---

## TABLA DE CONTENIDOS

### LISTA DE TABLAS

<b>TABLA N° 2.1</b> Nivel de potencia sonora media para varias fuentes acústicas	36
<b>TABLA N° 2.3</b> Coeficiente de absorción de diferentes materiales	52
<b>TABLA N° 2.3</b> Estándares de calidad ambiental para ruido	72
<b>TABLA N° 3.1</b> Variables de la investigación	77
<b>TABLA N° 4.1</b> Materiales seleccionados	88
<b>TABLA N° 4.2</b> Proporciones de las combinaciones de cada material	91
<b>TABLA N° 5.1</b> CAA de muestras de piña con papel periódico 1.5 cm	100
<b>TABLA N° 5.2</b> CAA de muestras de piña con papel periódico (3 cm)	103
<b>TABLA N° 5.3</b> CAA de las muestras de maíz con papel periódico (1.5 cm)	106
<b>TABLA N° 5.5</b> Resultados de coeficiente de reducción de ruido (NRC)	111

### LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA N° 2.1</b> Generación de ondas sonoras por una superficie vibrante	28
<b>FIGURA N° 2.2</b> Representación gráfica de generación de frecuencia	30
<b>FIGURA N° 2.3</b> Longitud de onda de un sonido en el aire	31
<b>FIGURA N° 2.4</b> Representación gráfica de una onda sinusoidal.	32
<b>FIGURA N° 2.5</b> Choque de ondas sonoras con una barrera	34
<b>FIGURA N° 2.6</b> Relación entre presión sonora y nivel de presión sonora (dB) RE 20 $\mu$ PA.	38
<b>FIGURA N° 2.7</b> Fuente puntual de potencia acústica $w$ en campo libre	40
<b>FIGURA N° 2.8</b> Transmisión del sonido de la fuente al oyente	43
<b>FIGURA N° 2.9</b> Representación del aislamiento de las ondas sonoras.	46
<b>FIGURA N° 2.10</b> Nodos y antinodos de una onda estacionaria	48
<b>FIGURA N° 2.11</b> Tubos abiertos	49
<b>FIGURA N° 2.12</b> Tubos cerrados	50
<b>FIGURA N° 2.13</b> Montaje experimental para obtener coeficiente de absorción en incidencia normal	59
<b>FIGURA N° 2.14</b> Longitud de Onda grande en comparación con las dimensiones de la Barrera Acústica	64

<b>FIGURA N° 2.15</b> Longitud de onda pequeña en comparación con las dimensiones de la Barrera Acústica	64
<b>FIGURA N° 2.16</b> Transmisión a través de un agujero. Longitud de Onda del orden del diámetro del agujero	65
<b>FIGURA N° 2.17</b> Transmisión a través de un agujero. Longitud de Onda mucho mayor que el diámetro del agujero	65
<b>FIGURA N° 2.18</b> Si el dedo es de tamaño comparable o menor que las irregularidades diremos que el material es irregular	66
<b>FIGURA N° 2.19</b> Si el dedo es mucho mayor que el tamaño de las irregularidades diremos que la superficie es lisa	66
<b>FIGURA N° 2.20</b> Efecto de una barrera para muy bajas frecuencias	66
<b>FIGURA N° 2.21</b> Efecto de una barrera para frecuencias medias/bajas	66
<b>FIGURA N° 2.22</b> Efecto de una barrera para frecuencias medias/altas	67
<b>FIGURA N° 2.23</b> Efecto de una barrera con absorción para altas Frecuencias	67
<b>FIGURA N° 2.24</b> Barrera con absorbente	68
<b>FIGURA N° 2.25</b> Barrera sin absorbente	68
<b>FIGURA N° 4.1</b> Esquema del sistema de medición de coeficiente de absorción acústica	83
<b>FIGURA N° 4.2</b> Esquema de montaje del tubo de impedancia	85
<b>FIGURA N° 4.3</b> Equipos de mediciones	87
<b>FIGURA N° 4.4</b> Procesamiento del papel periódico	90
<b>FIGURA N° 4.5</b> Procesamiento de las corontas de maíz	91
<b>FIGURA N° 4.6</b> Mezclado de hojas de piña procesadas con papel periódico	92
<b>FIGURA N° 4.7</b> Amoldamiento de las muestras	93
<b>FIGURA N° 4.8</b> Compresión manual de los moldes con muestras.	94
<b>FIGURA N° 4.9</b> Secado de las muestras en la estufa a 105 °C.	94
<b>FIGURA N° 4.10</b> Muestras secas listas para ser desmoldados.	95
<b>FIGURA N° 4.11</b> Muestra de la onda estacionaria en el tubo de medición.	97
<b>FIGURA N° 4.12</b> Imagen de los resultados en el osciloscopio	98

### **LISTA DE GRÁFICOS**

<b>GRÁFICO N° 5.1</b> CAA de muestras de piña con papel periódico 1.5 cm	101
<b>GRÁFICO N° 5.2</b> CAA muestras de hojas de piña de 1.5 cm	101
<b>GRÁFICO N° 5.3</b> CAA de muestras de hojas de piña de 1.5	102

<b>GRÁFICO Nº 5.4</b> CAA de muestras de hojas de piña de 3.0 cm	103
<b>GRÁFICO Nº 5.5</b> CAA de muestras de hojas de piña de 3 cm.	104
<b>GRÁFICO Nº 5.6</b> CAA de muestras de hojas de piña de 3 cm.	105
<b>GRÁFICO Nº 5.7</b> CAA de muestras de corontas de maíz	106
<b>GRÁFICO Nº 5.8</b> CAA de muestras de corontas de maíz de 1.5 cm	107
<b>GRÁFICO Nº 5.9</b> CAA de muestras de corontas de maíz de 1.5 cm	107
<b>GRÁFICO Nº 5.10</b> CAA de muestras de corontas de maíz de 3 cm	109
<b>GRÁFICO Nº 5.11</b> CAA de muestras de corontas de maíz de 3 cm	109
<b>GRÁFICO Nº 5.12</b> CAA de muestras de corontas de maíz de 3 cm	110
<b>GRÁFICO Nº 5.13</b> NRC de todas las barreras acústicas	111
<b>GRÁFICO Nº 6.1</b> CAA de muestras de piña (30%) de 1.5 y 3 cm.	112
<b>GRÁFICO Nº 6.2</b> CAA de muestras de piña (50%) 1.5 y 3 cm.	113
<b>GRÁFICO Nº 6.3</b> CAA de las muestras de piña al 70% de 1.5 Y 3 cm.	114
<b>GRÁFICO Nº 6.4</b> CAA de muestras de maíz (30%) 1.5 Y 3 cm.	115
<b>GRÁFICO Nº 6.5</b> CAA de muestras de maíz (50%) 1.5 Y 3 cm.	116
<b>GRÁFICO Nº 6.6</b> CAA de muestras de maíz (70%) 1.5 Y 3 cm.	116
<b>GRÁFICO Nº 6.7</b> Comparación de piña vs maíz (1.5 c	117
<b>GRÁFICO Nº 6.8</b> Comparación de piña vs. Maíz (3 cm)	118
<b>GRÁFICO Nº 6.9</b> Utilización de fibras de caña de azúcar residual como absorbentes acústicos sostenibles	119
<b>GRÁFICO Nº 6.10</b> Absorbentes acústicos sostenibles a partir de biomasa	120
<b>GRÁFICO Nº 6.11</b> Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel	120
<b>GRÁFICO Nº 6.12</b> Use of co-combustion bottom ash to design an acoustic absorbing material for highway noise barriers	121
<b>GRÁFICO Nº 6.13</b> Investigación actual	121

---

## RESUMEN

Dos de los desafíos ambientales del Siglo XXI a nivel mundial, son aquellos generados por la contaminación acústica y los residuos sólidos. Razón por la cual, actualmente es para toda entidad que se encuentra involucrado con estos problemas, sea como generadores y/o como afectados, una tarea encontrar alternativas de solución para tratar de reducirlos. Bajo dicho contexto, en este estudio se pretende determinar la capacidad de absorción del sonido de barreras acústicas elaboradas a partir de residuos orgánicos, que por un lado, son una opción a los clásicamente utilizados (como las lanas de rocas y minerales) y, por otro, ofrecen una solución a la contaminación por residuos sólidos, dando salida a los productos de desecho orgánicos mediante su reaprovechamiento.

Se ha centrado el estudio en la evaluación del coeficiente de absorción de barreras acústicas elaboradas con residuos orgánicos de corontas de maíz y hojas de piña con papel periódico reciclado, parámetro que permite caracterizar el comportamiento acústico de los materiales absorbentes de sonido. La metodología empleada para dicho propósito se basa en el tubo de impedancia acústica o tubo de Kundt. Esta técnica presenta ventajas, como la de requerir sólo un pequeño espacio en laboratorio así como probetas de los materiales a estudiar no demasiado grandes.

Finalmente, los resultados obtenidos, demuestran que las barreras acústicas elaboradas con residuos orgánicos tienen una alta capacidad de absorción del ruido, ya que sobre todo las muestras elaboradas con corontas de maíz presentaron coeficientes de absorción acústica entre 0.5 y 0.9, con pequeñas diferencias para el caso de las muestras de hojas de piña.



---

## ABSTRACT

Two of the present and future global environmental challenges of the 21<sup>st</sup> century are those generated by the noise pollution and waste, which is why nowadays every entity that is involved with the problem, such as generators and/or affected, has a task of finding alternative solutions against these problems to reduce them. Under that context, this investigation aims to determine the sound absorption capability of the acoustics barriers made with organic waste, which in one part, are an option for the classical ones (such as rocks and mines), and on the other hand, they offer a solution against waste, giving them outputs to the organic waste products through its reuse.

Consequently, it has focused on the study of the assessment of the sound absorption coefficient of the materials made of corn cobs and pineapple leaf with recycled newspaper, parameter which allows us to characterise the acoustic behaviour of the sound absorbent materials. The used methodology for this purpose is based on the impedance tube or the Kundt Tube. This technique presents some advantages, such as requirements of small spaces as well as samples of the materials to study.

Finally, the experimentally obtained results, show that the acoustic barriers made of organic waste, effectively, have a high sound absorption capability, inasmuch as, especially the samples made with corn presented absorption coefficient between 0.5 and 0.9 with little differences in the case of the ones made of pineapple leaf.

---

## INTRODUCCIÓN

Entre los problemas ambientales que van en aumento a nivel mundial tenemos la contaminación acústica y la contaminación por residuos sólidos, el primero según Merino Porta, (2010) causada por las actividades humanas como el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, las industriales, entre otras, destacando como la principal fuente de ruido que existe hoy el tráfico rodado; y el segundo que también es generado por todas las entidades vivas o no. Japón y España se encuentran entre los dos más ruidosos del mundo. Mientras que por el otro, en un informe publicado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por la revista New Scientist, se señalaba que los países latinoamericanos y del caribe cuentan con normas para la regulación del ruido ambiental, pero que casi ninguno los cumple; entre ellos se encuentran México, Argentina, Chile, Colombia, Perú, etc. Algunas urbes latinoamericanas, como Caracas, Guayaquil, Lima, Río de Janeiro, Sao Paulo, entre otros, se encuentran en la lista de las ciudades más ruidosas de Latinoamérica según la fuente.

En el contexto nacional y teniendo la referencia de que la capital peruana es una de las más ruidosas de la región latinoamericana, cabe mencionar que el aumento de los niveles de ruido ambiental en Lima Metropolitana está ligado al incremento de la población, a la industrialización de la mayoría de actividades y al incremento del uso de vehículos a motor. Así lo demuestra el estudio, "Evaluación Rápida del Nivel de Ruido Ambiental en las Ciudades de Lima, Callao, Maynas, Coronel Portillo, Huancayo, Huánuco, Cusco y Tacna", llevado a cabo por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) sobre el ruido ambiental, ya que según los resultados de esta fuente, efectivamente en estas ciudades el ruido es un gran problema, dado que sobrepasan los estándares de calidad establecidos por normativa, sobre todo en Lima Metropolitana, Maynas y Coronel Portillo por ser ciudades altamente pobladas. Este estudio sostiene



que el tráfico vehicular es la principal causa del ruido ambiental medido. Así mismo otros estudios recientes han demostrado que la ciudad de Lima Metropolitana es una de las ciudades con mayor contaminación acústica en el país, sobretodo el centro de la ciudad, donde el transporte público y el comercio ambulatorio son responsables de que los niveles de contaminación sonora alcancen los 130 decibeles (dB), superando los 70 dB permitidos en zonas comerciales . Según la Dirección de Ecología de la Municipalidad de Lima (2004), en la zona de la Biblioteca Nacional (designada como área de protección especial con un ECA de 50 dB), el grado de intensidad del ruido llega a 103 dB. (OEFA, 2011)

En este contexto, el objetivo de este trabajo es elaborar muestras de barreras acústicas a partir de residuos orgánicos que tengan la capacidad de absorber el ruido, a los cuales se les determinarán los coeficientes de absorción sonora mediante tubos de impedancia y que nos permitirán validar la hipótesis planteada bajo la premisa de que “las barreras acústicas elaboradas de residuos orgánicos tendrán la capacidad de absorber el ruido”.

---

## I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El problema ambiental generado por la contaminación acústica viene cobrando cada vez mayor importancia a nivel mundial en los últimos tiempos. Según la OCDE (Organización para la Economía, Cooperación y Desarrollo), del cual el Perú es miembro, al 2004, en todo el mundo existían unos 130 millones de personas, concentrados principalmente en países industrializados, que se encontraban sometidos a niveles sonoros superiores al nivel de tolerancia de 65 decibeles (dB) aceptado por la OMS y, otros 300 millones residían en la zona de incomodidad acústica comprendida entre los 55 y 65 dB. (Ambientum, 2004)

En el ámbito europeo diversos estudios de la Unión Europea revelan que 80 millones de personas en el mundo se exponen diariamente a ruidos por encima de los 65dB y 170 millones lo están a niveles de entre 55 y 65 dB y que, más de la cuarta parte de la población europea está sometida a niveles de ruido superiores a los 65 dB. Hacia el 2014, Japón es el primer país del mundo con mayor contaminación acústica, seguido de España. (España, 2014)

En el Perú, según la "Evaluación Rápida del Nivel de Ruido Ambiental en las Ciudades de Lima, Callao, Maynas, Coronel Portillo, Huancayo, Huánuco, Cusco y Tacna", un estudio llevado a cabo por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) sobre el ruido ambiental, efectivamente en estas ciudades los resultados nos muestran que el nivel de ruido es un gran problema, dado que sobrepasan los estándares de calidad establecidos por normativa, sobre todo en Lima Metropolitana, Maynas (Loreto) y Coronel Portillo (Ucayali) por ser ciudades altamente pobladas. Este estudio sostiene que el tráfico vehicular es la principal causa

del ruido ambiental, producido por autos, motocarros, motos, camiones, buses, etc. Así mismo otros estudios recientes han demostrado que la ciudad de Lima Metropolitana es una de las ciudades con mayor contaminación acústica en el país, tal es que en el centro de la ciudad, el transporte público (velocidad e intensidad del tráfico, uso indiscriminado de bocinas) y el comercio ambulatorio son responsables de niveles de contaminación sonora que alcanzan los 130 decibeles (dB), superando los 70 dB permitidos en zonas comerciales. Según la Dirección de Ecología de la Municipalidad de Lima (2004), en la zona de la Biblioteca Nacional (designada como área de protección especial con un ECA de 50 dB), el grado de intensidad del ruido llega a 103 dB. Así como en zonas del Cono Norte también podemos observar altos niveles de ruido; en el estudio de impacto ambiental realizado para el "Proyecto de Preparación del Plan de Inversiones para el Transporte Metropolitano de Lima" los resultados sobrepasan los dpb en horarios diurnos (considerándose zonas residenciales según el D.S. N° 085-2003-PCM). Por otro lado en la Provincial Constitucional del Callao, también hay presencia de la contaminación acústica asociada principalmente a las industrias y el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. Las zonas afectadas por el ruido industrial son La Regla, Márquez Oeste, Cinsa Calle 9 y Santa Beatriz (Municipalidad Provincial del Callao, 2001), mientras que los distritos más afectados por el transporte aéreo son Bellavista, Carmen de la Legua y San Miguel (Lima).

Así mismo, otro problema no menos relevante es la que genera la contaminación por residuos sólidos y la acumulación de estos en los rellenos sanitarios. Según la Asociación Macrorregional de Productores para la Exportación (AMPEX) la producción de piña alcanzó 20,342 toneladas en el año 2006; y en el caso del maíz, en el año 2011 (MINAG) se obtuvo una producción de 1'261,982 toneladas solo en la variedad de maíz amarillo duro. Cabe precisar que ambos productos agrícolas generan

grandes cantidades de residuos tales como la coronta en el caso del maíz y las hojas de la corona en el caso de la piña, ya sea en la cosecha o distribución a los distintos puntos de abastecimientos y mercados, los cuales no son muy aprovechados actualmente.

Por otra parte, en lo concerniente a la tecnología de las barreras acústicas, actualmente en el mercado nacional existen materiales que pueden ser usados como absorbentes de sonidos, pero que son convencionales, es decir son hechos a partir de materias primas poco ecológicas (fibras sintéticas de rocas y minerales) y que su proceso de obtención abarca grandes esfuerzos económicos y son perjudiciales para el medio ambiente. A nivel del país no se tiene mucha información acerca de estudios realizados en el campo de las barreras acústicas de composites de residuos orgánicos.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

- ✦ ¿En qué medida las barreras acústicas elaboradas con residuos orgánicos tienen la capacidad de absorber el ruido?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- ✦ Determinar la capacidad de absorción del sonido de las barreras acústicas elaboradas a partir de residuos orgánicos.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✦ Seleccionar y caracterizar los residuos orgánicos a emplear para la elaboración de las barreras acústicas.
- ✦ Evaluar la composición de los residuos orgánicos para la elaboración de las barreras acústicas.

#### 1.4. JUSTIFICACIÓN

La razón de llevar a cabo la investigación surge fundamentalmente de la actual tendencia al incremento de los niveles de ruido y su necesidad de control a nivel nacional y mundial, sobre todo en ciudades en crecimiento poblacional, comercial y/o industrial como es Lima Metropolitana. El aumento de estos niveles de ruido en los últimos tiempos no está siendo proporcional con las medidas de control que se requieren para su atenuación, por lo que los efectos que estos ocasionan en las poblaciones, son más incidentes y significativos que antes; dichas circunstancias son una de las razones que nos han llevado a plantear nuevas alternativas para mitigar dichos problemas en este ámbito.

Por otra parte, la existencia de un gran número y variedad de barreras acústicas hechas a partir de materiales convencionales o sintéticos como las lanas de rocas, minerales o vidrios, que por un lado no son muy accesibles económicamente para la población, y por otro su proceso de obtención tiene impactos negativos en el medio ambiente; nos ha generado la idea de buscar nuevas alternativas de obtener barreras acústicas más económicas y que tanto su proceso de elaboración como su función contribuyan en forma positiva en el medio ambiente, y qué mejor que todo aquello se pueda llevar a cabo a través del aprovechamiento de residuos sólidos como el papel periódico usado, los restos de la piña y el maíz que son generados en magnitudes industriales y muchas veces no son reutilizados o reaprovechados de forma significativa y simplemente son



depositados en los rellenos sanitarios, botaderos, etc., generando focos de contaminación ambiental.

## **1.5. IMPORTANCIA**

### **1.5.1. AMBIENTAL**

Con la elaboración de las barreras acústicas a partir de residuos de piña y maíz y papel periódico como materias prima, se aportará en la disminución de la contaminación ambiental por residuos sólidos generados específicamente por estos materiales, ya que serán aprovechados para dichos usos en vez de ser dispuestos en los rellenos sanitarios u otros puntos inadecuados; y al mismo tiempo y como fin principal del presente proyecto, la aplicación de las barreras acústicas nos permitirá brindar una alternativa para el control del ruido ambiental.

### **1.5.2. SOCIAL**

La aplicación de las barreras acústicas nos permitiría generar un clima de tranquilidad en las poblaciones más afectadas por el ruido ambiental que suele perturbar o alterar la calidad de vida de las personas y/o animales. Por otra parte, con la utilización de los restos de piñas, maíz y papel periódico se estaría aportando en generar una conciencia y cultura ambiental en la población, ya que es una forma de promover el aprovechamiento de dichos residuos.

### **1.5.3. ECONÓMICA**

Las barreras utilizadas en la actualidad son hechas a base de materiales sintéticas cuya elaboración resulta ser muy costosa y genera a su vez impactos ambientales negativos. El aprovechamiento de los restos de piña, maíz y papel periódico para la elaboración de las barreras acústicas planteadas en esta investigación, nos permite valorar a estos residuos

accesibles en el mercado nacional y obtener las barreras acústicas de bajo costo.

---

#### **1.5.4. LEGAL**

El uso de las barreras acústicas permitirá dar cumplimiento a las normativas legales vigentes acorde con el estándar de calidad ambiental respecto a la contaminación acústica.

#### **1.6. LIMITACIONES**

1. El presente proyecto de investigación seguirá en la mayor medida posible (según los recursos disponibles) las pautas establecidas por la norma UNE-EN ISO 10534-1 "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria".
2. El uso del tubo de impedancia ofrece mejores resultados a altas frecuencias.
3. Se tomará únicamente el coeficiente de absorción sonora como parámetro e indicador de la variable independiente.
4. La investigación se llevará a cabo solo a nivel de laboratorio, por lo que no se realizarán mediciones in situ de las aplicaciones que puedan tener las barreras elaboradas.

---

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1. Estudio de materiales absorbentes del sonido en cajas acústicas

En esta investigación se lleva a cabo el estudio tanto de propiedades acústicas como no acústicas de una vermiculita exfoliada, una arena de cromita y un carbonato de calcio, los cuales se aglomeraron con resina poliéster. Se observó el efecto que tiene el modificar el porcentaje en volumen de resina sobre las propiedades finales de absorción acústica; estos resultados se compararon con los reportados por materiales utilizados actualmente como relleno acústico. Se evaluó entre otras propiedades el coeficiente de absorción de sonido ( $\alpha$ ) el cual se determinó por el método de tubo de Kundt. Entre los resultados obtenidos se destaca las muestras de vermiculita exfoliada y se compara con los valores del felpa (comercial), que para frecuencias de 250, 500 y 1000 Hz se tiene comportamientos muy similares, pero al evaluar a 2000 Hz la dosificación con vermiculita exfoliada el ( $\alpha$ ) presenta el mejor comportamiento con un valor de 0.80 mientras que el felpa para esta frecuencia tiene un valor de 0.50, lo cual nos muestra que las dosificaciones con vermiculita exfoliada están encaminadas a superar la absorción de los materiales actualmente utilizados para el propósito de absorción de sonido. (Marín, B.; Benavidez, A.; Delvasto, S.; Mejía de Gutiérrez, R.; Chavarro, S., 2009)

#### 2. Utilización de fibras de coco en paneles de absorción acústica de múltiples capas

En este estudio, se ha llevado a cabo el aprovechamiento de las fibras del coco provenientes de las cáscaras de las cosechas y de la producción industrial como residuo sólido agroindustrial en Malasia. El método emplea la técnica de Placas Perforadas (PP) junto con la estructura de múltiples capas para mejorar la absorción de sonido en esta área. Los resultados



muestran que el método de función de transferencia aplicado fue el más cercano a los valores de medición. Se investigaron dos posibles condiciones: el primero con las PP en frente de la capa de fibras y el segundo ubicado entre las capas de fibra con huecos de aire. Con las PP conformado y la cámara de aire, la porosidad de la placa marcó una gran influencia en el ajuste de la cantidad de absorción para bajas frecuencias (inferior a 1000 Hz), lo que nos indica que las PP y la cámara de aire pueden mejorar la absorción de la fibra de coco para bajas frecuencias, pero no para frecuencias medias, y en el caso de la absorción acústica en incidencia normal de la fibra de coco de 50 cm con y sin espacio de aire, las absorciones en frecuencias medias y altas fueron superiores a 75%, pero la absorción a baja frecuencia siguió siendo baja. Además, se observó que el aumento en el grosor del espacio de aire se trasladó hacia los picos de frecuencias bajas y mejoró la absorción a estas frecuencias. El pico de resonancia se trasladó a 900 Hz, lo que confirmó la mejora a baja frecuencia, pero al mismo tiempo la absorción a media frecuencia se redujo. Por lo tanto se concluye que la adición de otro material acústico como PP puede ser útil para mejorar aún más la absorción de sonido a frecuencias bajas sin necesidad de producir un gran espacio de aire. (Mohammad Hosseini, F.; Mohd Jailani, M. N.; Ayub, Md.; Zulkarnain Ali, L., 2009)

### **3. Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf**

La investigación está basada en un nuevo material acústico absorbente a partir de fibras vegetales del kenaf y propone modelos empíricos de modelización del comportamiento absorbente de varias composiciones de este material en función de la frecuencia. Normativas como la UNE-EN 12354-6 aceptan bajo ciertas limitaciones estos modelos como base en la predicción del comportamiento acústico de los materiales. A partir de los diferentes ensayos realizados en laboratorio, se proponen las ecuaciones

empíricas de comportamiento acústico de este nuevo material. Los resultados obtenidos con el método planteado muestran cómo estos nuevos materiales presentan las características de un material absorbente acústico poroso, esto se observa en el coeficiente de absorción obtenido el cual va en aumento hasta alcanza y sobrepasar en algunos casos incluso 0.9 a frecuencias aproximadas de 2000 Hz, a partir del cual declinan los valores; cabe destacar que estos valores tienen la misma tendencia para los materiales de grosores entre 44 y 73 cm, sin embargo para los de menores grosores, los resultados del coeficiente de absorción del sonido se reducen notoriamente. Se ha desarrollado un modelo, modelo kenaf, que se ajusta a los valores experimentales para este biomaterial fibroso. Así mismo se ha realizado un primer acercamiento para validar este modelo combinándolo con un modelo micro-estructural, basado en los pasos seguidos por Bies-Hansen, que permite obtener el valor de la resistencia al flujo. (Ramis, J.; Alba, J.; Del Rey, R.; Escuder, E.; Sanchís, V. J., 2010)

#### **4. Nuevas pantallas acústicas a partir de materiales reciclados**

La investigación refiere que en la actualidad ya se estudia la posibilidad de optimizar las prestaciones de las pantallas acústicas con materiales reciclados o basados en fibras naturales. El objeto global de este proyecto se inscribe en el contexto del desarrollo y/o caracterización y validación de nuevos materiales absorbentes acústicos y en la búsqueda de sus aplicaciones acústicas, con el valor añadido de la sostenibilidad, la capacidad de reutilización y reciclaje de materiales basados en fibras naturales o basadas en desechos de residuos industriales. En este estudio, el parámetro que indica la capacidad de absorción de los materiales reciclados a investigar es el coeficiente de absorción sonora ( $\alpha$ ), cuya medición es llevado a cabo a través de cámaras reverberantes, cálculos matemáticos y mediante un programa de simulación (PERF). Lo que se concluye de este estudio es que los tres métodos utilizados para el cálculo de la absorción, son fiables, ya que los valores de los coeficientes de

absorción se aproximan, sobre todo en el rango de 200 a 1000 Hz, que son las frecuencias que tienen más importancia para el uso de pantallas acústicas. (Merino Porta, 2010)

#### **5. Composites con reciclados para la mejora del aislamiento acústico**

En el estudio se establece como objetivo comprobar la mejora obtenida mediante un material tipo capa impermeabilizante para la utilización como aislante acústico para las edificaciones, ya sea residencial, industrial o de cualquier otro tipo, de manera que, a un elemento de base plástica se le inserten en su interior una serie de fibras textiles, que doten al material base una mayor elasticidad y con ello se obtenga, previsiblemente, una mejora de su comportamiento como aislante acústico. En esta investigación se determina si el comportamiento de los materiales son como absorbentes acústicos o impermeabilizantes (aislantes acústicos). El coeficiente de absorción sonora se determina a través del método de ensayo de tubos de impedancia acústica o tubos de Kundt, resultando el parámetro estudiado para los materiales de ensayo, sin poder de absorbente acústico, por lo que se concluye en la investigación que dichos materiales no pueden ser usados como revestimientos interiores de recintos, sino todo lo contrario, ya que presentan una elevada resistencia al flujo, por lo tanto se trata de materiales acústicamente impermeables. (Quintana, O.; Iglesias, M., 2010)

#### **6. Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico**

Uno de los propósitos de esta investigación, es determinar las propiedades acústicas de nuevos materiales hechos a partir de restos de botellas de plástico, tales como el coeficiente de absorción del sonido ( $\alpha$ ) en incidencia normal mediante el método de la función de transferencia descrito en la norma UNE-EN ISO 10534-2:2002. Los resultados obtenidos en el estudio, muestran valores del ( $\alpha$ ) del poliéster reciclado por encima de 0.6 e incluso sobrepasando valores de 0.8 para frecuencias que fluctúan entre 1250 y

2500 Hz, mientras tanto para los mismos rangos de frecuencia, el parámetro de estudio de las muestras de lanas de poliéster virgen resultó, en todos los casos, por debajo del valor de 0.6. De esta investigación se concluye que en primer lugar estos nuevos materiales hechos a partir de poliéster reciclado presentan las características de un material absorbente acústico. Esto se observa en el coeficiente de absorción en incidencia normal obtenido, que aumenta al aumentar la frecuencia. Además, desde el punto de vista de la fabricación, se ha conseguido un material estable, utilizando exactamente la misma maquinaria y siguiendo la misma cadena de elaboración que para la obtención de lanas de poliéster virgen. También se ha podido observar que la evolución con la frecuencia del coeficiente de absorción en incidencia normal de las muestras de PET (poliéster reciclado) es prácticamente idéntica a la evolución con la frecuencia de las muestras de poliéster virgen. (Del Rey, 2011)

## **7. Absorbentes acústicos sostenibles a partir de biomasa**

El estudio presenta el desarrollo de absorbentes acústicos a partir de materiales orgánicos (biomasa). Materiales no fibrosos, tales como aquellos provenientes de la paja o la caña, pueden actuar como absorbentes de sonido y son analizados en esta investigación por el método del tubo de impedancia. El análisis de las características acústicas de una gama de fibras naturales ha confirmado su eficacia como absorbentes porosos de sonido y también las limitaciones de los modelos actuales para predecir su rendimiento. La evaluación del comportamiento acústico de los materiales consiste en diferentes configuraciones de cañas enteras y pajas que han revelado que estos también poseen un potencial considerable para la aplicación como absorbentes de sonido de banda ancha particularmente a bajas frecuencias. Se concluye de esta investigación que el uso de fibras naturales ofrece una manera de producir materiales muy absorbentes. Las medidas de la absorción del sonido en el tubo de impedancia de las fibras naturales que tienen diámetros pequeños



han confirmado su eficacia como absorbentes porosos de sonido con propiedades similares a las de los absorbentes convencionales hechos de lanas de roca o fibras de vidrio, ya que los resultados muestran valores del ( $\alpha$ ) muy cercanos a 1.0 como en el caso de las muestras de pajas para frecuencias de 4800 Hz, así mismo en el caso de las muestras de caña o carrizos el parámetro alcanza valores cercanos al 0.9 para la misma frecuencia. La conclusión general que se puede extraer es que las fibras naturales más prometedoras para su uso como absorbentes de sonidos porosos son aquellos para los que los diámetros medios son pequeños y que son capaces de ser bien compactados. (Oldham, D.; Egan, C.; Cookson, R., 2011)

#### **8. Materiales para la elaboración de carpas acústicas**

La investigación estudia la variabilidad de distintos tipos de plásticos y tejidos como materiales para elaborar "carpas acústicas". En él se estudian tres propiedades para definir al material acústicamente a través del empleo de tubos de impedancia, entre las cuales se determinó el coeficiente de absorción ( $\alpha$ ), que posteriormente fue comparado y analizado con modelos numéricos, comprobando así aquellas que eran aptas para el fin deseado, asegurando un mínimo de absorción. Los resultados de esta investigación muestran que el ( $\alpha$ ) de los materiales, mostraron dos tendencias claras: por una parte una tendencia a aumentar en función de la frecuencia, llegando a valores máximos de más de 0.80 de coeficiente de absorción a 3150 Hz. Estas muestras se caracterizan por poseer una serie de poros, por lo que podemos considerar que se comportan como un material absorbente poroso. Además dos de las muestras que siguen esta tendencia, también poseen valores del ( $\alpha$ ) a bajas frecuencias, por lo que a priori, sólo con este dato podrían ser una elección buena para aplicaciones de acondicionamiento y aislamiento acústico, teniendo menos de 0.50 cm de grosor. Por otra parte, encontramos que el resto de materiales estudiados siguen una tendencia diferente en cuanto al coeficiente de absorción,

encontrando un máximo de este a baja frecuencia, y disminuyendo conforme éste aumenta, consiguiendo valores máximos de más de 0.90 a 125 Hz. Este comportamiento es conocido como **efecto capa**. Ese máximo de absorción que aparece corresponde a un mínimo en reflexión, por lo que se puede considerar un efecto de transmisión total asociado al material o capa. Esto provocaría que la transmisión fuera total para esa frecuencia donde encontramos el máximo, es decir, que toda la energía fuera transmitida al exterior de la carpa. El efecto disminuye conforme aumenta la frecuencia. La mayoría de estos materiales presentan su máximo en torno a los 200 Hz. (Martínez Navarro, 2013)

#### **9. Uso de cenizas de fondo de co-combustión para diseñar materiales absorbentes de sonidos para barreras acústicas en carreteras.**

El presente estudio tiene como objetivo determinar y evaluar la aplicabilidad de un nuevo producto consistente en cenizas de fondo de carbón mezclado con cemento Portland en la aplicación de barreras acústicas en carreteras. Se han llevado a cabo con el fin de reciclar las cenizas de fondo, la influencia del tamaño de partícula de granos de las cenizas de fondo, el grosor del panel y la combinación de diferentes capas con diferentes tamaños de partículas, así como algunas propiedades ambientales, incluyendo lixiviabilidad (ES- 12457-4, NEN-7345) y las pruebas de radiactividad. Basándose en los resultados obtenidos, las propiedades acústicas del material compuesto final fueron similares o incluso mejores que las que se encuentran en el hormigón poroso utilizado para la misma aplicación. Según este estudio, el material producido no presenta ningún riesgo ambiental. (Arenas, C.; Leiva, C.; Vilches, L. F.; Cifuentes, H., 2013)

#### **10. Utilización de fibras de caña de azúcar residual como absorbentes acústicos sostenibles**

El presente estudio muestra el reaprovechamiento de las fibras de la caña de azúcar residual para la elaboración de paneles acústicos. Estos

materiales no biodegradables no sólo causan contaminación al medio ambiente, sino también su producción contribuye significativamente en la emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera. Por lo tanto, la investigación correspondiente ha sido impulsada a encontrar materiales sostenibles y eco amigable para más adelante ser un absorbente de sonido alternativo. Las muestras de absorción del sonido a partir de fibras de caña de azúcar residual se elaboraron manualmente y la medición del coeficiente de absorción del sonido se realizó en un tubo de impedancia mediante la aplicación de dos micrófonos del método de la función de transferencia de acuerdo con la norma ISO 10534-2: 2001. Así mismo el procesamiento de la señal de los datos medidos se realizó utilizando el Matlab. Como resultado se obtuvieron buenos rendimientos acústicos, tal es que se puede decir que para rangos de 1.2 a 4.5 kHz de frecuencias, los coeficientes de absorción resultaron en un promedio de 0.65, valor que es tranquilamente comparable contra los valores de los absorbentes sintéticos clásicos. De la investigación se concluye que la utilización de las fibras de caña de azúcar residual como un material absorbente de sonido es una gran alternativa ya que se encontró que el rendimiento acústico del absorbente de la caña de azúcar con un grosor de ½ pulgada es comparable con la de un aislante de sonido comercial con coeficiente de absorción promedio de 0,65 a frecuencias de 1.2 a 4.5 kHz. Y por otro lado el efecto aglutinante de la composición y la densidad de las fibras aplicadas en la experimentación afectan a los 3 gramos de fibras en el primer caso y el segundo para dar un mejor coeficiente de absorción. (Putra, A.; Abdullah, Y.; Efendy, H.; Mohd Farid, W.; Ayob, M. R.; Sajidin Py, M., 2013)

## 2.2. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL SONIDO

### 2.2.1. EL SONIDO

El sonido es una onda que se propaga en el aire al moverse sus moléculas y variar la presión sobre su valor de reposo<sup>1</sup>. El medio por el cual viajan las ondas sonoras ha de poseer masa y elasticidad y por tanto puede ser el medio gaseoso, líquido o sólido. De ahí que las ondas sonoras no viajan a través de un vacío.

Las ondas sonoras en el aire están causadas por las variaciones de presión por encima y por debajo del valor estático de la presión atmosférica. [La presión atmosférica tiene un valor de aproximadamente  $10^5$  pascales, a nivel del mar a 0 °C (32 °F)]. Estas variaciones de presión se originan de muchas maneras, por ejemplo:

1. Por una corriente de aire pulsante, como la que producen las aspas del ventilador al girar.
2. Por torbellinos, que se producen cuando una corriente de aire choca con una obstrucción, como ocurre en una salida de aire en un sistema de ventilación.
3. Por el vuelo supersónico de un avión, que crea ondas de choque.
4. Por la vibración de una superficie, por ejemplo, una partición.

Considérese, por ejemplo, la generación de ruido por el mecanismo anterior 4. En la figura N° 2.1 se muestra un dibujo simplificado de lo que ocurre. A medida que la superficie se mueve hacia la derecha, hay un descenso instantáneo en el volumen de la «capa» de aire adyacente a la superficie y, por tanto, un aumento de su densidad. Así, se produce una compresión del

---

<sup>1</sup> El sonido también viene a ser una alteración física que se da sea en medios gaseoso, líquido o sólido y que puede ser detectada por el oído humano.



aire en esta capa. Dado que la presión en la capa comprimida es mayor que la existente en la atmósfera circundante inalterada, las partículas de aire de la capa tienden a moverse hacia fuera y a comprimir una segunda capa. Esta segunda capa transmite entonces este movimiento a la capa siguiente y así sucesivamente. (Harris, 1995)

FIGURA N° 2.1 Generación de ondas sonoras por una superficie vibrante



Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cap. I - Cyril M. Harris

Cuando la superficie invierte la dirección, prevalecen las condiciones opuestas. Entonces hay un aumento instantáneo en el volumen de la capa de aire adyacente a la superficie; se produce un enrarecimiento del aire en esta capa. Esta capa enrarecida sigue a la capa de compresión en la misma dirección hacia fuera y viaja a la misma velocidad, denominada *velocidad del sonido*. La sucesión de capas de compresión y depresión desplazándose hacia el exterior da como resultado el *movimiento ondular* y, en un punto determinado del espacio, produce aumentos y descensos alternativos de presión. Las partículas individuales del aire que vibran y transmiten las ondas no modifican su posición media; simplemente vibran alrededor de estas posiciones medias.

La distancia máxima media que se desplazan las partículas desde su posición de equilibrio se denomina *amplitud* del desplazamiento. Se

denomina velocidad de las partículas a la de éstas al balancearse alrededor de sus posiciones de equilibrio. (Harris, 1995)

### **2.2.1.1. MAGNITUDES DEL SONIDO**

#### **Velocidad del sonido**

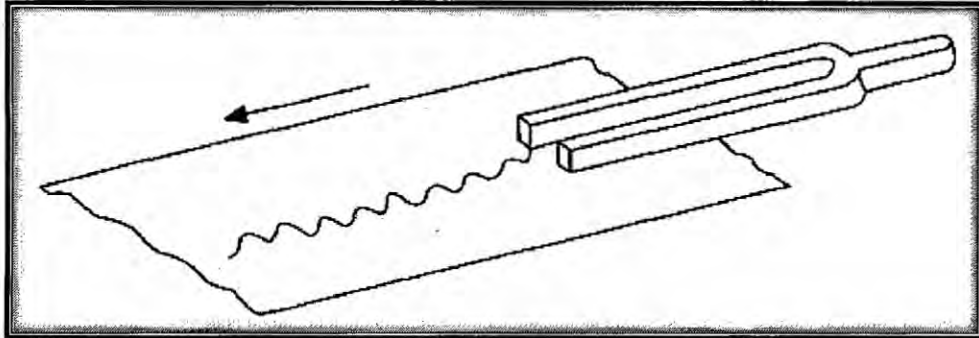
La velocidad del sonido es la velocidad a la que se desplazan las ondas sonoras. A una temperatura de 20 °C (68 °F), la velocidad del sonido en el aire es de aproximadamente 344 m/s (1127 ft/s). La temperatura del aire tiene un efecto significativo sobre la velocidad del sonido. La velocidad aumenta en aproximadamente 0,61 m/s por cada aumento de 1 °C en la temperatura (un aumento de aproximadamente 1,1 ft/s por cada aumento de 1 °F en la temperatura). En casi todos los problemas de control del ruido, se puede asumir que la velocidad del sonido es independiente de la frecuencia y la humedad.

El sonido viaja mucho más deprisa en los sólidos que en el aire. Por ejemplo, la velocidad del sonido en ladrillo es aproximadamente 11 veces mayor que en el aire. (Harris, 1995)

#### **Frecuencia**

Por definición, la frecuencia de un fenómeno periódico, como una onda sonora, es el número de veces que este fenómeno se repite a sí mismo en un segundo (el número de ciclos por segundo). Habitualmente la frecuencia se designa mediante un número seguido de la unidad hercio (símbolo de la unidad: Hz). Por ejemplo, los dientes (púas) del diapasón que muestra la Figura N° 2.2 realizan 440 oscilaciones completas en un segundo. Por tanto, su frecuencia de vibración es 440 Hz. (Harris, 1995)

FIGURA N° 2.2 Representación gráfica de generación de frecuencia<sup>2</sup>



Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cap. I - Cyril M. Harris

### Longitud de onda

La longitud de onda de un sonido es la distancia perpendicular entre dos frentes de onda que tienen la misma fase; p.ej., entre máximos de compresión. Esta longitud es la misma distancia que la recorrida por la onda sonora en un ciclo completo de vibración. La longitud de onda, que se designa mediante la letra griega lambda,  $\lambda$  está relacionada con la frecuencia  $f$  (en hercios) y la velocidad del sonido  $c$  (en metros o pies por segundo) mediante la ecuación.

$$\lambda * f = c \dots \dots \dots (1)$$

El período  $T$  del movimiento ondular en segundos se obtiene mediante la expresión:

$$T = \frac{1}{f} \dots \dots \dots (2)$$

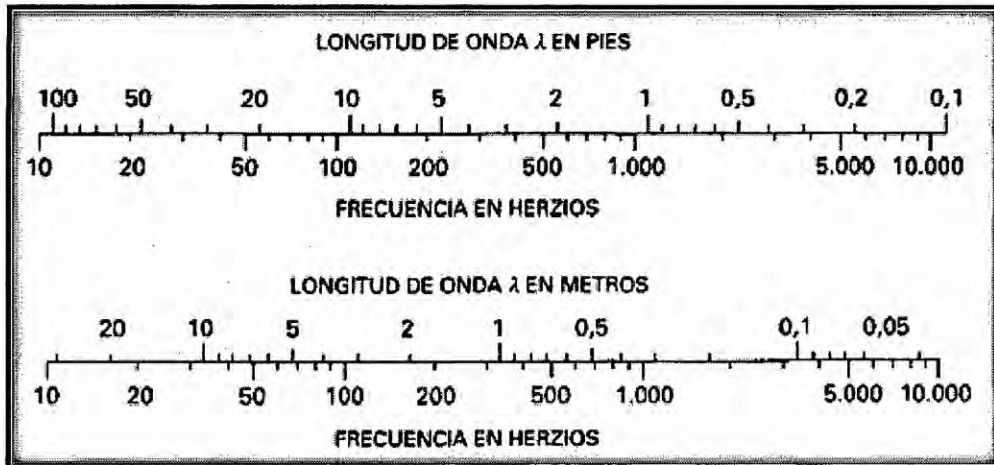
La longitud de onda se expresa en metros o pies, dependiendo del sistema de unidades empleado. Por conveniencia, la relación presentada en la

---

<sup>2</sup> Un diapasón vibrando con una plumilla en el final de una de las púas. Sobre el papel encerado se traza una onda sinusoidal que se mueve a través de la plumilla a velocidad constante

Ecuación (1) se muestra gráficamente en la Figura N° 2.3. Esta ilustración muestra, por ejemplo, que un sonido con una frecuencia de 1000 Hz posee una longitud de onda de 3,4 m (11,3 ft). (Harris, 1995)

FIGURA N° 2.3 Longitud de onda de un sonido en el aire<sup>3</sup>



Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cap. I - Cyril M. Harris

### **Movimiento armónico simple: tonos puros**

La Figura N° 2.2 muestra el registro gráfico que se obtiene al mover un papel encerado a velocidad constante, bajo una plumilla conectada a un diapasón. Se denomina *onda sinusoidal* al trazo obtenido porque puede representarse matemáticamente mediante una función de seno  $A \sin(2\pi f)t$ . Donde  $A$  es la amplitud de vibración de la púa,  $f$  es su frecuencia de vibración en hercios y  $t$  es el tiempo en segundos. La onda correspondiente a la variación de presión sonora que se propaga desde el diapasón hacia fuera en forma de ondas sonoras es la onda periódica que muestra la Figura N° 2.4. Se denomina periódica porque se repite a sí misma, exactamente, de una oscilación a la siguiente. El nivel de presión sonora resultante varía por encima y por debajo de la presión estática de la atmósfera de acuerdo con la relación. (Harris, 1995)

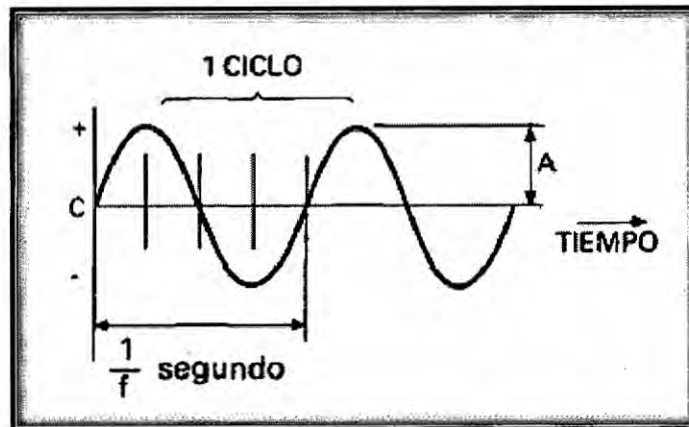
<sup>3</sup> A 20°C y presión atmosférica normal.

$$P = p_0 \text{ sen}(2\pi f)t \dots \dots \dots (3)$$

Donde  $p_0$  es una constante denominada amplitud de presión.

El movimiento descrito por una onda sinusoidal se denomina *movimiento armónico simple*. Una onda sonora compuesta solamente de una frecuencia única.

**FIGURA N° 2.4** Representación gráfica de una onda sinusoidal.



Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cap. I - Cyril M. Harris

Una onda sinusoidal, se denomina tono puro. Este movimiento armónico simple, ilustrado en la Figura N° 2.4, es importante debido a que se puede demostrar que todas las ondas sonoras están compuestas de una o más ondas armónicas simples. (Harris, 1995)

**2.2.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO**

**Potencia sonora**

La emisión de la energía acústica (potencia sonora) de las fuentes que encontramos en la mayoría de los trabajos sobre control del ruido es relativamente pequeña en términos absolutos. La potencia sonora suele

expresarse en vatios o en picovatios (millones de una millonésima de un vatio); un pico vatio es igual a  $10^{-12}$  vatios.

La potencia instantánea (la tasa a la que la energía sonora es radiada en cualquier instante de tiempo) fluctúa considerablemente. El valor máximo en cualquier intervalo de tiempo se define como potencia máxima. La potencia media suele tener un valor mucho menor que la potencia máxima y depende del intervalo de tiempo a lo largo del cual se calcule la media y del método empleado.

La Tabla N° 2.1 muestra los valores típicos de potencia sonora emitidos por distintas fuentes sonoras. Se muestran los valores medios a largo plazo. Para muchas de estas fuentes de sonido, las potencias máximas son mucho más altas que los valores mostrados. Por ejemplo, pueden ser de 100 a 1000 veces superiores a sus valores medios. Estos máximos suelen durar intervalos de tiempo cortos, a veces sólo unos pocos milisegundos. (Harris, 1995)

### **Presión sonora**

Considérese un punto en el espacio cerca de una fuente de sonido como el diapasón de la Figura N° 2.2. En el punto de observación, antes del paso de las ondas sonoras, la presión es igual a la atmosférica (estática),  $P$ . Cuando las ondas pasan por el punto de observación, la presión adicional  $p$  (la presión sonora) debida al paso de éstas se obtiene mediante la Ecuación (3). La presión sonora suele expresarse en micropascales, abreviado  $\mu Pa$ , en el sistema internacional de unidades. Así, la presión total en el punto de observación es igual a: (Harris, 1995)

$$P + p_0 \sin(2\pi f)t \dots \dots \dots (4)$$

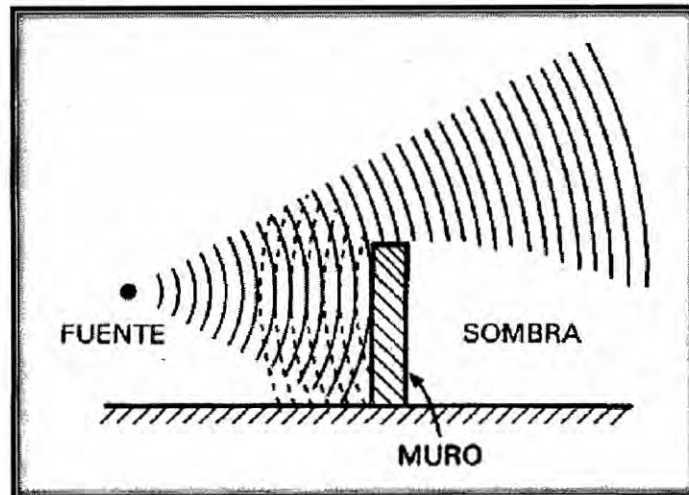
### **Difracción del sonido**



La difracción es el cambio en la dirección de la propagación de las ondas sonoras cuando chocan con un obstáculo. Ejemplos familiares de difracción son el cambio de dirección de las ondas sonoras sobre un muro, alrededor de la esquina de un edificio, después de chocar contra un muro que contenga una abertura y la dispersión de las ondas sonoras en una columna situada en una habitación.

Como resultado de la difracción, cuando las ondas sonoras chocan con una barrera, ésta no extiende una «sombra acústica» aguda. En lugar de ello, las ondas sonoras se flexionan sobre la parte superior (o por los laterales) como muestra la Figura N° 2.5. La relación general entre la eficacia de una barrera y su altura es bastante compleja. (Harris, 1995)

**FIGURA N° 2.5** Choque de ondas sonoras con una barrera<sup>4</sup>



Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cap. I - Cyril M. Harris

### **Nivel y decibelio**

El rango de presiones sonoras que hallamos en el campo del control del ruido es tan amplio que es más cómodo emplear el nivel de presión sonora, una cantidad que es proporcional al logaritmo de la presión sonora. Esto se

<sup>4</sup> Como resultado de la difracción, el sonido se difracta sobre la parte superior de manera que la barrera no proyecta una sombra acústica aguda.

debe a que la escala logarítmica comprime la del rango, como resulta evidente en el ejemplo que muestra la Figura N° 2.6. La presión sonora, expresada en términos de una escala lineal, aparece a la derecha; el nivel de presión sonora (descrito a continuación) aparece a la izquierda.

Por definición, el nivel es el logaritmo de la razón de una cantidad dada respecto de una cantidad de referencia del mismo tipo. Hay que indicar la base del logaritmo, la cantidad de referencia y el tipo de nivel. Por ejemplo, el tipo de nivel se indica mediante el uso de un término compuesto, como el nivel de presión sonora o el nivel de potencia sonora. La cantidad de referencia permanece no modificada. El término nivel indica que se emplea la escala logarítmica y que las unidades se expresan en decibelios<sup>5</sup>.

El decibelio (dB) es una unidad de nivel que denota la relación entre dos cantidades que son proporcionales en su potencia. El número de decibelios que corresponde a esta relación es 10 veces el logaritmo (de base 10) de la razón de las dos cantidades. Las razones de presión sonora no siempre son proporcionales a las razones de potencia correspondientes, pero es práctica habitual ampliar el uso de esta unidad (dB) a tales casos. (Harris, 1995)

### **Nivel de potencia sonora**

La potencia sonora de una fuente se expresa en vatios o en alguna fracción de un vatio. A menudo, resulta más cómodo expresar la potencia sonora sobre una escala logarítmica. Entonces, se emplea el nivel de potencia sonora. El nivel de potencia sonora,  $L_w$ , de una fuente, en decibelios, se obtiene mediante la expresión.

$$L_w = 10 \log_{10}(W/W_0) \text{ dB} \dots \dots \dots (5)$$

---

<sup>5</sup> Existe una excepción a esta afirmación. El nivel de emisión de la potencia sonora se expresa a menudo en belios, en lugar de decibelios (1 belio es igual a 10 decibelios), como se define en «Nivel de potencia sonora»



Donde  $W$  = potencia de la fuente en vatios y  $W_0$  = potencia de referencia en vatios. La referencia habitual de potencia sonora es 1 picovatio (1 micro-microvatio o  $10^{-12}$  vatios); el símbolo de la unidad es  $\rho W$ . Sustituyendo este valor en la Ecuación (5) se obtiene:

$$L_W = 10 \log_{10}(W/10^{-12}) = (10 \log_{10} W + 12)dB \dots \dots (6)$$

Donde  $W$  es la potencia sonora de la fuente en vatios.

**TABLA N° 2.1** Nivel de potencia sonora media para varias fuentes acústicas

Potencia, Vatios (W)	Nivel de potencia sonora, dB re 1 $\rho W$	Fuente
100 000 000	200	Motor de un cohete
10 000	160	Motor de un avión turbo jet
1000	150	
100	140	Aeroplano ligero en crucero
10	130	
1	120	
0.1	110	Tractor oruga 150 hp
0.01	100	Motor eléctrico 100 hp, 2600 rpm
0.001	90	
0.0001	80	Aspiradora
0.00001	70	Gaita escocesa
0.000001	60	
0.0000001	50	
0.00000001	40	Habla susurrada

Potencia, Vatios (W)	Nivel de potencia sonora, dB re 1 $\mu$ W	Fuente
0.000000001	30	
0.0000000001	20	Salida de aire (0.1 m <sup>2</sup> ), velocidad de aire 1 m/s: registro abierto, rejilla paralelas

Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cap. I - Cyril M. Harris

La Tabla N° 2.1 muestra los niveles de potencia sonora de varias fuentes típicas de sonido, expresada en decibelios. El término nivel de potencia sonora no debe confundirse con el nivel de presión sonora. El primero es una medida de la potencia acústica irradiada por una fuente; el segundo depende no sólo de la potencia de la fuente, sino también de la distancia a ésta y de las características acústicas del espacio que la rodea. Para evitar esta confusión, el nivel de potencia sonora se expresa a menudo en belios (1 belio = 10 decibelios). Así el nivel de potencia sonora de un gran cohete en la Tabla N° 2.1 puede expresarse también como 20 belios. (Harris, 1995)

### **Nivel de presión sonora**

El nivel de presión sonora,  $L_p$  en decibelios, correspondiente a una presión sonora  $p$ , se define por

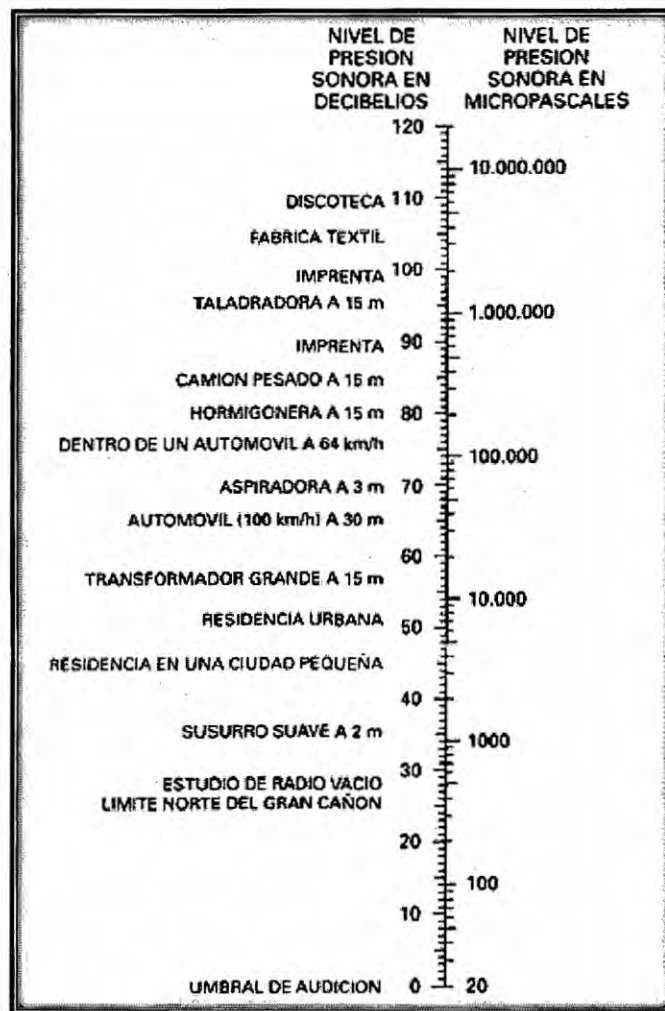
$$L_p = 10 \log_{10}(p/p_0)^2 = 20 \log_{10} p/p_0 \text{ dB} \dots \dots (7)$$

Donde  $p_0$  es la presión sonora de referencia.

Al expresar la presión sonora sobre una escala logarítmica, es costumbre comparar la presión sonora de todos los sonidos en el aire con un valor de referencia de 20 micropascales ( $\mu Pa$ ). En este sentido, nótese la leyenda «Nivel de presión sonora en decibelios re 20  $\mu Pa$ » en la Figura N° 2.6. El

término “re” significa *con referencia a*. Habitualmente no se presenta este valor de referencia porque éste ha sido adoptado por acuerdo internacional. Se aproxima al nivel de presión sonora mínimo que es audible por el oído normal de un adulto joven dentro del rango de frecuencias en que es más sensible. (Harris, 1995)

**FIGURA Nº 2.6** Relación entre presión sonora y nivel de presión sonora (dB) RE 20 µPA.



Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cap. I - Cyril M. Harris

Por definición, el nivel de presión sonora de las ondas sonoras con una presión sonora igual a  $p$  es igual a:

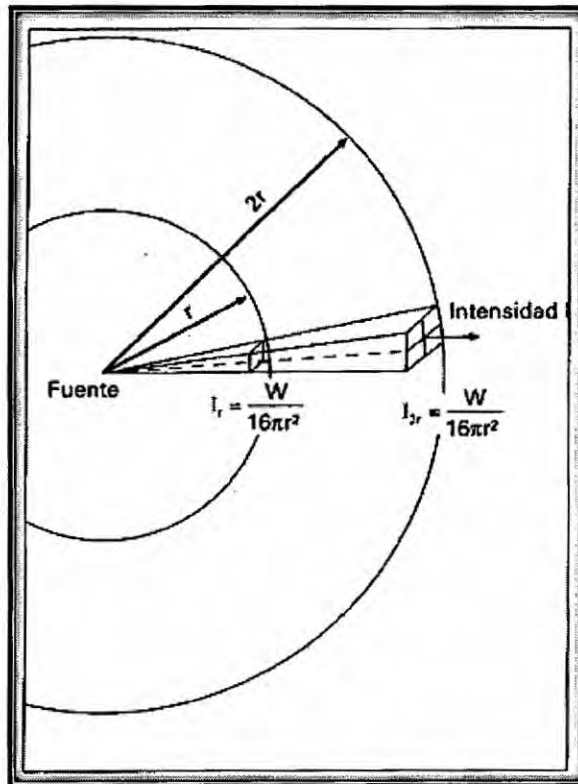
$$\text{Nivel de presión sonora} = 20 \log_{10}(p/20\mu Pa) \text{ dB} \dots \dots (8)$$

Donde la presión sonora  $p$  se expresa en micropascales. Por ejemplo, la presión de un sonido de  $20 \mu Pa$  corresponde a un nivel de presión sonora de 0 dB, una presión sonora de  $40 \mu Pa$  corresponde a un nivel de presión sonora de 6 dB y una presión sonora de  $200 \mu Pa$  corresponde a un nivel de presión sonora de 20 dB. Así, doblar cualquier valor de presión sonora corresponde a un aumento de 6 dB en el nivel de presión sonora; la multiplicación por 10 de la presión sonora corresponde a un aumento de 20 dB en el nivel de presión sonora. La relación presentada en la Ecuación (8) se muestra de forma gráfica en la Figura N° 2.6. (Harris, 1995)

### **Intensidad del sonido**

El paso de las ondas sonoras se acompaña de un flujo de energía acústica. La *intensidad del sonido*  $I$  en una dirección específica en un punto del campo sonoro es igual al flujo de energía sonora a través de una unidad de área en ese punto (potencia por unidad de área que fluye a través del punto), siendo la unidad de área perpendicular a la dirección especificada. Por ejemplo, considérese una fuente puntual (una fuente de sonido cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con la longitud de onda del sonido irradiado); esta fuente irradia uniformemente en todas direcciones. Supongamos que esta fuente está en un campo libre (alejada de todas las superficies reflectantes). La fuente emite una potencia sonora de  $W$  vatios, como ilustra la Figura N° 2.7. Consideremos una esfera imaginaria rodeando esta fuente, con un radio de  $r_0$ ; (Harris, 1995)

FIGURA N° 2.7 Fuente puntual de potencia acústica  $w$  en campo libre<sup>6</sup>



Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cap. I - Cyril M. Harris

La superficie del área de la esfera  $S$  es igual a  $(4\pi r_0)$  Luego la intensidad el sonido en la dirección radial es igual a:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r^2} \left( \frac{W}{m^2} \right) \dots \dots \dots (9)$$

Así, para una fuente puntual en un campo libre, la intensidad, en la dirección radial, varía inversamente al cuadrado de la distancia de la fuente; esta relación se denomina ley inversa del cuadrado. La intensidad es cero para la dirección perpendicular a la dirección de propagación. Por tanto, resulta

<sup>6</sup> La intensidad de cualquier punto varía inversamente al cuadrado de la distancia desde la fuente, de manera que cuando se dobla la distancia, la intensidad se reduce a un cuarto de su valor; esto es igual a una reducción de 6 dB en el nivel de intensidad. Así, a una distancia  $r$  desde la fuente, la intensidad  $I_r$  es  $W/4\pi r^2$ , y a una distancia de  $2r$ , la intensidad es  $W/16\pi r^2$ .



obvio que el término intensidad sólo tiene significado si se especifica la dirección. (Harris, 1995)

### **Nivel de intensidad**

El nivel de intensidad del sonido ( $L_i$ ), en decibelios, es igual a 10 veces la razón entre la *intensidad de un sonido I* y la *intensidad sonora de referencia  $I_0$*  de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  (1 picovatio/m<sup>2</sup>) (Harris, 1995):

$$L_i = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \text{ dB} \dots \dots \dots (10)$$

### **Nivel de banda de octava**

Una medida importante del ruido es su distribución en frecuencias. Los instrumentos empleados en la medida de la distribución del sonido a lo largo del rango de frecuencias audible, se denominan *analizadores de espectro*. El analizador de espectro que es más habitual divide el rango de frecuencia audible en bandas de una octava de anchura. (Una octava es un intervalo de frecuencia entre dos sonidos cuya razón de frecuencia es 2; p. ej., desde 707 Hz a 1414 Hz.) Este instrumento se denomina *analizador de bandas de octava*. El nivel de presión sonora dentro de una banda con una octava de anchura se denomina *nivel de presión sonora de banda de octava* o simplemente *nivel de banda de octava*. (Harris, 1995)

---

## **2.2.2. EL RUIDO**

Una melodía sonando a todo volumen en la radio puede resultar muy agradable para una familia en su casa, pero es una molestia para los vecinos que están intentando dormir; es decir, no es deseada; es ruido. Por definición, *el ruido es un sonido no deseado*<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> El ruido también puede definirse como el sonido, generalmente de naturaleza aleatoria, cuyo espectro no exhibe componentes de frecuencia diferenciables.

El ruido, para serlo, no necesariamente debe ser muy intenso, como lo atestigua el caso del ruido de un mosquito volando cerca del oído. Otro ejemplo clásico es el de un caño que gotea de noche, la cual puede producir mucha molestia a pesar de que su nivel sonoro sea muy bajo. De hecho, el ruido de las millones de gotas que forman la lluvia es mucho más intenso, y sin embargo es menos molesto y en muchos casos hasta placentero o sedante.

Una cualidad importante del ruido que recién en los últimos tiempos comienza a reconocerse es su contenido semántico (es decir, relativo a su significado) y contextual.

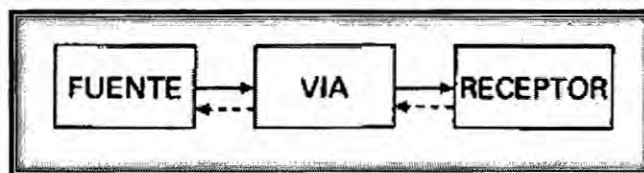
#### **2.2.2.1. TRANSMISIÓN DEL RUIDO**

El ruido puede llegar al oyente a través de múltiples vías. Supongamos, por ejemplo, que el oyente escucha el piano del piso de arriba. Parte del sonido puede haberse transmitido a través de una vía de aire directa por la ventana de arriba, a través de una vía exterior y de la ventana del oyente. Parte del sonido irradiado por el piano golpeará las paredes, forzándolas a una pequeña vibración; una fracción de esta energía vibratoria viajará a través de la estructura del edificio, forzando a otras superficies a que vibren e irradien el sonido. De forma alternativa, parte de la energía vibratoria puede comunicarse a través del mueble del piano hacia el suelo, totalmente a través de una vía sólida, haciendo que el suelo vibre y que por tanto irradie el sonido hacia el piso de abajo.

Por comodidad, en problemas técnicos, se puede representar la transmisión del sonido desde una fuente a un oyente mediante el diagrama en la Figura N° 2.8.

En realidad, el bloque descrito como fuente puede representar no a una, sino a varias fuentes de energía vibratoria; p. ej., puede incluir todos los aviones que sobrevuelan un área específica. Como se indicó anteriormente, las vías pueden ser numerosas. Por último, el bloque denominado receptor puede representar a una sola persona, a un grupo, a una comunidad o a una zona delicada de equipamiento cuyo funcionamiento se ve afectado por el ruido.

FIGURA N° 2.8 Transmisión del sonido de la fuente al oyente<sup>8</sup>



Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cap. I - Cyril M. Harris

#### 2.2.2.2. FUENTES DE RUIDO

Los generadores de ruido, o llamados también *fuentes de ruido*, pueden variar en número, y sus emisiones pueden cambiar con el tiempo, como, por ejemplo, en el caso del tráfico de vehículos en una intersección.

La vía a través de la que el ruido alcanza nuestros oídos desde una fuente es de naturaleza estadística. Por ejemplo, consideremos un avión dando vueltas sobre un oyente situado en el suelo. Debido a las irregularidades en la atmósfera, habrá multitud de variaciones en la vía de transmisión. Estas variaciones estadísticas en las características de propagación de la atmósfera pueden dar como resultado una amplia fluctuación en el nivel sonoro en el oído del oyente. Consideremos como otro ejemplo el nivel de ruido en una oficina separada de una fábrica ruidosa mediante una pared

---

<sup>8</sup> El bloque denominado fuente puede representar más de una fuente sonora; las vías pueden ser numerosas; y el receptor puede representar a una sola persona, a un grupo, a una comunidad o a un equipamiento cuyo funcionamiento se ve afectado por el ruido. Las flechas a trazos indican la interacción entre los distintos elementos del diagrama.

con una puerta. Cuando la puerta esté abierta, la vía de transmisión estará alterada. Así el nivel de ruido en la oficina variará estadísticamente dependiendo, entre otros factores, de la frecuencia con que la puerta de la fábrica esté abierta.

### **2.2.2.3. EL RUIDO AMBIENTAL**

El ruido ambiental es el ruido asociado con un ambiente determinado y suele estar compuesto de sonidos de muchas fuentes, próximas y lejanas.

Por ejemplo, supongamos que no hay tráfico en una calle y no hay fuentes de ruido significativas en un lugar determinado. Entonces, el ruido ambiental en este lugar es penetrante, lo impregna todo (es un compuesto de muchas fuentes de ruido), llega allí desde varias direcciones.

El control del ruido es la tecnología para obtener un ruido ambiental aceptable, de acuerdo con consideraciones económicas y operativas. El ambiente aceptable.

---

### **2.2.3. INTERACCIÓN DEL SONIDO CON EL MEDIO**

Aunque fuente, vía y receptor se muestran como elementos separados en el diagrama de bloques de la Figura N° 2.8, existe una considerable interacción entre ellos; no son elementos independientes.

La emisión de una fuente de sonido no siempre es constante, sino que puede depender de la vía y el receptor y del entorno en que esté localizada. Otro tipo de influencia del ambiente sobre la emisión de una fuente puede tener lugar cuando ésta es una persona hablando. Al hablar a un oyente próximo en una habitación pequeña, la potencia del habla del emisor puede ser relativamente pequeña, pero en una habitación grande o a cierta

distancia en exteriores, la potencia del hablante aumentará automáticamente. De hecho, el hablante está influido por el receptor y por la vía. Si sabe que el oyente es duro de oído hablará más alto. Otra ilustración de la influencia de la vía y el receptor sobre la fuente la aporta el operador de una máquina ruidosa al cambiar su funcionamiento de acuerdo con las condiciones ambientales en que ésta se coloca y de las personas a quienes se puede molestar con su operación.

No siempre se reconoce que las características de la vía pueden verse influidas por la fuente y el receptor. Por ejemplo, la atenuación que logra un silenciador depende en gran medida de las características de la fuente y del receptor; la atenuación de la vía no es una constante independiente de la fuente y el receptor. De igual manera, la reacción del receptor depende de las características de la vía y la fuente. Un ama de casa puede hacer sus tareas sin verse afectada por el ruido de los aviones que le sobrevuelan. Puede no verse influida por el ruido de los platos en el armario, puestos en vibración por un refrigerador ruidoso. Sin embargo, si la vibración de los platos fuera causada por el ruido del avión, su reacción podría ser completamente distinta. Así, resulta aparente que existe una considerable interacción entre fuente, vía y receptor, de la misma manera que puede haberla entre los muchos componentes que conforman la fuente, la vía y el receptor.

### **2.2.3.1. AISLAMIENTO ACÚSTICO**

El aislamiento acústico es el método más aplicado en el control de la propagación del sonido en el medio. En particular, el aislamiento acústico se ocupa de reducir la transmisión del ruido entre dos locales o en general entre un recinto y otro. El aislamiento modifica la diferencia entre el nivel de intensidad acústica  $L_1$  en un local emisor y el nivel de intensidad acústica  $L_2$  en un local receptor.



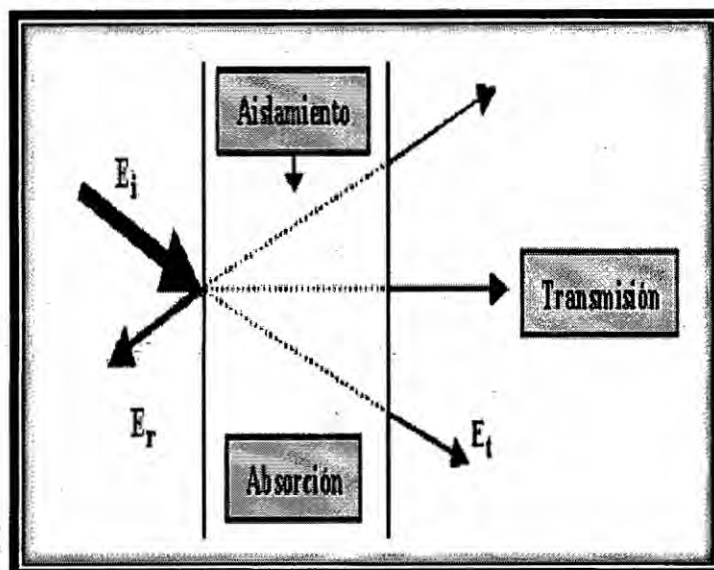
El principio de acción de un aislamiento acústico se describe de la siguiente manera (Figura N° 2.9):

- La energía del sonido que incide ( $E_i$ ) se descompone en la energía reflejada al medio emisor ( $E_r$ ) y la energía absorbida ( $E_a$ ), es decir, la energía no reflejada.
- A su vez, la energía absorbida se descompone en energía disipada en el material ( $E_d$ ) y energía transmitida al medio receptor ( $E_t$ ).

$$E_i = E_r + E_a \dots \dots \dots (11)$$

$$E_a = E_d + E_t \dots \dots \dots (12)$$

FIGURA N° 2.9 Representación del aislamiento de las ondas sonoras.



Fuente: tesis "Sistema alternativo para la evaluación de reducción de la transmisión de sonido" - (Heredia Mejía, G. A., *et al* - 2013)

Tal como se observa en la figura, la absorción es debido a que cuando las ondas sonoras chocan con un obstáculo, las presiones sonoras variables que actúan sobre él hacen que éste vibre. Una parte de la

energía vibratoria transportada por las ondas sonoras se transmite a través del obstáculo y pone en movimiento el aire situado del otro lado, generando sonido. Parte de la energía de las ondas sonoras se disipa dentro del mismo, reduciendo la energía irradiada al otro lado.

Es importante hacer mención que existe diferencia entre aislamiento y absorción, puesto que como se explicó anteriormente el aislamiento proporciona una protección acústica evitando la transmisión de sonido a través de diferentes medios o recintos y la absorción es utilizada para mejorar las características acústicas de un recinto permitiendo que el sonido generado dentro de este tenga una propagación óptima dependiendo el uso que se le pretenda dar. (Heredía Mejía, G. A.; Montes de Oca Hernández, G. Y.; Ruíz Hernández, A. I., 2013)

---

#### **2.2.4. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIOS CERRADOS**

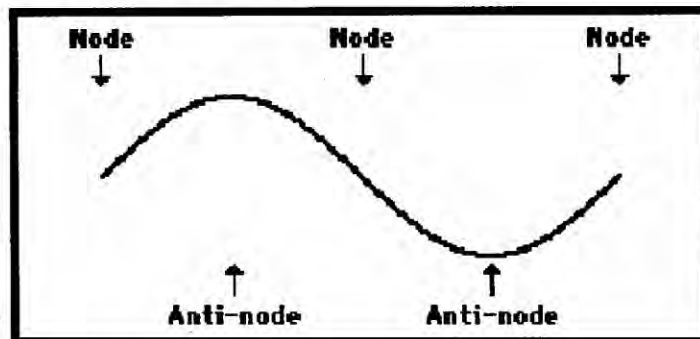
El comportamiento espacial del sonido alrededor de una fuente en un espacio cerrado, haciendo alusión a un tubo para esta investigación, es distinto de lo que sería si la misma fuente estuviera localizada al aire libre, lejos de cualquier superficie reflectante (en un «campo libre»). Esto se debe a que el sonido se refleja sobre los límites del cerramiento y sobre los objetos en su interior. En los límites del cerramiento, parte de la energía sonora incidente se refleja, parte es absorbida y parte es transmitida a través de las paredes del mismo.

##### **2.2.4.1. ONDAS ESTACIONARIAS**

Las ondas estacionarias no son ondas de propagación sino distintos modos de vibración de una cuerda, de una membrana, del aire en un tubo, etc. Lo que sucede en una cuerda con ondas estacionarias, (o en cualquier otro medio), se debe al efecto de la superposición de ondas que al cruzarse dan

lugar a que determinados puntos del medio estén estacionarios, que otros pasen por diferentes estados de vibración y que algunos alcancen estados de vibración máximos.

FIGURA N° 2.10 Nodos y antinodos de una onda estacionaria



Fuente: Manual de medidas acústicas y control del ruido – Cyril M. Harris

Una onda estacionaria se puede considerar como la interferencia de dos ondas de la misma amplitud y longitud de onda: un incidente que se propaga de izquierda a derecha y la otra que resulta de reflejarse esta en el extremo y se propaga de derecha a izquierda.

### **Ondas estacionarias en tubos abiertos y cerrados**

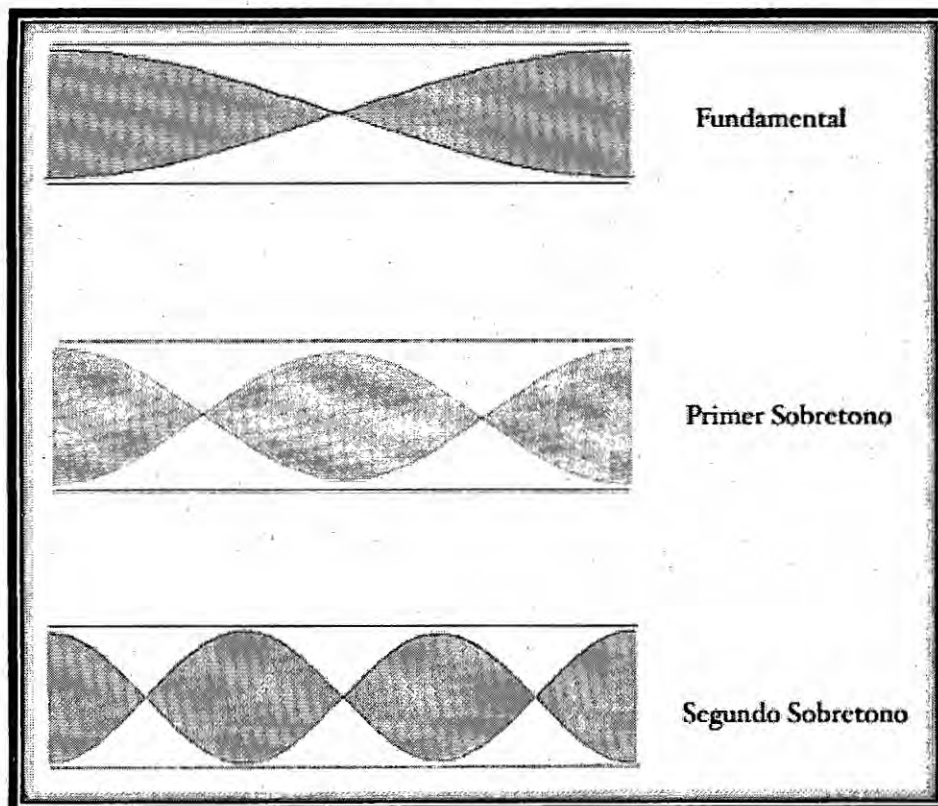
Los tubos de caña o de otras plantas de tronco hueco, constituyeron los primeros instrumentos musicales. Emitían sonido soplando por un extremo. El aire contenido en el tubo entraba en vibración emitiendo un sonido.

Las versiones modernas de estos instrumentos de viento son las flautas, las trompetas y los clarinetes, todos ellos desarrollados de forma que el intérprete produzca muchas notas dentro de una amplia gama de frecuencias acústicas.

El tubo de órgano es excitado por el aire que entra por el extremo inferior. El aire se transforma en un chorro en la hendidura entre el alma (una placa

transversal al tubo) y el labio inferior. El chorro de aire interacciona con la columna de aire contenida en el tubo. Las ondas que se propagan a lo largo de la corriente turbulenta mantienen una oscilación uniforme en la columna de aire haciendo que el tubo suene.

FIGURA N° 2.11 Tubos abiertos



Fuente: (Heredia Mejía, G. A.; Montes de Oca Hernández, G. Y.; Ruíz Hernández, A. I., 2013)

Si un tubo es abierto, como la que se muestra en la Figura N° 2.11, el aire vibra con su máxima amplitud en los extremos. En la figura, se representan los tres primeros modos de vibración. Como la distancia entre dos nodos o entre dos vientres es media longitud de onda. Si la longitud del tubo es  $L$ , tenemos que:

$$L = \lambda/2, L = \lambda, L = 3 \lambda/2,$$

En general:

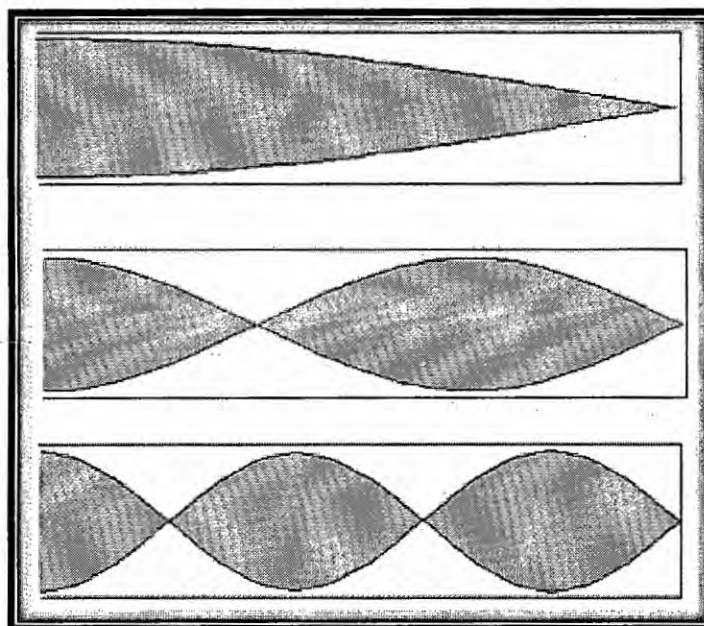
$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

“n = 1, 2, 3...” es un número entero

Considerando que  $\lambda = c/f$  (coeficiente de la velocidad del sonido sobre la frecuencia). Las frecuencias de los distintos modos de vibración responden a la fórmula:

$$f = \frac{nc}{2L} \dots \dots \dots (13)$$

**FIGURA N° 2.12** Tubos cerrados



Fuente: (Heredia Mejia, G. A.; Montes de Oca Hernández, G. Y.; Ruíz Hernández, A. I., 2013)

Si el tubo es cerrado (Figura N° 2.12), se origina un vientre en el extremo por donde penetra el aire y un nodo en el extremo cerrado. Como la



distancia entre un vientre y un nodo consecutivo es  $\lambda / 4$ . La longitud  $L$  del tubo es  $L = \lambda / 4, L = 3\lambda / 4, L = 5\lambda / 4$  Con  $n=0, 1, 2, 3...$

En general

$$L = \frac{(2n + 1)\lambda}{4}$$

Las frecuencias de los distintos modos de vibración responden a la fórmula:

$$f = \frac{2n + 1c}{2L} \dots \dots \dots (14)$$

---

### 2.2.5. ABSORCIÓN ACÚSTICA

Es la propiedad de los materiales para absorber energía acústica al disminuir la reflexión de las ondas sonoras incidentes. Cuando una onda de sonido golpea la superficie de un material, parte de la energía del sonido se refleja y otra parte penetra en la superficie. Parte de la energía de la onda de sonido es absorbida convirtiéndose en energía calorífica en el material, y el resto se transmite alrededor.

La *American Society for Testing and Materials (ASTM)* define la *absorción del sonido* como: «Una medida de las propiedades de absorción del sonido de un material (como la obtenida con el método ASTM C243, Ensayo de absorción y coeficientes de absorción del sonido mediante el método de la cámara reverberante). De forma ideal, la parte de la potencia sonora con incidencia aleatoria que es absorbida o en caso contrario que no es reflejada por el material».

Las propiedades absorbentes de sonido de un material se expresan en el coeficiente de absorción de sonido,  $\alpha$  (alfa) en función de la frecuencia. Alfa oscila de 0 (reflexión total) a 1.00 (absorción total). (Zicla, 2014)

Para las superficies porosas, parte de la energía es absorbida y convertida en calor.

### 2.2.5.1. EL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DEL SONIDO

Se denomina *coeficiente de absorción del sonido*, a la parte de la energía acústica absorbida cuando las ondas sonoras chocan con una superficie. El coeficiente de absorción de un material depende de éste y de la frecuencia del sonido que choca contra la superficie del material. Un coeficiente de 0,00 indica una reflexión perfecta (0% de absorción); un coeficiente de 1,00 indica una absorción perfecta (100% de absorción). Los coeficientes de absorción del sonido para varios materiales de edificación se presentan en la Tabla N° 2.2.

**TABLA N° 2.2** Coeficiente de absorción de diferentes materiales

Material	Frecuencias (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ventana abierta	1	1	1	1	1	1
Hormigón	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Madera	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
Filtro asbestos (1 cm)	-	-	0.35	0.30	0.23	-
Filtro de pelo y asbestos	-	-	0.38	0.55	0.46	-
Filtro sobre pared (3 cm)	0.13	0.41	0.56	0.69	0.65	0.49
Corcho (3 cm)	0.08	0.08	0.30	0.31	0.28	0.28
Corcho perforado y pegado a pared	0.14	0.32	0.95	0.90	0.72	0.65
Tapices	0.14	0.35	0.55	0.75	0.70	0.60
Ladrillo visto	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
Enlucido de yeso sobre cemento	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04

Material	Frecuencias (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Celotex (22 cm)	0.28	0.30	0.45	0.51	0.58	0.57
Celotex (16 cm)	0.08	0.18	0.48	0.63	0.75	-
Vidrio	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
Placas perforadas de material poroso	0.44	0.57	0.74	0.93	0.75	0.76
Publico en asiento de madera	0.15	0.25	0.35	0.38	0.38	0.35
Cortinas plegadas a un 50%	0.04	0.23	0.40	0.57	0.53	0.40
Paneles perforados de fibra – yeso	0.40	0.80	0.62	0.92	0.81	-
Pared de ladrillo sin pintar	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
Concreto	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
Vidrio laminado	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Manta de lana de roca	0.60	1.03	1.13	0.99	1.07	1.01

Fuente: (Marin, 2001)

Las propiedades de absorción del sonido de un material dependen del ángulo con que la onda sonora incide sobre él, de manera que, por conveniencia, el coeficiente se presenta como un tipo de media de todos los ángulos de incidencia. El coeficiente de absorción del sonido que se usa a lo largo de este estudio, y en la mayoría de las publicaciones, corresponde a valores medidos en laboratorio mediante un método de ensayo del que se obtiene esta media.

Según la UNE – EN ISO 10354 – 1, se denomina *coeficiente de absorción acústica* al cociente entre la energía acústica absorbida por la superficie de la muestra de ensayo (sin retorno) y la energía acústica incidente, para una onda plana con incidencia normal.

El coeficiente de absorción acústica ( $\alpha$ ) se define por la relación (15) entre la energía acústica incidente ( $E_{incidente}$ ) y la energía acústica absorbida

( $E_{absorbida}$ ) por la superficie (sin retorno). (Luong, J.; Bueno, M.; Vázquez, V. F.; Paje, S. E., 2013)

$$\alpha = \frac{E_{absorbida}}{E_{incidente}} \dots \dots \dots (15)$$

El valor del coeficiente de absorción acústica, por un lado, dependerá de la facilidad de la onda para entrar en los poros del material. Por otro lado, este valor dependerá de la fricción con la estructura de la superficie interna, que participa en la disipación de energía sonora.

Se cree que en las mezclas porosas con vacío interconectado de aire neto, la reducción de ruido es causado esencialmente por dos mecanismos: En primer lugar, la succión mejorada y el aire bombeado tienden de reducir la generación de ruido debido a fenómenos aerodinámicos. En segundo lugar, la reflexión de onda acústica y la dispersión dentro de los poros resultan en un aumento en la absorción y disipación debido a la fricción interna.

Consiste en la relación de la energía acústica absorbida por la superficie de la muestra de ensayo (sin retorno) y la energía acústica incidente, para una onda plana con incidencia normal.

$$\alpha = 1 - |r|^2 \dots \dots \dots (16)$$

Donde  $|r|$  viene a ser el módulo de reflexión acústico el cual se obtiene de la ecuación:

$$|r| = \frac{s - 1}{s + 1} \dots \dots \dots (17)$$

El cual se deriva del rango de onda estacionaria utilizando máximos y mínimos de presión: (UNE-EN ISO 10534-1, 2002)

$$s = \frac{|P_{max,1}|}{|P_{min,1}|} \dots \dots \dots (18)$$

**Coeficiente de absorción acústica en incidencia normal**

Los valores del coeficiente de absorción se determinan bajo incidencia normal por evaluación del campo de ondas estacionarias de una onda plana senoidal incidente y de la onda plana reflejada por la muestra de ensayo. (AENOR, 2001)

**2.2.5.2. COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DEL RUIDO**

El coeficiente de reducción del ruido (NRC) de un material es un número único que es el valor medio de los coeficientes de absorción del material a las frecuencias de 250, 500, 1000 y 2000 Hz; esta media se expresa como el múltiplo más próximo de 0,05.

Los coeficientes de reducción del ruido se utilizan en la especificación de los materiales en aplicaciones de control del ruido. Sin embargo, cuando están implicadas frecuencias bajas o muy altas, suele ser mejor comparar los coeficientes de absorción en lugar de los coeficientes NRC. Esto se debe a que un material puede tener un valor NRC más alto que otro y sin embargo tener un valor inferior de absorción para 125 Hz, que puede ser particularmente importante en un problema concreto de control del ruido. (Harris, 1995)

**2.3. MATERIALES ABSORBENTES ACÚSTICOS**

Cuando las ondas sonoras chocan contra la superficie de un material, una parte de la energía incidente es absorbida mediante conversión a calor. Todos los materiales absorben el sonido en cierta medida; los materiales



acústicos son aquellos cuya función primaria es absorber el sonido. Por tanto, absorben una gran parte de la energía acústica que incide sobre ellos.

---

### 2.3.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ABSORBENTES

El elemento que origina la disipación de la energía sonora en la mayoría de los materiales acústicos es una capa de material muy poroso [al menos 1,27 cm (1/2 in) de grosor] en la que los poros están intercomunicados. Los poros pueden estar formados por mineral cubierto de fieltro o fibra de vidrio, por los intersticios existentes entre gránulos pequeños o por una composición de espuma en que las burbujas solidificadas se interconectan a lo largo de todo el material. Cuando una onda sonora penetra en un material poroso, la amplitud de vibración de las moléculas de aire es amortiguada progresivamente por la fricción contra las superficies de las fibras o las partículas que forman la estructura porosa. Esta fricción actúa como una resistencia acústica cuyo valor depende de la resistencia del material al flujo de aire directo; esta fricción depende sólo ligeramente de la frecuencia".

Otro factor que afecta a la absorción del sonido, principalmente en el rango de frecuencias bajas, es la profundidad del espacio entre el frente del material y una superficie rígida de apoyo detrás de él. El volumen de aire entre estas dos superficies incluye tanto el aire de los poros del material como cualquier cámara de aire entre el material y su apoyo. Esta última puede variar desde cero, cuando el material se apoya directamente a un soporte rígido, hasta 1 m (3 ft) o más, en el caso de los techos acústicos colgados. Cuando la profundidad total es menor que aproximadamente un cuarto de longitud de onda, el coeficiente de absorción de baja frecuencia del material decrece al decrecer la frecuencia".

Algunos materiales acústicos están cubiertos por un panel frontal, como un tablero perforado, una malla metálica, una placa de metal perforada o por una membrana flexible impenetrable por el aire. Estos paneles frontales tienen una transparencia acústica decreciente al aumentar la frecuencia. Si 4000 Hz es la frecuencia más alta para la que se precisa una absorción eficaz del sonido, la superficie perforada debe tener un área abierta de no menos del 100%; la membrana impenetrable que cubre el material poroso acústico debe tener una masa no superior a unos  $0,01 \text{ g/cm}^2$  ( $0,33 \text{ oz/ft}^2$ ).

Por tanto, los materiales acústicos en general muestran una curva de absorción en función de la frecuencia con aspecto puntiagudo, cuya forma en las frecuencias bajas está determinada en gran medida por la profundidad de la cámara de aire; en el rango de frecuencias de máxima absorción, por la resistencia al flujo, y en las frecuencias altas, por la cantidad de orificios de la superficie.

---

### **2.3.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN**

Existen diferentes métodos de hallar el coeficiente de absorción acústica de los materiales. Entre ellos se encuentran el del tubo de impedancia, la de la cámara reverberante, anecoica, entre otros.

#### **2.3.2.1. TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA**

El método más clásico para determinar el coeficiente de absorción del sonido de un material, es el basado en el tubo de impedancia acústica (tubo de ondas estacionarias o tubo de Kundt).

En el presente estudio ha utilizado dicho método para la realización de la parte experimental. La Norma que se sigue para estos ensayos es la UNE-EN ISO 10534-1.

Una de las particularidades más significativas de este método es que la frecuencia más alta de muestreo es inversamente proporcional al diámetro del tubo, como se explica en la norma mencionada.

Esta técnica se utiliza principalmente en laboratorio, pero hay algunos investigadores que trabajan en la forma de aplicarla para realizar medidas in situ cuando se trata de superficies planas (como asfaltos en carretera, por ejemplo).

El principio de funcionamiento de tubo de impedancia se describe de la siguiente manera:

El método del tubo de impedancia se basa en la existencia de una onda acústica incidente plana y da valores exactos en esas condiciones (excluidos los errores de medición y de montaje).

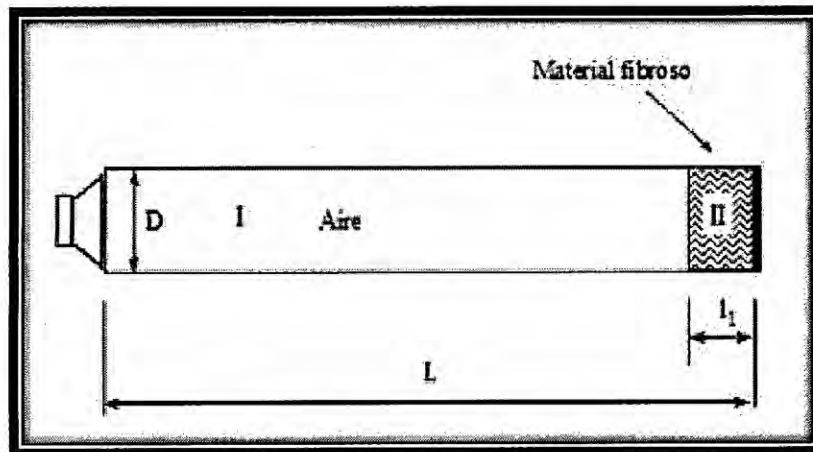
Sea un tubo de una longitud  $L$  y un diámetro  $D$  de forma que las ondas que se propagan en él sean ondas planas. Para ello debe cumplirse la condición:

$$\lambda \gg 1.7 D$$

Siendo  $\lambda$  la longitud de onda en el tubo.

Esta condición, es general, y se debe cumplir en todo método que utilicemos un tubo de estas características. El tubo propuesto debe ser rígido y su terminación también debe serlo. Se introduce en el extremo rígido una muestra de material absorbente acústico de grosor  $l$ . Al principio del tubo se coloca un altavoz capaz de generar tonos de frecuencias bajas. El esquema se muestra en la Figura N° 2.13.

**FIGURA N° 2.13** Montaje experimental para obtener coeficiente de absorción en incidencia normal



Fuente: elaboración propia en base a la Norma UNE – EN ISO 10354 - 1

Una vez descrito el montaje, el proceso de medida es el siguiente, se alimenta el altavoz con un tono de una frecuencia determinada y se registra mediante una sonda que recorre el tubo la presión máxima y mínima,  $p_{max}$  y  $p_{min}$ . A partir de estos valores se obtiene la relación de onda estacionaria  $s$  para esa frecuencia, la misma que se demostró en la ecuación N° 17.

A partir de la ecuación (17) se puede obtener el valor del coeficiente de absorción en incidencia normal:

$$\alpha = \frac{4s}{(1 + s)^2} \dots \dots \dots (19)$$

El método del tubo de impedancia necesita muestras del material en ensayo del tamaño equivalente al área de la sección recta del tubo de impedancia. Puede aplicarse igualmente a objetos importantes bien definidos tanto en sentido lateral como perpendicular.

### **2.3.2.2. CÁMARA REVERBERANTE**

El método de la cámara reverberante se utiliza para medir la absorción en situaciones de incidencia aleatoria. El principio de funcionamiento se basa en medir el tiempo de reverberación antes y después de colocar una muestra de material. El hecho de que se trabaje con campo sonoro difuso le proporciona a este método un mayor ajuste a la realidad.

La evaluación del coeficiente de absorción acústica en cámara reverberante se basa en un cierto número de hipótesis de simplificación y de aproximación relativas al campo acústico y al tamaño del absorbente. Por ello se obtienen, a veces, coeficientes de absorción acústica mayores a 1. Además este método determina (en condiciones ideales) el coeficiente de absorción acústica bajo incidencia aleatoria. (AENOR, 2001)

---

### **2.3.3. USO DE MATERIALES ORGÁNICOS PARA LA ELABORACIÓN DE BARRERAS ACÚSTICAS**

Debido a que la mayoría de los productos de desecho generalmente se acumulan en vertederos, su proliferación está obligando al mundo científico a pensar en nuevos usos para estos residuos en forma de nuevos productos, lo cual, por otra parte, es también una manera de revalorizarlos. Por otra parte, ya que las estrategias de gestión de residuos deben incluir la reducción de los impactos ambientales del reciclaje de residuos, una filosofía ecológica sostenible implica la reducción de los residuos por el cambio de los procesos industriales que generan residuos y/o como materia prima la reutilización de estos materiales utilizados para nuevos productos. El reciclaje puede eliminar sustancialmente tanto los costes de compra y de eliminación de los nuevos materiales. El enfoque en los esfuerzos de obtener nuevos productos más amigables con el medio ambiente debe ser el punto de partida de la sostenibilidad ambiental. (García-Valles, M.; Avila, G.; Martínez, S.; Terradas, R.; Nogués, J.M., 2008)



## **Materiales fibrosos**

Existen muchas alternativas de materiales potenciales en forma de fibras orgánicas (ya sea de origen vegetal o animal), así como información con respecto a muchos de ellos. Véase la Tabla 2.2.

Las fibras vegetales son células largas, de paredes gruesas cuya composición es principalmente de celulosa. Las moléculas de celulosa se componen de unidades de glucosa, unidas entre sí en largas cadenas, que a su vez están unidos en paquetes llamados micro-fibrillas, pegadas entre sí con pectina. Las hemicelulosas y la lignina también se encuentran en todas las fibras de plantas. Las hemicelulosas son polisacáridos unidos entre sí en tiempo relativamente corto, y se ramifican en cadenas. Estos están íntimamente asociados con la celulosa micro-fibrillas, incorporando la celulosa en una matriz. La lignina es el compuesto que da rigidez a una planta y es responsable de las tallas y la dureza que se encuentra en cultivos tales como paja o cañas.

Las fuentes vegetales de fibra incluyen el algodón, cáñamo, kenaf, ramio, sisal, lino, cal, yute, hierbas marinas, bambú y abacá. En general, las fibras naturales se pueden agrupar en dos categorías: fibras blandas y fibras duras. La mayoría de las fibras suaves provienen de la porción líber de la planta que se encuentra directamente debajo de la corteza exterior o piel y es donde tienen lugar el transporte de los productos de la fotosíntesis y el desarrollo de estructuras de estabilización. Se tienen entre las fibras suaves el cáñamo, el lino, yute y ramio. Las fibras son generalmente liberadas del tallo mediante un proceso denominado enriado<sup>9</sup>. Las haces de las fibras liberados se utilizan con frecuencia sin separación adicional, sin embargo,

---

<sup>9</sup> Proceso de fermentación para la destrucción del aglomerado existente entre el tallo y la capa fibrosa, por disolución de la materia aglutinante.

las hebras del lino y ramio, normalmente se separan en células individuales de fibra, o fibras de plantas reales.

Las fibras duras se componen no sólo del liber, sino también en parte del núcleo de madera endurecida de la planta, y la dureza de las fibras es causada por el depósito de lignina en las paredes celulares. Las fibras duras proceden generalmente de las hojas de especies monocotiledóneas (semillas de hoja única), por ejemplo el agave sisal, la fibra de plátano y de palmas.

Hay una gran variación entre las dimensiones de las fibras y de los diversos tipos de materia prima, lo cual es que están con frecuencia separadas por medio de procesos para generar fibras adecuadas para los productos específicos finales; por ejemplo, la estopa o tallo de fibras se utiliza principalmente en la industria textil o como cuerdas, porque estos requieren fibras largas.

En la Tabla 2.2 puede verse que las fibras básicas de plantas se pueden dividir en dos subgrupos, dependiendo del diámetro medio de la fibra. El yute, el cáñamo y el sisal y son relativamente gruesas, con diámetros de fibra de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  para el yute y el cáñamo, y con un valor de más de 200  $\mu\text{m}$  para las de sisal. El algodón, el lino y el ramio tienen diámetros de fibras entre 13-25  $\mu\text{m}$ , por lo que estas materias son utilizadas en la fabricación de telas. (Oldham, D.; Egan, C.; Cookson, R., 2011)

### **Materiales no fibrosos**

Los productos comerciales fabricados a partir de materiales de biomasa en la forma de varios productos de cartón que consta de madera triturada y comprimida, de paja, caña o partículas de corcho que son disponibles en el mercado. Estos materiales tienen una larga historia de uso para tejados y

una vida útil de 40 a 60 años se puede lograr en los techos de paja compuestos por cañas.

Las características de la distribución de los poros que se producen en las capas de pajas o cañas sin triturar son muy heterogéneas. Estos poros surgen de la falta de uniformidad de las secciones transversales de longitudes individuales. Esto resulta en un gran número de hendidura de poros, paralela a longitudes de la paja o caña, que se comunican con grandes cavidades entre las pajas o cañas individuales. (Oldham, D.; Egan, C.; Cookson, R., 2011)

Según diversos estudios a nivel internacional, hasta la actualidad se vienen demostrando las propiedades y la utilidad de muchos materiales orgánicos como barreras acústicas, solo por mencionar algunos de ellos, a continuación se listan los más estudiados:

#### **Barreras acústicas de kenaf**

El kenaf es un recurso renovable, que se adapta a un amplio rango de suelos. Es un cultivo que no aguanta heladas y requiere mucha humedad, se utiliza para biocompostas de usos industriales y en últimos estudios se ha demostrado que presenta buenas propiedades acústicas (absorbentes). Además de que es un cultivo de carácter medioambiental.

#### **Barreras acústicas de coco**

La fibra de coco es un producto natural y ecológico, con elevados índices de rigidez y dureza, baja conductividad al calor, resistencia al impacto, a las bacterias y al agua y tiene grandes propiedades acústicas.

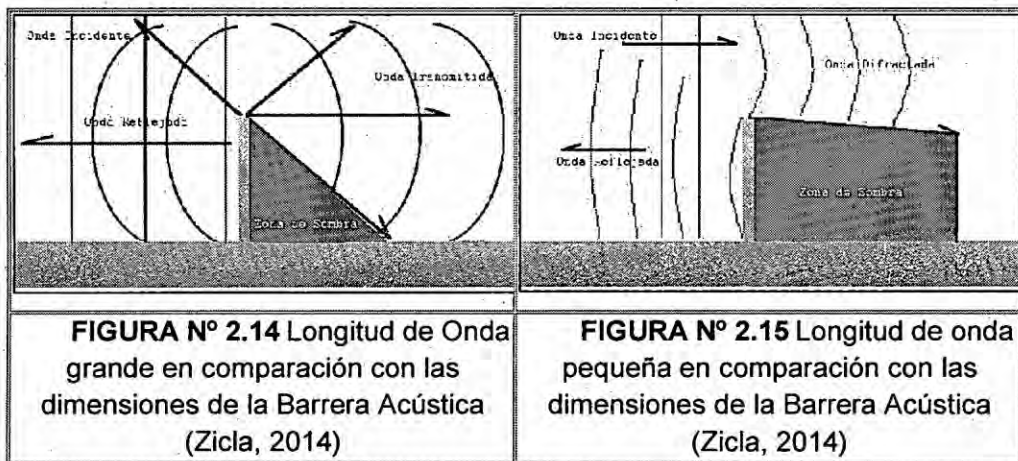
#### **Barreras acústicas de yute**

Se puede utilizar en el ámbito de los geotextiles, en construcción de carreteras y en edificaciones. Es biodegradable, no causa daños ecológicos, y se puede usar como producto ecológico y fertilizante.

**2.4. BARRERAS ACÚSTICAS Y RUIDO AMBIENTAL**

**2.4.1. TEORÍA BÁSICA DE LAS BARRERAS ACÚSTICAS**

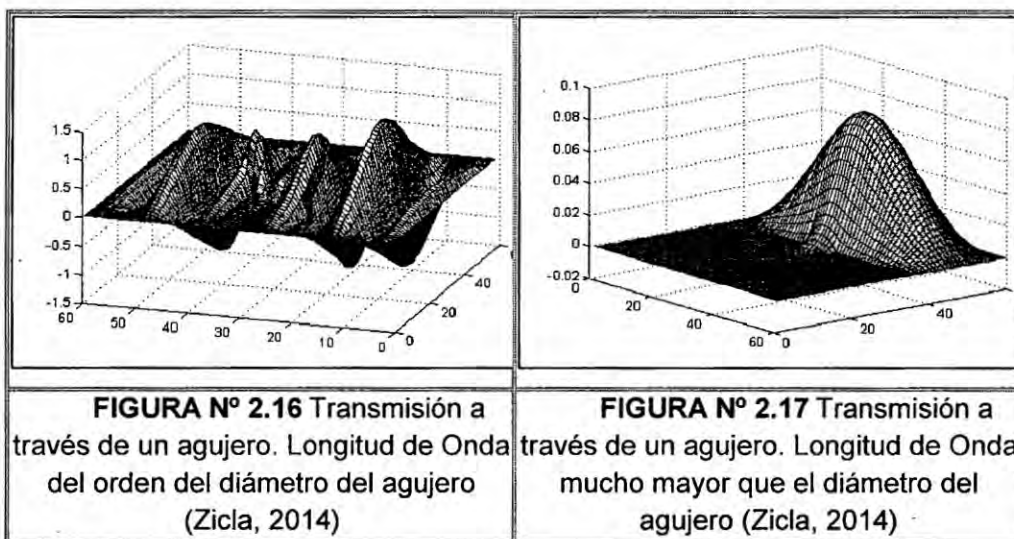
El comportamiento de una barrera acústica frente al ruido está íntimamente ligado a la longitud de onda. El sonido incidente sobre una barrera en lugar de seguir recto como lo hace la Luz, desvía su trayecto iluminando la zona teórica de sombra. Cuanto mayor es la longitud de onda (más baja es la frecuencia) más iluminada está la zona teórica de sombra (Figuras 2.14 y 2.15).



Para longitudes de onda suficientemente largas en comparación con el tamaño de la barrera la onda se llega a propagar como si no existiera la barrera.

El hecho de “no ver” los obstáculos menores que la longitud de onda es aplicable de forma general. Una onda acústica ignora la presencia de una

pared menor que la longitud de onda, pero también ignora la presencia de un agujero de dimensiones mucho menores que la longitud de onda como puede verse en las Figuras 2.16 y 2.17.



Para hacernos una idea intuitiva del porqué de este comportamiento no es difícil hacer un símil de nuestra vida cotidiana.

Cuando pasamos nuestro dedo sobre una superficie y decimos que es lisa, ignoramos sus irregularidades porque son mucho menores que el tamaño de nuestro dedo (la longitud de onda de nuestro sensor).

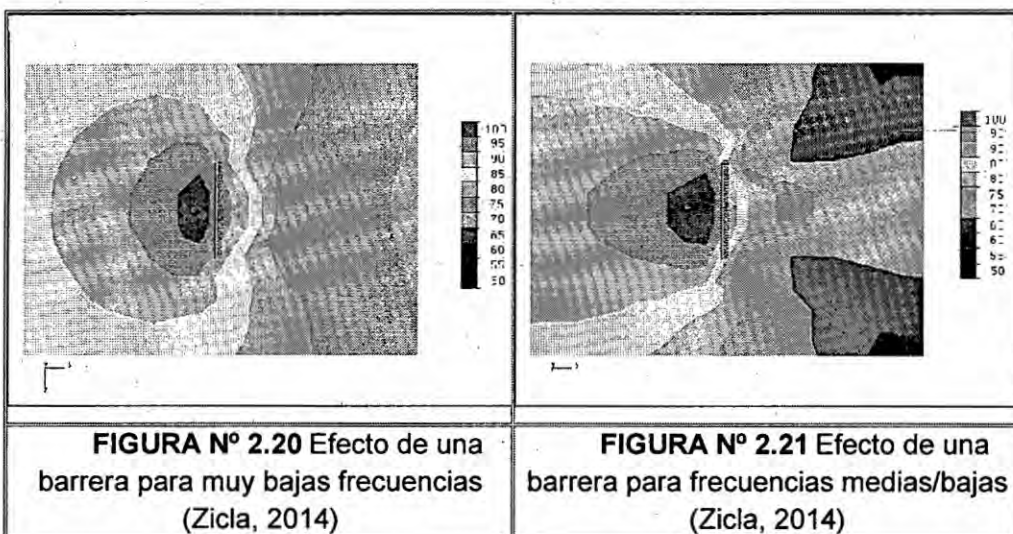
Si por el contrario las irregularidades tienen tamaños comparables a nuestro dedo diremos que la superficie es irregular. (Figuras 2.18 y 2.19).

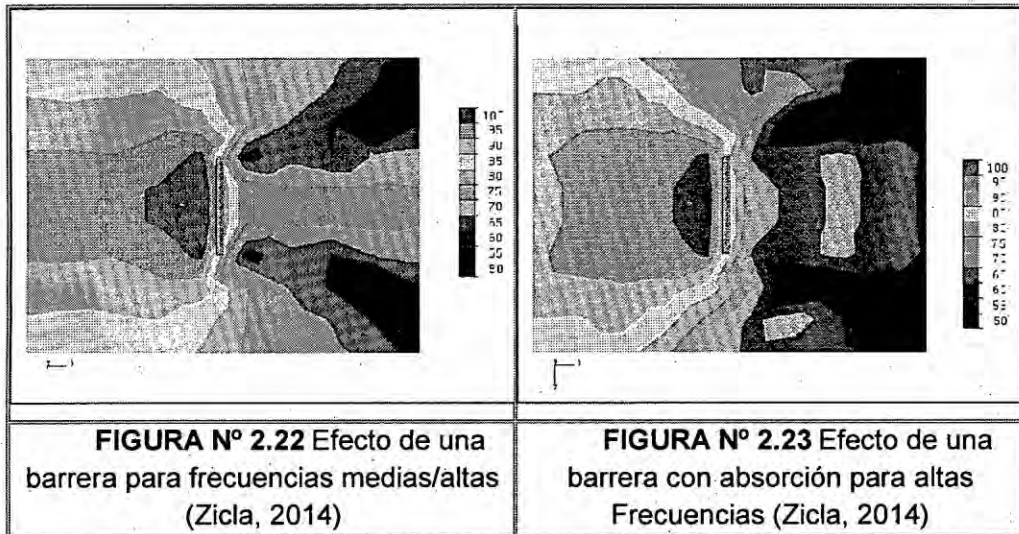




Dada la dependencia de la atenuación con la frecuencia para conocer la atenuación que podremos lograr con una Barrera Acústica deberemos conocer el ruido que tenemos a cada Frecuencia, es decir su Espectro.

Las siguientes Figuras (2.20 y 2.23) son cálculos reales correspondientes al corte vertical de una barrera de 12 metros de largo.





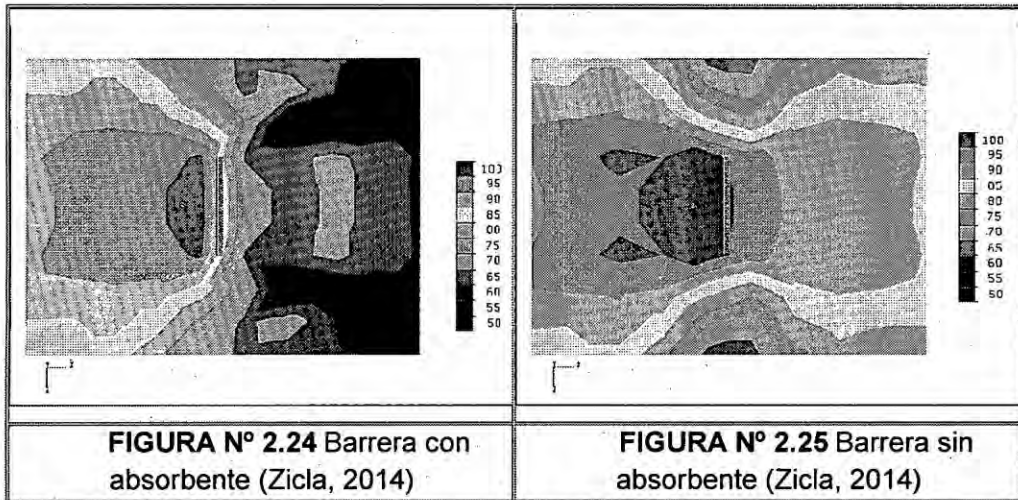
A la derecha de ambos dibujos puede verse la escala de colores que expresan en dB los niveles producidos por una fuente puntual situada a 3 m de la barrera.

#### **2.4.1.1. ABSORCIÓN DE LAS BARRERAS ACÚSTICAS**

Naturalmente la capacidad absorbente de un material acústico también es función de la frecuencia. La utilización de material absorbente en las barreras acústicas es de importancia fundamental.

Existe la idea bastante extendida de que esto sólo es así en el caso de que se deban poner barreras a ambos lados de la carretera ya que en este caso si no hay absorbente la energía reflejada (devuelta hacia atrás) por una barrera rebotará sobre la otra y por tanto no se ganará nada ya que entre las dos barreras el ruido resultará amplificado como sucede cuando hablamos a través de un tubo.

Este principio es totalmente cierto, sin embargo no es cierto que sólo en este caso sea importante la utilización de material absorbente:



En la Figura 2.24 puede verse el comportamiento de la misma barrera que en la Figura 2.25 y en la misma Frecuencia cuando sobre la barrera no se utiliza material absorbente.

Su eficacia es muchísimo menor que cuando tiene absorción de modo que, en general no debe montarse ninguna barrera acústica sin absorción.

#### 2.4.2. EFECTOS DEL RUIDO AMBIENTAL

Como principio general, un ruido inteligible o fuera de contexto será más molesto y perturbador que uno neutro, ya que evocará sensaciones desagradables o desviará la atención. Así, la mayor parte de las personas encontrará más molesta una conversación apacible en la sala, a unos metros del dormitorio, cuando quieren conciliar el sueño, que muchas conversaciones todas juntas en un restaurante.

Estamos hablando de uno de los efectos notorios del ruido: la molestia; y ya vimos que está vinculada bastante directamente con los aspectos cualitativos del sonido.

Nos hemos referido en primer término a estos aspectos cualitativos para llamar la atención sobre su importancia, en general relegada a un segundo plano por el solo hecho de que aún son difíciles de cuantificar.

Pero no por ello podemos ni debemos desconocer la abrumadora evidencia de que la intensidad del ruido es también un factor importante. Partiendo de ruidos neutros, es decir en los que sus características semánticas o contextuales no puedan por sí solas ser fuente de molestia (por ejemplo el ruido del tránsito), el grado de molestia pasa a depender de la intensidad. Es decir, existe una correlación importante entre el nivel sonoro y el porcentaje de personas que se sienten altamente molestas. Este hecho es habitualmente utilizado con fines de planificación o para evaluar el impacto acústico de un nuevo asentamiento o emprendimiento industrial.

Por último, el efecto del ruido quizás más estudiado, y más tempranamente reconocido en la historia: su capacidad para provocar pérdida auditiva, también llamada "hipoacusia". Esto sucede cuando se da una conjunción de tres factores: el nivel sonoro es muy alto, la exposición es periódica (por ejemplo, diaria) con poco descanso entre exposiciones sucesivas, y el régimen de exposición se prolonga durante varios años.

Esto suele ocurrir en general en contextos laborales o recreacionales. Por ejemplo: el trabajo en la industria metalúrgica, textil o del vidrio, la escucha de música a altos volúmenes, tanto por asistencia a discotecas como mediante reproductores portables (como el walkman y el discman). El deterioro es, en estos casos, gradual e irreversible.

Como ejemplo, un disc jockey que trabaja en una discoteca 4 horas por día 3 veces por semana desde los 15 años hasta los 30, tiene alrededor de un 30% de probabilidad de volverse hipoacústico. En otras palabras, casi uno de cada tres casos tendrá dificultades irreversibles para entender la palabra

hablada ¡a los 30 años! También se produce deterioro auditivo, en este caso con posible daño inmediato, al exponerse a ruidos de explosiones y otras detonaciones, como el de los artículos de pirotecnia, o el de disparos de armas de fuego. El daño normalmente es irreversible.

Pero aún con ruidos de nivel no tan elevado pero permanentes, como los ruidos comunitarios de la sociedad moderna, puede producirse un deterioro auditivo tal vez de menores consecuencias que los mencionados antes, pero no por ello menos alarmantes.

Concretamente, se produce un aceleramiento del envejecimiento auditivo, es decir, de la presbiacusia. Esto es sabido desde los años sesenta, cuando se demostró que en comunidades culturalmente primitivas que gozan de un ambiente acústico mucho más favorable que el de los países desarrollados, la disminución de la audición por envejecimiento se da en un grado mucho menor. Por ese motivo se denominó "socioacusia" al envejecimiento auditivo prematuro por causas sociales. (Miyara, 2001)

---

### **2.4.3. BARRERAS ACÚSTICAS**

Estructuras diseñada para reducir la polución acústica. Su comportamiento frente al ruido está íntimamente ligado a la longitud de onda. El sonido incidente sobre una barrera en lugar de seguir recto como lo hace la luz, desvía su trayecto iluminando la zona teórica de sombra (ver gráfico 1 en anexos). Cuanto mayor es la longitud de onda (más baja es la frecuencia) más iluminada está la zona teórica de sombra.

Para longitudes de onda suficientemente largas en comparación con el tamaño de la barrera la onda se llega a propagar como si no existiera la barrera. Dada la dependencia de la atenuación con la frecuencia para conocer la atenuación que podremos lograr con una barrera acústica



deberemos conocer el ruido que tenemos a cada frecuencia, es decir su espectro.

Todos los materiales cuando reciben ruido producen tres tipos de respuesta desde el punto de vista acústico.

- Reflejan una parte de la energía acústica que reciben, como si fueran un espejo
- Transmiten parte de la energía que reciben
- Transforman en calor una parte de la energía que reciben. Cuando un material transforma en otro tipo de energía (normalmente calor) una parte importante de la energía acústica que recibe se dice que es un material absorbente del sonido. (Zicla, 2014)

## **2.5. NORMATIVAS RESPECTO AL RUIDO AMBIENTAL**

### **DS 085-2003 PCM: Aprueban el reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido**

La norma en mención establece los estándares nacionales de calidad ambiental para ruido y los lineamientos para no excederlos, con el objetivo de proteger la salud, mejorar la calidad de vida de la población y promover el desarrollo sostenible.

Los Estándares Primarios de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido consideran como parámetro el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A (LAeqT) y toman en cuenta las zonas de aplicación y horarios, que se establecen en la Tabla 2.3.

Las zonas de aplicación son las siguientes:

- Zona de protección especial: Es aquella de alta sensibilidad acústica, que comprende los sectores del territorio que requieren una protección especial contra el ruido donde se ubican establecimientos de salud, establecimientos educativos asilos y orfanatos.
- Zona residencial: Área autorizada por el gobierno local correspondiente para el uso identificado con viviendas o residencias, que permiten la presencia de altas, medias y bajas concentraciones poblacionales.
- Zona comercial: Área autorizada por el gobierno local correspondiente para la realización de actividades comerciales y de servicios.
- Zona industrial: Área autorizada por el gobierno local correspondiente para la realización de actividades industriales.

Los horarios establecidos son:

- Horario diurno: Período comprendido desde las 07:01 horas hasta las 22:00 horas.
- Horario nocturno: Período comprendido desde las 22:01 horas hasta las 07:00 horas del día siguiente.

**TABLA Nº 2.3** Estándares de calidad ambiental para ruido

Zonas de aplicación	Valores expresados en LAeqT	
	Horario diurno	Horario nocturno
<b>Zona de Protección Especial</b>	50	40
<b>Zona Residencial</b>	60	50
<b>Zona Comercial</b>	70	60
<b>Zona Industrial</b>	80	70

Fuente: DS 085-2003 PCM

## **2.6. DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS**

A continuación se ha definido los términos que se harán uso a lo largo del proyecto de investigación:

### **Absorbente acústico**

Todo aquel material que tenga la propiedad de absorber parte de la energía sonora que incide sobre ella, transformándola en otras formas de energía (generalmente energía calorífica como consecuencia del rozamiento).

### **Capacidad de absorción sonora**

Es la aptitud que tiene la barrera acústica de absorber el sonido en diferentes medidas.

### **Aislante acústico**

Todo aquel material que tenga la propiedad de formar un cerramiento evitando que el sonido incidente los atravesase en donde parte de la onda que incide es reflejada por el material dejando a la otra parte ser irradiada por el material en forma de vibración.

### **Barreras acústicas**

Dispositivos que interpuestos entre la fuente emisora y el receptor atenúan la propagación aérea del sonido, evitando la incidencia directa al receptor. Geométricas y manejan cierta proporción entre ellos para obtener características y propiedades específicas.

### **Contaminación Sonora**

Presencia en el ambiente exterior o en el interior de las edificaciones, de niveles de ruido que generen riesgos a la salud y al bienestar humano.

### **Fibras vegetales**

Son aquellas fibras, naturales, compuestas de células largas y delgadas de esclerénquima, cuya función principal es brindar soporte, rigidez y dureza a los tejidos vegetales, su composición básica es la celulosa en mayores proporciones, seguido de lignina , entro otras en cantidades mínimas.

### **Residuos orgánicos**

Aquellos productos de desecho generados en las actividades de producción y consumo que no alcanzan, en el contexto que son producidos, ningún valor económico.

### **Ruido**

Sonido no deseado que moleste, perjudique o afecte a la salud de las personas.

### **Sonido**

Energía que es transmitida como ondas de presión en el aire u otros medios materiales que puede ser percibida por el oído o detectada por instrumentos de medición.

### **Tubo de Kundt**

Dispositivo que permite visualizar ondas sonoras en un tubo de vidrio. Utilizado inicialmente para el estudio de las ondas estacionarias y para la determinación de la velocidad del sonido, actualmente se sigue utilizando en distintas aplicaciones como el estudio y obtención de las propiedades acústicas de algunos materiales.

---

### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

- ✦ **Variable independiente:** barreras acústicas
- ✦ **Variable dependiente:** absorción del ruido

#### 3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

- ✦ **Variable independiente: barreras acústicas**

**Definición conceptual:** Estructuras diseñadas con residuos orgánicos para reducir la contaminación acústica.

**Definición operacional:** Estructuras diseñadas con residuos orgánicos en forma de panel de distintos grosores (1.5 cm y 3.0 cm), elaborados a partir de la mezcla de corontas de maíz y hojas de piña con periódicos reciclados en distintas proporciones, con capacidad de absorber el sonido.

- ✦ **Variable dependiente: absorción del ruido**

**Definición conceptual:** es la propiedad designada a materiales acústicos de captar parte de la energía sonora incidente sobre ella, transformándola en otras formas de energía (generalmente energía calorífica como consecuencia del rozamiento).

**Definición operacional:** captación o absorción de las ondas del sonido incidente dentro del material acústico, medidas con el equipo de tubo



de impedancia, las que son representadas por el coeficiente de absorción del sonido  $\alpha$  (alfa) en función de la frecuencia.

### 3.3. HIPÓTESIS GENERAL

- ✦ Las barreras acústicas elaboradas con residuos orgánicos tendrán una alta capacidad de absorción del sonido.

### 3.4. INDICADORES DE LAS VARIABLES

- ✦ **Variable independiente: barreras acústicas**

- \* La composición (mezcla): indicador nominal representado por las mezclas de diferentes proporciones de los residuos orgánicos.
- \* Proporción (%), indicador continuo, que representa la proporción de mezcla de 2 materiales, toma los valores de 70%-30%, 50%-50% y 30%-70%
- \* Grosor (cm), indicador continuo, representa el grosor que tomará el material muestreado, los valores a muestrear son 1.5 cm y 3.0 cm.

- ✦ **Variable dependiente: absorción del ruido**

- \* Coeficiente de absorción del sonido ( $\alpha$ ),  $\alpha$  oscila de 0 (reflexión total) a 1 (absorción total).

**TABLA N° 3.1** Variables de la investigación

Mezcla de residuos	Variable independiente			Variable dependiente
	Composición (mezclas) [X <sub>i</sub> ]	Proporción (%) [X' <sub>i</sub> ]: %hoja de piña/coronta de maíz – %papel periódico	Grosor (cm) [X'' <sub>i</sub> ]	Coefficiente de absorción (α) [Y]
<b>Muestra 1</b>	[X <sub>1</sub> ]: Residuo orgánico 1	[X' <sub>1</sub> ]: 70%-30%	[X'' <sub>1</sub> ]: 1.5 cm	[Y]
<b>Muestra 2</b>			[X'' <sub>2</sub> ]: 3.0 cm	
<b>Muestra 3</b>		[X' <sub>2</sub> ]: 50%-50%	[X'' <sub>1</sub> ]: 1.5 cm	
<b>Muestra 4</b>			[X'' <sub>2</sub> ]: 3.0 cm	
<b>Muestra 5</b>		[X' <sub>3</sub> ]: 30%-70%	[X'' <sub>1</sub> ]: 1.5 cm	
<b>Muestra 6</b>			[X'' <sub>2</sub> ]: 3.0 cm	
<b>Muestra 7</b>	[X <sub>2</sub> ]: Residuo orgánico 2	[X' <sub>1</sub> ]: 70%-30%	[X'' <sub>1</sub> ]: 1.5 cm	
<b>Muestra 8</b>			[X'' <sub>2</sub> ]: 3.0 cm	
<b>Muestra 9</b>		[X' <sub>2</sub> ]: 50%-50%	[X'' <sub>1</sub> ]: 1.5 cm	
<b>Muestra 10</b>			[X'' <sub>2</sub> ]: 3.0 cm	
<b>Muestra 11</b>		[X' <sub>3</sub> ]: 30%-70%	[X'' <sub>1</sub> ]: 1.5 cm	
<b>Muestra 12</b>			[X'' <sub>2</sub> ]: 3.0 cm	

Fuente: elaboración propia

Donde de la tabla 3.1., se tiene lo siguiente:

- [X<sub>1</sub>]: son las muestras de barreras acústicas elaboradas a partir de las **hojas de piña con papel periódico** y se ha denominado como "Residuo orgánico 1"
- [X<sub>2</sub>]: son las muestras de barreras acústicas elaboradas a partir de las **corontas de maíz con papel periódico** y se ha denominado como "Residuo orgánico 2"

---

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

#### 4.1.1. INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL

El tipo de investigación llevado a cabo es básicamente una Investigación Correlacional, ya que vincula las variaciones de las capacidades de absorción acústica de cada material en función de la composición de los mismos, o dicho de otro modo es la relación entre las variables dependientes e independiente reconocidos para esta investigación. La correlación de las variables se determinó mediante la regresión polinomial de grado 3, y empleando el Excel.

### 4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.2.1. DISEÑO DE CARÁCTER EXPERIMENTAL:

Las barreras acústicas se elaboraron a partir de residuos orgánicos como las corontas de maíz y hojas de piña junto con hojas de papel periódico usados. El proceso de elaboración estuvo orientada a manipular, probar y desarrollar de forma experimental dichos residuos, que además fueron preparados en distintas proporciones y grosores. Posteriormente la determinación de la variable dependiente (coeficiente de absorción) de las muestras de barreras acústicas elaboradas se ejecutó experimentalmente mediante el uso del tubo de impedancia acústica, razones por el cual el diseño de la investigación tomó un carácter experimental; además de que dichos procedimientos se llevaron a cabo bajo condiciones estrictamente controladas dentro de un laboratorio y con el uso de los instrumentos adecuados.

### 4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 4.3.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se utilizaron técnicas experimentales, estadísticas y de laboratorio. En el caso de las técnicas experimentales previamente consistió en elaborar las muestras de barreras acústicas considerando composición, proporción y grosor que en el siguiente párrafo se detalla. La técnica de laboratorio consistió en someter a las muestras de barreras acústicas a diferentes pruebas en el tubo de impedancia acústica para determinar el coeficiente de absorción del sonido a su vez mediante técnicas estadísticas utilizando el programa de Excel.

En la elaboración de las barreras acústicas se optó por una combinación de métodos por cada sub fase. Tal es que primeramente se tuvo que obtener la pasta de papel periódico reciclado utilizado como matriz de las barreras por un método manual en húmedo y en la siguiente etapa dar forma y filtrar el agua de las muestras utilizando además la estufa eléctrica para acelerar el proceso de secado. En segundo lugar, para procesar la piña se tomó parte del procedimiento de (Castro Reyes, 2009), con la variante que el residuo de piña utilizado en este caso son las hojas de la corona y no la cáscara de la piña. Además el secado se llevó a cabo en una estufa eléctrica y no por convección natural, caso contrario, en el proceso de la coronta de maíz no se tomó ninguna metodología propia, sino se obtuvo el material realizando molienda de la materia prima para reducir el tamaño, similar a lo hecho con las hojas de piña. Toda esta primera etapa se ejecutó en el Laboratorio de Físico-Química de la Facultad Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales (FIARN).

Por otro lado, puesto que para la obtención del coeficiente de absorción sonora se requiere de un ambiente más sofisticado, se ejecutó en el

laboratorio de Física II de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas (FCNM), el cual cuenta con equipos y sensores especializados para el propósito. Adicional a ello previamente se acondicionó los equipos e instrumentos de medición según las especificaciones de la norma internacional UNE-EN ISO 10534 - 1 “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia Parte 1: Método del rango de onda estacionaria”.

---

#### **4.3.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La descripción de los equipos y accesorios utilizados se presentan en dos fases: en la primera se agrupan todas las herramientas utilizadas para la elaboración de las probetas o muestras de barras acústicas, mientras en la segunda se describen todos los equipos y materiales utilizados en los ensayos de medición del parámetro de estudio.

##### **A. Equipos y materiales para la elaboración de las muestras**

Para la elaboración de las barreras acústicas se utilizaron los siguientes materiales, equipos y accesorios:

##### **Equipos utilizados**

- **Balanza:** Se utilizó una balanza mecánica de pesa deslizable de laboratorio marca Ohaus, con capacidad máxima de 610 g y una precisión de 0.1 g, con la que se pesaron las materias primas utilizadas (papel periódico reciclado, coronta de maíz y hojas de piña).
- **Cocinilla eléctrica:** Se hizo uso de una cocinilla eléctrica de un plato con base de soporte hecho de cerámica y resistencia espiral externa, utilizada únicamente para calentar el agua en el proceso de obtención de la pasta de periódico reciclado.



- **Licuadaora:** Se aprovechó una licuadaora marca Practika de 450 W y 1 L de capacidad, con la finalidad de triturar el papel remojado y obtener la pasta de papel.
- **Molino electromecánico:** El molino empleado es una adaptación de un molino manual de mesa tipo disco, utilizado comúnmente para moler granos, acoplado a un motor eléctrico de 0.25 Hp de potencia, que facilita el trabajo de molienda agregando potencia al objeto. Se empleó para moler sucesivamente las corontas de maíz y hojas de piña hasta reducir el tamaño de estos y se puedan mezclar con la pasta de papel reciclado.
- **Estufa de laboratorio:** Se empleó un horno estufa de convección natural/microprocesador de laboratorio marca Binder serie ED 23, de 23 L de capacidad, con rango de temperatura de 5 °C por encima de la temperatura ambiental hasta 300 °C. Su finalidad fue secar las hojas de piña para poder facilitar su molienda y además acelerar el proceso de secado de las muestras de barreras acústicas.

### **Materiales utilizados:**

- **Materia prima**
  - *Papel periódico:* Se empleó papeles periódicos reciclados (500 g) como matriz para la elaboración de las barreras acústicas, en lugar de emplear aglutinantes o alguna fibra sintética.
  - *Hojas de piña:* Se emplearon hojas de piña provenientes de la cabeza del fruto (250 g), recogidas de mercados locales.
  - *Corontas de maíz:* Se utilizó las corontas de maíz (250 g), que son aquellos restos del maíz seco al ser desgranado éste, sin importar el tipo.
- **Moldes:** Hechos a partir de bastidores de madera de 1.5 cm x 1.5 cm de dimensión interna, forrados en la base con una tela malla fina y provistos de 2 planchas de madera, uno como base y otro como

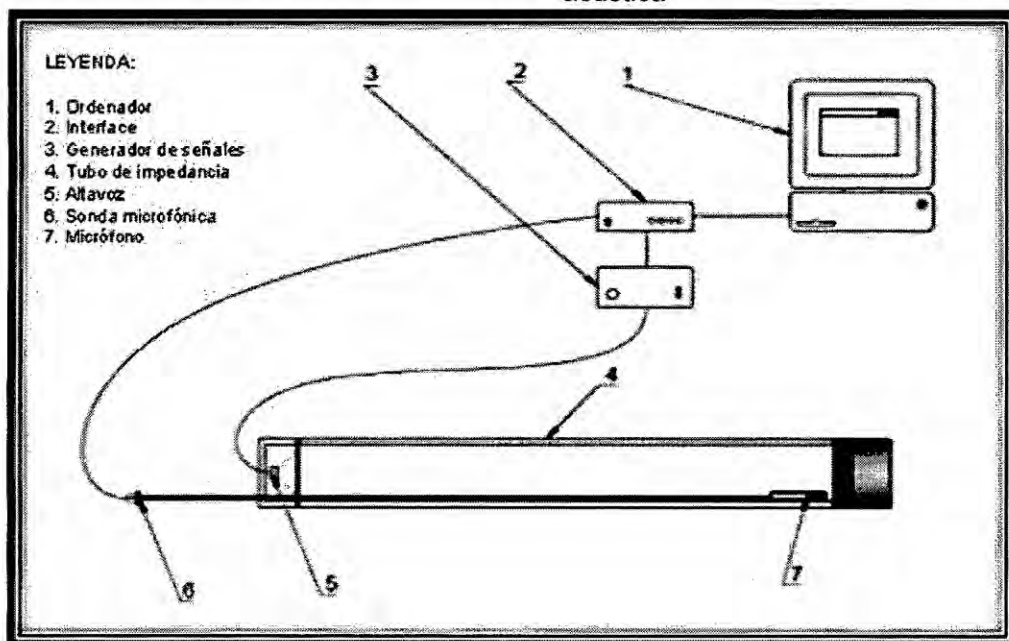
tapa, con los cuales mantenían la forma de las barreras acústicas en el proceso de secado evitando deformaciones.

- **Beaker:** También conocido como vaso de precipitados, hecho de pírex con capacidad de 1 L, sirvió únicamente como recipiente para contener el agua al momento de calentarla.
- **Tijeras:** tijeras de oficina.
- **Cuchilla:** o también llamado cúter, se utilizó para darle más forma a algunas imperfecciones de las muestras.

### **B. Equipos y materiales de ensayo**

Antes de pasar a presentar cada uno de los equipos para el ensayo, en la siguiente figura se indica la distribución de los equipos utilizados en la medición del coeficiente de absorción acústica, así como también la disposición de las conexiones que se deben hacer entre cada componente para su correcto funcionamiento.

**FIGURA N° 4.1** Esquema del sistema de medición de coeficiente de absorción acústica



Fuente: elaboración propia

### **1. Ordenador**

Computadora personal capaz de procesar la información y soportar el software "Data Studio" el cual está conectada a la interface que permite mantener "comunicación" entre los distintos sensores y dispositivos y el ordenador, a través de este medio podemos ingresar la data fundamental para poder controlar el generador de potencia, además de obtener información proveniente del micrófono, en el presente experimento utilizamos las computadoras presentes en el laboratorio de física II, el cual tenía las siguientes características: procesador Pentium IV, memoria RAM de 512 Mb sistema operativo Windows XP.

### **2. Interface**

Usamos la interface Science Workshop 750 modelo CI-7599 de la firma Pasco, un dispositivo que permite el intercambio de datos entre distintos sensores y el ordenador, en el conectamos el generador de potencia y el

sensor de voltaje, para poder controlar la señal emitida al altavoz y la señal proveniente del micrófono.

Características: fuente de energía de 12 V a 20 V, en 2 amperios, conexión USB de 12 Mbps de velocidad de transferencia máxima, consta de 4 canales digitales input/output, 3 canales análogos input y 1 canal análogo output.

### **3. Generadores de señales**

El generador de señales está constituido por un amplificador de potencia modelo CI-6552A marca Pasco, el cual se encuentra conectado a la interface Science Workshop 750 a través de un canal análogo, tiene una capacidad de  $\pm 10$  de voltaje variable de salida en hasta 1 amperio, con un rango de frecuencia de hasta 50 KHz. se encuentra configurada para generar señales sinusoidales de una amplitud de 5 voltios y a frecuencias de 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz.

La precisión de generación y de lectura de la frecuencia debe ser mejor que 2%. Las fluctuaciones de la frecuencia de la señal deben igualmente ser menores que este valor.

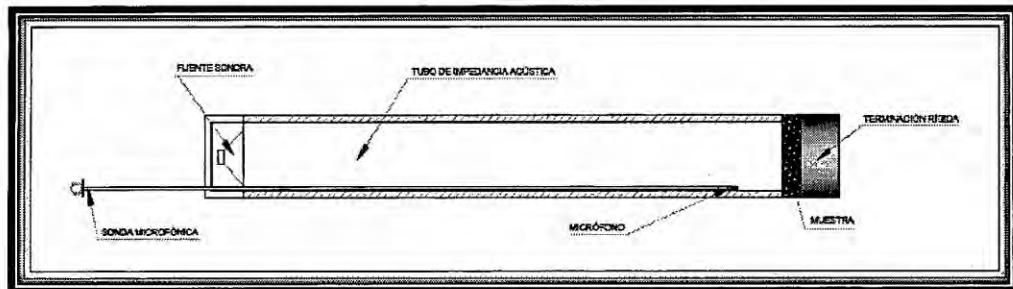
### **4. Tubo de impedancia**

Utilizamos el tubo de resonancia modelo WA-9612 de la marca Pasco, este tubo es rectilíneo, de sección recta constante y con paredes rígidas, lisas y no porosas y sin fisuras en la sección de ensayo.

Es de material acrílico y de 90 cm de longitud y diámetro interior de 3.7 cm, consta de una regla adherida para poder medir la distancia a la que se encuentre la sonda microfónica, la terminación anterior consta de un altavoz y la terminación posterior es hueca y permite colocar la muestra de

ensayo, está equipada además 2 de soportes, un pistón para distintos experimentos, un micrófono portátil y un parlante.<sup>10</sup>

**FIGURA N° 4.2** Esquema de montaje del tubo de impedancia



Fuente: elaboración propia basado en la norma UNE-EN-ISO 10534-1

### **5. Altavoz**

La terminación del tubo de impedancia del lado opuesto a la muestra está constituida por un altavoz de membrana. La superficie de la membrana del altavoz (o de la salida de la bocina) cubre un mínimo,  $2/3$  partes del área de la sección recta del tubo de impedancia. El altavoz se sitúa en el eje del de forma que deje suficiente espacio para introducir la sonda microfónica.

El altavoz se sitúa en una caja aislada de la extremidad del tubo que evita toda transmisión por vía aérea por los flancos al micrófono.

### **6. Sonda microfónica**

La sonda microfónica es de metal con un grosor de  $1/8$  pulgadas, suficiente para impedir la diafonía del campo acústico en la sonda a través de las paredes.

Deben evitarse contactos mecánicos entre la sonda y el tubo de impedancia que puedan transmitir vibraciones a la sonda, especialmente en la abertura

<sup>10</sup> Nota: para realizar el ensayo a la frecuencia de 250 Hz se utilizó 2 tubos similares empalmados en serie y obtener así una longitud de 180 cm, suficientes para realizar la práctica a las condiciones mencionadas.



donde la sonda se introduce en el tubo de impedancia. En la abertura, se recomienda una espuma suave como unión con la sonda.

### **7. Micrófono**

Un micrófono portátil ultra miniatura tie-clip de la marca Radioshack, omnidireccional, con respuesta de frecuencias de 70 – 16000 Hz, sensibilidad de -65 dB referidos a 1 V/Pa, con amplificador propio en el cual se inserta una batería pequeña tipo botón 357 A y su diámetro es de 1/8 pulgadas. Registra el sistema de ondas estacionarias en el interior del tubo de impedancia para la localización de los mínimos y máximos de presión y para la calcular las amplitudes (o los niveles) de presión acústica en los mínimos y máximos de las ondas estacionarias.

El micrófono se mueve en el interior del tubo de impedancia estando conectado a una sonda introducida por una apertura practicada en el tubo de impedancia. La obstrucción de la sección recta del tubo de impedancia por el micrófono y/o por la sonda no representa más del 5% del área de la sección recta en todo punto de la sección de ensayo.

### **8. Sensor de voltaje**

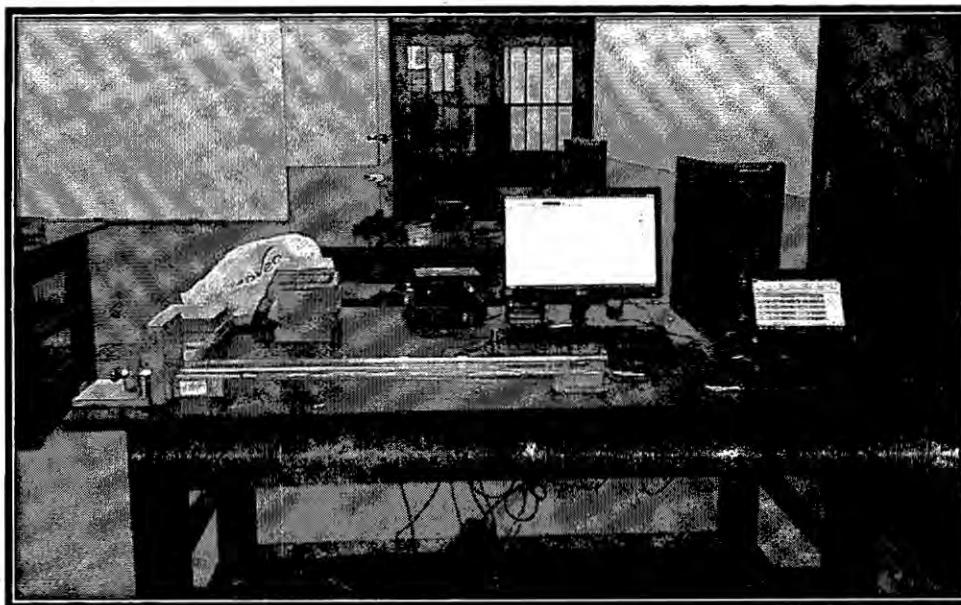
Se utilizó un sensor de voltaje modelo CI-6503 de la marca Pasco, el cual registra voltajes que van desde los -10V hasta los +10V, este va conectado al micrófono a través de un adaptador y percibe la señal generada en el mismo para enviarla a la interface Science Workshop 750 y ser procesada.

### **9. Termómetro ambiental**

Se utilizó un termómetro ambiental de mercurio vidriado con base de madera con rango de medición de -10 °C a 50 °C y escala de 1 °C. Con la cual se verifico la temperatura ambiental durante las mediciones, puesto que la velocidad del sonido y la longitud de onda dependen de la

temperatura, y las condiciones de medición requieren mantener temperaturas dentro del rango de 21 a 24 °C y variaciones menores a 1 °C.

FIGURA N° 4.3 Equipos de mediciones<sup>11</sup>



Fuente: elaboración propia

#### 4.4. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

##### 4.4.1. SELECCIÓN DE MATERIALES

La selección de los materiales orgánicos que fueron parte de este estudio se llevaron a cabo mediante el análisis de los criterios siguientes:

1. **Potencial acústico;** que los materiales residuales puedan ser utilizados como sustratos en la elaboración de barras acústicas, dicho de otro modo, que tuvieran un potencial acústico evaluado en

<sup>11</sup> Sistema de medición armado en su totalidad en el interior del laboratorio de física II de la FCNM. Se aprecia la computadora personal, la interface y generador de potencia y el tubo de resonancia con la muestra de barrera acústica en su extremo.

forma cualitativa: como es por la apariencia, por el peso, la granulometría o la porosidad.

2. **Disponibilidad;** que el residuo se encuentre disponible localmente y en las cantidades necesarias para asegurar la fabricación del producto de interés.
3. **Origen:** que sean de procedencia natural y que el proceso de elaboración sea mínimo, para que la afectación al medio ambiente sea menor a su vez.
4. **Competencia de uso;** que el material no tenga otras aplicaciones o usos que compitan con el proceso que se pretende desarrollar (construcción de barreras acústicas).
5. **Facilidad de uso;** que no requiera de pre tratamiento, o en caso de requerirlo, que éste sea sencillo y económico.
6. **Sustentabilidad;** bajo el factor de la disponibilidad del residuo en la selección del material, que el producto a desarrollar pueda ser planificado a futuro, además de que sea estable y no se descomponga fácilmente bajo las condiciones ambientales del sitio donde se genera.
7. **Costo;** que el costo del material tanto como materia prima (residuos sólidos) como del material producido (barreras acústicas) fueran menores al de los existentes en el mercado local.

Los materiales seleccionados fueron aquellos que cumplieron con todos los criterios anteriores y se eligieron en total tres materiales: papel periódico utilizado como matriz y, hojas de piña y coronta de maíz utilizados como reforzantes.

TABLA N° 4.1 Materiales seleccionados

Materiales seleccionados		
Material	Característica	Origen
Papel periódico	Matriz	Doméstico
Hojas de piña	Reforzante	Orgánico
Coronta de maíz	Reforzante	Orgánico

Fuente: elaboración propia

#### 4.4.2. ELABORACIÓN DE LAS BARRERAS ACÚSTICAS

Primeramente se procederá con el pre procesamiento de cada material independientemente uno del otro.

##### **A. Procesamiento del papel periódico:**

Se aplicó una metodología en húmedo para el procesamiento del papel periódico, cual consistió en los siguientes pasos:

- Se recolectó papel periódico en desuso (pasados) con el fin de darles un nuevo uso.
- Se cortó trozos del papel periódico con ayuda de una tijera y se colocó en un balde cubriéndolo con 1 L de agua caliente y se dejó reposar por unos 10 minutos con el fin de suavizar las fibras que lo componen y facilitar el siguiente proceso.
- Se trituro los trozos de papel con ayuda de una licuadora de uso doméstico, formando una pasta espesa que se utilizó posteriormente como matriz del material a formar.

En la Figura 4.4 se muestra la imagen del procesamiento en húmedo del papel periódico. Así como en el Anexo B se presenta el panel fotográfico de todos los procedimientos ejecutados.

**FIGURA N° 4.4** Procesamiento del papel periódico



Fuente: elaboración propia

**B. Procesamiento de los materiales orgánicos:**

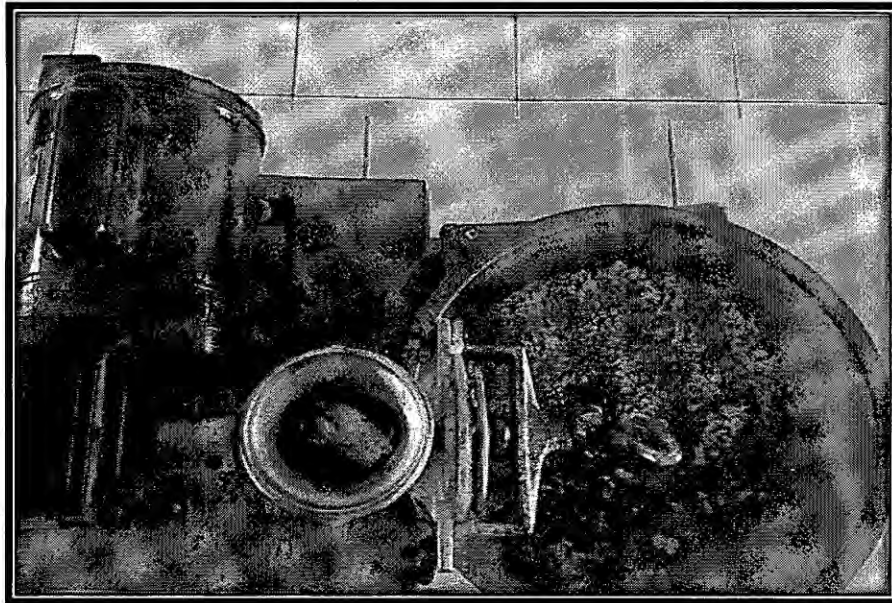
Para el caso de los **materiales orgánicos** (tanto para las hojas de piña como para las corontas de maíz) se seguirá el siguiente procedimiento:

- Los materiales orgánicos, para el presente estudio, se recolectaron de mercados de la zona.
- Después de la recolección, pasaron por un proceso de secado en el caso de las hojas de piña, y chancado en caso de corontas de maíz, para facilitar la molienda en el molino electromecánico.
- Cada material fue triturado sucesivamente por separado, empleando para ello el molino electromecánico, hasta obtener un tamaño considerable de unos 5 cm de diámetro.

En la figura 4.5 se observa el procedimiento de trituración de las corontas de maíz. Ver Anexo B.



**FIGURA N° 4.5** Procesamiento de las corontas de maíz



Fuente: elaboración propia

**C. Elaboración de las muestras de barreras acústicas**

Una vez que se obtuvo cada material pre tratado, el procesamiento de composites para la obtención de las barreras acústicas, continuó el siguiente procedimiento:

- **Mezclado**, se realizaron 12 mezclas distintas (6 para la combinación de pña y papel y 6 para la combinación de maíz y papel) siguiendo las proporciones mostradas en la siguiente tabla:

**TABLA N° 4.2** Proporciones de las combinaciones de cada material

Muestra	Mezcla	Grosor de muestra	Matriz (papel periódico)	Reforzante (residuo orgánico)	proporción
1	Maíz - Papel periódico	1.5 cm	42 g	18 g	70% - 30%
2			30 g	30 g	50% - 50%
3			18 g	42 g	30% - 70%
4		3.0 cm	84 g	36 g	70% - 30%
5			60 g	60 g	50% - 50%
6			36 g	84 g	30% - 70%

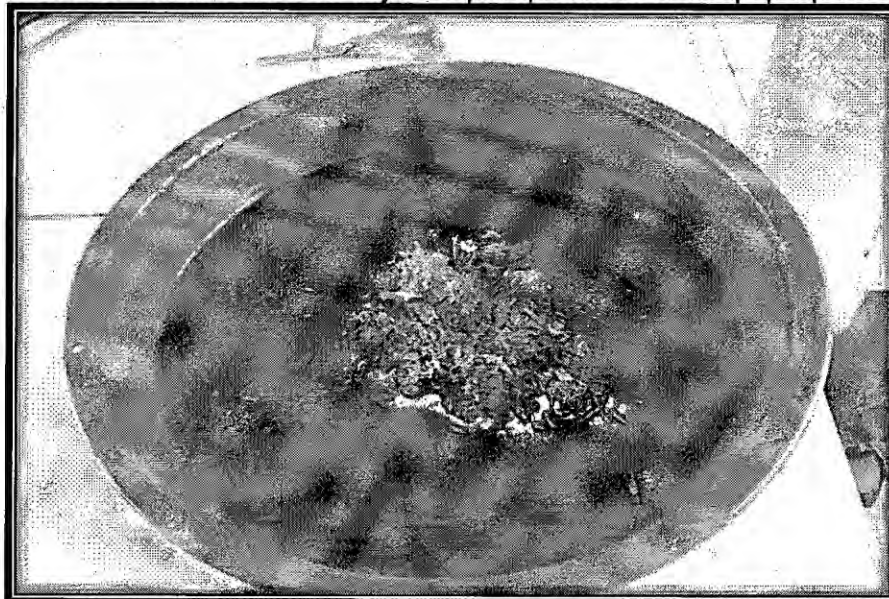
Muestra	Mezcla	Grosor de muestra	Matriz (papel periódico)	Reforzante (residuo orgánico)	proporción
7	Piña - Papel periódico	1.5 cm	42 gr	18 gr	70% - 30%
8			30 gr	30 gr	50% - 50%
9			18 gr	42 gr	30% - 70%
10		3.0 cm	84 gr	36 gr	70% - 30%
11			60 gr	60 gr	50% - 50%
12			36 gr	84 gr	30% - 70%

Fuente: elaboración propia

La Tabla 4.2 muestra las cantidades de papel periódico en gramos y la de residuos orgánicos en gramos utilizados en la elaboración de las barras acústicas, según aquellos definimos las proporciones y el grosor que tendrá cada muestra de barrera acústica.

Se mezcló durante el tiempo de 10 minutos echando agua constantemente hasta obtener una mezcla homogénea que nos permita verterlo en los moldes.

**FIGURA N° 4.6** Mezclado de hojas de piña procesadas con papel periódico

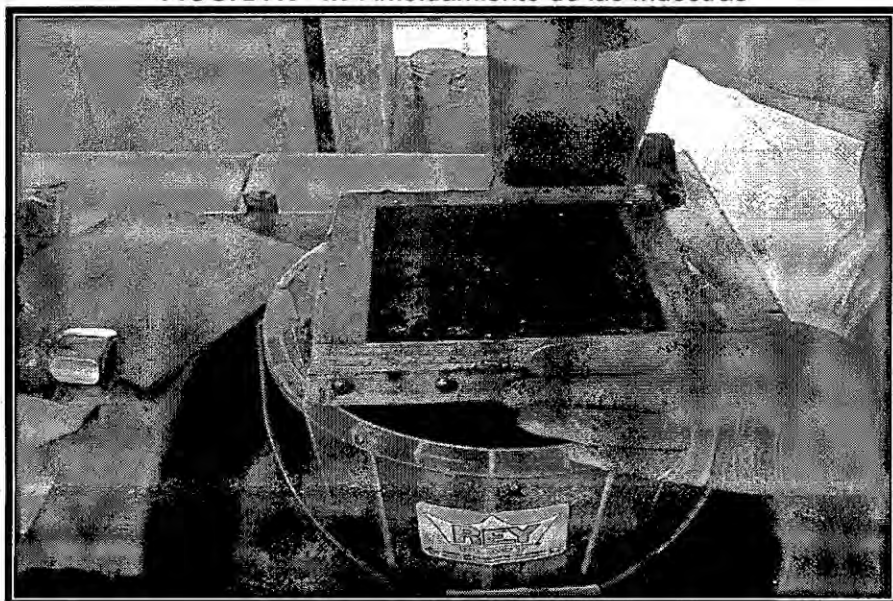


Fuente: elaboración propia

En la figura 4.6 se muestra el momento cuando se añade la porción de hojas de piña al preparado de papel periódico. Ver anexo B.

- **Amoldamiento:** una vez obtenida la mezcla, se vació todo el contenido en unos moldes especialmente diseñados, que nos permitió darle la forma adecuada de 1.5 cm de lado a las muestras y dejando además filtrar todo exceso de agua por medio de una tela en la base de cada molde. Se verificó que el vaciado sea uniforme en todo el molde, de forma tal evitar superficies irregulares.

**FIGURA N° 4.7** Amoldamiento de las muestras

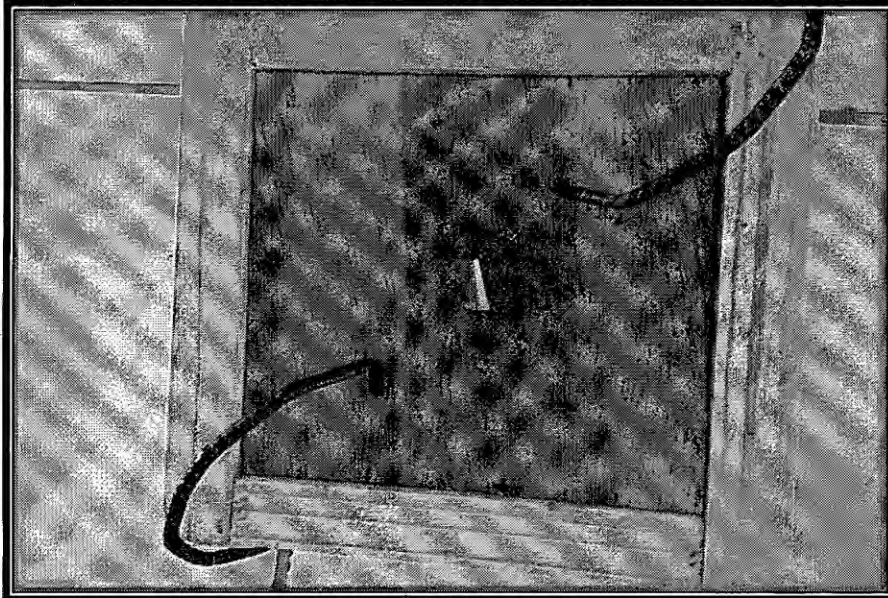


Fuente: elaboración propia

- **Compresión:** la compresión fue aplicada en el molde de manera manual, utilizando una “prensas” de madera que además actuaban de tapa, a su vez otro bloque de madera en la base permitía que no se formen curvaturas en la muestra y finalmente para garantizar que la acción sea constante durante el secado, se utilizaron 4 “templadores” de fierro por cada molde utilizado.



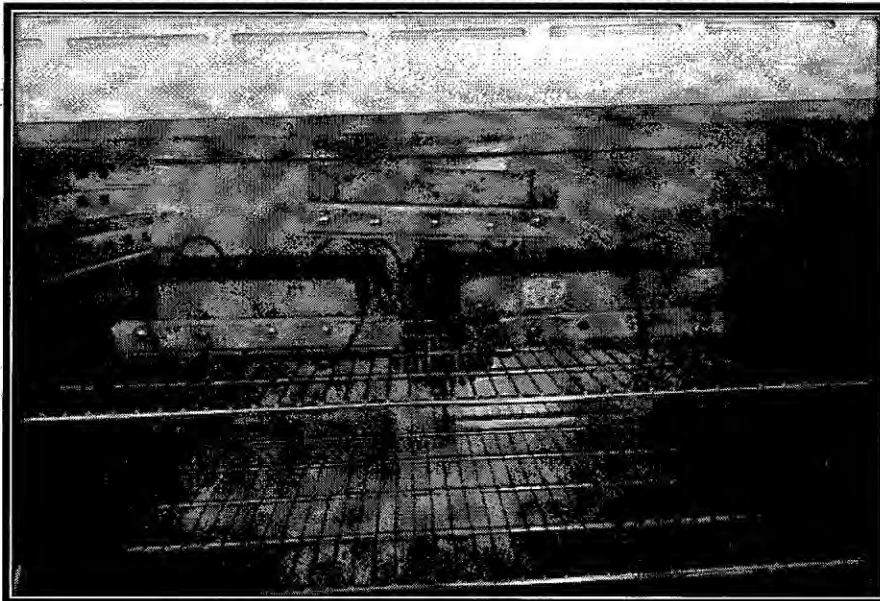
**FIGURA N° 4.8** Compresión manual de los moldes con muestras.



Fuente: elaboración propia

- **Secado:** una vez listo el amoldamiento, se calentó en la estufa a 105 °C por un lapso de 16 horas para las muestras de 1.5 cm de grosor y 24 horas para las muestras de 3.0 cm de grosor, vigilando en algunos intervalos de tiempo el estado de cada muestra preparada.

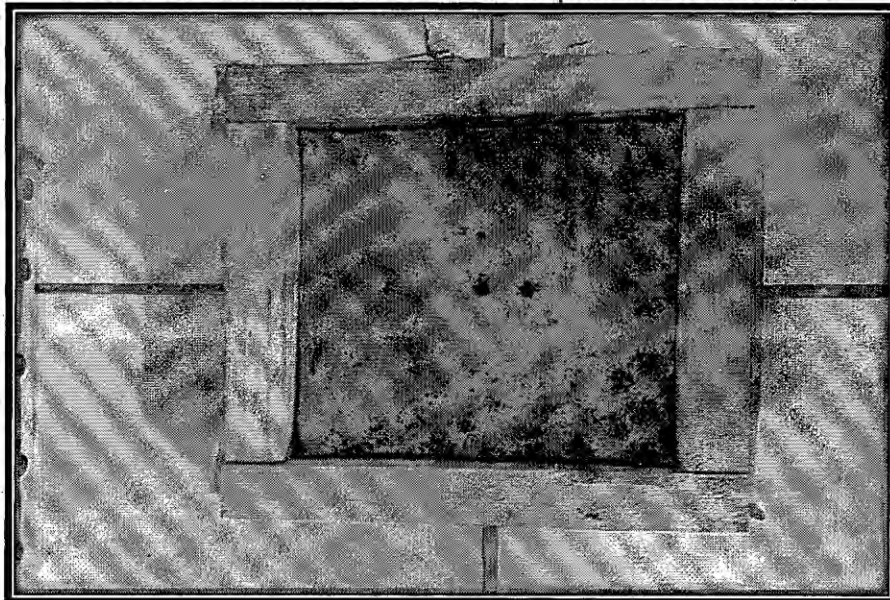
**FIGURA N° 4.9** Secado de las muestras en la estufa a 105 °C.



Fuente: elaboración propia

- **Enfriamiento y desmolde:** posteriormente al secado y comprobado un buen resultado, se llevó a enfriar las muestras a temperatura ambiente por unos 30 minutos y a continuación se procedió al desmolde teniendo cuidado no dañar las aristas y con la ayuda de un cúter o cuchilla, para obtener el panel modular. Ver anexo B.

**FIGURA N° 4.10** Muestras secas listas para ser desmoldados.



Fuente: elaboración propia

#### **4.4.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA**

El trabajo se llevó a cabo por el método del rango de onda estacionaria, el mismo que sigue las recomendaciones de la normativa UNE-EN ISO 10534-1 "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia", en el cual se analizan las ondas planas generadas en el interior del tubo de resonancia y a partir de las variaciones de la presión del sonido, se puede calcular el coeficiente de absorción acústica.

Primeramente se verificaron las siguientes condiciones, para no afectar a los resultados obtenidos durante la medición:



## **Condiciones**

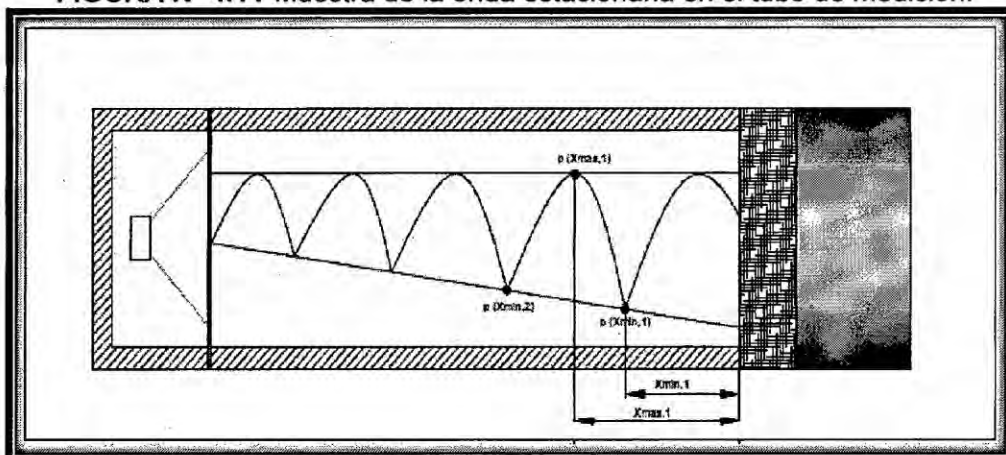
- Durante las mediciones la temperatura fue de 22 °C y 23 °C, estando dentro del rango de 21 °C a 24 °C exigidos por la norma.
- Se recomienda hacer las mediciones en horas de la noche ya que el ruido de fondo es el menor posible, pero por motivos de disponibilidad del laboratorio, no se pudo cumplir con esta condición, sin embargo se procuró realizar las mediciones en horas que no había mucho ruido.
- El laboratorio se encontraba sin recubrimiento contra ruido, es decir no tenía ningún revestimiento especial que refleje o absorba el ruido generado en su interior.
- Se recomienda realizar las pruebas en ausencia de lluvia, por lo que los días de las mediciones no hubo muestras de lluvias o lloviznas.
- Se verificó que la posición de la muestra sea lo más perpendicular posible a la dirección del tubo, para garantizar una incidencia normal.
- La muestra de material estuvo en condición de presión mecánica dentro del tubo.

## **Procedimiento**

- Se procedió al montaje del sistema de medición, colocando el tubo de resonancia en un soporte que lo mantenga estable, un parlante conectado a un amplificador de potencia y un micrófono portátil conectado a un sensor de voltaje. Todos estos conectados a un ordenador a través de la interface Science Workshop 750, como se muestra en la Figura 4.1.
- Antes de empezar las mediciones, se verificó el buen funcionamiento del sistema para así poder verificar la confiabilidad de los resultados.
- Después se colocó la muestra experimental del material acústico absorbente en el extremo del tubo, esta se ajustó perfectamente contra el tubo de impedancia.

- A través del software Data Estudio se fijó una señal de 5 V, para el generador de frecuencias, con una frecuencia inicial de 4000 Hz en onda sinusoidal.
- Se adicionó una gráfica de osciloscopio con el software Data Estudio para la señal de entrada proveniente del micrófono ajustándolo a una escala óptima para su visualización.
- Se posicionó el micrófono a una distancia de aproximadamente 1 cm de la superficie de la muestra.
- Se activó el generador de frecuencias y el osciloscopio utilizando el software, y se procedió a movilizar la sonda microfónica hasta localizar la menor amplitud de onda visualizando el osciloscopio , la cual corresponde a la mínima amplitud  $p(x_{min}, 1)$ .
- Se siguió desplazando el micrófono hasta localizar la onda con mayor amplitud de onda visualizada en el osciloscopio cuyo valor corresponde primer máximo  $p(x_{max}, 1)$ ; la ubicación del primer máximo debe encontrarse entre los 2 primeros mínimos, tal y como lo muestra la Figura 4.11.

**FIGURA N° 4.11** Muestra de la onda estacionaria en el tubo de medición.

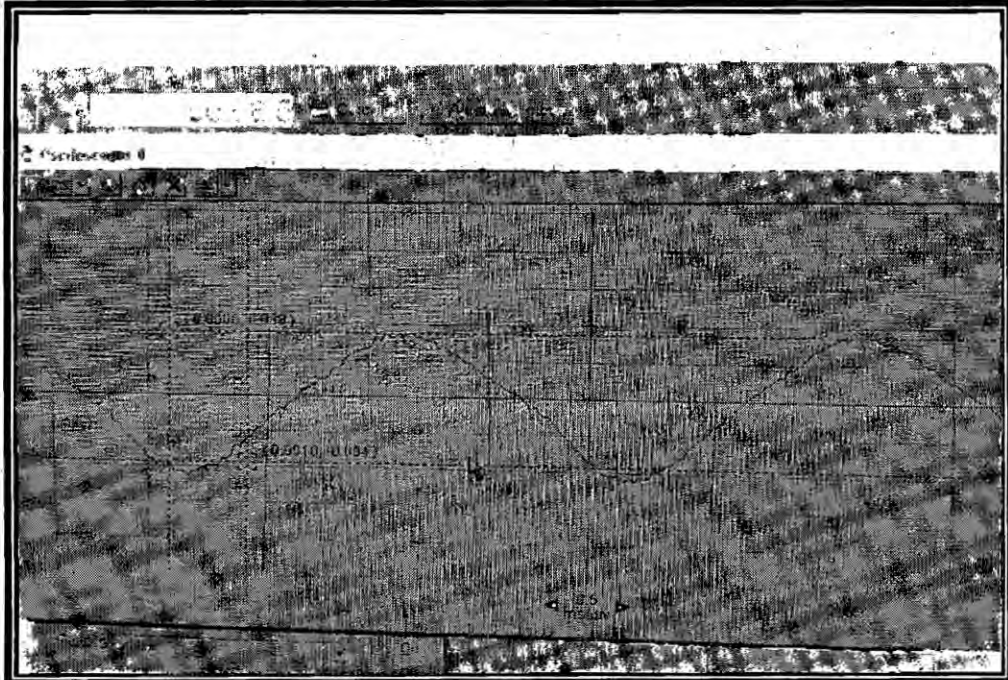


Fuente elaboración propia según Norma UNE-EN-ISO 10534-1

La Figura 4.11 esquematiza del comportamiento de las ondas acústicas en el interior del tubo de resonancia e indicación de los

puntos críticos a tomar en cada medición. Cada valor de amplitud máxima y mínima, así con las distancia entre el micrófono y la muestra son registrados para su posterior procesamiento de datos.

**FIGURA N° 4.12** Imagen de los resultados en el osciloscopio



Fuente: elaboración propia

En la Figura 4.12 se observa una onda visualizada con el osciloscopio generado en el software Data Studio, con las herramientas del mismo software podemos medir la amplitud de la onda visualizada.

- Se repitió el procedimiento para las principales frecuencias estándar de la banda de las octavas 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz. Y para todas las muestras (12) elaboradas previamente.

#### 4.4.4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Después de desarrollar todo el procedimiento de medición, con ayuda de tablas y un cuaderno de notas, recopilamos la información que se muestra en el osciloscopio, tanto las amplitudes máximas y mínimas para cada punto de medición y frecuencia correspondiente, cabe señalar que las unidades mostradas por el osciloscopio están en voltaje (resultados mostrados en el Anexo C), por lo que para obtener el valor de presión utilizaremos el factor de conversión de sensibilidad del micrófono.

$$P = \frac{V}{se} \dots \dots (20)$$

Donde:

- ✓ **P**: es la amplitud de presión en micro pascales.
- ✓ **V**: es la amplitud de voltaje en voltios.
- ✓ **Se**: es la sensibilidad del micrófono en voltios sobre micro pascales. (-65 dB referidos a 1 V/Pa para el micrófono utilizado)

Una vez obtenida la información de ( $P_{max}$  y  $P_{min}$ ) se calculó la relación de las ondas ( $s$ ) a partir de la ecuación 18 (pág. 55):

$$s = \frac{|P_{max}|}{|P_{min}|}$$

Con lo cual se obtiene el módulo de reflexión acústica (ecuación 17, pág. 54):

$$|r| = \frac{s - 1}{s + 1}$$

Con esta relación se puede determinar el coeficiente de absorción acústica en incidencia normal ( $\alpha$ ) de la muestra experimental a una frecuencia dada, con la ecuación 16 (pág. 54):

$$\alpha = 1 - |r|^2$$

## V. RESULTADOS

Una vez recopilada toda la información a partir de la metodología empleada y procesada, a continuación se presenta cada uno de los resultados finales obtenidos del coeficiente de absorción acústica en incidencia normal según las frecuencias muestreadas (250 Hz - 4000 Hz) para las barreras elaboradas.

### 5.1. RESULTADOS DE MUESTRAS DE HOJAS DE PIÑA

Todos estos resultados mostrados en la Tabla 5.1 corresponden a las barreras de 1.5 cm de grosor. Estos resultados nos mostrarán el comportamiento del coeficiente de absorción acústica (CAA) según la frecuencia muestreada.

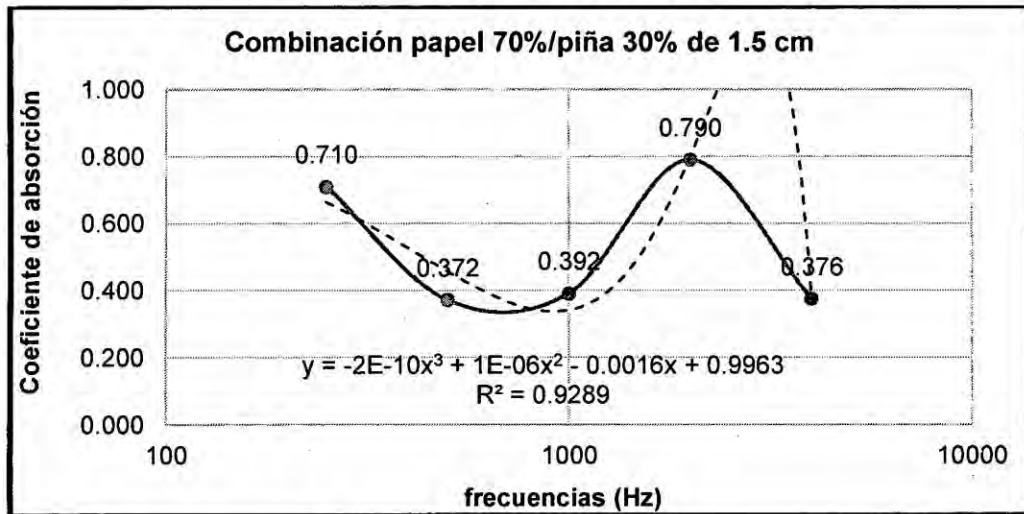
**TABLA N° 5.1** CAA de muestras de piña con papel periódico 1.5 cm

Frecuencia (Hz)	Coeficiente de absorción ( $\alpha$ )		
	30% piña y 70% papel periódico	50% piña y 50% papel periódico	70% piña y 30% papel periódico
<b>250</b>	0.710	0.921	0.787
<b>500</b>	0.372	0.520	0.573
<b>1000</b>	0.392	0.364	0.484
<b>2000</b>	0.790	0.568	0.542
<b>4000</b>	0.376	0.901	0.750

Fuente: elaboración propia



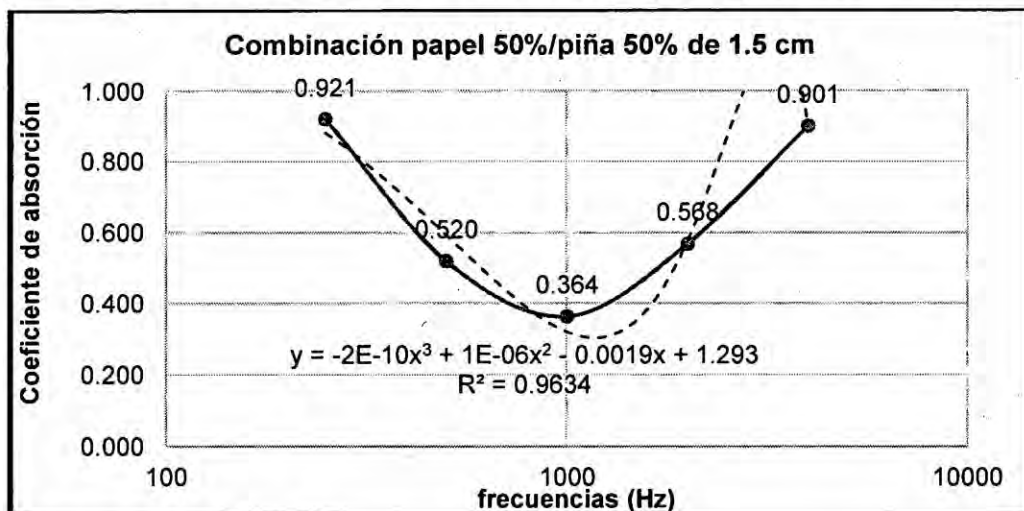
**GRÁFICO Nº 5.1** CAA de muestras de hojas de piña de 1.5 cm



Fuente: elaboración propia

El gráfico nos muestra el comportamiento del coeficiente de absorción de la barrera elaborada a partir de la mezcla de piña y papel periódico en la proporción de 30% y 70% respectivamente y un grosor de 1.5 cm, en el que podemos observar el descenso del parámetro conforme aumenta la frecuencia hasta cerca de los 1000 Hz, y luego un aumento hasta finalizar con un nuevo descenso a la frecuencia de 4000 Hz, punto en el cual el coeficiente toma su máximo valor (0.790).

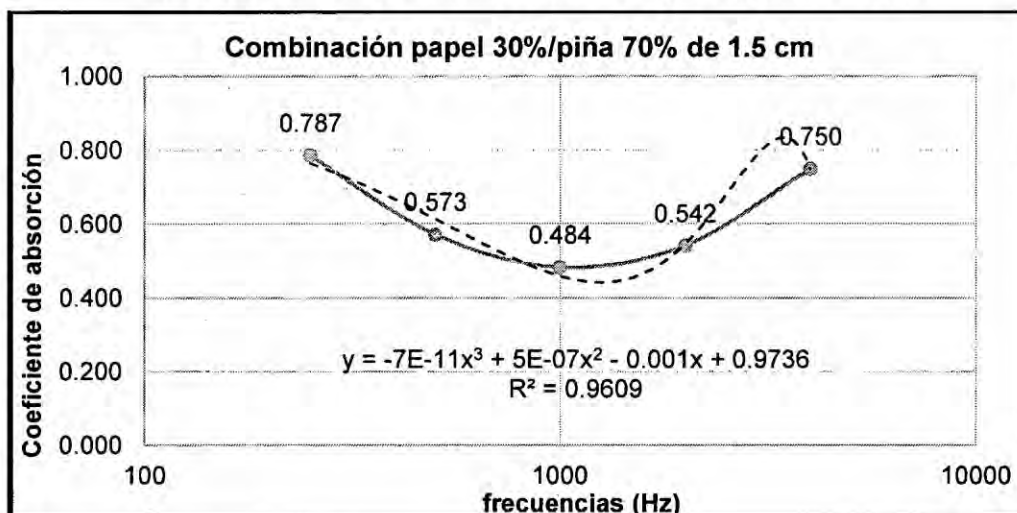
**GRÁFICO Nº 5.2** CAA muestras de hojas de piña de 1.5 cm



Fuente: elaboración propia

El gráfico 5.2 nos muestra el comportamiento de la barrera acústica de 1.5 cm de grosor elaborada a partir de piña y papel periódico a la proporción de 50% para ambos componentes, en la que podemos observar el descenso del coeficiente de absorción acústica conforme aumenta la frecuencia hasta llegar a su valor más bajo (0.364) a una frecuencia de 1000 Hz, para luego volver a ascender llegando a los 4000 Hz describiendo una forma de un "V" tal como se puede apreciar en el gráfico.

**GRÁFICO N° 5.3** CAA de muestras de hojas de piña de 1.5 cm



Fuente: elaboración propia

Este gráfico nos muestra el comportamiento de la barrera elaborada a partir de la mezcla de 70% de piña y 30% papel periódico y 1.5 cm de grosor. Se observa el descenso del coeficiente de absorción acústica conforme aumenta la frecuencia hasta llegar a su valor más bajo (0.484) a 1000 Hz, para luego volver a aumentar llegando a su máximo valor (0.750) a 4000 Hz.

En la tabla 5.2 se muestra los resultados del coeficiente de absorción acústica en incidencia normal para barreras acústicas elaboradas con hojas

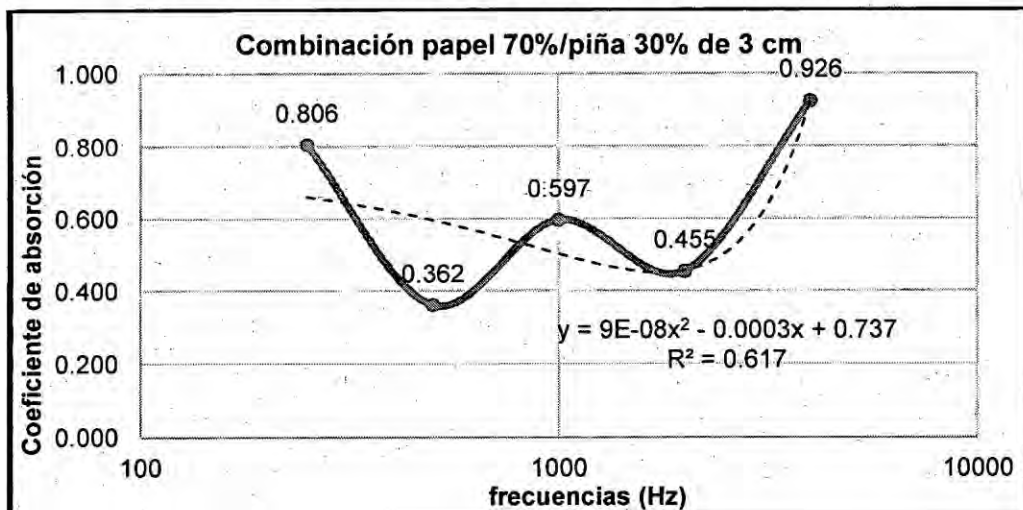
de corona de pñia y papel periódico reciclado, esta vez las barreras son de 3 cm de grosor. Estos resultados nos permitirán comparar la eficiencia de las barreras acústicas en cada una de las frecuencias muestreadas, además con los datos anteriores haremos la comparación según el grosor.

**TABLA N° 5.2** CAA de muestras de pñia con papel periódico (3 cm)

Frecuencia (Hz)	Coeficiente de absorción (α)		
	30% pñia y 70% papel periódico	50% pñia y 50% papel periódico	70% pñia y 50% papel periódico
250	0.806	0.731	0.986
500	0.362	0.576	0.439
1000	0.597	0.566	0.552
2000	0.455	0.538	0.505
4000	0.926	0.971	0.964

Fuente: elaboración propia

**GRÁFICO N° 5.4** CAA de muestras de hojas de pñia de 3.0 cm

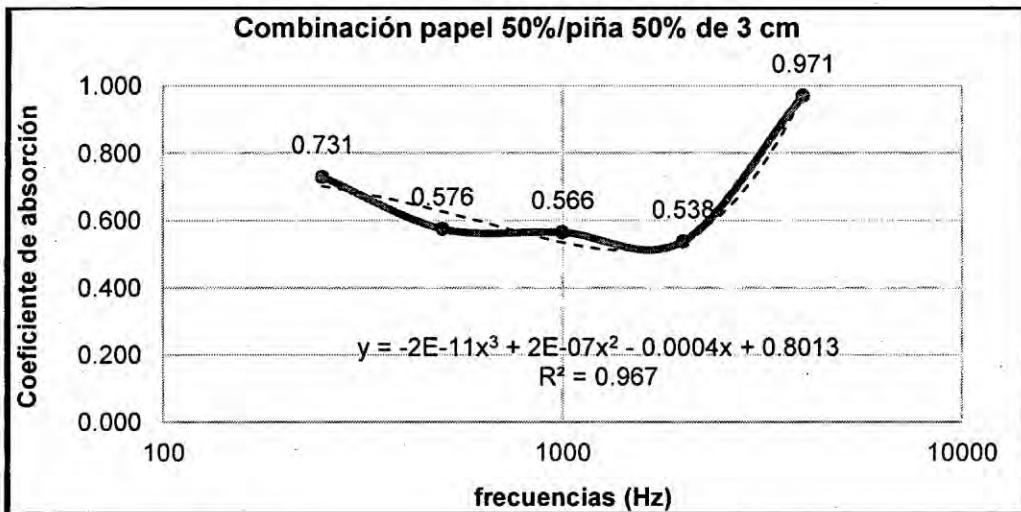


Fuente: elaboración propia

Del gráfico podemos observar un rápido descenso del coeficiente de absorción acústica hasta llegar al mínimo valor de 0.362, así mismo un

rápido ascenso conforme aumenta la frecuencia alcanzando el máximo valor (0.926) a 4000 Hz.

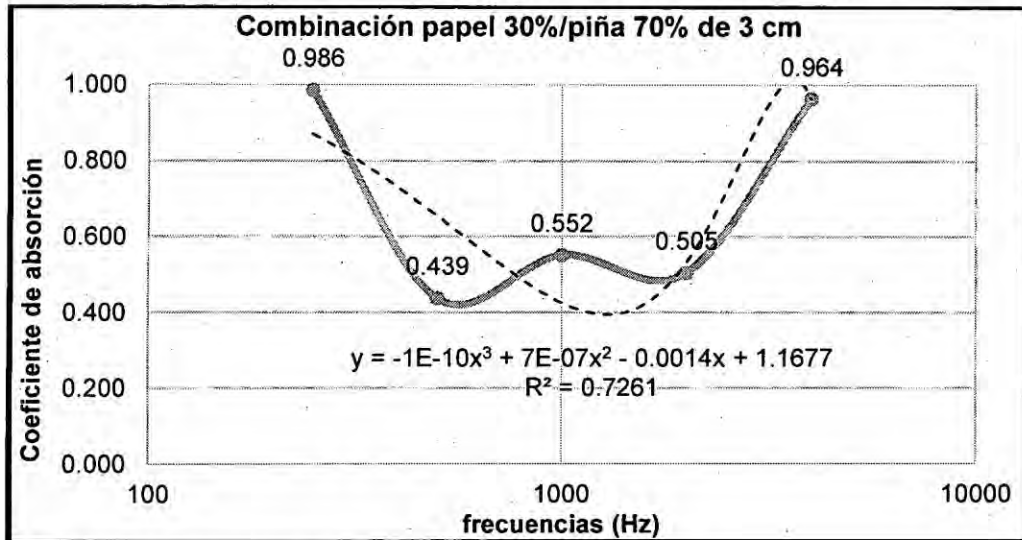
**GRÁFICO N° 5.5** CAA de muestras de hojas de piña de 3 cm.



Fuente: elaboración propia

Este gráfico nos muestra el comportamiento del coeficiente de absorción acústica de la barrera acústica de 3.0 cm de grosor compuesta de piña y papel periódico al 50% cada uno, el cual desciende hasta 0.413 a 500 Hz y luego presenta un rápido ascenso conforme aumenta la frecuencia de forma sucesiva, describiendo una "W". El valor máximo alcanzado es de 0.870 a 4000 Hz.

**GRÁFICO Nº 5.6** CAA de muestras de hojas de piña de 3 cm.



Fuente: elaboración propia

Del gráfico podemos observar descensos del coeficiente de absorción acústica entre 250 y 500 Hz así como rápidos ascensos conforme aumenta la frecuencia de muestreo (1000 y 4000 Hz), describiendo una "W".

## 5.2. RESULTADOS DE MUESTRAS DE CORONTA DE MAÍZ

En la siguiente tabla se muestran los resultados del coeficiente de absorción acústica en incidencia normal para las barreras acústicas elaboradas con coronta de maíz y papel periódico reciclado, estas barreras son de 1.5 cm de grosor. Los resultados nos permitirán comparar la eficiencia de las barreras acústicas en cada una de las frecuencias muestreadas que van desde los 250 Hz hasta los 4000 Hz.

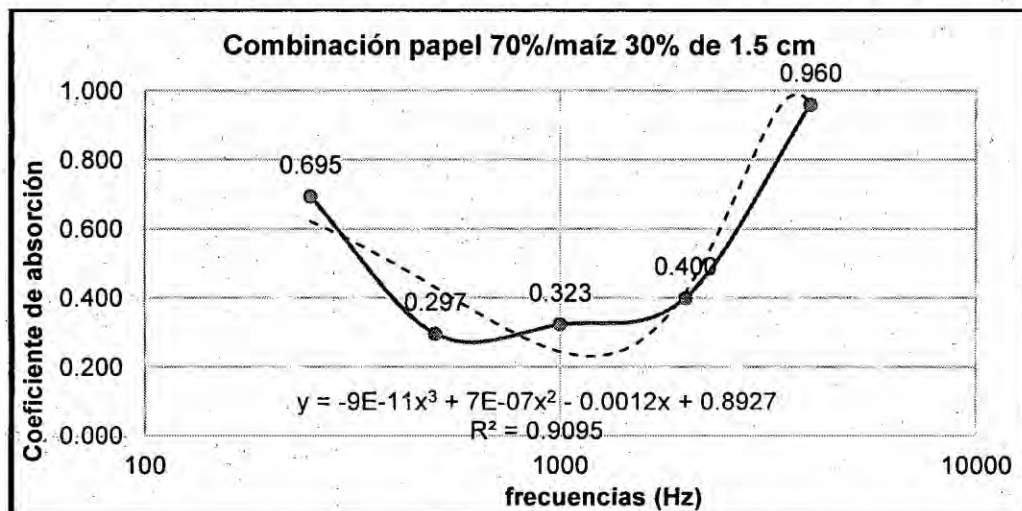


**TABLA N° 5.3** CAA de las muestras de maíz con papel periódico (1.5 cm)

Frecuencia (Hz)	Coeficiente de absorción ( $\alpha$ )		
	30% maíz y 70% papel periódico	50% maíz y 50% papel periódico	70% maíz y 50% papel periódico
250	0.695	0.797	0.766
500	0.297	0.413	0.609
1000	0.323	0.624	0.859
2000	0.400	0.480	0.519
4000	0.960	0.870	0.889

Fuente: propia

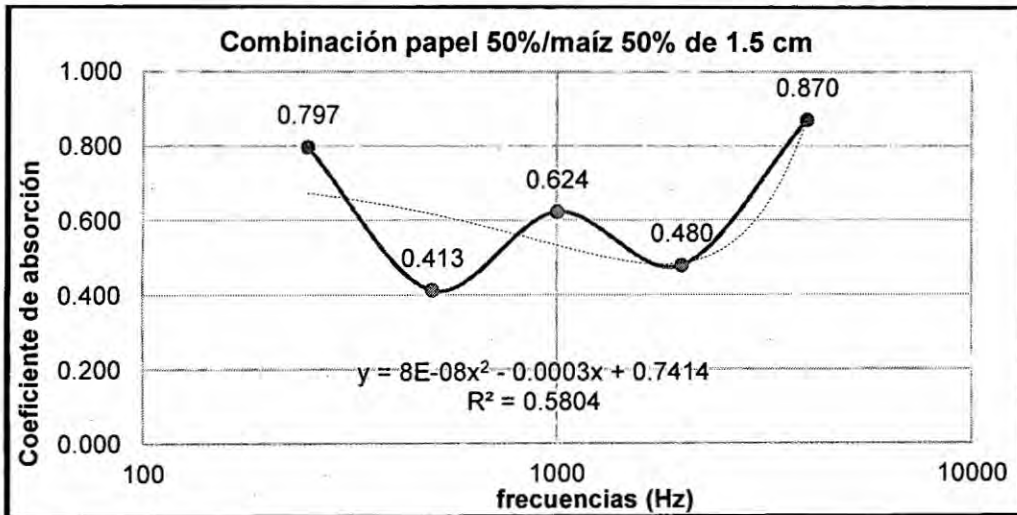
**GRÁFICO N° 5.7** CAA de muestras de corontas de maíz de 1.5 cm



Fuente: elaboración propia

El gráfico muestra el comportamiento del coeficiente de absorción acústica de la barrera acústica elaborada a partir de la mezcla de maíz y papel periódico a la proporción de 30% y 70% respectivamente, el cual presenta valores bajos para frecuencias de 500 y 2000 Hz, tal como se observa en la imagen, y llega a su máximo valor (0.926) a 4000 Hz.

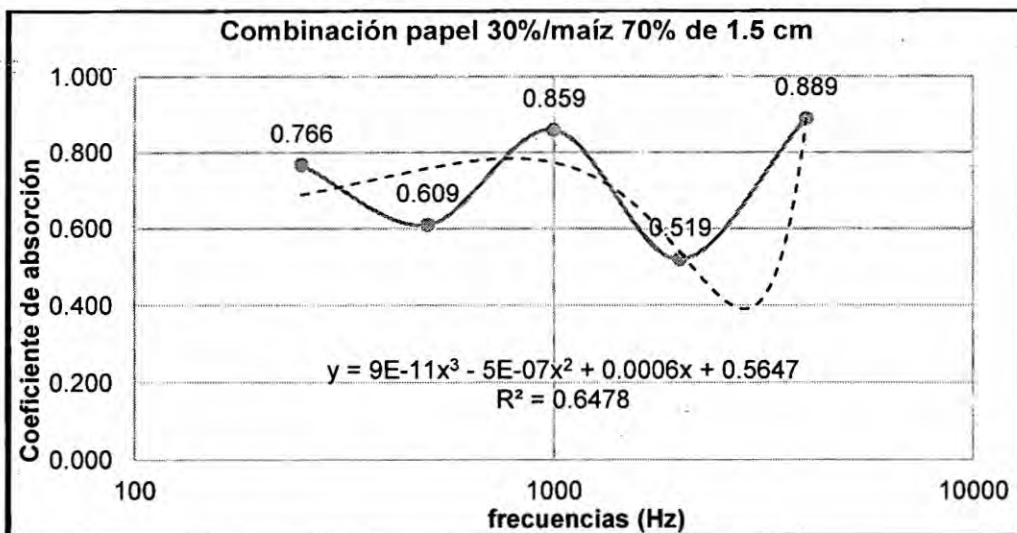
**GRÁFICO N° 5.8** CAA de muestras de corontas de maíz de 1.5 cm



Fuente: elaboración propia

En este gráfico se muestra el comportamiento del coeficiente de absorción acústica que varía siguiendo una tendencia en forma de una "W", y por tanto presenta dos picos con valores bajos (0.413 y 0.480) y tres picos altos (0.797, 0.624 y 0.870 para las frecuencias de 250, 1000 y 4000 Hz respectivamente).

**GRÁFICO N° 5.9** CAA de muestras de corontas de maíz de 1.5 cm



Fuente: elaboración propia

Del gráfico 5.9, se observa el comportamiento del coeficiente de absorción acústica de la barrera acústica, de 1.5 cm de grosor, de maíz y papel periódico (70% y 30% respectivamente), donde observamos un descenso y ascenso conforme aumenta la frecuencia de muestreo, describiendo una "W". El máximo valor del parámetro de análisis es de 0.889 a 4000 Hz, mientras el mínimo es 0.519 a 2000 Hz.

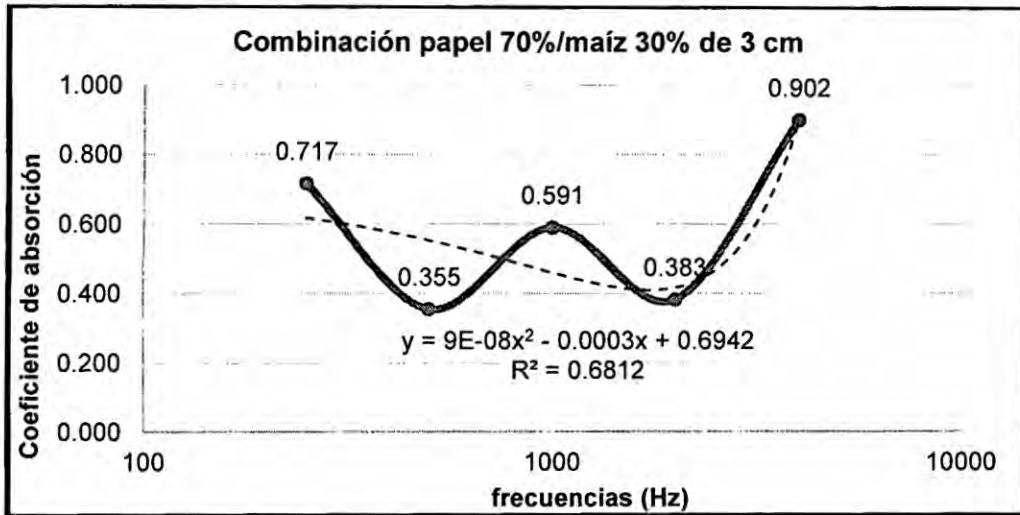
En tabla 5.4, se muestra los resultados del coeficiente de absorción acústica en incidencia normal para las barreras acústicas de 3 cm de grosor elaboradas con coronta de maíz molidas y papel periódico reciclado. Estos resultados nos permitirán comparar la eficiencia de las barreras acústicas en cada una de las frecuencias muestreadas además de hacer una comparación con los resultados anteriores para evaluar el grosor más eficiente.

**TABLA N° 5.4** CAA de muestras de maíz con papel periódico (3 cm)

Frecuencia (Hz)	Coeficiente de absorción ( $\alpha$ )		
	30% maíz y 70% papel periódico	50% maíz y 50% papel periódico	70% maíz y 50% papel periódico
<b>250</b>	0.717	0.821	0.873
<b>500</b>	0.355	0.409	0.681
<b>1000</b>	0.591	0.748	0.916
<b>2000</b>	0.383	0.249	0.584
<b>4000</b>	0.902	0.905	0.816

Fuente: propia

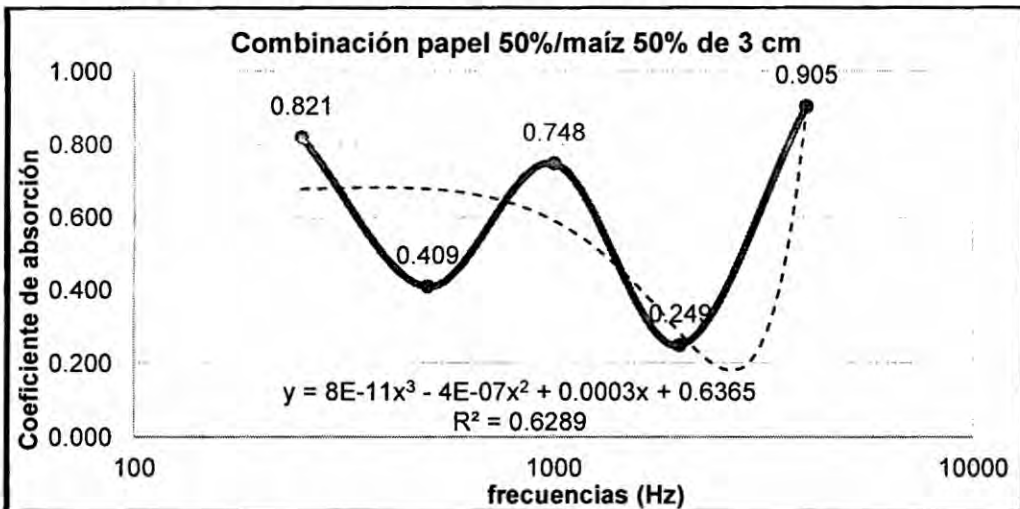
**GRÁFICO N° 5.10** CAA de muestras de corontas de maíz de 3 cm



Fuente: elaboración propia

En el gráfico 5.10 podemos observar el descenso del coeficiente de absorción acústica y su rápido ascenso conforme aumenta la frecuencia de muestreo de forma sucesiva, describiendo una "W".

**GRÁFICO N° 5.11** CAA de muestras de corontas de maíz de 3 cm

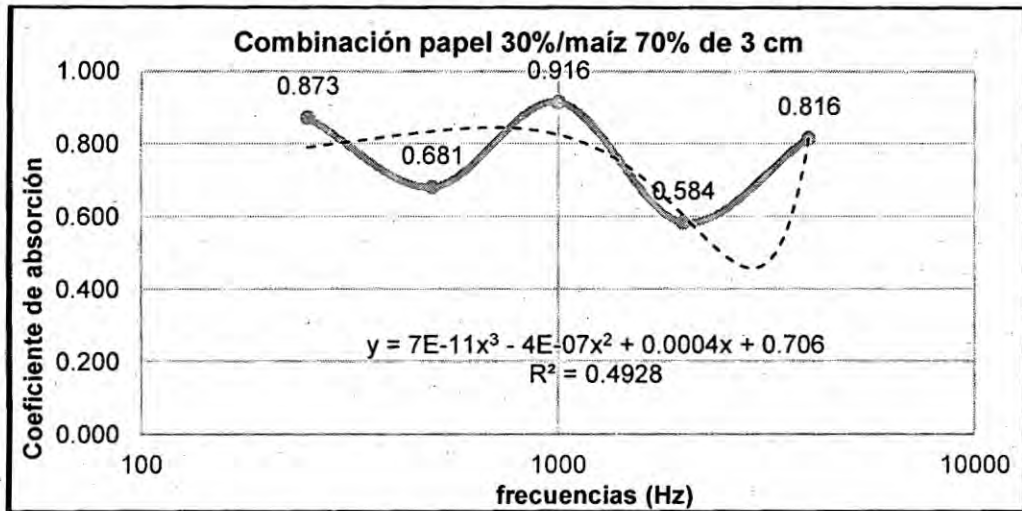


Fuente: elaboración propia

El gráfico 5.11 nos muestra el comportamiento del coeficiente de absorción de la barrera elaborada en proporciones iguales por cada componente

(coronta y periódico). El parámetro medido toma el mínimo valor a 2000 Hz (0.249) y el máximo a 4000 Hz (0.905).

**GRÁFICO N° 5.12** CAA de muestras de corontas de maíz de 3 cm



Fuente: elaboración propia

El gráfico 5.12 presenta el comportamiento del coeficiente de absorción acústicas de la muestra de barrera de 3 cm de grosor obtenida de 30% de papel periódico y 70% de corontas de maíz. El máximo valor obtenido es de 0.916 a 1000 Hz, en cambio en mínimo es 0.584 a 2000 Hz.

### 5.3. RESULTADOS DE COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE RUIDO

Como resultado final, se obtienen un valor único representativo del coeficiente de absorción por cada barrera elaborada, promediando el resultado obtenido en las frecuencias de 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz.

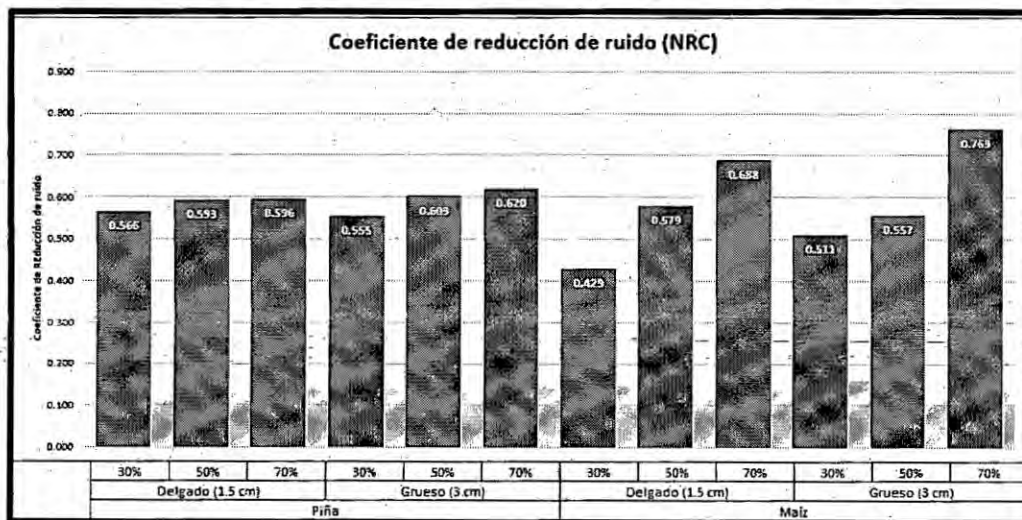


**TABLA N° 5.5** Resultados de coeficiente de reducción de ruido (NRC)

		Coeficiente de reducción de ruido (NRC) en incidencia normal.		
		30% Residuo orgánico y 70% papel periódico	50% Residuo orgánico y 50% papel periódico	70% Residuo orgánico y 50% papel periódico
Hojas de piña	Delgado	0.566	0.593	0.596
	Grueso	0.555	0.603	0.620
Coronta de maíz	Delgado	0.429	0.579	0.688
	Grueso	0.511	0.557	0.763

Fuente: elaboración propia

**GRÁFICO N° 5.13** NRC de todas las barreras acústicas



Fuente: elaboración propia

Del gráfico 5.13, podemos observar comportamientos distintos del coeficiente de reducción de ruido para cada residuo orgánico tomado a prueba, obteniendo el resultado más alto (0.763) de la muestra de maíz con 70% de proporción respecto al papel periódico y de 3 cm de grosor.

---

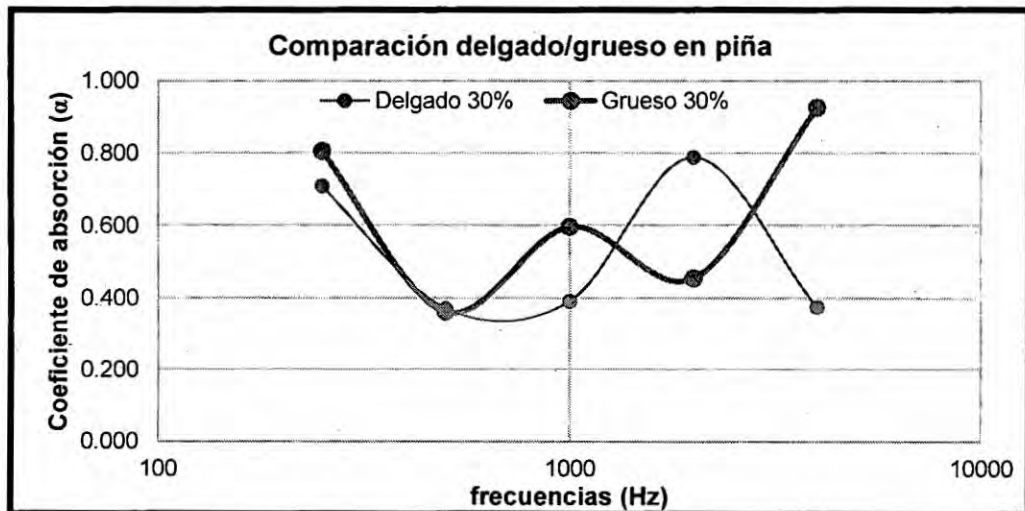
## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Habiendo obtenido todos los resultados del coeficiente de absorción acústica en incidencia normal de las 12 muestras, a continuación se realizará la comparación entre sus distintas variables; como es la composición, proporción y grosor.

### Comparación de grosores de para las muestras de piña

Veremos a continuación una comparación entra las muestras que tienen la misma proporción y composición, variando solo el grosor y distribuidos según la frecuencia de muestreo medido.

**GRÁFICO N° 6.1** CAA de muestras de piña (30%) de 1.5 y 3 cm.

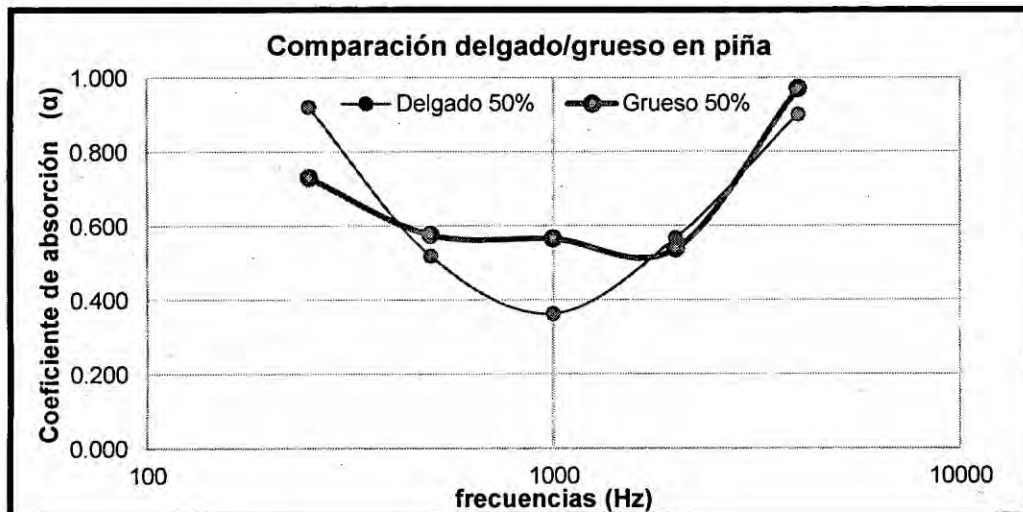


Fuente: elaboración propia

En el Gráfico N° 6.1 observamos que el  $\alpha$  de las muestras delgadas (1.5 cm) mantiene valores menores a los gruesos (3 cm) para la mayor parte de frecuencias. Esto se debe a que el material está compuesto por en mayor proporción de papel periódico, lo que genera menor cantidad de espacios de aire en su interior y de ahí que la absorción es menor sobre todo a

frecuencias elevadas como a 4000 Hz. En otras palabras, el material delgado ha sufrido un desplazamiento a 2000 Hz, mientras que el grueso lo hizo a 1000 Hz, pero ambas muestras siguen una misma tendencia.

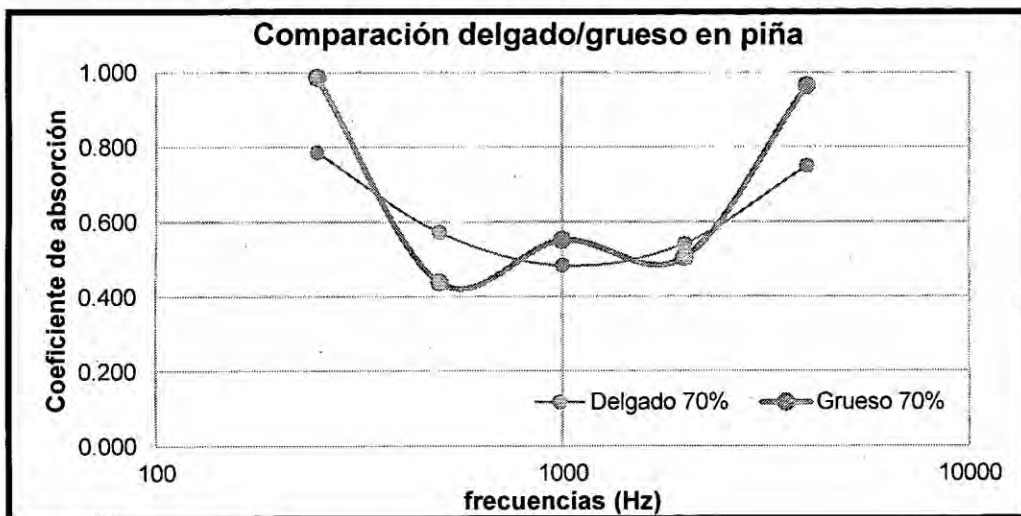
GRÁFICO N° 6.2 CAA de muestras de piña (50%) 1.5 y 3 cm.



Fuente: elaboración propia

En el gráfico observamos que las muestras delgadas (1.5 cm) reflejan el sonido a 1000 Hz y la absorben a frecuencias bajas y altas (250 y 4000 Hz), con excepción de aquellas muestreadas en las frecuencias de 250 Hz y 2000 Hz, en ambas el  $\alpha$  de la muestra delgada es mayor que el  $\alpha$  de la muestra gruesa.

**GRÁFICO N° 6.3** CAA de las muestras de piña al 70% de 1.5 Y 3 cm.



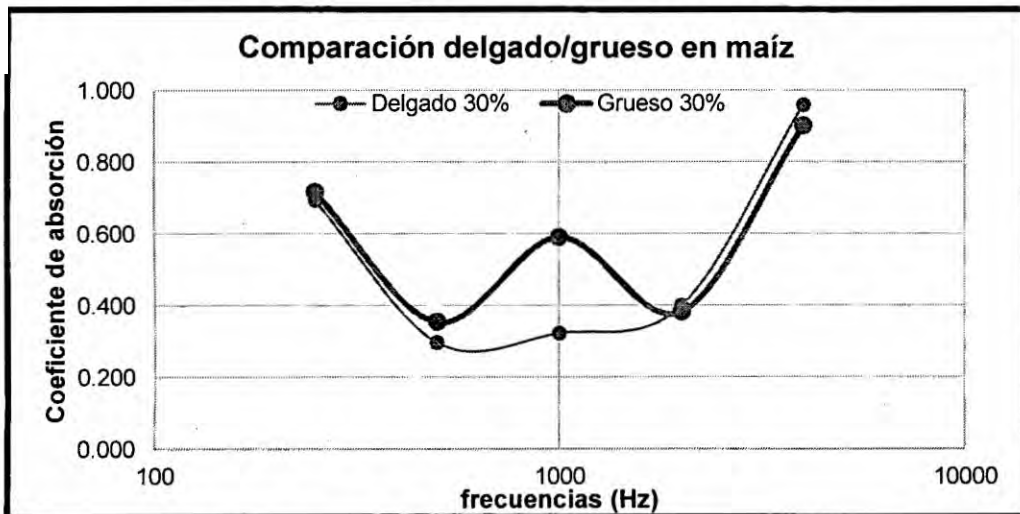
Fuente: elaboración propia

En el gráfico observamos que la muestra gruesa tiene una tendencia en forma de "W", mientras la delgada forma una curva, disminuyendo el valor del  $\alpha$  hasta llegar a un mínimo a 1000 Hz. (L. Karlinasari, D. Hermawan, A. Maddu, B. Martiandi, YS. Hadi, 2011), estudió el coeficiente de absorción acústica de barreras hechas de especies tropicales de crecimiento rápido y señaló que las muestras reflejaban el sonido en las frecuencias medias y absorbían a frecuencias bajas y altas. También señalaba que básicamente este tipo de fluctuaciones se deben a los espacios vacíos dentro del material, así como a la densidad de los materiales. Los materiales más densos absorben mejor a bajas frecuencias (250 Hz) y los menos densos a altas frecuencias (>1000 Hz).

Las características de absorción de sonido se ven afectadas por la densidad, la porosidad, la finura de la fibra, mayor elasticidad y el grosor del material, así como del tratamiento de la superficie y de la gama de frecuencia de sonido. En general, los materiales porosos absorbentes de baja densidad tienen buenas propiedades de aislamiento en una amplia gama de frecuencias. Se ha demostrado que la absorción de sonido fluctúa

en diferentes frecuencias debido a las características del material, incluyendo materias primas utilizadas. (L. Karlinasari, D. Hermawan, A. Maddu, B. Martianto, I. Khrisna Lucky, N. Nugroho, Y. Sudo Hadi, 2012)

**GRÁFICO N° 6.4** CAA de muestras de maíz (30%) 1.5 Y 3 cm.

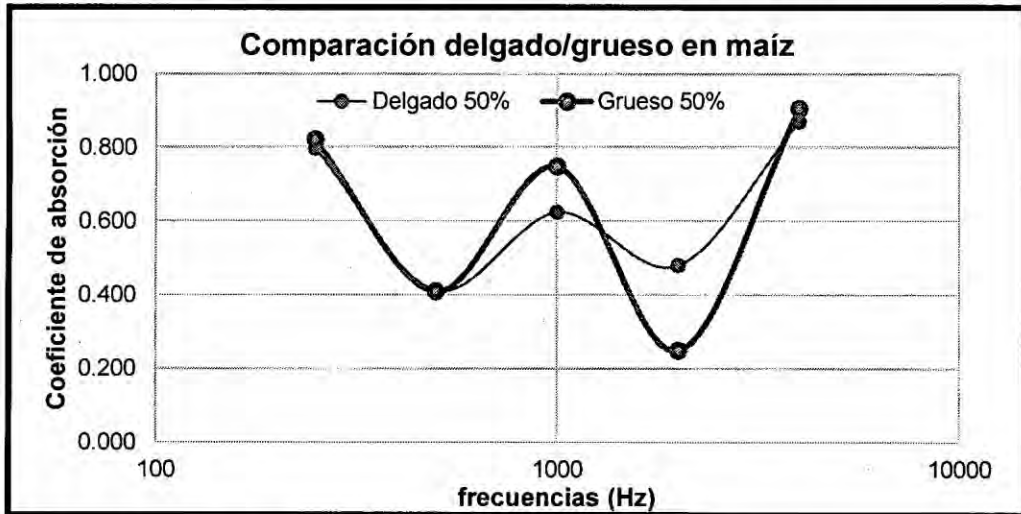


Fuente: elaboración propia

En el Gráfico N° 6.4 observamos que el  $\alpha$  de ambas muestras tiene la misma tendencia. Es decir presenta los valores máximos o picos a bajas y altas frecuencias (250 y 4000 Hz) y, a medias frecuencias (alrededor de 1000 Hz) los  $\alpha$  disminuyen significativamente, y la muestra de la barrera gruesa presenta un valor relativamente superior al delgado, esto es debido a que las muestras gruesas tienen mayor campo de acción y por lo tanto mayor capacidad de absorción de las ondas sonoras.



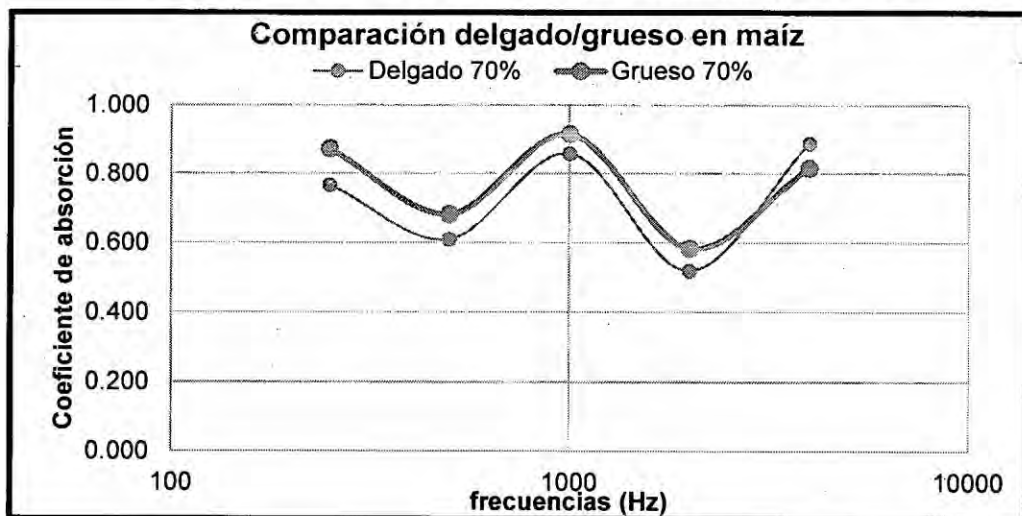
GRÁFICO N° 6.5 CAA de muestras de maíz (50%) 1.5 Y 3 cm.



Fuente: elaboración propia

En el Gráfico N° 6.5 observamos que el  $\alpha$  de ambas muestras tiene la misma tendencia. Es decir presenta los valores máximos o picos a bajas y altas frecuencias (250 y 4000 Hz) y, a medias frecuencias (alrededor de 1000 Hz) los  $\alpha$  disminuyen significativamente, esto es debido probablemente a las características internas del material.

GRÁFICO N° 6.6 CAA de muestras de maíz (70%) 1.5 Y 3 cm.



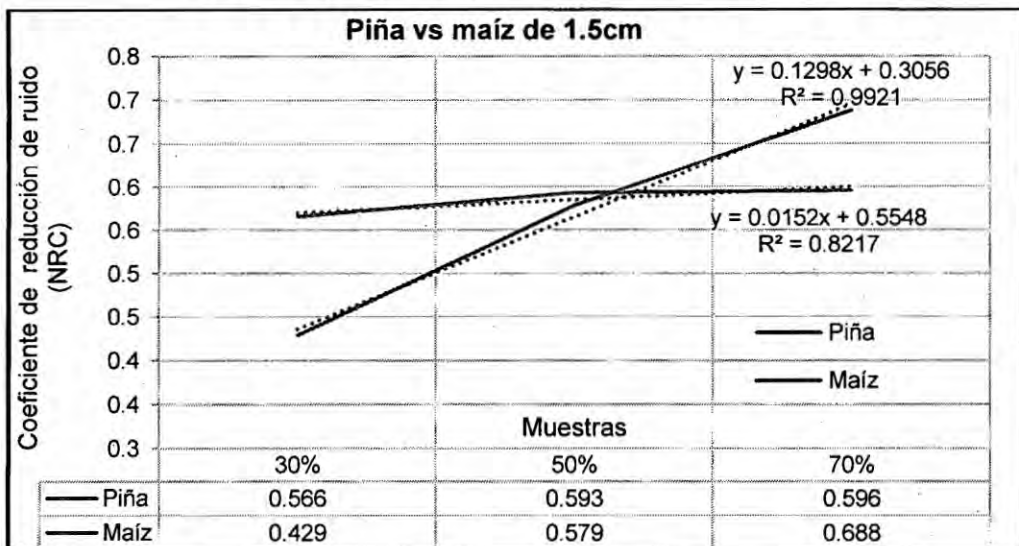
Fuente: elaboración propia

El Gráfico N° 6.6 nos presenta una tendencia cuasi uniforme del  $\alpha$  ya que para gran parte de las frecuencias, el  $\alpha$  de la muestra gruesa se encuentra por encima de las del delgado. Esto se debe al grosor del material, es decir, cuanto más grueso sea el material, mayor absorción tendrá.

### Comparación coronta de maíz Vs. hojas de piña

Para una mejor visión y comparación se toma en cuenta un único valore representativo de cada una de las muestras analizadas, el cual está representado por Coeficiente de Reducción de Ruido (NRC) de los distintos materiales orgánicos utilizados, sean hojas de piña y coronta de maíz, además de la proporción de mezcla con el papel periódico, (30%, 50% y 70%), de esta manera podremos comprobar qué material nos brindaría mejores resultados al momento de aplicar esta barreras acústicas, además de conocer la proporción estimada a utilizar para obtener los resultados más eficaces.

**GRÁFICO N° 6.7 Comparación de piña vs maíz (1.5 cm)**

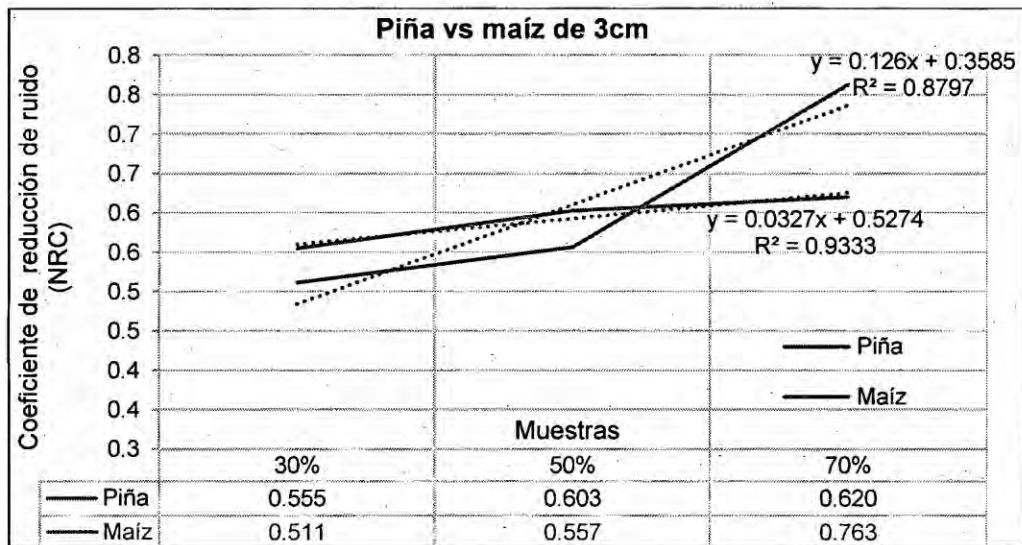


Fuente: elaboración propia

En el Gráfico N° 6.7 observamos cómo en bajas proporciones de materia orgánica en la composición de la barrera acústica obtenemos mejores

resultados de NRC en las mezclas de piña y papel periódico, pero mientras la proporción de materia orgánica va en aumento, progresivamente se acorta la brecha entre ambos materiales, teniendo que a proporciones mayores de 50% de materia orgánica, el NRC de las muestras con maíz es mayor que las de piña, que se debe a que el maíz tiene un amplio rango de absorción, mientras que la piña cuenta con rangos más pequeños y uniformes, razón por la cual al principio tiene mejores resultados, pero no tiende a aumentar ligeramente.

**GRÁFICO N° 6.8** Comparación de piña vs. Maíz (3 cm)



Fuente: elaboración propia

En el Gráfico N° 6.8 observamos la misma tendencia del resultado anterior, la única diferencia es que a bajas proporciones el NRC del maíz aumentó respecto al anterior, esto debido al incremento del grosor del material.

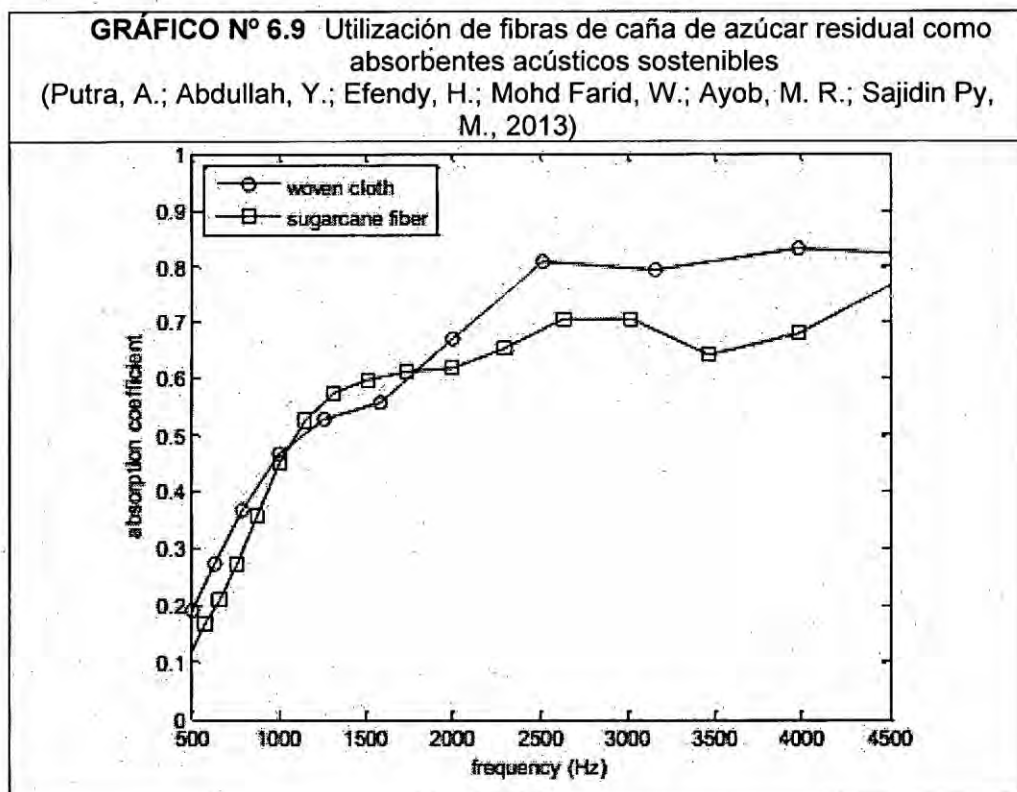
### 6.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS

Según los resultados mostrados, las barreras acústicas presentan valores significativos del coeficiente de reducción del ruido, que van desde 0.429

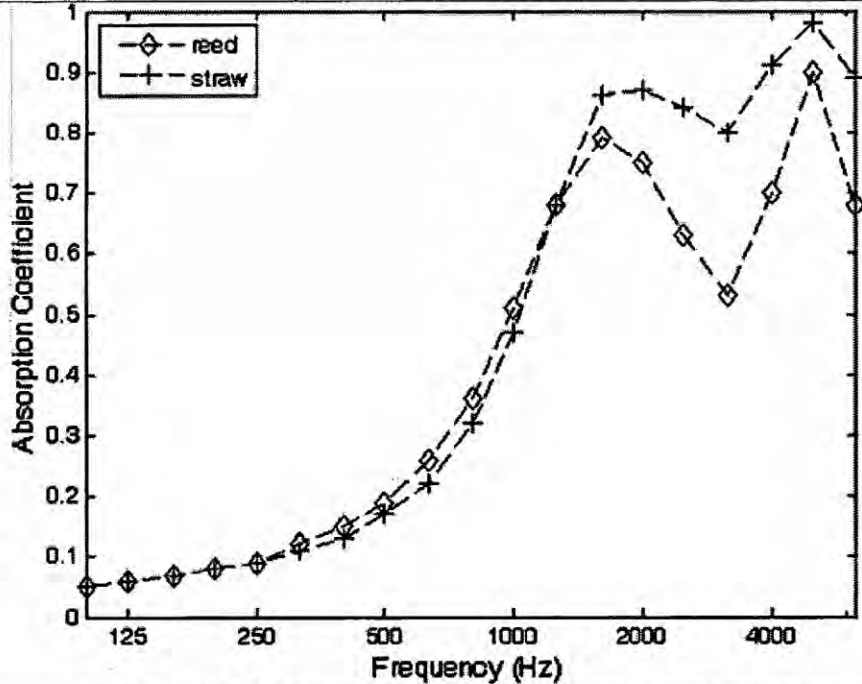
hasta los 0.763 para las muestras de coronta de maíz de 1.5 cm de grosor al 30% y coronta de maíz de 3 cm al 70% respectivamente. De estos resultados podemos afirmar un mejor comportamiento acústico de la muestra compuesta por coronta de maíz y papel periódico en composiciones del 70% y 30 % respectivamente cuyo grosor es de 3 cm, al obtener el coeficiente más alto después de los ensayos de laboratorio realizados a las 12 muestras totales. Por lo tanto se puede confirmar que las barreras acústicas hechas de residuos orgánicos presentan altas capacidades de absorción del sonido.

## 6.2. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS SIMILARES

A continuación se realiza la comparación de los resultados obtenidos en esta investigación con otros similares:



**GRÁFICO N° 6.10** Absorbentes acústicos sostenibles a partir de biomasa  
(Oldham, D. *et al*, 2011)



**GRÁFICO N° 6.11** Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel  
(M. Hosseini Fouladi, 2009)

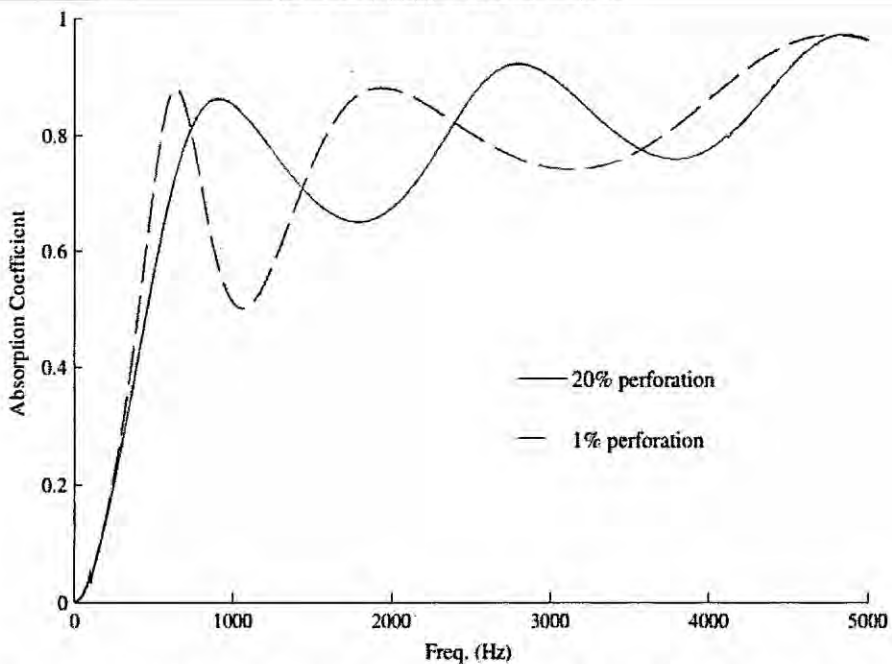
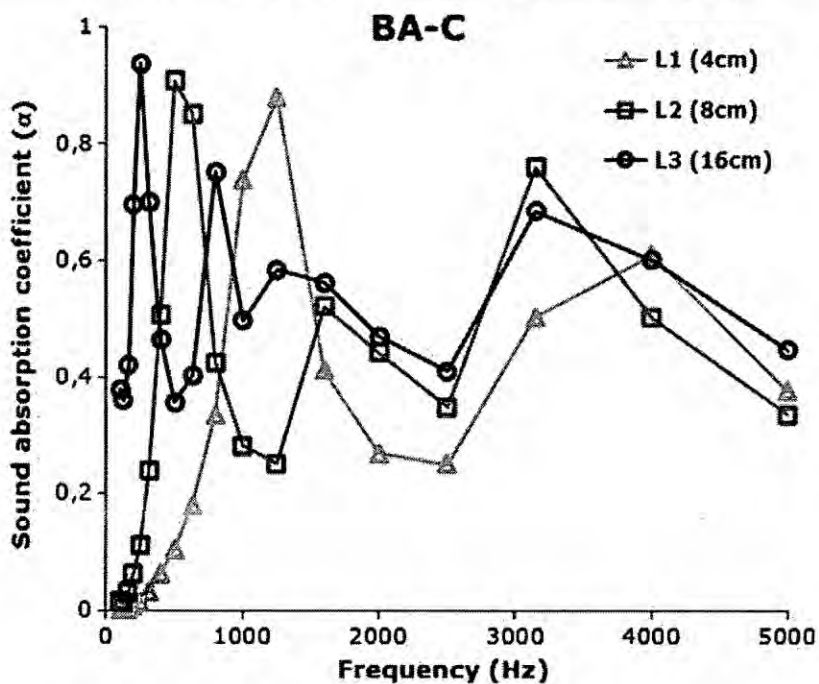


Fig. 7. Absorption coefficient of 50 mm coir fiber backed perforated plate with different perforation and 35 mm air gap; arrangement (b) in Fig. 3.

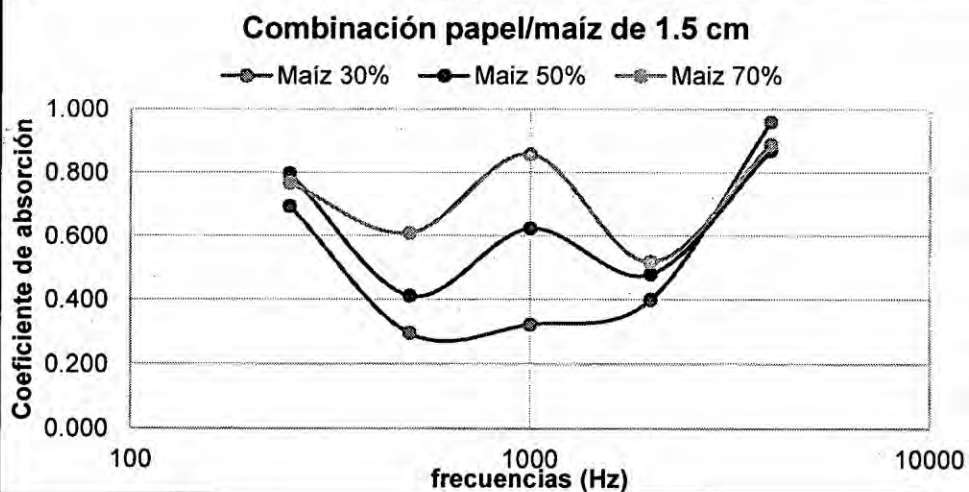


**GRÁFICO N° 6.12** Use of co-combustion bottom ash to design an acoustic absorbing material for highway noise barriers  
(C. Arenas, C Leiva, L. Vilches, H. Cifuentes, 2013)



**Fig. 3.** Acoustic absorption coefficient of BA-C with different thickness.

**GRÁFICO N° 6.13** Investigación actual



Fuente: elaboración propia

## **Discusión:**

Independientemente de las características de fabricación o composición de las muestras de cada uno de los estudios presentados en los gráficos anteriores o de las metodologías utilizadas, se puede observar y destacar que los resultados obtenidos en esta investigación presentan variaciones similares en función de las frecuencias a todos aquellos resultados. Tal es el caso que para frecuencias de aproximadamente 3500 a 4500 Hz, se obtienen los coeficientes de absorción sonora más altos en todos los casos, así como para frecuencias cercanas a 2000 Hz, los valores del parámetro analizado se reducen significativamente.

En el caso del estudio correspondiente a la figura 6.9 (Utilización de fibras de caña de azúcar residual como absorbentes acústicos sostenibles) las curvas del coeficiente de absorción presentan sus picos más altos, que sobrepasan los 0.5 a frecuencias de aproximadamente 1500, 2500 y mayor a 4000 Hz.

En tanto las figuras 6.10 y 6.11 presentan tendencias muy similares del  $\alpha$  ya que los picos más altos de los valores del  $\alpha$  se dan a un aproximado de 1500, 2500 y mayores a 4000 Hz, estos valores sobrepasan los 0.6, y la misma tendencia se aprecia en nuestros estudios.

Finalmente la figura 6.12., nos muestra valores máximos del  $\alpha$  a bajas frecuencias (menor a 100 Hz) y de lo contrario de las anteriores el  $\alpha$  disminuye a altas frecuencias (alrededor de los 4000 Hz).

---

## VII. CONCLUSIONES

Habiendo evaluado las capacidades de absorción del sonido de las muestras de barreras acústicas elaborados a partir de materiales orgánicos, sean estos los coeficientes de absorción acústica y/o de reducción del ruido, se concluye lo siguiente:

- ✓ En primer lugar, respecto a las proporciones (% de materias), conforme se van aumentando la proporción de la cantidad de residuos orgánicos, va aumentando la capacidad de absorción acústica. Es por ello que los mejores resultados se obtuvieron de las que contenían un 70% de material orgánico, frente a las que tenían 50% y 30%, claro ejemplo de ello fueron los resultados de las muestras compuestas por coronta de maíz de 3 cm de grosor, cuyos coeficiente de reducción de ruido (NRC) fueron 0.763, 0.557 y 0.511 respectivamente. Por lo tanto, podemos afirmar que mayores proporciones de materiales orgánicos nos brindarán mejores propiedades absorbentes del sonido.
- ✓ Por otro lado, en cuanto a los grosores, también podemos corroborar que a mayor grosor, es mejor la capacidad de absorción acústica, prueba de ellos son los resultados obtenidos en la medición del coeficiente de absorción del maíz al 70%, en cuya gráfica se observa una superposición de los resultados de 3 cm de grosor sobre los de 1.5 cm; los valores registrados en dichas mediciones son 0.873, 0.681, 0.916, 0.584, y 0.816 en 3 cm frente a los resultados 0.766, 0.609, 0.859, 0.519 y 0.889 en 1.5 cm para las distintas frecuencias muestreadas.
- ✓ Así mismo, comparando ambos materiales en las mismas condiciones de grosor y proporción, podemos notar que las muestras compuestas de residuos de piña no generan cambios súbitos conforme cambia la proporción, por el contrario; si ocurre con el

maíz. A proporciones bajas (30%) hay un mejor coeficiente de reducción de ruido (NRC) para la piña que para el maíz. Sin embargo conforme aumentamos la proporción, aumenta significativamente el NRC, mientras que la de la piña se mantiene cuasi estático, ya posteriormente (por encima del 50% de proporción), el coeficiente de reducción del ruido del maíz es mejor al de la piña, por lo que al llegar a una proporción del 70% las muestras de maíz son mucho mejores absorbentes que las muestras elaboradas a partir de piña.

- ✓ La curva que mejor está prediciendo los coeficientes de absorción es la de tercer grado, según se aprecia; sin embargo, a medida que aumenta el grado del polinomio el sistema de ecuaciones tiende a ser más inestable, y es más probable que más adelante existan oscilaciones. Por lo tanto, la relación entre  $\alpha$  y las frecuencias es un indicativo de que el modelo encontrado es aceptable. El coeficiente de 0.997, expresa que la incertidumbre original se ha explicado mediante el modelo utilizado.
- ✓ Finalmente, se puede afirmar que tanto las muestras de barreras acústicas elaboradas de corontas de maíz como las de las hojas de piña, presentan altas capacidades de absorción sonora, ya que los valores del coeficiente de absorción resultaron por encima de 0.6; y de esta forma se corrobora la hipótesis planteada.

---

## VIII. RECOMENDACIONES

Concluida la investigación, las recomendaciones se centran en lo siguiente:

- ✓ Se deberían realizar estudios más profundos (porosidad, densidad, resistencia al flujo, etc.) o a nivel interno a los materiales estudiados, de forma tal, encontrar nuevas relaciones a los resultados obtenidos.
- ✓ El procedimiento del método del tubo de impedancia para las mediciones del coeficiente de absorción del sonido de los materiales estudiados debe ser mediante el empleo de equipos más sofisticados, puesto que el proceso seguido en este estudio se vio limitado por la disponibilidad de algunos equipos y accesorios. Así mismo, los resultados son más representativos a altas frecuencias, por lo que para bajas frecuencias se recomienda se realicen estudios para evaluar la eficacia de este tipo de materiales a bajas frecuencias.
- ✓ Para complementar los resultados obtenidos por el método de tubo de impedancia, se deberían realizar por otros métodos como la de cámara reverberante, o medir materiales que ya hayan sido evaluados en este equipo, pudiendo comparar así los datos. Aunque siempre encontraremos diferencias entre estos, ya que las mediciones en el tubo de impedancia son en incidencia normal y con ondas estacionarias, y en la cámara reverberante estamos hablando de campo difuso.
- ✓ En cuanto a los materiales estudiados, se podría ampliar la línea de investigación, a partir de los datos obtenidos en este trabajo, centrándonos en las muestras que presentan mejores resultados, incluso crear soluciones compuestas con materiales que presenten buenas respuestas en todas las características acústicas.



---

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR. (Junio de 2001). *Norma Europea UNE-EN ISO 10534-1 "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria"*. Madrid, España.
- Ambientum, R. (2004). Contaminación acústica y salud. *Revista Ambientum*.
- Arenas, C.; Leiva, C.; Vilches, L. F.; Cifuentes, H. (02 de Agosto de 2013). Uso de cenizas de fondo de co-combustión para diseñar materiales absorbentes de sonidos para barreras acústicas en carreteras. *Use of co-combustion bottom ash to design an acoustic absorbing material for highway noise barriers*. Sevilla, España: Elsevier Ltd.
- C. Arenas, C Leiva, L. Vilches, H. Cifuentes. (02 de Agosto de 2013). GRÁFICO N° 6.12 Use of co-combustion bottom ash to design an acoustic absorbing material for highway noise barriers . Sevilla, España: Elsevier Ltd.
- Castro Reyes, C. (Diciembre de 2009). Utilización de fibra de piña como reemplazo de madera comprimida en el diseño de muebles. México.
- Del Rey, R. (Octubre - Diciembre de 2011). Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico. *Materiales de Construcción*, 12. Valencia, España.
- España, U. (17 de enero de 2014). Contaminación Acústica. *Descubren una relación entre el ruido del tráfico y la mortalidad por enfermedades respiratorias*, 2. España.
- García-Valles, M.; Avila, G.; Martínez, S.; Terradas, R.; Nogués, J.M. (02 de Junio de 2008). Barreras acústicas obtenidas a partir de residuos industriales. *Acoustic barriers obtained from industrial wastes*. Barcelona, España.
- Harris, C. M. (1995). *Manual de medidas acústicas y control de ruido* (Tercera edición ed.). España: McGraw Hill / Interamericana de España S.A.
- Heredia Mejía, G. A.; Montes de Oca Hernández, G. Y.; Ruíz Hernández, A. I. (Mayo de 2013). Sistema ALternativo para la Evaluación de Reducción de la Transmisión del Sonido. México D.F., México.
- INEI, I. N. (2013). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística e Informática : <http://www.inei.gob.pe>
- L. Karlinsari, D. Hermawan, A. Maddu, B. Martiandi, YS. Hadi. (Febrero de 2011). Development of particleboard from tropical fast-growing species for acoustic panel. 6. Malasia.

- L. Karlinasari, D. Hermawan, A. Maddu, B. Martianto, I. Khrisna Lucky, N. Nugroho, Y. Sudo Hadi. (2012). Acoustical properties of particleboards made from betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) as building construction material. Indonesia: Bioresources.
- Luong, J.; Bueno, M.; Vázquez, V. F.; Paje, S. E. (20 de Diciembre de 2013). Pavimento poroso ultrafino hecho con aglutinante de goma de asfalto de alta viscosidad: Una mejor absorción acústica. *Ultrathin porous pavement made with high viscosity asphalt rubber binder: A better acoustic absorption?* Ciudad Real, España: Elsevier Ltd.
- M. Hosseini Fouladi, M. J. (05 de Noviembre de 2009). Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel. Selangor, Malasia: Elsevier Ltd.
- Marín, A. P. (Septiembre de 2001). *APLICACIÓN INFORMÁTICA ORIENTADA A LA FORMACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A RUIDO EN AMBIENTES INDUSTRIALES*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA: [http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/\(9\)%20Control%20por%20absorcion/absorcion%20acustica.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/(9)%20Control%20por%20absorcion/absorcion%20acustica.htm)
- Marín, B.; Benavidez, A.; Delvasto, S.; Mejía de Gutiérrez, R.; Chavarro, S. (2009). Estudio de Materiales Absorbentes del Sonido en Cajas Acústicas. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 10.
- Martínez Navarro, S. (2013). Materiales para la elaboración de carpas acústicas. Gandía, España.
- Merino Porta, E. (2010). *Nuevas pantallas acústicas a partir de materiales reciclados*. Gandía.
- Miyara, F. (2001). El sonido, la música y el ruido. *Tecnopolitan Magazine*, 11.
- Mohammad Hosseini, F.; Mohd Jailani, M. N.; Ayub, Md.; Zulkarnain Ali, L. (25 de Septiembre de 2009). Utilización de fibras de coco en paneles de absorción acústica de múltiples capas. *Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel*. Selangor, Malasia: Elsevier Ltd.
- OEFA, O. d. (Julio de 2011). Evaluación Rápida del Nivel de Ruido Ambiental en las Ciudades de Lima, Callao, Maynas, Coronel Portillo, Huancayo, Huánuco, Cusco y Tacna. Lima, Lima, Perú.
- Oldham, D.; Egan, C.; Cookson, R. (4 de Febrero de 2011). Absorbentes acústicos sostenibles a partir de biomasa. *Sustainable acoustic absorbers from the biomass*. Liverpool, Reino Unido: Elsevier Ltd.

- Putra, A.; Abdullah, Y.; Efendy, H.; Mohd Farid, W.; Ayob, M. R.; Sajidin Py, M. (2013). Utilización de fibras de caña de azúcar residual como absorbentes acústicos sostenibles. *Utilizing Sugarcane Wasted Fibers as a Sustainable Acoustic Absorber*. Melaka, Malasia: Elsevier Ltd.
- Quintana, O.; Iglesias, M. (2010). *Composites con Reciclados para la Mejora del Aislamiento Acústico*. Gandia.
- Ramis, J.; Alba, J.; Del Rey, R.; Escuder, E.; Sanchís, V. J. (Julio - Septiembre de 2010). Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. *Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf*. Alicante, España.
- Serrano, A.; Espinach, F. X.; Tresserars, J.; Pellicer, N.; Alcalá, M.; Mutje, P. (2 de Octubre de 2013). Estudio sobre la viabilidad técnica de la sustitución de las fibras de vidrio por fibras de papel periódico usado reciclado como refuerzo de polipropileno. *Study on the technical feasibility of replacing glass fibers by old newspaper recycled fibers as polypropylene reinforcement*. España: Journal of Cleaner Production.
- UNE-EN ISO 10534-1. (2002). *Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia*. MADRID, España: Asociación española de normalización y certificación (AENOR).
- Zicla. (28 de Febrero de 2014). *Barreras acústicas, principios básicos*. Obtenido de [http://www.zicla.com/public/docs/110802\\_barreras-acusticas-principios-basicos.pdf](http://www.zicla.com/public/docs/110802_barreras-acusticas-principios-basicos.pdf)

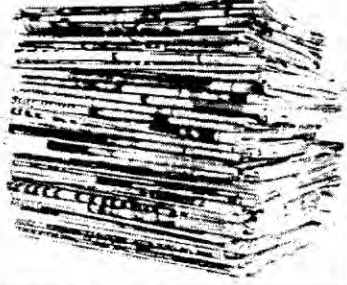
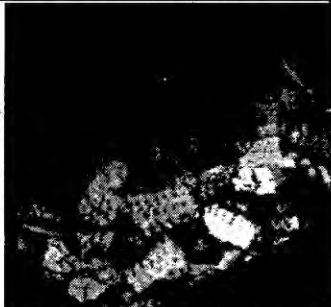

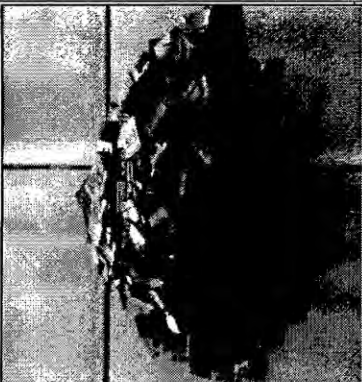

## X. ANEXOS

### A. MATRIZ DE CONSISTENCIA




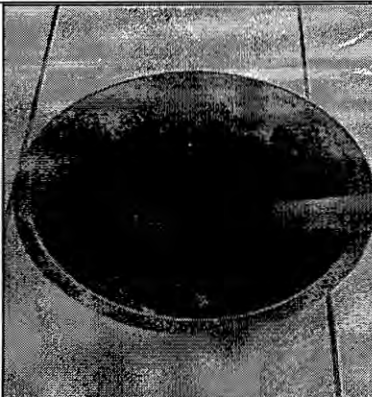

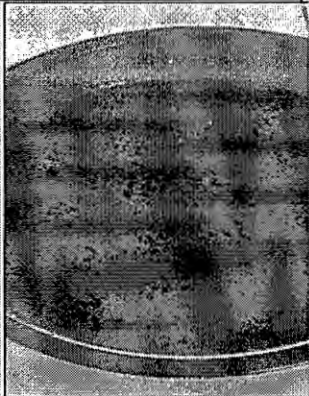
#### DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN SONORA DE BARRERAS ACÚSTICAS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>¿En qué medida las barreras acústicas elaboradas con residuos orgánicos tendrán la capacidad de absorber el ruido?</p>	<p><b>General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la capacidad de absorción del sonido de las barreras acústicas elaboradas a partir de residuos orgánicos.</li> </ul> <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar y caracterizar los residuos orgánicos a emplear para la elaboración de las barreras acústicas.</li> <li>Determinar la composición de los residuos orgánicos para la elaboración de las barreras acústicas.</li> </ul>	<p>Las barreras acústicas elaboradas con residuos orgánicos tendrán una alta capacidad de absorción del ruido.</p>	<p><b>Independiente</b> Barreras acústicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Composición (mezcla)</li> <li>Proporción (%)</li> <li>Grosor (cm)</li> </ul>	<p>Diseño experimental realizado en laboratorio, basado en la norma internacional UNE- EN-ISO 10534-1, determinación del coeficiente de absorción acústica en tubos de impedancia. Parte 1: método del rango de onda estacionaria.</p>
			<p><b>Dependiente</b> Absorción del ruido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coefficiente de absorción sonora (<math>\alpha</math>)</li> </ul>	

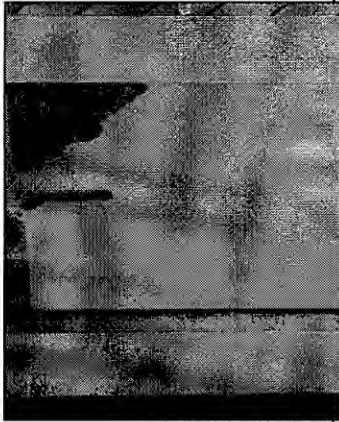
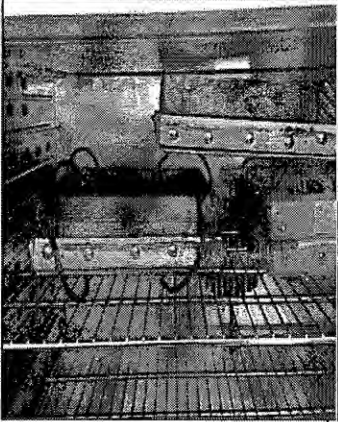
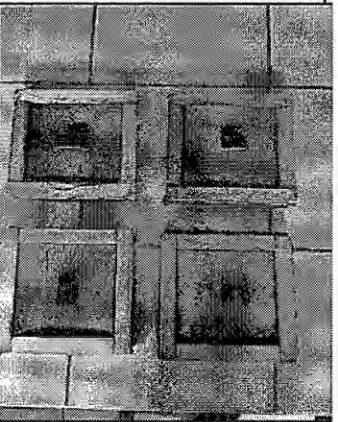
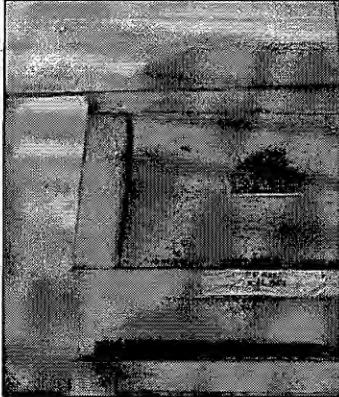
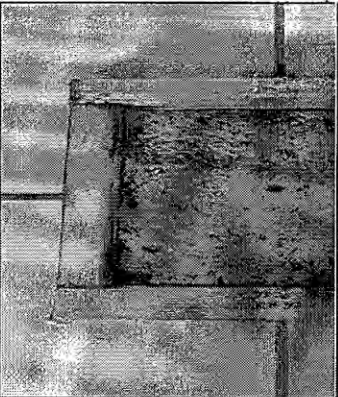
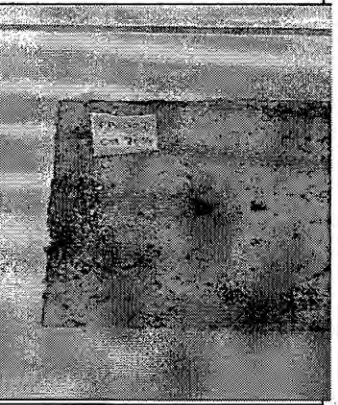
## B. PANEL FOTOGRÁFICO

ACONDICIONAMIENTO DE LOS INSUMOS UTILIZADOS		
Materiales e insumos:	Ambiente:	Tiempo:
Tijeras	Laboratorio de física química	3 horas
Martillo		
Molino electromecánico		
Estufa eléctrica		
Balanza		
<b>Papel periódico</b>	<b>Coronta de maíz</b>	<b>Hojas de piña</b>
		
<b>Paso 1a:</b> Reciclar papel periódico	<b>Paso 1b:</b> Con ayuda de un martillo, trozar la coronta de maíz en pasos de 1-5 cm	<b>Paso 1c:</b> Secar las hojas de piña en la estufa eléctrica a 105°C por un periodo de 2 horas
		
<b>Paso 2a:</b> Cortar el papel periódico con ayuda de una tijera	<b>Paso 2b:</b> Utilizando el molino electromecánico, moler los trozos de coronta de maíz, hasta reducirlo a 5-10 cm	<b>Paso 2c:</b> Utilizando el molino electromecánico, moler las hojas de piña hasta reducirlo a 5-10 cm

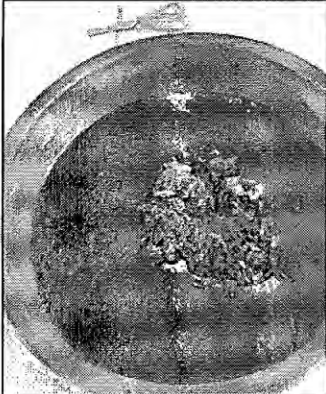


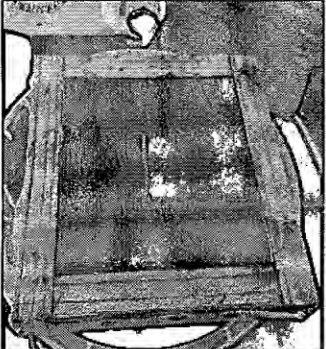
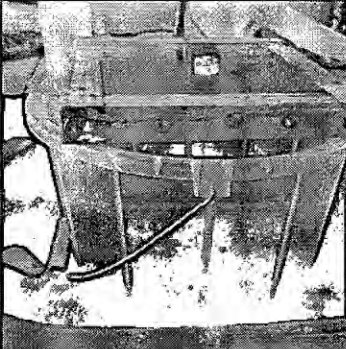





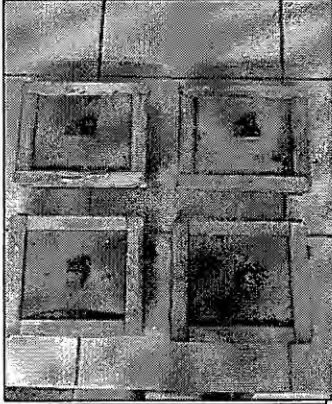

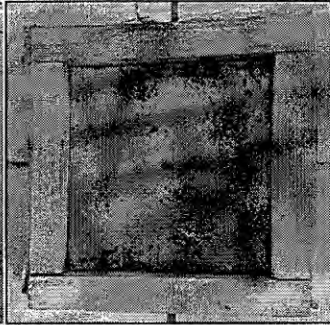
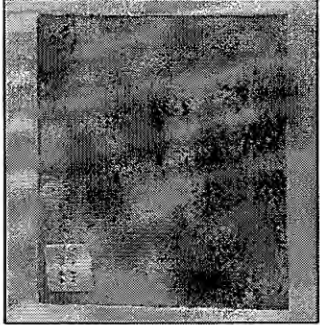
PREPARACIÓN DE LA PASTA DE PAPEL		
Materiales e insumos:	Ambiente:	Tiempo:
Cocinilla eléctrica	Laboratorio de física química	30 min.
Beaker 1L		
Balde ancho (5L)		
Licuadaora		
Papel Periódico		
Agua		
		
<b>Paso 1:</b> Cortar el papel periódico en trozos pequeños (la cantidades varían según el tipo de muestra)	<b>Paso 2:</b> Hervir 1L de agua en la cocinilla eléctrica	<b>Paso 3:</b> Remojar el papel cortado con el agua hervida por 20 min
		
<b>Paso 4:</b> Machacar el papel periódico para suavizar las fibras que lo componen	<b>Paso 5:</b> Licuar el papel periódico hasta obtener una masa homogénea (agregar más agua de ser necesario)	<b>Paso 6:</b> reservar la pasta de papel obtenida para la siguiente etapa

<b>MEZCLADO Y MOLDEADO DEL MAÍZ</b>		
<b>Materiales e insumos:</b>	<b>Ambiente:</b>	<b>Tiempo:</b>
Jarra de 1L	Laboratorio de físico-química	1 hora
Balde de 5 galones		
Moldes con malla filtradora		
Alambres templadores		
		
<b>Paso 1:</b> Combinar, de acuerdo a proporción, la pasta de papel y la coronta de maíz molido	<b>Paso 2:</b> Mezclar durante 10 min la combinación , hasta obtener una masa homogénea	<b>Paso 3:</b> Verter la mezcla de papel y maíz en los moldes de forma constante hasta vaciar todo el contenido
		
<b>Paso 4:</b> Ejercer presión sobre la mezcla con una tapa, para poder filtrar todo exceso de agua	<b>Paso 5:</b> Dejar reposar por 30 min. Hasta que se haya filtrado la mayor cantidad de agua	<b>Paso 6:</b> Utilizando alambres templadores, mantener presión entre la base y la tapa del molde

<b>HORNEADO Y DESMOLDADO DEL MAÍZ</b>		
<b>Materiales e insumos:</b>	<b>Ambiente:</b>	<b>Tiempo:</b>
Estufa eléctrica de laboratorio	Laboratorio de física química	1 Día
Cúter		
Tijera		
<b>Paso 1:</b> Preparar la estufa eléctrica a 105°C	<b>Paso 2:</b> Introducir los moldes en su interior y dejar por un tiempo de 16-24 horas, hasta que no se evidencie señales de humedad	<b>Paso 3:</b> una vez retirados del horno, dejar enfriar a temperatura ambiente por 30 min.
		
<b>Paso 4:</b> Con sumo cuidado desmoldar la muestra, utilizando un cúter para facilitar el trabajo		<b>Paso 5:</b> una vez retirado la muestra del molde, cortar todo residuo sobresaliente ayudado de un cúter y una tijera
		

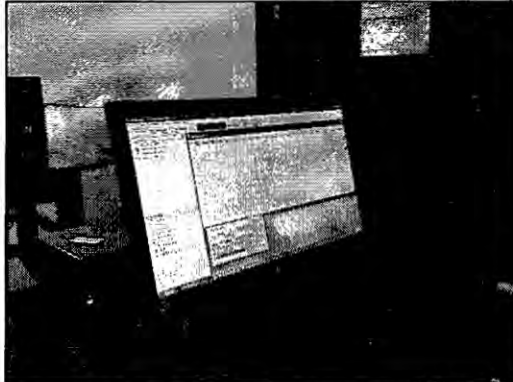


<b>MEZCLADO Y MOLDEADO DE LA PIÑA</b>		
<b>Materiales e insumos:</b>	<b>Ambiente:</b>	<b>Tiempo:</b>
Jarra de 1L	Laboratorio de física química	1 hora
Balde de 5 galones		
Moldes con malla filtradora		
Alambres templadores		
		
<b>Paso 1:</b> Combinar, de acuerdo a proporción, la pasta de papel y las hojas de piña molida	<b>Paso 2:</b> Mezclar durante 10 min la combinación , hasta obtener una masa homogénea	<b>Paso 3:</b> Verter la mezcla de papel y piña en los moldes de forma constante hasta vaciar todo el contenido
		
<b>Paso 4:</b> Ejercer presión sobre la mezcla con una tapa, para poder filtrar todo exceso de agua	<b>Paso 5:</b> Dejar reposar por 30 min. Hasta que se haya filtrado la mayor cantidad de agua	<b>Paso 6:</b> Utilizando unos alambres templadores, mantener presión entre la base y la tapa del molde

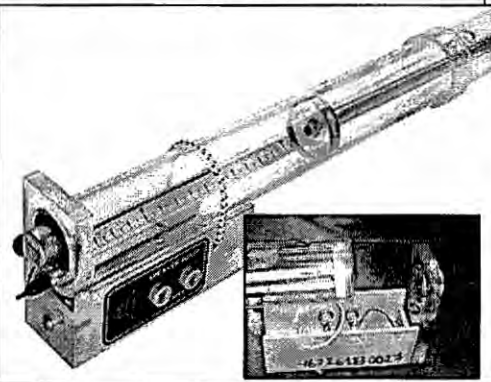
<b>HORNEADO Y DESMOLDADO DE LA PIÑA</b>		
<b>Materiales e insumos:</b>	<b>Ambiente:</b>	<b>Tiempo:</b>
Estufa eléctrica de laboratorio	Laboratorio de física química	1 Día
Cúter		
Tijera		
<b>Paso 1:</b> Preparar la estufa eléctrica a 105°C	<b>Paso 2:</b> Introducir los moldes en su interior y dejar por un tiempo de 16-24 horas, hasta que no se evidencie señales de humedad	<b>Paso 3:</b> Una vez retirados del horno, dejar enfriar a temperatura ambiente por 30 min.
		
<b>Paso 4:</b> Con sumo cuidado desmoldar la muestra, utilizando un cúter para facilitar el trabajo		<b>Paso 5:</b> Una vez retirado la muestra del molde, cortar todo residuo sobresaliente ayudado de un cúter y una tijera
		



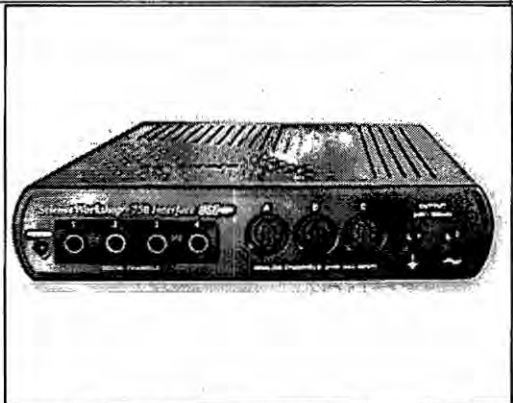
**EQUIPOS DE LABORATORIO**



Computadora personal pentium IV con S.O. Windows XP y software DataStudio



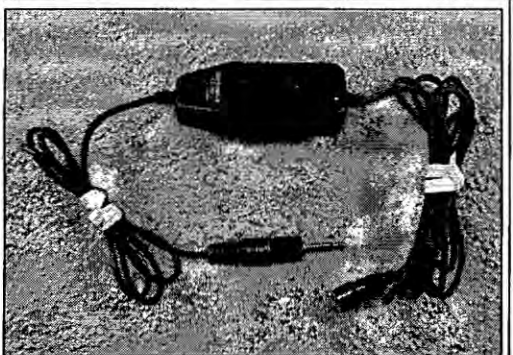
Tubo de resonancia modelo WA-9612 marca Pasco con altavoz incorporado



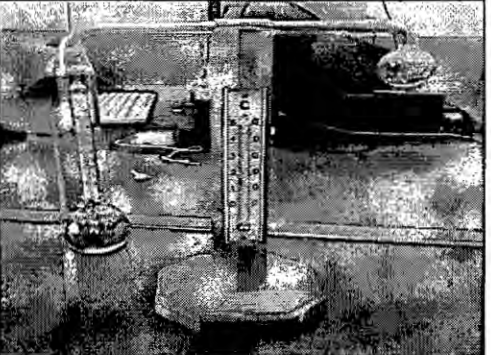
Interface Science Workshop 750 modelo CI-7599 marca Pasco



Amplificador de potencia modelo CI-6552A marca Pasco



Micrófono portátil omnidireccional ultra miniatura tie-clip marca Radioshack y sensor de voltaje modelo CI-6503 marca Pasco



Termómetro ambiental convencional

## MONTAJE DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

### Materiales:

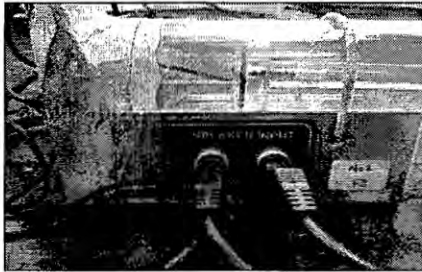
Interface  
Computadora personal  
Generador de potencia  
Tubo de impedancia  
Micrófono portátil y sensor de voltaje  
Sonda microfónica

### Ambiente:

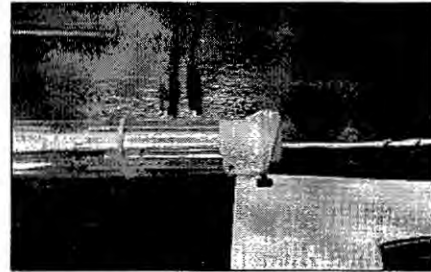
Laboratorio de física II

### Tiempo:

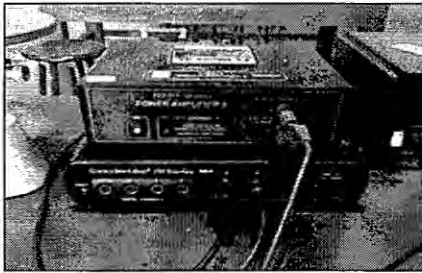
15 min



**Paso 1:** conectar 2 cables al altavoz situado en el tubo de resonancia.



**Paso 2:** Introducir la sonda microfónica con el micrófono dentro del tubo de impedancia y conectar al sensor de voltaje



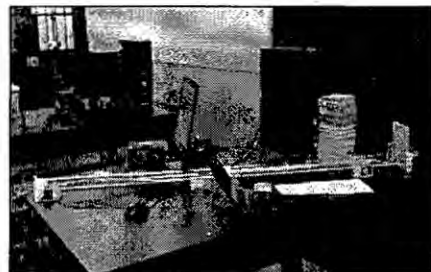
**Paso 3:** Conectar los cables del altavoz al generador de potencia, luego conectar este y el sensor de voltaje a la interface



**Paso 4:** Conectar la interface a la computadora personal y ejecutar el software Datastudio



**Paso 5:** Colocar las muestras en un extremo del tubo de resonancia y empezar con las mediciones



**Paso opcional:** para muestrear la frecuencia de 250 Hz se empalmó dos tubos de resonancia, ampliando su longitud debido a la mayor longitud de onda generada a esta frecuencia

## DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA

**Materiales e insumos:**  
Termómetro ambiental

**Ambiente:**  
Laboratorio de física II

**Tiempo:**  
30 min



**Paso 1:** Registrar la temperatura ambiental y verificar las condiciones de muestreo



**Paso 2:** Colocar las muestras en el extremo del tubo opuesto al altavoz, cubrir la muestra con una superficie metálica de 2cm de espesor como mínimo



**Paso 3:** Colocar el micrófono a 1 cm de la muestra



**Paso 4:** Configurar el software Datastudio visualizando en el osciloscopio el voltaje producido por el micrófono



**Paso 5:** Configurar el altavoz en 5 voltios, a las frecuencias de 4000, 2000, 1000, 500 y 250 Hz para cada barrido



**Paso 6:** deslizando el micrófono hasta registrar en 1º mínimo y el 1º máximo de presión para cada frecuencia muestreada

**C. RESULTADOS DE LABORATORIO**

Coronta de maíz		Barreras delgadas						Barreras gruesas								
		30%		50%		70%		30%		50%		70%				
		1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax			
Frecuencia (Hz)	Parámetro															
250	Amplitud (V)	0.225	0.781	0.232	0.612	0.231	0.663	0.219	0.716	0.257	0.634	0.263	0.554			
	Distancia (cm)	28	45	25.3	43	24.9	42.1	27.3	45.5	24.1	40.8	23	39.6			
500	Amplitud (V)	0.064	0.728	0.062	0.468	0.093	0.403	0.071	0.651	0.051	0.39	0.071	0.255			
	Distancia (cm)	12.5	21.8	11.5	19.6	11.6	19.2	12.4	20.5	28.5	36.8	11.5	19.9			
1000	Amplitud (V)	0.051	0.524	0.088	0.683	0.133	0.535	0.06	0.521	0.06	0.349	0.094	0.323			
	Distancia (cm)	5.7	9.8	5.5	10	14	18.4	14.2	18.4	5.2	9.5	13.9	18.3			
2000	Amplitud (V)	0.015	0.118	0.018	0.111	0.021	0.116	0.015	0.125	0.008	0.112	0.022	0.102			
	Distancia (cm)	12.2	16.7	13.8	17.7	14	17.8	13.7	17.8	11.1	13.5	11	14.2			
4000	Amplitud (V)	0.01	0.015	0.008	0.017	0.01	0.02	0.011	0.021	0.009	0.017	0.006	0.015			

Hojas de piña		Barreras delgadas						Barreras gruesas					
		30%		50%		70%		30%		50%		70%	
		1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax
Frecuencia (Hz)	Parámetro	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax	1ºmin	1ºmax
	Amplitud (V)	0.204	0.68	0.924	0.519	0.191	0.519	0.2	0.515	0.167	0.527	0.204	0.548
500	Distancia (cm)	25.4	41	23.5	38.6	27.4	39.7	26.6	42.5	23.8	40.8	26.5	43.5
	Amplitud (V)	0.058	0.501	0.066	0.364	0.08	0.382	0.068	0.608	0.088	0.416	0.08	0.558
1000	Distancia (cm)	11.1	20.8	11.1	19.2	10.5	19.5	12.1	21.4	11	20.2	12.5	21
	Amplitud (V)	0.088	0.711	0.078	0.692	0.098	0.598	0.145	0.649	0.139	0.676	0.107	0.54
2000	Distancia (cm)	4.7	9	4.9	9	14	18	14.3	18.3	14	18.5	14.4	18.7
	Amplitud (V)	0.072	0.194	0.048	0.232	0.021	0.109	0.019	0.126	0.021	0.11	0.02	0.115
4000	Distancia (cm)	2.4	4.7	2.4	4.8	9.6	13.2	9.6	14	8.2	14.3	9.8	13.8
	Amplitud (V)	0.047	0.401	0.049	0.094	0.009	0.027	0.012	0.021	0.017	0.024	0.015	0.022