

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PRIVADA COSMOS
UNITEPC
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SONIDO**



**CONSTRUCCIÓN DEL TUBO DE IMPEDANCIA QUE PERMITA
DETERMINAR EL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA, QUE ESTE
DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS DESCRITOS EN LA
NORMA UNE-EN ISO10534-2**

**Proyecto de Grado presentado
para optar al título de Licenciatura
en Ingeniería de Sonido**

**Postulante: MIGUEL ANGEL MACIAS VACA
Tutor: Ing. Rafael Alarcón Andrade
Tutor: Lic. Fernando Choque**

**Cochabamba – Bolivia
2017**

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de grado, primero a nuestro divino creador quien con su iluminación, me supo dar fuerzas, sabiduría, capacidad para desarrollar con mucho esfuerzo el presente trabajo, a mi señora madre, a mi señor padre ejemplos de vida y orientación, a mi apreciado hermano, a mis amigos que me apoyaron desinteresadamente para llevar adelante el presente Proyecto de Grado, muchas veces dejando sus quehaceres en sus vidas cotidianas.

AGRADECIMIENTOS

Pese a todas las adversidades, agradezco de todo corazón y mucha Fe primero a nuestro divino creador por darme capacidad, inteligencia, valor y mucha fuerza para concluir mis estudios en la Universidad y ahora el desarrollo y la conclusión del presente proyecto de grado.

A mis señores padres Carmen Vaca Pereira y Miguel Ángel Macias Cruz, por darme la vida, cariño y mucho amor incondicional, por la confianza depositada en mi durante todos los años de estudio, pese a la distancia en la que nos encontramos.

A mi compañera de vida Anait Huillcas Villafuerte, quien con sus palabras tan dulces ha sabido guiarme, acompañarme en todo momento impulsándome a no rendirme y seguir con la lucha de estudio y superación.

A mi hermano Waldir Macias Vaca, quien, desde la distancia ha sabido inculcarme la lucha para seguir adelante con todos mis propósitos.

A mi tutor Ing. Rafael Alarcón, gracias por guiarme y transmitirme sus conocimientos para el desarrollo y culminación del presente proyecto de grado y por la confianza depositada en mí.

A mi cotutor Lic. Fernando Choque Quien en forma permanente y desinteresada supo guiarme con todos sus conocimientos muchas gracias Lic.

Al Ing. Jaime Enrique Cortez Heredia quien de la distancia me supo apoyar con sus comentarios y orientación para llegar a la culminación del presente proyecto de grado.

A mis docentes de la carrera de Ingeniería de Sonido de la UNITEPC. Quienes con su paciencia me supieron transmitir y compartir sus conocimientos.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2

CAPITULO I

1.1. PRESENTACIÓN DE LA TEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. JUSTIFICACIÓN	5
1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	7
1.5.1. Delimitación temporal.....	7
1.5.2. Delimitación espacial.....	7

CAPITULO II

MARCO CONTEXTUAL.....	8
2.1. LOCALIZACIÓN Y BREVE HISTORIA.....	8

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO	10
3.1. ONDA.....	10
3.2. SONIDO	10
3.3. SUPERPOSICIÓN DE ONDA	11

3.4. ONDAS ESTACIONARIAS.....	11
3.5. ONDAS PLANAS	11
3.6. FRECUENCIA	12
3.7. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO.....	13
3.8. NÚMERO DE ONDA	13
3.9. PRESIÓN SONORA	14
3.10. NIVEL DE PRESIÓN SONORA. (SPL)	14
3.11. DECIBELIO.....	15
3.12. TRANSDUCTORES ELECTRO ACÚSTICOS	15
3.13. MICRÓFONO.....	16
3.14. ALTAVOZ	16
3.15. AMPLIFICADOR	17
3.16. TONO PURO	17
3.17. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA EN LA INCIDENCIA	
NORMAL α	17
3.18. ABSORCIÓN ACÚSTICA	18
3.19. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)	18
3.20. COEFICIENTE DE REFLEXIÓN (σ).....	19
3.21. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA	19
3.22. TUBO	19
3.23. TUBO DE IMPEDANCIA.....	19
3.24. GENERADOR DE SEÑAL	20
3.25. MATERIALES ACÚSTICOS	20
3.26. ANTECEDENTES DE LA NORMA ISO 10534-2	21
3.26. TRANSFORMADA DE LA PLACE	22

CAPITULO IV

DISEÑO METODOLÓGICO	23
4.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	23

4.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
4.2.1. Exploratoria	24
4.2.2. Experimental	24
4.2.3. Descriptiva	24
4.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN A UTILIZARSE	24
4.3.1. Método análisis comparativo	25
4.3.2. Método deductivo	25
4.3.3. Método teórico (método bibliográfico)	25
4.4. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	25
4.4.1. Observación	25
4.4.2. Entrevista	26
4.4.3. Encuesta	26
4.5. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	26
4.5.1. Guía de observación	26
4.5.2. Guía de entrevista	27
4.5.3. Cuestionario	27
4.6. FUENTES DE INFORMACIÓN (QUE PUEDEN SER PRIMARIAS – SECUNDARIAS)	28
4.7. PROCEDIMIENTO. DESCRIPCIÓN DE CADA PASO EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	29

CAPITULO V

5.1. PRESENTACIÓN DE HALLAZGO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS MISMOS	30
5.1.1. Soporte para muestras de prueba	34
5.1.2. Altavoz	35
5.1.3. Terminación del altavoz	35
5.1.4. Termómetro y barómetro	35
5.1.5. Montaje experimental	35

5.1.6. Desarrollo específico de cada apartado del montaje experimental	36
5.1.7. Comparación de materiales	89
5.1.8. Tubo de impedancia incidencia normal	91

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES.....	95
PROPUESTA.....	96
BIBLIOGRAFÍA	97

ANEXOS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1	Localización (punto amarillo), centro de operaciones para desarrollo del proyecto	9
Gráfico N° 2	Porta micrófono ISO 10534-2	33
Gráfico N° 3	Tubo posición de micrófonos	34
Gráfico N° 4	Driver de Compresión	36
Gráfico N° 5	Altavoz en la junta 1	36
Gráfico N° 6	Altavoz conectado al amplificador.....	37
Gráfico N° 7	Cable RCA conectado del interfaz a la entrada del amplificador	37
Gráfico N° 8	Amplificador conectado con cable RCA a la entrada del amplificador	38
Gráfico N° 9	Cable TRS para la función de transferencia	38
Gráfico N° 10	Conexión de cable TRS al interfaz para función de transferencia.....	39
Gráfico N° 11	Software smart V8 para medición acústica.....	40
Gráfico N° 12	Parte trasera de amplificador de potencia (conexiones)	41
Gráfico N° 13	Parte trasera de interfaz conexión de cable usb para el computador.....	43
Gráfico N° 14	Configuración de interfaz, software Smaart v8	43
Gráfico N° 15	Configuración de micrófonos en smart	44
Gráfico N° 16	Configuración de señal para la medición	44
Gráfico N° 17	Generador de señal smart v8.....	45
Gráfico N° 18	Micrófono de medición beyerdynamic MM1	46
Gráfico N° 19	Cable XLR para conexión a micrófono de medición.....	46

Gráfico N° 20 Montado de micrófono transversalmente al tubo de impedancia	47
Gráfico N° 21 Porta muestra	47
Gráfico N° 22 Muestra (Lana de roca Roxul).....	48
Gráfico N° 23 Material en porta muestra	49
Gráfico N° 24 Porta muestra en la junta número 2.....	49
Gráfico N° 25 Niveles de relación señal ruido	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1	Situación general del Departamento de Cochabamba	8
Tabla N° 2	Jurisdicción del Distrito 2 Comuna Tunari.....	9
Tabla N° 3	Datos de calibración	50
Tabla N° 4	Frecuencia: 100 Hz	52
Tabla N° 5	.....	53
Tabla N° 6	Frecuencia: 125 Hz	54
Tabla N° 7	.....	55
Tabla N° 8	Frecuencia: 160 Hz	56
Tabla N° 9	.....	57
Tabla N° 10	Frecuencia: 200Hz	58
Tabla N° 11	.....	59
Tabla N° 12	Frecuencia: 250Hz	60
Tabla N° 13	.....	61
Tabla N° 14	Frecuencia: 315Hz	62
Tabla N° 15	.....	63
Tabla N° 16	Frecuencia: 400Hz	64
Tabla N° 17	.....	65
Tabla N° 18	Frecuencia: 500Hz	66
Tabla N° 19	.....	67
Tabla N° 20	Frecuencia: 630Hz	68
Tabla N° 21	.....	69
Tabla N° 22	Frecuencia: 800Hz	70
Tabla N° 23	.....	71
Tabla N° 24	Frecuencia: 1000 Hz	72
Tabla N° 25	.....	73
Tabla N° 26	Frecuencia: 1250Hz	74
Tabla N° 27	.....	75
Tabla N° 28	Frecuencia: 1600Hz	76

Tabla N° 29	.....	77
Tabla N° 30	Frecuencia: 2000Hz	78
Tabla N° 31	.....	79
Tabla N° 32	Frecuencia: 2500Hz	80
Tabla N° 33	.....	81
Tabla N° 34	Frecuencia: 3150 Hz	82
Tabla N° 35	.....	83
Tabla N° 36	Frecuencia: 4000Hz	84
Tabla N° 37	.....	85
Tabla N° 38	Frecuencia: 5000 Hz	86
Tabla N° 39	.....	87
Tabla N° 40	Tabla de frecuencia versus presión	88
Tabla N° 41	Tabla de coeficiente de absorción por 1/3 de octava	89
Tabla N° 42	Confortpan 208 Roxul	90

ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación: 1)	12
(Ecuación: 2)	13
(Ecuación: 3)	13
(Ecuación: 4)	14
(Ecuación: 5)	15
(Ecuación: 6)	18
(Ecuación: 7)	18
(Ecuación: 8)	19
(Ecuación: 9)	30
(Ecuación: 10)	31
(Ecuación: 11)	33

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	BEYERDINAMIC MM1	99
Anexo B	MANUAL DE DRIVER DE COMPRESIÓN	100
Anexo C	INTERFAZ DE AUDIO FOCUSRITE	105
Anexo D	CALIBRADOR DE NIVEL DE SONIDO HD9101 TIPO 1 IEC 60942.....	109
Anexo E	CONSTRUCCIÓN DEL TUBO DE IMPEDANCIA	111
Anexo F	APLICANDO LA TRANSFORMADA DE LAPLACE.....	114
Anexo G	FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN	126
Anexo H	COTIZACIÓN.....	131

RESUMEN

Ante la necesidad de una herramienta indispensable, que permita hacer estudio de materiales principalmente para la industria acústica como ser el tubo de impedancia para medir el coeficiente de absorción sonora, puesto que en la actualidad no contamos con una herramienta o algo similar para dichos estudios.

El presente proyecto de grado nos permite contar con una herramienta versátil, de bajo costo y utilizando materiales existentes en el departamento de Cochabamba; se realizaron varias pruebas llegando a la correlación de los resultados obtenidos, los cuales fueron tomados en cuenta en la incidencia normal por el estudio matemático, siguiendo los apartados de la norma UNE – EN ISO 10534-2 2002.

INTRODUCCIÓN

En el Estado Plurinacional de Bolivia, específicamente en el Departamento de Cochabamba, el área de acústica es poco tratada y desarrollada, recientemente, en el campo de la acústica o similares, se espera un avance en el desarrollo y difusión de este tema.

En la actualidad para lograr corregir estos inconvenientes de la acústica en recintos, se está empezando a incluir en las construcciones; se requieren materiales acústicos. En la mayoría de los casos son importados, aunque también existen materiales desarrollados en el país los mismos que en su mayoría no presentan información técnica puesto que no existe una metodología de evaluación y medición que garantice sus propiedades.

La presente investigación, se centra en el estudio de materiales, específicamente enfocados a la absorción acústica. Se desarrolla un método de medición para la caracterización acústica de materiales empleados en la construcción, mediante el tubo de impedancia. Además de comparar los valores obtenidos con valores determinados en la norma UNE-EN ISO 10534-2 2002.

Es así que el presente proyecto de grado está dividido en seis capítulos: el primer capítulo se enfoca en la descripción y formulación del problema, la justificación, los objetivos generales, específicos y delimitaciones.

El segundo capítulo está abocado al marco contextual donde se desarrolló el laboratorio de medición.

En el capítulo tercero se desarrolla el marco conceptual el mismo nos da los conceptos definidos que nos servirán durante el desarrollo del trabajo.

En el cuarto capítulo se presenta el diseño metodológico dando una orientación de cómo se llevara a cabo el proyecto de grado.

La presentación, hallazgo, análisis e interpretación de los mismos corresponde al capítulo cinco referente a la construcción y lo relativo a las mediciones y comparación de datos.

El sexto capítulo, relacionado con la propuesta de continuar haciendo estudios y creación de líneas de investigación.

CAPITULO I

1.1. PRESENTACIÓN DE LA TEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad, en Bolivia se carece de instrumentos y/o herramientas de medición que permita determinar el coeficiente de absorción acústica, así mismo no se cuenta con información científica entre muchos otros aspectos importantes de esta herramienta.

Es en este sentido que el presente trabajo de investigación tiene por objeto describir científicamente un criterio de la utilización de una herramienta de medición (tubo de impedancia) que nos permita determinar el coeficiente de absorción acústica, específicamente en la ciudad de Cochabamba.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se podrá determinar el coeficiente de absorción acústica y aproximarse con los materiales estandarizados existentes en la provincia cercado del departamento de Cochabamba?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Construir el tubo de impedancia para determinar el coeficiente de absorción acústica, acuerdo a los requerimientos descritos en la norma UNE-EN ISO 10534-2 en la ciudad de Cochabamba.

1.3.2. Objetivos específicos

- ▶ Construir el tubo de impedancia con los materiales que existan en la ciudad de Cochabamba.

- ▶ Evaluar el funcionamiento del tubo de impedancia obteniendo los datos del material escogido para realizar las pruebas y comparación.
- ▶ Publicar datos estadísticos obtenidos del tubo de impedancia

1.4. JUSTIFICACIÓN

El Método de los 2 Micrófonos, fue introducido por primera vez en 1977, por A. F. Seybert y D. F. Ross. En esta técnica, se utiliza una fuente sonora que emite ruido blanco dentro del tubo, y a su vez genera un campo sonoro de ondas estacionarias, con propagación de ondas planas.

En 1980, J. Y. Chung y D. A. Blaser llegan a una expresión equivalente, más concisa y computacionalmente más directa. El método utiliza la función de transferencia entre las 2 presiones de micrófono, para medir propiedades acústicas dentro de un tubo a incidencia normal.

Esta formulación, está basada en la función de respuesta impulsiva, y en asumir el proceso como estacionario y aleatorio.

La carencia de estudios e información del tubo de impedancia, nos lleva a realizar el presente trabajo de investigación, con la finalidad de innovar en el campo de la acústica para obtener datos que nos permitan determinar el coeficiente de absorción acústica en los materiales existentes y/o fabricados en la provincia cercada del departamento de Cochabamba.

El presente proyecto está destinado a la construcción de una herramienta de medición acústica como ser el tubo de impedancia, que servirá para obtener resultados de materiales en el campo de la acústica.

Según la normativa existente para la medición de coeficiente de absorción de materiales, se necesita un tubo de impedancia para realizar tomas de muestras

de los materiales que se puedan usar en un aislamiento o acondicionamiento acústico, que se encuentra en el mercado de Cochabamba Bolivia y así facilitar a las mismas empresas de construcción o lugares donde sea necesario implementar un tratamiento acústico, al no tener este tipo de herramienta de medición en nuestra ciudad, las mediciones de absorción sonora no cumplen con los estándares internacionales, al carecer de datos expresados de los materiales, estos no nos permiten ofrecer soluciones reales a la sociedad.

Este tipo de herramienta de medición no se fabrica en nuestra ciudad, por lo tanto es necesario importar el tubo de impedancia, el mismo genera costos muy elevados, muchas empresas en Bolivia que se dedican a la venta de materiales acústicos desconocen datos de los coeficientes de absorción para la construcción de recintos. El tubo de impedancia para la medición acústica generalmente lo fabrican en Europa y específicamente en España.

Es muy importante por esta razón aprovechar todos los materiales y recursos que nuestra ciudad y país ofrece, es necesario y valioso contar con esta herramientas ya que sirve para el estudio de materiales acústicos, como aislamiento y acondicionamiento de recintos, al no contar con una cámara reverberante, cámara anecoica, se podrá hacer análisis con la herramienta a un costo más bajo en su construcción.

Por esta razón se construirá un tubo de impedancia que permita el análisis y la investigación de los diferentes materiales que existen en la ciudad de Cochabamba, garantizando de esta manera la estandarización de los mismos.

Analizar todos los procedimientos durante la construcción de un tubo de impedancia para determinar el grado del coeficiente de absorción acústica en materiales existentes en el mercado de la industria, específicamente en la ciudad de Cochabamba, asimismo, tomando en cuenta el objetivo general del presente trabajo de investigación, y que el mismo este dentro los

requerimientos descritos en la norma UNE-EN ISO 10534-2, “determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia parte 2, métodos de la función de transferencia”, en la ciudad de Cochabamba.

1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

1.5.1. Delimitación temporal

El presente proyecto de la construcción del tubo de impedancia se realizó en el periodo de la gestión II-2017.

1.5.2. Delimitación espacial

El centro de operaciones y tomando en cuenta la construcción se realizó en la provincia Cercado del departamento de Cochabamba zona mayorazgo calle Angélica Ascui y Jesús Lara.

CAPITULO II

MARCO CONTEXTUAL

2.1. LOCALIZACIÓN Y BREVE HISTORIA

De acuerdo a datos estadísticos obtenidos del departamento de catastro del Gobierno Autónomo Municipal de Cochabamba y el INE; el departamento de Cochabamba se encuentra situado al centro del Estado Plurinacional de Bolivia, teniendo los límites al norte con el Departamento del Beni; al sur con el Departamento de Potosí y el Departamento de Chuquisaca; al este con el Departamento de Santa Cruz; al Oeste con los Departamentos de La Paz y Oruro; siendo así que es el único departamento que no posee frontera internacional.

Tabla Nº 1

Situación general del Departamento de Cochabamba

Departamento	Cochabamba
Municipio	Cercado
Provincia	Cercado
Extensión	391 km ²
Altitud	2400 a 2900 m.s.n.m.
Clima	17 grados centígrados variable
Población	517,024 Habitantes
Idioma	Castellano – Quechua
Ubicación	62° 32' - 66° 35' y paralelos 17° 15'- 18° 20.

Fuentes:(página web oficial del gobierno autónomo municipal de Cochabamba)

www.ine.gob.bo

www.cochabamba/application/municipio/mapa

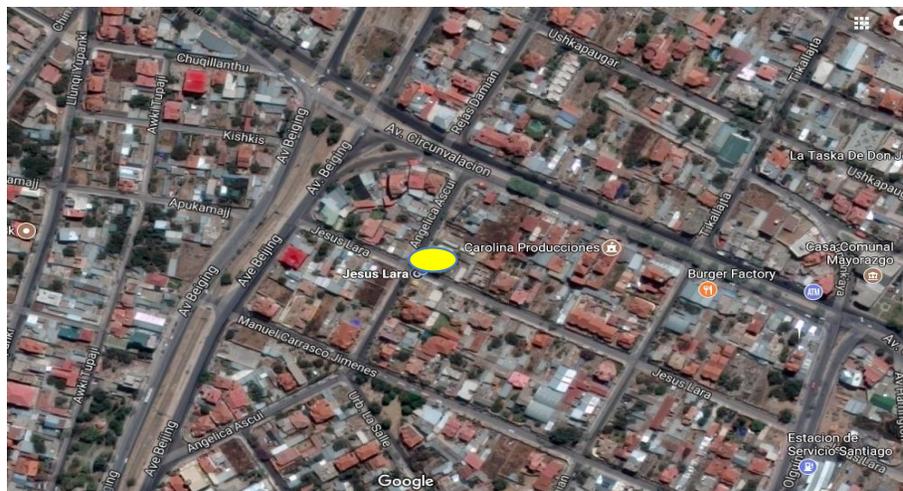
En lo que respecta a la ubicación del laboratorio y área de trabajo para la evaluación del tubo de impedancia este se encuentra ubicado en el Distrito 2 Comuna Tunari y su jurisdicción es la siguiente:

Tabla Nº 2
Jurisdicción del Distrito 2 Comuna Tunari

Ubicación	Zona Norte Comuna Tunari, Zona Mayorazgo
Limites entre calles	Calle Angélica Ascui y Jesús Lara (Edificio Onix).
Vías de accesos Principales	Avenida Beijing, Avenida Circunvalación 1, Avenida Simón López todas asfaltadas y transitables
Transporte	Cuenta con líneas de Micros, trufis, Radios taxis, Traxi trufis; a todos los sectores de Cercado

Fuente: elaboración propia

Gráfico Nº 1
Localización (punto amarillo), centro de operaciones para desarrollo del proyecto



Fuente: Google Maps

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se ostenta las nociones teóricas más importantes reaccionados con la determinación del coeficiente de absorción acústica en tubo de impedancia por el método de función de transferencia.

3.1. ONDA

Una alteración que se propaga en un medio de tal manera que, en cualquier punto del medio, la cantidad que sirve como medida de la alteración es una función del tiempo; en tanto que, en cualquier instante, el desplazamiento en un punto es una función de su posición.(Cyril M. Harris, 1995: 7).

3.2. SONIDO

Dícese que hay sonido cuando una perturbación del medio que se propaga por un material elástico causa una alteración de la presión o un desplazamiento de las partículas del material que puedan ser reconocidos por una personas o por un instrumento. (Leo Beranek 1961:3).

El sonido también se puede definir de formas muy diversas entre ellas tenemos la vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva. De dicha definición se desprende que, a diferencia de la luz, el sonido no se propaga a través del vacío y, además, se asocia con el concepto de estímulo físico.

Sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio elástico y denso (Carrión, 2001:3).

3.3. SUPERPOSICIÓN DE ONDA

Es el desplazamiento de los pulsos individuales, en cada punto para obtener el desplazamiento real es un ejemplo, cuando dos ondas se trasplanta, el desplazamiento real de cualquier punto de la cuerda en cualquier instante se obtiene suma de desplazamiento

3.4. ONDAS ESTACIONARIAS

La longitud de onda del sonido varia de forma considerable en todo el margen de frecuencias audibles, en frecuencias altas donde la longitud de onda es pequeña es apropiado considerar el frente de ondas como si se tratase de la luz; como un rayo. Son válidas las mismas leyes, como la de que el ángulo de incidencia de una onda en una pared es el mismo que el ángulo de reflexión. En frecuencias bajas, donde la longitud de onda es comparable con las dimensiones de la habitación es necesario tener en cuenta otros factores puesto que la sala se comporta en mayor medida como un resonador complejo. En este caso puede haber ciertas frecuencias para las cuales aparecen fuertes picos y valles de presión en diferentes puntos de la habitación. (Francis Rumsey; Tim McCormick, 2007:41).

3.5. ONDAS PLANAS

Las ondas sonoras que producen una sensación en el oído, son una variedad de alteraciones de presión que se pueden propagar a través del aire, es decir una perturbación producida en un punto de un medio elástico, no queda localizada en ese punto, sino que se transmite a los puntos próximos y así sucesivamente.(Manuel Recuero Lopez,1993: 37)

Ondas que tienen frentes planos; la dirección del desplazamiento de las partículas en cada punto del medio es normal al frente de onda. (Cyril Harrys, 1995: 2.16).

3.6. FRECUENCIA

Es el número de oscilaciones por segundo de la presión sonora (p) se denomina frecuencia (f) del sonido y se mide en Hertzio (Hz) o ciclos por segundo (c/s).

Lógicamente, la frecuencia del sonido coincide con la frecuencia de la vibración mecánica que lo ha generado. (Carrion, 2001)

Es una función periódica en el tiempo, el número de veces que la cantidad se repite así misma en un segundo (número de ciclos por segundos). Es recíproco del periodo. Unidad: hertzio símbolo de la unidad (Hz). (Cyril Harry, 1995).

(Ecuación: 1)

$$f = \frac{1}{T}$$

Donde:

f : Frecuencia (Hz)

T :Periodo (s)

3.7 Longitud de onda

Una vez definidos los conceptos fundamentales de frecuencia y velocidad de propagación del sonido, es preciso definir otro concepto básico que guarda una estrecha relación con ambos: la longitud de onda de sonido (λ).

Se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante de tiempo. Por ejemplo si en un instante dado se seleccionan dos puntos consecutivos del espacio donde los valores de presión son máximos la longitud de onda es precisamente la distancia entre ambos puntos. Donde se define la ecuación. (Carrión, 2001).

(Ecuación: 2)

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

Donde:

λ : Longitud de onda (m)

c : Velocidad del sonido (m/s)

f : Frecuencia (Hz)

3.7. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO

La velocidad de propagación de sonido (c) es función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Debido a que, en el aire ambas magnitudes depende de la presión atmosférica estática (P_0) y de la temperatura resulta que, considerando las condiciones normales de la atmosfera de presión y 22 grados centígrados de temperatura, la velocidad de propagación del sonido es de, aproximadamente, 345 m/s. (Carrión, 2001)

(Ecuación: 3)

$$c = 331,4 * \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

Donde:

C : Velocidad del sonido (m/s)

T : Temperatura (°C)

3.8. NÚMERO DE ONDA

Es una unidad de frecuencia que establece cuantas veces vibra una onda sonora en una unidad de distancia (el número de longitud de onda por distancia). Con una frecuencia angular W (ciclos) está definido por:

(Ecuación: 4)

$$K_0 = \frac{w}{c_0} = \frac{2\pi f}{c_0}$$

Donde:

F : Frecuencia (Hz)

C_0 : Velocidad del sonido (m/s)

Generalmente el número de onda es complejo por lo tanto: $k_0 = k'_0 - jk''_0$ donde k'_0 es el componente real $k'_0 = 2\pi f / \lambda_0$. k''_0 es el componente imaginario que es la constante de atenuación en Nepers por metro.

3.9. PRESIÓN SONORA

El sonido puede cuantificarse a partir de la medida de alguna magnitud física del medio, que varíe con la perturbación sonora. La magnitud física más importante empleada en acústica es la presión sonora (p), que representa la diferencia entre la presión total instantánea en un punto determinado, en presencia de una onda acústica, y la presión estática en el mismo punto, representa, pues, las variaciones de la presión atmosférica en torno a su valor de equilibrio, que en condiciones normales. Es una unidad de presión. Símbolo de la unidad: (Pa), (1pascal = 1N/m²). (Temall, 2016:7)

3.10. NIVEL DE PRESIÓN SONORA (SPL)

La presión sonora constituye la manera más habitual de expresar la magnitud de un campo sonoro. La unidad de medida es el newton/metros cuadrados (N/m²) o Pascal (Pa).

En principio, el valor a considerar es la diferencia entre el valor fluctuante de la presión sonora total P_T y su valor de equilibrio P_0 . Debido a la variación de dicha

magnitud con el tiempo, se utiliza como valor representativo su promedio temporal, que recibe el nombre de valor eficaz o.r.m.s. (“root-mean-square”).

Ahora bien, la utilización de dicho valor eficaz da a lugar a una serie de problemas cuyo origen se halla en el comportamiento del oído humano. (Carrión, 2001).

(Ecuación: 5)

$$SPL = 20 \text{ Log} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Donde:

SPL: Nivel de presión sonora (dB)

P: Presión (Pa)

*P*₀: Presión de referencia (20 micro pascales)

3.11. DECIBELIO

Es una unidad de nivel que denota la relación entre dos cantidades que son proporcionales a la potencia; el número de decibelio es diez veces el logaritmo (de base 10) de esta relación. En muchos campos sonoros, las relaciones de presión sonora no son proporcionales a las correspondientes relaciones de potencia, pero es una práctica habitual ampliar el uso de la unidad a tales casos. Un decibelio es un décimo de un belio. Símbolo de la unidad es dB. (Cyril Harrys, 1995).

3.12. TRANSDUCTORES ELECTRO ACÚSTICOS

La palabra transductor se unas con un término genérico que denota, a modo general, cualquier dispositivo que convierta una forma de energía en otra. La naturaleza del cambio de energía se indica añadiendo a modo de sufijo, un término compuesto que modifica el sentido general para convertirlo, por

ejemplo, en un transductor electro acústico, como dispositivo que convierte la energía eléctrica en acústica y viceversa.

Los transductores electro acústicos directos o emisores es decir, los que su cadena de transformación es electro- mecánica- acústica, son, por ejemplo, los altavoces. Por el contrario, los transductores inversos o receptores son los encargados de transformar la energía según el camino acústico-mecánico-eléctrico, como por ejemplo, los micrófonos. (Pueo y romero,2003:77)

3.13. MICRÓFONO

El micrófono es un dispositivo que transforma las ondas sonoras en corrientes eléctricas para, por lo general, ser amplificadas. Esta definición supone que el sonido a captar es muy débil o que el dispositivo no es capaz de entregar mucha tensión. Lo primero no es siempre cierto, pero lo segundo sí, no solo en los primeros años de desarrollo de los micrófonos sino también en la actualidad, en la que existen sensibilidades muy bajas. Formalmente, el micrófono es el transductor que convierte las señales acústicas en señales eléctricas. El cambio entre energías acústicas y eléctricas no es directo, sino que se realiza en dos estadios. (Pueo y Romero, 2003:109).

3.14. ALTAVOZ

El altavoz es un transductor electro acústico para convertir las señales eléctricas en sonido. Hay dos tipos principales de altavoz: aquellos en que la superficie vibrante (llamada diafragma) radia el sonido directamente en el aire, y aquellos en que se interpone una bocina entre el diafragma y el aire. El altavoz de radiación directa se utiliza en la mayoría de los radios receptores domésticos, en los fonógrafos, y en las pequeñas instalaciones de refuerzo acústico. El tipo de bocina se utiliza en los sistemas reproductores de alta

fidelidad en los grandes sistemas sonoros de teatros y auditorios. (Beranek 1971).

3.15. AMPLIFICADOR

Los amplificadores son dispositivos bastantes irrelevantes. Suelen ser muy voluminosos y pesados y lo único que dejan ver hacia el exterior son unos cuantos conectores de entradas y salidas debido a que se tienden a ignorarlos, es por lo que tiene la máxima importancia que sean elegidos y usados consumo cuidado. Aunque se presentan en una gran variedad de formas, tamaños y “generaciones”, todos ellos tienen en común la función, aparentemente simple, de amplificar tensión. Para ellos deben convertir los niveles de líneas de hasta de un voltio, aproximadamente en tensiones de varias decenas de voltios, con corrientes de salida de varios amperios. Solo así se puede desarrollar la potencia necesaria en los terminales del altavoz. Dados estos pocos requerimientos, es sorprendente la cantidad de diseños diferentes en el mercado. (Francis Rumsey; Tim McCormick, 2007:293).

3.16. TONO PURO

Es el tipo más simple de sonido existente en la naturaleza. Se compone de una única frecuencia (f_0) consiste, por lo que su espectro está constituido por una sola raya. (Antoni carrion, 1998)

3.17. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA EN LA INCIDENCIA NORMAL α

Relación de la potencia acústica que entra en la superficie del objeto de prueba (sin retorno) con la potencia acústica incidente para una onda plana en la incidencia normal. (Norma ISO 10534-2002).

3.18. ABSORCIÓN ACÚSTICA

Es la capacidad que tiene una superficie de transformar la energía acústica en energía calorífica. Está determinada por la siguiente ecuación. (Carrión, 2001).

(Ecuación: 6)

$$A = S * \alpha [m^2 \text{ sabine}]$$

Donde:

S Área de la superficie

3.20 Factor de reflexión de la presión sonora en la incidencia normal r .

Relación compleja de la amplitud de la onda reflejada a la onda incidente en el plano referencial por una onda plana en la incidencia normal (norma iso 10534-2002).

3.19. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (α)

Cuantifica la cantidad de energía acústica que es capaz de absorber un material. Sus valores están entre 0 y 1. (Carrión, 2001).

(Ecuación: 7)

$$\alpha = \frac{I_A}{I_I}$$

Donde:

I_A : Intensidad energética absorbida

I_I : Intensidad energética incidente

3.20. COEFICIENTE DE REFLEXIÓN (σ)

Cuantifica la cantidad de energía acústica que es capaz de reflejar un material. Sus valores están entre 0 y 1. (Carrión, 2001).

(Ecuación: 8)

$$\sigma = \frac{I_R}{I_I}$$

I_R : Intensidad energética reflejada

I_I : Intensidad energética incidente

3.21. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

La función de transferencia es el resultado obtenido en un proceso de comparación en una señal de salida y de entrada, en un sistema cualquiera. Dicha comparación puede ser referencia a diferentes magnitudes y suele representarse espectralmente, con lo que la medida siempre va ser representada mediante valores relativos, es decir, (dB) adimensionales en función de la frecuencia una función de transferencias, por lo tanto, de dos canales un canal de referencia y un canal de medición, es decir, una entrada y una salida.(Albert G. Digon- Pepe Ferrer, 2014:56).

3.22. TUBO

Pieza hueca, de forma por lo común cilíndrica y generalmente abierta por ambos extremos. (Diccionario de la real academia Española; 2015).

3.23. TUBO DE IMPEDANCIA

El tubo de impedancia tiene que ser rectilíneo, de sección recta constante y con paredes rígidas, lisas y no porosas sin agujeros ni fisuras en la sección de ensayo. Las paredes deben ser lo suficientemente pesadas para que no entren

en vibración por acción de las señales acústicas y no presenten resonancias de vibración. (Tesis Rafael Nicolau Lara)

3.24. GENERADOR DE SEÑAL

El generador de señal estará apto para generar señales estacionarias con una densidad espectral plana dentro del rango de frecuencia de interés. Esto podría generar uno o más de las siguientes excitaciones: aleatorias, pseudo-aleatorias, pseudo aleatorias periódicas, o chirridos, como sea requerido.

En el caso de la técnica de un micrófono, es recomendada una señal determinante y una secuencia pseudo-aleatoria periódica está bien adaptada para este método, a pesar de que será requerido un procesamiento especial de señal. El procesamiento implica en

Primer lugar una correlación m-secuencia a través de la rápida transformada de Hadamard para producir una respuesta de impulso. (Norma iso 10534-2002).

3.25. MATERIALES ACÚSTICOS

Actualmente existen un gran número de materiales disponibles para la construcción en general, con una extensa variedad de propiedades y características particulares. Así encontramos materiales como el hormigón, vidrio, madera, cerámica, piedra, yeso, plásticos, metal, fibras, lanas, etc.

Debido a la gran cantidad de materiales se limitará a hablar de los que tienen la propiedad de absorber sonido, en sus distintas configuraciones, recubrimientos y disposiciones. En donde la energía acústica que incide en el material es transformada en energía calorífica, debido al rozamiento que existe entre el aire que atraviesa los poros del material, o donde el sonido es absorbido por la configuración de frecuencias de resonancia en dispositivos específicos. La estructura interna de este tipo de materiales suele ser irregular, y muchas veces

los resultados dependerán de la dirección de la medición, aun así son considerados como homogéneos e isotropos. La homogeneidad significa que las características del material se mantienen sin importar el lugar de la muestra que se escoja; la isotropía en cambio significa que sus características son las mismas en las tres direcciones espaciales.

3.26. ANTECEDENTES DE LA NORMA ISO 10534-2

La ISO (Organización internacional de estandarización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (Miembros de la ISO). El trabajo de preparación de estándares Internacionales es normalmente llevado a cabo a lo largo de los comités técnicos de la ISO. Cada miembro interesado en un tema para el cual un comité técnico ha sido establecido tiene el derecho de ser representado en ese comité. Organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, enlazadas con la ISO, también toman parte en el trabajo. La ISO colabora de cerca con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) todos los asuntos de estandarización electrotécnica. Los proyectos de normales internacionales adoptados por los comités técnicos son circulados a los órganos miembros para votación. Publicaciones como un Estándar Internacional requieren una aprobación de al menos el 75 por ciento de los órganos miembros mediante una votación. El estándar internacional ISO 10534-2 fue preparado por el comité técnico ISO/TC 43, de acústica, subcomité SC 2, acústica de construcción. ISO10534 consiste en el seguimiento de partes, bajo el título general de Acústica – determinación del coeficiente de absorción de sonido e impedancia en tubos de impedancia: (norma iso 10534-2002).

Parte 1: Utilizando la relación de onda estacionaria.

Parte 2: Método de función de transferencia.

3.27. LA TRANSFORMADA DE LAPLACE

La transformada de Laplace es un tipo de transformada integral frecuentemente usada para la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias. La transformada de Laplace de una función definida para todos los números positivos. (véase anexo F)

CAPITULO IV

DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación tiene un enfoque cuali-cuantitativo.

También se utiliza el enfoque cualitativo por que fundamenta su estudio y cada punto ha sido reflexionado y desarrollado en común extrayendo aquellas.

Características fundamentales que nos permitan una comprensión más exhaustiva sobre el tema. En ciertos apartados podemos destacar y considerar importante ciertos contenidos que nos servirán en la labor profesional para conseguir buenos resultados en esta, desde la teoría hasta la práctica.

Es cuantitativo, obtener la recolección de datos para probar, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. El enfoque cuantitativo que representa, como dijimos, un conjunto de procesos es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos eludir pasos, el orden es riguroso, aunque parte de una idea una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. Se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones.

4.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación hacer empleado en el presente trabajo son de carácter, exploratoria, experimental y descriptiva.

4.2.1. Exploratoria

Porque dentro del marco mencionado, este estudio tiene un carácter exploratorio que sirve para preparar el terreno, pues representa uno de los primeros acercamientos en cuanto a la forma de representación e identificación. A través de éste, se intenta generar un conocimiento que permita un incremento en las investigaciones en el tema.

4.2.2. Experimental

Consiste en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por que causa se produce una situación o acontecimiento en particular.

Se trata de un experimento porque precisamente el investigador provoca una situación para introducir indeterminadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables, y sus efectos en las conductas observadas. Esta investigación experimental también nos permite obtener conocimiento de datos en forma directa o de laboratorio y conocer la causas o efecto del objeto de la investigación.

4.2.3. Descriptiva

Porque se refiere a la etapa preparatoria del trabajo científico que permite ordenar los resultados de las observaciones, las características, los factores los procedimientos y otras variables de fenómenos y hechos

4.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN A UTILIZARSE

En el presente proyecto de investigación se seguirá un proceso metodológico mediante el cual la información se clasifica y se selecciona, este método será utilizado durante el proceso de elaboración del proyecto.

En la elaboración del presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes métodos:

4.3.1. Método análisis comparativo

Efectuaremos un análisis a través del estudio del coeficiente de absorción con la (herramienta) tubo de impedancia y el material seleccionado efectuando una comparación de las características de los mismos, analizar y resalta la mejor comparación del diseño del material acústico, que nos permita cumplir con los objetivos.

4.3.2. Método deductivo

En un ámbito de estudio general este método nos permite conocer e identificar el problema de estudio, particularizando cada uno de los componentes a investigar con el equipamiento como ser el tubo de impedancia.

4.3.3. Método teórico (método bibliográfico)

Este método nos permite la recolección, clasificación de los datos obtenidos, los mismos que serán la base para elaborar el marco teórico del proyecto de investigación.

4.4. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

4.4.1. Observación

La observación es la técnica de investigación básica, sobre las que se sustentan todas las demás, ya que establece la relación básica entre el sujeto que observa y el objeto que es observado, que es el inicio de toda comprensión de la realidad, también consiste poner en juego las percepciones auditivas y visual, para estudiarlos tal como se presenta en la realidad.

4.4.2. Entrevista

Esta técnica es un proceso de comunicación que se realiza normalmente entre dos personas; en este proceso el entrevistador obtiene información del entrevistado de forma directa. Si se generalizara una entrevista sería una conversación entre dos personas por el mero hecho de comunicarse, en cuya acción la una obtendría información de la otra y viceversa. En tal caso los roles de entrevistador y entrevistado irían cambiando a lo largo de la conversación.

Esta entrevista se aplicara a ingenieros de sonido, estudiantes de la carrera de ingeniería de sonido arquitectos, ingenieros civiles, con el objeto de obtener información de estos sobre el trabajo de investigación relacionado al tubo de impedancia para determinar el coeficiente de absorción acústica.

4.4.3. Encuesta

Es una técnica de investigación realizada sobre una muestra de sujetos representativa de un colectivo más amplio, utilizando procedimientos estandarizados de interrogación con intención de obtener mediciones

Cuantitativas de una gran variedad de características objetivas y subjetivas de la población mediante la encuesta se obtienen datos interrogando a los miembros de una población. La encuesta es una observación no directa de los hechos sino por medio de lo que manifiestan los interesados, para recopilar datos cuyas opiniones interesan en la investigación.

4.5. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.5.1. Guía de observación

El proceso de la observar, puede hacer referencia al objeto que se pretende estudiar, una persona, un grupo, institución, en el caso de observar personas,

habrá que determinar que manifestaciones conductuales serán objeto de la observación. Desde una perspectiva del tubo de impedancia, la observación se realiza sobre todo el continuo de conducta, es decir sobre la herramienta, tratando de registrar de forma descriptiva la mayor parte del proyecto que ocurren en un contexto natural y en amplias unidades de tiempo. Ya que el que observar se puede referir a un periodo concreto de tiempo. Desde una perspectiva, se utilizan como unidades de análisis.

4.5.2. Guía de entrevista

Es importante destacar que esta herramienta es funcional, para obtener datos en el área de la acústica así como en las entrevistas, se llevaran a cabo para recolectar información que será útil en el análisis, para identificar la información para la elaboración y mejora del tubo de impedancia.

4.5.3. Cuestionario

El cuestionario consiste en obtener, de manera sistemática y ordenada, información acerca de la población con la que se trabaja, sobre las variables objeto de la investigación o evaluación.

El cuestionario es un instrumento muy útil para la recogida de datos, especialmente de aquellos difícilmente accesibles por la distancia o dispersión

De los sujetos a los que interesa considerar, o por la dificultad para reunirlos. Permite, además, en paralelismo con la entrevista,

Este cuestionario se aplicara a ingenieros de sonido, estudiantes de la carrera de ingeniería de sonido, arquitectos, ingenieros civiles, con el objeto de obtener información de estos sobre el trabajo de investigación relacionado al tubo de impedancia para determinar el coeficiente de absorción acústica.

4.6. FUENTES DE INFORMACIÓN (QUE PUEDEN SER PRIMARIAS – SECUNDARIAS)

▶ Fuente primaria

Se considera fuente primaria a la bibliografía que nos brinda información para realizar el presente proyecto de investigación:

“Configuración y ajuste de sistema de sonido; Albert G. Digon- Pepe Ferrer.” “electroacústica altavoces y micrófonos; Basilio Pueo Ortega-Miguel Roma Romero;” “métodos matemáticos para físicos; George A.” “sistema de sonido diseño y optimización; Bob McCarthy.” “Técnica de grabación sonora; Manuel Recuero López.” “acondicionamiento acústico; Manuel Recuero López.” “ABC de la acústica arquitectónica; Higinio Arau”

“Diseños acústicos de espacios arquitectónicos; Antoni Carrión Isbert”. “acústica de Locales acondicionamiento acústico interior de salas; Jorge Sommerhoff”. “Manual de medidas acústicas y control de ruido volumen I; Cyril M. Harrys”. “Sonido y grabación introducción a las técnicas sonoras; Francis Rumsey Tim McCormick”. “ acústica; Leo L. Beranek”. “ vasado en la Norma ISO 10534-2 2002 para el cumplimiento de objetivos de la investigación.

▶ Fuentes secundarias

se consultó a la página Web Aes.Org, manual técnico de software Smaart live 8v.

4.7. PROCEDIMIENTO. DESCRIPCIÓN DE CADA PASO EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

Para el desarrollo en el proceso de investigación y construcción se tomó en cuenta los siguientes puntos.

Se procedió inicialmente con la técnica de investigación como ser la observación y encontrando una problemática, realizar la investigación bajo los procedimientos en la elaboración del presente proyecto.

Consiguientemente, para que un objeto sea tema de investigación este llega a convertirse en un problema, en el desarrollo en la construcción de la herramienta del tubo de impedancia Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia, parte 2: método de la función de transferencia la misma que esté de acuerdo a los requerimientos descritos en la norma UNE – EN ISO 10534-2 2002. Siendo de este punto de mucha importancia al formular el problema de investigación.

Una vez construida la herramienta y en base a procesos técnicos y evaluaciones, debiendo cumplir con la Norma ISO 10534-2.

En los objetivos específicos nos enfila a la construcción, evolución y funcionamiento y publicación de los resultados obtenidos durante las pruebas y comparación de los datos estadísticos obtenidos del tubo de impedancia de absorción acústica de materiales.

CAPITULO V

5.1. PRESENTACIÓN DE HALLAZGO, ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS MISMOS

El tubo de impedancia fue propuesto en el comienzo del pasado siglo, utilizando diferentes métodos entre ellos se tiene: el método clásico de relación de ondas estacionarias pero requería de bastante tiempo para la medición de cada frecuencia; el método de dos micrófonos gracias a los avances de la tecnología es mucho mas rápido que el anterior.

En la localidad de las ondas planas en un tubo el campo sonoro puede ser analizado y descompuesto en la propagación de la onda, desde el resultado de dos mediciones simultáneas e independientes de presión.

Construcción del tubo de impedancia

Para la construcción del tubo de impedancia, este debe ser, un tubo recto, liso, exento de poros sin figuras ni huecos (excepto para la posición de los micrófonos). Las paredes deben ser pesadas y densas, para evitar resonancia y vibraciones, para tener un buen aislamiento de sonidos externos, así mismo debe tener un área uniforme a lo largo del tubo, este valor no puede superar $\pm 0,2 \%$ debiendo ser este circular.

Restricciones y recomendaciones para la construcción

Rango de frecuencia.

Este determinado entre:

(Ecuación: 9)

$$f_l < f < f_u$$

Donde:

f_l : Frecuencia más baja, limitada por presión del equipo de procesamiento de la señal y la separación entre los micrófonos.

f : Frecuencia de operación

f_u : Frecuencia más alta hasta la que existen ondas planas en la propagación en el tubo, limitada por el diámetro del tubo.

Tubo de sección circular.

El tubo puede ser construido con distintos materiales, las características específicas para cada material se detalla a continuación

- Paredes metálicas: el espesor debe ser similar al 5% del diámetro.
- Paredes de concreto: se debe sellar muy bien con adhesivos para lograr una superficie lisa, además se debe garantizar la hermeticidad del tubo
- Paredes de maderas: reforzar con una lámina metálica para evitar posibles fugas.

Largo del tubo de impedancia

El tubo tiene que ser lo suficientemente largo para permitir la aparición de ondas planas entre la fuente (altavoz) y la muestra, los puntos de medición deben estar localizados en el rango de las ondas planas. Debe existir un mínimo de tres veces el diámetro entre el tubo y el micrófono más cercano a la fuente (altavoz).

Diámetro del tubo. Está determinado por:

(Ecuación: 10)

$$Ka < 1.84 \therefore d < 0.58\lambda_u = f_u d < 0.58C_0$$

Donde:

d : Diámetro de tubo (m)

f : Frecuencia (Hz)

C_0 : Velocidad del sonido (m/s)

Es recomendable dejar un margen en la frecuencia superior, por la posible presencia de modo al acercarse a la frecuencia de resonancia transversal del tubo.

Micrófono

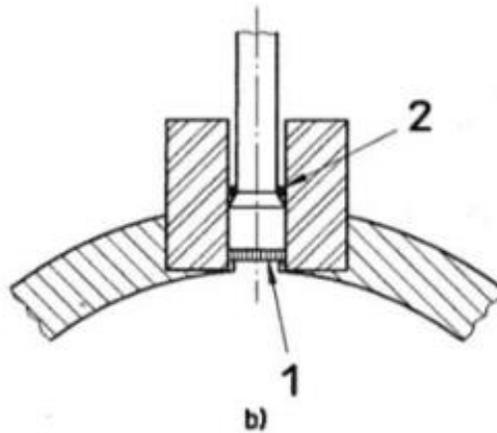
Micrófonos de tipo idéntico deberían ser usados en cada ubicación. Cuando son usados micrófonos montados en el lado de la pared, el diámetro de los micrófonos debería ser comprado con C_0/λ_0 . En adición, es recomendado que los diámetros de los micrófonos sean menores al 20% del espaciado entre ellos.

Para el montaje en la pared lateral, es recomendado usar micrófonos de presión. Para micrófonos es recomendado usar micrófonos de tipo campo libre.

Posiciones de los micrófonos

Cuando se usan micrófonos montados en la pared lateral, cada micrófono deberá ser montado con la rasante del diafragma con la superficie interior del tubo. Es necesario a menudo una pequeña perforación. Debe mantenerse pequeño y ser idéntico para el montaje de ambos micrófonos. La rejilla del micrófono debería ser sellada herméticamente a la carcasa del micrófono y ahí debería estar una selladura entre el micrófono y el hueco del montaje.

Gráfico N° 2
Porta micrófono ISO 10534-2



Fuente: Elaboración propia

Donde:

1 : Micrófono

2: sellado de micrófono

Posición de micrófonos

Distancia entre los micrófonos

Una larga distancia entre los micrófonos puede aumentar la precisión de la Medición sin embargo debe cumplir la siguiente relación:

(Ecuación: 11)

$$f_u s < 0.45 C_0$$

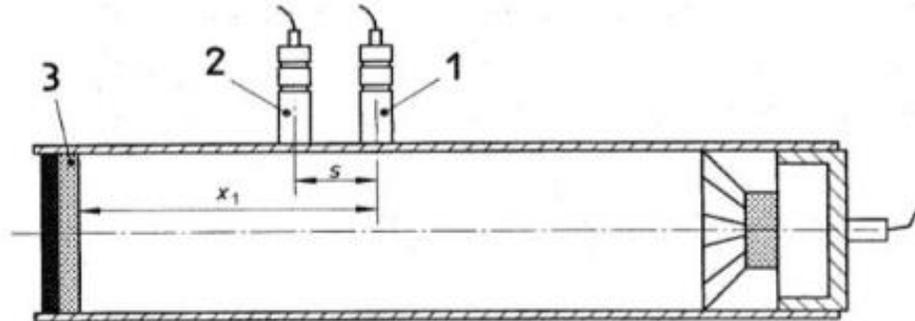
Donde:

s : Distancia del micrófono

f_u : Frecuencia

C_0 : Velocidad del sonido

Gráfico N° 3
tubo posición de micrófonos



Fuente Elaboración propia

Donde:

1 Micrófono A_{SEP}

2 Micrófono B

3 Objeto de prueba

5.1.1. Soporte para muestras de prueba

El soporte para objetos de prueba está también integrada dentro del tubo de impedancia o es una unidad separada la cual es herméticamente fijada en uno de los extremos durante la medición. La longitud del soporte para muestras de prueba será lo bastante largo para instalar los objetos de prueba con espacios de aire detrás de ellos como sea necesario.

Si el soporte de muestras es una unidad separada, ésta deberá cumplir en sus dimensiones interiores con el tubo de impedancia dentro del $\pm 0.2\%$. El montaje del tubo deberá ser hermético, sin la inserción de juntas elásticas (la vaselina es recomendada para el sellado).

5.1.2. Altavoz

Un altavoz de membrana (o un altavoz de presión para frecuencias altas con un cono como elemento de transmisión hacia el tubo de impedancia) debería ser localizado en el extremo opuesto del tubo donde se encuentra el soporte de muestras de prueba. La superficie de la membrana del altavoz cubrirá al menos dos tercios del área de la sección transversal del tubo de impedancia.

5.1.3. Terminación del altavoz

Las resonancias de la columna de aire en el tubo de impedancia siempre se elevaran. Estas deben ser suprimidas por el lineamiento interno del tubo de impedancia cerca del altavoz con al menos unos 200mm de largo de un material absorbente de sonido efectivo.

5.1.4. Termómetro y barómetro

La temperatura dentro el tubo de impedancia será medido y se mantendrá constante durante una medición con una tolerancia de ± 1 K. El transductor de temperatura tendrá una precisión de ± 5 K o mejor.

5.1.5. Montaje experimental

- 1.- Conexión del tubo al Altavoz.
- 2.- Conexión del altavoz al Amplificador de Potencia.
- 3.- Interconexión Interfaz – Amplificador.
- 4.- Conexión Interfaz al Ordenador.
- 5.- Conexión de los micrófonos al interfaz.
- 6.- Sujecion del material al porta muestras.
- 7.- Sellado del tubo con el porta muestras.

5.1.6. Desarrollo específico de cada apartado del montaje experimental

1.- Enroscar el altavoz a la junta uno del tubo de Impedancia. Una vez ubicada la posición a la junta verificar las posiciones de las terminales del altavoz. Positivo y Negativo. Alimentado por un amplificador posteriormente de terminado. Las características propias del altavoz que en este ensayo se utilizaron son un altavoz de dos pulgadas de bobina, driver de compresión con una resistencia de ocho ohmios con respuesta en frecuencia de 400-5000 Hz. Con una sensibilidad de 107 db. Conforme a la norma ISO 10534-2

Gráfico N° 4
Driver de Compresión



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 5
Altavoz en la junta 1



Fuente : Elaboración Propia

2.- Conexión del Altavoz al Amplificador de potencia

Gráfico N° 6

Altavoz conectado al amplificador



Fuente: Elaboración Propia

Como primer paso se debe proceder a la determinación de la potencia de salida para este cometido realizamos los siguientes pasos.

Conectar el amplificador por dos cables RCA a la salida del interfaz de este conectar un cable USB al Ordenador.

Gráfico N° 7

Cable RCA conectado del interfaz a la entrada del amplificador



Fuente: Elaboración propia

RCA: Es muy utilizado para la conexión de equipos. Normalmente van por parejas porque se usan para señales estéreo. Consta de un conductor con un anillo interior por donde se transmite la señal positiva.

Gráfico N° 8

Amplificador conectado con cable RCA a la entrada del amplificador



Fuente : Elaboración Propia

Conectar un cable TRS de la salida II a la entrada III del interfaz

Gráfico N° 9

Cable TRS para la función de transferencia



Fuente: Elaboración Propia

TRS: Tres conductores. Si es de dos se usara para una conexión monofónica y si son tres para una estereofónica o monofónica balanceada. La punta (Tip) lleva la señal activa o el canal izquierdo (Left). El anillo (Ring) la señal balanceada o el canal derecho (Right) y el cuerpo (Sleeve) la tierra o masa.

De la salida II del interfaz se conecta al canal 3 del interfaz, realizando así la configuración del software.

Gráfico N° 10

Conexión de cable TRS al interfaz para función de transferencia



Fuente: Elaboración Propia

Se realizó una función de transferencia para tener la señal de medida y la señal de medición eso quiere decir que la cadena electroacústica del canal de salida 2 al canal de entrada.

Gráfico N° 11

Software smart V8 para medición acústica



Fuente: Elaboración propia

En esencia, Smart es una plataforma de FFT de doble canal basada en computadora que utilizamos en nuestro trabajo de audio para ver el contenido de frecuencia de las señales o medir la respuesta de nuestros sistemas eléctricos y electroacústica.

Se verifico la potencia de salida del amplificador para el uso respectivo del altavoz con la siguiente ecuación y tener un buen funcionamiento.

Se determino un voltaje salida del interfaz para resolver la ecuación de potencia y poder determinar la sensibilidad de entrada del amplificador y alimentar correctamente al altavoz.

$$P = V * I$$

$$P = 11,66 V * 2,55A$$

$$P = 53,22 W$$

resistencia del amplificador $4,5\Omega$

$$V_{out} = \sqrt{W * \Omega}$$

$$V_{out} = \sqrt{53,22w * 4,5\Omega}$$

$$V_{out}=15,47volt$$

$$\Delta V = \frac{15,57}{1volt}$$

$$\Delta V = 15,74volt$$

Altavoz

RMS =100W

IMPEDANCIA= 8ohm

$$V_{in} = \sqrt{100w * 8\Omega}$$

$$V_{in}= 28,28volt$$

$$Sensi = \frac{V_{max}}{multiplicador}$$

$$Sensi = \frac{28,28v}{15,47} = 1,8volt$$

Una vez determinada la potencia se conecta a las salidas del amplificador las terminales del altavoz.

Gráfico N° 12

Parte trasera de amplificador de potencia (conexiones)



Fuente: Elaboración propia

La conexión se realiza con un respectivo cable en las terminales de salidas del amplificador de potencia así mismo ya teniendo los cálculos de potencia.

3.- Interconexión Interfaz-Amplificador

Prosiguiendo a la cadena electroacústica de conexionado para la medición en el tubo de impedancia se interconecta de la salida del interfaz que esté usando el usuario debe ser hacia el amplificador de potencia a su entrada para poder generar el tono puro y ser alimentado correctamente hacia el altavoz.

De la salida I del interfaz con un cable RCA se conecta a las entradas del amplificador.

Gráfico N° 13

Parte trasera de interfaz conexión de cable usb para el computador



Fuente: Elaboración propia

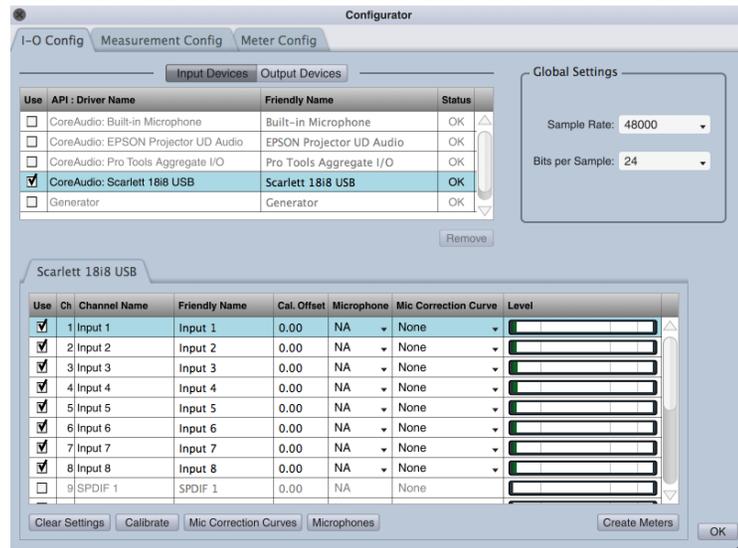
4.- Conexión del Interfaz al Ordenador

De la conexión trasera del interfaz se conecta un cable USB Al puerto USB del ordenador así pudiendo pasar datos al ordenador y viceversa.

Configuración del Software Smart Live V8.

Cuando se inicia Smart v8, el usuario se encuentra con esta pantalla de bienvenida. Mientras tanto, Smart comprueba qué dispositivos I/O están disponibles. Es aquí donde Smart construye su lista de dispositivos de entrada, y una vez que un dispositivo ha sido encontrado, continuará apareciendo para configurarlo en sesiones posteriores, aun cuando no esté conectado en un arranque posterior.

Gráfico N° 14
Configuración de interfaz, software Smart v8

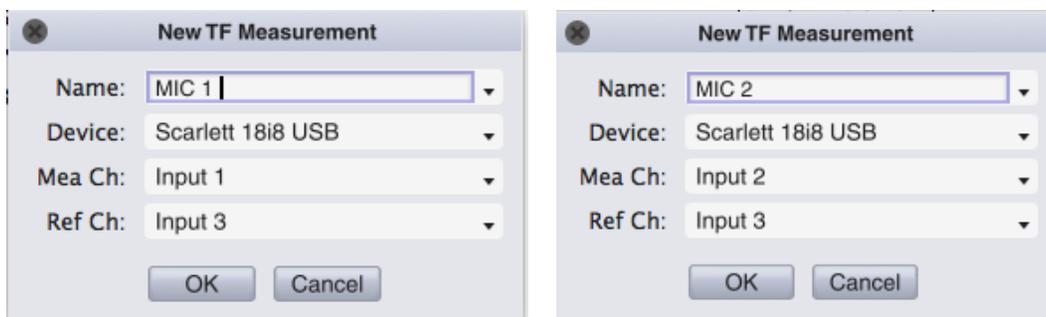


Fuente Elaboración propia smart v8

El usuario puede configurar los dispositivos I/O en el cuadro de diálogo "I/O Options", aunque esta configuración no es necesaria para la asignación de dispositivos en la creación y realización de mediciones. Esta configuración incluye el ajuste de la frecuencia de muestreo del dispositivo, del número de bits, y la asignación al dispositivo y a sus canales de "nombres descriptivos" - nombres que ayudan a identificar las señales.

Gráfico N° 15

Configuración de micrófonos en smart

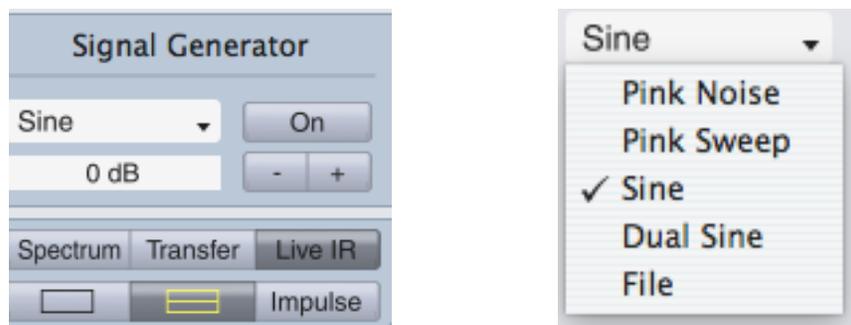


Fuente: Elaboración propia smart

Cuando se configura una nueva medición de un solo canal dentro de un grupo Spectrum, el usuario selecciona el dispositivo I/O y el canal de entrada deseados. Al configurar una nueva medición de doble canal, dentro de un grupo Response, el usuario selecciona para ese objeto el dispositivo I/O, un canal de medición y otro de "referencia". En ambos casos, los menús desplegados muestran los nombres descriptivos para el dispositivo y para los canales de entrada que se han configurado. (manual smart,2016:4)

Gráfico N° 16

Configuración de señal para la medición



Fuente: Elaboración propia smart v8

El usuario deberá elegir el tono puro para realizar la medición del coeficiente de absorción en la parte inferior derecha de la pantalla, dirigir la flecha en signal

generator y escoger sine para poder modificar la frecuencia con la que se analizara en laboratorio. (manual smart,2016:8)

En le cuadro de dialogo signal generator se puede modificar la parte de la frecuencia para realizar las muestras donde se tiene una banda de frecuencia ya designada para la toma de datos del material escogido.

Gráfico N° 17
Generador de señal smart v8



Fuente: Elaboración propia

Al seleccionar la frecuencia se debe realizar el calentado del tubo por 10 minutos con ruido rosa y luego calibrar los micrófonos con un tono puro de 1000 Hertz que el nivel de presión sonora sea de 94 decibeles.

5.- Conexión de los micrófonos al Interfaz.

Con dos cables XLR se realiza la conexión al interfaz. Donde al micrófono uno se lo considera como la locación más lejana de la junta número dos, conectándolo a la entrada número uno del interface. De manera similar el micrófono numero dos más cercano a la junta numero dos se lo conecta a la entrada número dos del interface posteriormente suministramos un voltaje de 48 v.

Gráfico N° 18
Micrófono de medición beyerdynamic MM1



Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de los micrófonos de medición modelo MMI con una capsula de condensador con una sensibilidad de 140 db y una respuesta en frecuencia de 20 – 20000 Hz de diámetro 9.22 mm con conector de salida XLR ubicados fijamente con respecto a la muestra a una distancia de 0.0509 m para el más cercano y 0.0795m para el más lejano, cuya distancia de separación entre ellos es de 0.0286m.

Gráfico N° 19
Cable XLR para conexión a micrófono de medición



Fuente: Elaboración propia

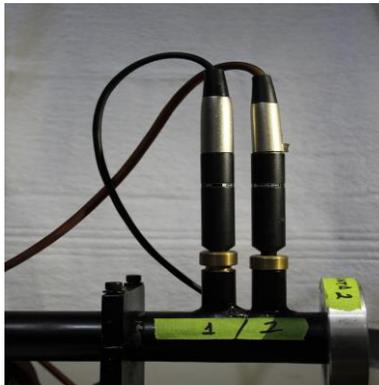
XLR-3 (Cannon) es un tipo de conector que suele conectarse en líneas balanceadas. “XLR” son las siglas en inglés de eXternal Live Return, en español “Retorno Externo Activo”. El “3” indica que dispone de 3 pines, Posteriormente a su aceptación como estándar se introdujeron los conectores

de 4, 5, 6, 7 y 8 pines. Es el conector balanceado más utilizado para aplicaciones de audio profesional

Posteriormente se procede a la configuración de los micrófonos con el software Smart Live V8.

Gráfico N° 20

Montado de micrófono transversalmente al tubo de impedancia



Fuente: Elaboración propio

6.- Sujeción del material al Porta Muestras

Gráfico N° 21

Porta muestra



Fuente Elaboración Propia

Colocado de pernos para el sellado de la porta muestra a la junta dos de extremo del tubo y así tener una medición más confiable.

Reseña histórica del material y la acústica

El material escogido para analizar en laboratorio es conocido como lana de roca, cuyas aplicaciones se las puede apreciar en construcciones de acondicionamiento acústico por su alto coeficiente de absorción para medias y altas frecuencias.

La lana de roca, perteneciente a la familia de las lanas minerales, es un material fabricado a partir de la roca volcánica . Se utiliza principalmente como aislamiento térmico y como protección pasiva contra el fuego en la edificación, debido a su estructura fibrosa multidireccional, que le permite albergar aire relativamente inmóvil en su interior.

La lana de roca es un producto natural descubierto por primera vez en Hawaii a principios del siglo XX, fruto de la acción natural de los volcanes. A raíz de este descubrimiento, se da con la manera de fabricar este material de manera artificial. En el año 1937 la empresa Rockwool,¹ comienza su producción en Hedehusene, Dinamarca.

Gráfico N° 22

Muestra (Lana de roca Roxul)



Fuente: Elaboración propia

Una vez moldeado el material a nuestra necesidad para la adquisición de datos se procede a introducirlo en la porta muestras verificando que no existan fugas.

Gráfico N° 23

Material en porta muestra



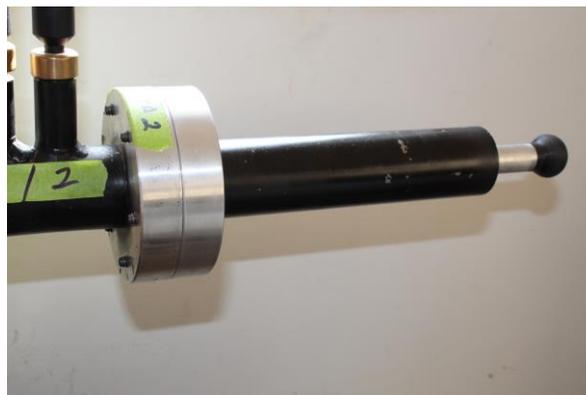
Fuente: Elaboración propia

7.- Sellado del Tubo de Impedancia con el Porta Muestra

Este porta muestra está diseñado en forma de pistón la cual nos permite el fácil acoplamiento de la muestra en este el cual va empernado en la junta número dos del tubo de impedancia.

Gráfico N° 24

Porta muestra en la junta numero 2



Fuente: Elaboración propia

Recomendaciones antes del encendido del equipo

Realizar el cálculo de potencia para el funcionamiento correcto del altavoz con el amplificador de potencia y hacer el testeo de los dichos cálculos para evitar el quemado del altavoz, verificar si la conexión del amplificador al altavoz esta correctamente.

Al encender y configurar la tarjeta de audio debe ver si tiene los driver del interfaz debe tener y pueda reconocer el software de medición como ser el smart live v8, así mismo no olvidarse de la alimentación de 48 voltios para que alimente al circuito de los micrófonos de condensador.

Descripción toma de Datos y Análisis de datos

Condiciones de medición Se utilizaron ciertas condiciones antes de la tomas de datos del material con el tubo de impedancia a continuación se detalla en un cuadro los procesos de calibración.

Tabla Nº 3
Datos de calibración

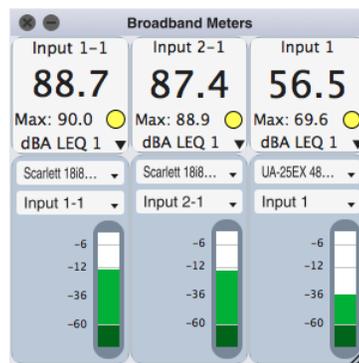
Cantidad de muestra	3
Tipo de señal	Tono puro
Método de función de transferencia	Incidencia normal
Temperatura	20 ° C
Presión	6,9 kPa
Frecuencia	1000Hz
NPS de calibración	94 dB

Fuente: elaboración propia

La calibración se hizo con el calibrador (Pistofono) destacar que en el proceso de calibración se realiza un ajuste en el software (factor de calibración) entre la señal de calibración y la respuesta del micrófono, la cual dependerá de la ganancia de entrada que se ha fijado en la interface de audio. El ruido de fondo puede ser ocasionado por ruido eléctrico o ruido no deseado del sistema, la calidad de los componentes de la cadena electroacústica, además del ruido aéreo o por vibraciones externas al tubo. En los análisis realizados estos últimos tienen poca influencia, aunque dependerá del ambiente donde se realice la medición. A continuación se presenta la tabla de la relación de señal ruido, obtenida en las dos posiciones de micrófono, si bien presentan pequeñas diferencias, los niveles son muy similares entre ambos micrófonos. Estas diferencias pueden deberse principalmente a las distancias existentes entre los micrófonos y la fuente sonora. Los valores obtenidos cumplen con la restricción de 10dB de diferencia mínima entre el ruido de fondo y la señal, en todo el rango de frecuencias que se va a realizar la medición.

Gráfico N° 25

Niveles de relación señal ruido



Fuente: Elaboración propia smart

TOMAS DE DATOS Y ESTADÍSTICA

Tabla N° 4

Frecuencia: 100 Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	80,1		0,01		1E-04	
2	80		-0,09		0,0081	
3	80,2		0,11		0,0121	
4	80,1		0,01		1E-04	
5	80,1		0,01		1E-04	
6	80		-0,09		0,0081	
7	80,2		0,11		0,0121	
8	80,1		0,01		1E-04	
9	80		-0,09		0,0081	
10	80,1		0,01		1E-04	
	Promedio	80,09			Sumatoria	0,049

Micrófono #1

NPS= 80,09

Valor de muestra= $(80,1 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 0,20

Tabla Nº 5

MICRÓFONO 2					
i	L		d=X1-X	d^2	
1	81,3		0,07	0,0049	
2	81,3		0,07	0,0009	
3	81,2		-0,03	0,0009	
4	81,2		-0,03	0,0049	
5	81,3		0,07	0,0169	
6	81,1		-0,13	0,0049	
7	81,3		0,07	0,0009	
8	81,2		-0,03	0,0049	
9	81,3		0,07	0,0169	
10	81,1		-0,13	0,0049	
	Promedio	81,23		Sumatoria	0,061

Micrófono # 2

NPS= 81,2

Valor de muestra= $(81,2 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 0,22

Tabla Nº. 6
Frecuencia: 125 Hz

MICRÓFONO 1				
i	L	d=X1-X	d^2	
1	81,9	-0,05	0,0025	
2	82	0,05	0,0025	
3	82	0,05	0,0025	
4	81,9	-0,05	0,0025	
5	81,9	-0,05	0,0025	
6	82	0,05	0,0025	
7	82	0,05	0,0025	
8	81,9	-0,05	0,0025	
9	81,9	-0,05	0,0025	
10	82	0,05	0,0025	
	Promedio	82	Sumatoria	0,025

Micrófono #1

NPS= 82

Valor de muestra= $(82,0 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 0,25

Tabla N° 7

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	81,5		-0,06		0,0036	
2	81,6		0,04		0,0016	
3	81,5		-0,06		0,0036	
4	81,7		0,14		0,0196	
5	81,4		-0,16		0,0256	
6	81,6		0,04		0,0016	
7	81,5		-0,06		0,0036	
8	81,6		0,04		0,0016	
9	81,6		0,04		0,0016	
10	81,6		0,04		0,0016	
	Promedio	81			Sumatoria	0,016

Micrófono #1

NPS= 81

Valor de muestra= $(81,0 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 0,22

Tabla Nº 8
Frecuencia: 160 Hz

MICRÓFONO 1			
i	L	d=X1-X	d^2
1	86,2	-0,03	0,0009
2	86,3	0,07	0,0049
3	86,2	-0,03	0,0009
4	86,2	-0,03	0,0009
5	86,2	-0,03	0,0009
6	86,2	-0,03	0,0009
7	86,2	-0,03	0,0009
8	86,3	0,07	0,0049
9	86,2	-0,03	0,0009
10	86,3	0,07	0,0049
	Promedio	86,23	
			Sumatoria
			0,021

Micrófono#1

NPS= 86,2

Valor de muestra= $(86,2 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 0,40

Tabla N° 9

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	85		-0,05		0,0025	
2	85,1		0,05		0,0025	
3	85		-0,05		0,0025	
4	85,1		0,05		0,0025	
5	85,1		0,05		0,0025	
6	85		-0,05		0,0025	
7	85,1		0,05		0,0025	
8	85		-0,05		0,0025	
9	85,1		0,05		0,0025	
10	85		-0,05		0,0025	
	Promedio	85,05			Sumatoria	0,025

Micrófono#2

NPS= 85

Valor de muestra= $(85,0 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,35

Tabla N° 10
Frecuencia: 200Hz

MICRÓFONO 1					
i	L	d=X1-X	d^2		
1	87,4	0,01	0,0001		
2	87,4	0,01	0,0001		
3	87,4	0,01	0,0001		
4	87,3	-0,09	0,0081		
5	87,4	0,01	0,0001		
6	87,4	0,01	0,0001		
7	87,4	0,01	0,0001		
8	87,4	0,01	0,0001		
9	87,4	0,01	0,0001		
10	87,4	0,01	0,0001		
	Promedio	87,39		Sumatoria	0,009

Micrófono #1

NPS=87,4

Valor de muestra= $(87,4 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,468

Tabla N° 11

MICRÓFONO 2			
i	L	d=X1-X	d^2
1	86,4	0,14	0,0196
2	86,3	0,04	0,0016
3	86,3	0,04	0,0016
4	86,4	0,14	0,0196
5	86,4	0,14	0,0196
6	86,3	0,04	0,0016
7	86,4	0,14	0,0196
8	86,4	0,14	0,0196
9	86,3	0,04	0,0016
10	85,4	-0,86	0,7396
	Promedio	86,26	
			Sumatoria
			0,844

Micrófono#2

NPS=86,3

Valor de muestra= $(86,3 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,413

Tabla N° 12
Frecuencia: 250Hz

MICRÓFONO 1					
i	L	d=X1-X	d^2		
1	88,2	-0,08	0,0064		
2	88,3	0,02	0,0004		
3	88,2	-0,08	0,0064		
4	88,3	0,02	0,0004		
5	88,3	0,02	0,0004		
6	88,3	0,02	0,0004		
7	88,3	0,02	0,0004		
8	88,3	0,02	0,0004		
9	88,3	0,02	0,0004		
10	88,3	0,02	0,0004		
	Promedio	88,28		Sumatoria	0,016

Micrófono #1

NPS=88,3

Valor de muestra= $(88,3 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,52

Tabla N° 13

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	87,5		0		0	
2	87,5		0		0	
3	87,5		0		0	
4	87,5		0		0	
5	87,5		0		0	
6	87,5		0		0	
7	87,5		0		0	
8	87,5		0		0	
9	87,5		0		0	
10	87,5		0		0	
	Promedio	87,5			Sumatoria	0

Micrófono #2

NPS=88

Valor de muestra= $(88,0 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,50

Tabla N° 14
Frecuencia: 315Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	90,3		0		0	
2	90,3		0		0	
3	90,3		0		0	
4	90,3		0		0	
5	90,3		0		0	
6	90,3		0		0	
7	90,3		0		0	
8	90,3		0		0	
9	90,3		0		0	
10	90,3		0		0	
	Promedio	90,3			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=90,3

Valor de muestra= $(90,3 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,654

Tabla N° 15

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	89,1		0		0	
2	89,1		0		0	
3	89,1		0		0	
4	89,1		0		0	
5	89,1		0		0	
6	89,1		0		0	
7	89,1		0		0	
8	89,1		0		0	
9	89,1		0		0	
10	89,1		0		0	
	Promedio	89,1			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=89,1

Valor de muestra= $(89,1 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,57

Tabla N° 16
Frecuencia: 400Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	91,7		0		0	
2	91,7		0		0	
3	91,7		0		0	
4	91,7		0		0	
5	91,7		0		0	
6	91,7		0		0	
7	91,7		0		0	
8	91,7		0		0	
9	91,7		0		0	
10	91,7		0		0	
	Promedio	91,7			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=92

Valor de muestra= $(92,0 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,796

Tabla N° 17

MICRÓFONO 2			
i	L	d=X1-X	d^2
1	90,6	0,03	0,0009
2	90,6	0,03	0,0009
3	90,5	-0,07	0,0049
4	90,5	-0,07	0,0049
5	90,6	0,03	0,0009
6	90,6	0,03	0,0009
7	90,6	0,03	0,0009
8	90,5	-0,07	0,0049
9	90,6	0,03	0,0009
10	90,6	0,03	0,0009
	Promedio	90,57	
			Sumatoria
			0,021

Micrófono#2

NPS=90,57

Valor de muestra= $(90,6 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,66

Tabla N° 18
Frecuencia: 500Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	93		0		0	
2	93		0		0	
3	93		0		0	
4	93		0		0	
5	93		0		0	
6	93		0		0	
7	93		0		0	
8	93		0		0	
9	93		0		0	
10	93		0		0	
	Promedio	93			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=93

Valor de muestra= $(93,0 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,89

Tabla N° 19

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	91,6		0		0	
2	91,6		0		0	
3	91,6		0		0	
4	91,6		0		0	
5	91,6		0		0	
6	91,6		0		0	
7	91,6		0		0	
8	91,6		0		0	
9	91,6		0		0	
10	91,6		0		0	
	Promedio	91,6			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=92

Valor de muestra= $(91,6 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 0,79

Tabla N° 20
Frecuencia: 630Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	93,9		0		0	
2	93,9		0		0	
3	93,9		0		0	
4	93,9		0		0	
5	93,9		0		0	
6	93,9		0		0	
7	93,9		0		0	
8	93,9		0		0	
9	93,9		0		0	
10	93,9		0		0	
	Promedio	93,9			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=94

Valor de muestra= $(93,9 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1

Tabla N° 21

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	92,6		0		0	
2	92,6		0		0	
3	92,6		0		0	
4	92,6		0		0	
5	92,6		0		0	
6	92,6		0		0	
7	92,6		0		0	
8	92,6		0		0	
9	92,6		0		0	
10	92,6		0		0	
	Promedio	92,6			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=93

Valor de muestra= $(92,6 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,89

Tabla N° 22
Frecuencia: 800Hz

MICRÓFONO 1					
i	L	d=X1-X	d^2		
1	94	-0,03	0,0009		
2	94,1	0,07	0,0049		
3	94,1	0,07	0,0049		
4	94,1	0,07	0,0049		
5	94	-0,03	0,0009		
6	94	-0,03	0,0009		
7	94	-0,03	0,0009		
8	94	-0,03	0,0009		
9	94	-0,03	0,0009		
10	94	-0,03	0,0009		
	Promedio	94,03		Sumatoria	0,021

Micrófono#1

NPS=94,03

Valor de muestra= $(94,0 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1,005

Tabla N° 23

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	93,2		0		0	
2	93,2		0		0	
3	93,2		0		0	
4	93,2		0		0	
5	93,2		0		0	
6	93,2		0		0	
7	93,2		0		0	
8	93,2		0		0	
9	93,2		0		0	
10	93,2		0		0	
	Promedio	92,2			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=93,2

Valor de muestra= $(93,2 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 0,914

Tabla N° 24
Frecuencia: 1000 Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	94,2		0		0	
2	94,2		0		0	
3	94,2		0		0	
4	94,2		0		0	
5	94,2		0		0	
6	94,2		0		0	
7	94,2		0		0	
8	94,2		0		0	
9	94,2		0		0	
10	94,2		0		0	
	Promedio	94,2			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=94,2

Valor de muestra= $(94,2 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1,02

Tabla N° 25

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	94		0		0	
2	94		0		0	
3	94		0		0	
4	94		0		0	
5	94		0		0	
6	94		0		0	
7	94		0		0	
8	94		0		0	
9	94		0		0	
10	94		0		0	
	Promedio	94			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=94

Valor de muestra= $(94,0 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1

Tabla N° 26
Frecuencia: 1250Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	94,9		0		0	
2	94,9		0		0	
3	94,9		0		0	
4	94,9		0		0	
5	94,9		0		0	
6	94,9		0		0	
7	94,9		0		0	
8	94,9		0		0	
9	94,9		0		0	
10	94,9		0		0	
	Promedio	94,9			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=95

Valor de muestra= $(94,9 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1,12

Tabla N° 27

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	93,5		0		0	
2	93,5		0		0	
3	93,5		0		0	
4	93,5		0		0	
5	93,5		0		0	
6	93,5		0		0	
7	93,5		0		0	
8	93,5		0		0	
9	93,5		0		0	
10	93,5		0		0	
	Promedio	93,5			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=94

Valor de muestra= $(93,5 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 1

Tabla N° 28
Frecuencia: 1600Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	95,8		0		0	
2	95,8		0		0	
3	95,8		0		0	
4	95,8		0		0	
5	95,8		0		0	
6	95,8		0		0	
7	95,8		0		0	
8	95,8		0		0	
9	95,8		0		0	
10	95,8		0		0	
	Promedio	95,8			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS= 96

Valor de muestra= $(95,8 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1,26

Tabla N° 29

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	93,6		0		0	
2	93,6		0		0	
3	93,6		0		0	
4	93,6		0		0	
5	93,6		0		0	
6	93,6		0		0	
7	93,6		0		0	
8	93,6		0		0	
9	93,6		0		0	
10	93,6		0		0	
	Promedio	93,6			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=94

Valor de muestra= $(93,6 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 1

Tabla N° 30
Frecuencia: 2000Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	96,1		0		0	
2	96,1		0		0	
3	96,1		0		0	
4	96,1		0		0	
5	96,1		0		0	
6	96,1		0		0	
7	96,1		0		0	
8	96,1		0		0	
9	96,1		0		0	
10	96,1		0		0	
	Promedio	96,1			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS= 96

Valor de muestra= $(96,1 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1,26

Tabla N° 31

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	94,5		0		0	
2	94,5		0		0	
3	94,5		0		0	
4	94,5		0		0	
5	94,5		0		0	
6	94,5		0		0	
7	94,5		0		0	
8	94,5		0		0	
9	94,5		0		0	
10	94,5		0		0	
	Promedio	94,5			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=95

Valor de muestra= $(94,5 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1,12

Tabla N° 32
Frecuencia: 2500Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	95,2		0		0	
2	95,2		0		0	
3	95,2		0		0	
4	95,2		0		0	
5	95,2		0		0	
6	95,2		0		0	
7	95,2		0		0	
8	95,2		0		0	
9	95,2		0		0	
10	95,2		0		0	
	Promedio	95,2			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=95,2

Valor de muestra= $(95,2 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1,15

Tabla N° 33

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	94,1		0		0	
2	94,1		0		0	
3	94,1		0		0	
4	94,1		0		0	
5	94,1		0		0	
6	94,1		0		0	
7	94,1		0		0	
8	94,1		0		0	
9	94,1		0		0	
10	94,1		0		0	
	Promedio	94,1			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=94,1

Valor de muestra= $(94,1 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=1,01

Tabla N° 34
Frecuencia: 3150 Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	88,4		0		0	
2	88,4		0		0	
3	88,4		0		0	
4	88,4		0		0	
5	88,4		0		0	
6	88,4		0		0	
7	88,4		0		0	
8	88,4		0		0	
9	88,4		0		0	
10	88,4		0		0	
	Promedio	88,4			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=88,4

Valor de muestra= $(88,4 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,52

Tabla N° 35

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	93		0		0	
2	93		0		0	
3	93		0		0	
4	93		0		0	
5	93		0		0	
6	93		0		0	
7	93		0		0	
8	93		0		0	
9	93		0		0	
10	93		0		0	
	Promedio	93			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=93

Valor de muestra= $(93,0 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión= 0,89

Tabla N° 36
Frecuencia: 4000Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	92,5		0		0	
2	92,5		0		0	
3	92,5		0		0	
4	92,5		0		0	
5	92,5		0		0	
6	92,5		0		0	
7	92,5		0		0	
8	92,5		0		0	
9	92,5		0		0	
10	92,5		0		0	
	Promedio	92,5			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=93

Valor de muestra= $(92,5 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,89

Tabla N° 37

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d ²	
1	90,2		0		0	
2	90,2		0		0	
3	90,2		0		0	
4	90,2		0		0	
5	90,2		0		0	
6	90,2		0		0	
7	90,2		0		0	
8	90,2		0		0	
9	90,2		0		0	
10	90,2		0		0	
	Promedio	90,2			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=90,2

Valor de muestra= $(90,2 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,64

Tabla N° 38
Frecuencia: 5000 Hz

MICRÓFONO 1						
i	L		d=X1-X		d^2	
1	82,8		0		0	
2	82,8		0		0	
3	82,8		0		0	
4	82,8		0		0	
5	82,8		0		0	
6	82,8		0		0	
7	82,8		0		0	
8	82,8		0		0	
9	82,8		0		0	
10	82,8		0		0	
	Promedio	82,8			Sumatoria	0

Micrófono#1

NPS=83

Valor de muestra= $(82,8 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,28

Tabla N° 39

MICRÓFONO 2						
i	L		d=X1-X		d ²	
1	80,9		0		0	
2	80,9		0		0	
3	80,9		0		0	
4	80,9		0		0	
5	80,9		0		0	
6	80,9		0		0	
7	80,9		0		0	
8	80,9		0		0	
9	80,9		0		0	
10	80,9		0		0	
	Promedio	80,9			Sumatoria	0

Micrófono#2

NPS=81

Valor de muestra= $(80,9 \pm 0,1)$ [Pa]0,1%

Presión=0,22

Tabla N° 40

Tabla De Frecuencia Versus Presión			
i	Frecuencia	Mic 1 Presión (Pa)	Mic 2 Presión (Pa)
1	100	0,2	0,22
2	125	0,25	0,22
3	160	0,4	0,35
4	200	0,46	0,41
5	250	0,52	0,5
6	315	0,65	0,57
7	400	0,79	0,66
8	500	0,89	0,79
9	630	1	0,89
10	800	1,005	0,91
11	1000	1,02	1
12	1250	1,12	1
13	1600	1,26	1
14	2000	1,26	1,12
15	2500	1,15	1,01
16	3150	0,52	0,89
17	4000	0,89	0,64
18	5000	0,28	0,22

Tabla N° 41

Tabla de coeficiente de absorción por 1/3 de octava

i	Frecuencia	α
1	100	0,04
2	125	0,058
3	160	0,074
4	200	0,093
5	250	0,11
6	315	0,14
7	400	0,18
8	500	0,22
9	630	0,27
10	800	0,33
11	1000	0,39
12	1250	0,47
13	1600	0,55
14	2000	0,64
15	2500	0,72
16	3150	0,8
17	4000	0,87
18	5000	0,92

5.1.7. Comparación de materiales

Comparación de material medido en sala difusa (cámara reverberante)

Tabla Nº 42

ROCKWOOL®
LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Confortpan 208 Roxul

Confortpan 208 Roxul

DESCRIPCIÓN ▼

Panel semi-rígido de lana de roca no revestido.

APLICACIONES ▼

Aislamiento no sometido a cargas mecánicas en cerramientos con prestaciones térmicas y acústicas: cámaras y trasdosados. Puede usarse como absorbente acústico. Así como, aislamiento en particiones interiores horizontales sobre falso techo. Aislamiento termoacústico en particiones interior es verticales, distributivas y separativas y aislamiento térmico y acústico de bañeras.

La opción más económica. Buen aislamiento térmico



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ▼

Densidad nominal
30 Kg/m³

Conductividad térmica
0.037 W (m.K)
Según norma UNE-EN 12667

Resistencia térmica

Espesor en mm	40	50	60	75
R(m ² K/W)	1,05	1,35	1,60	2,00

Calor específico
0.84 KJ/Kg K a 20°C

Comportamiento al agua

Los productos de lana de roca no retienen el agua y poseen una estructura no capilar.

Resistencia al paso del vapor de agua

$\mu \pm 1,3$
Por ser estructura abierta, la lana de roca ofrece una fuerte permeabilidad al vapor de agua y no se altera por eventuales condensaciones en la estructura del edificio.

Reacción al fuego

Euroclase: A1 (incombustible)
Según norma UNE-EN 13501.1

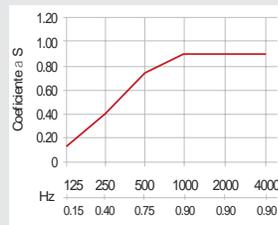
Aislamiento acústico

La lana de roca ROCKWOOL gracias a su disposición multidireccional aporta a los

elementos constructivos una notable capacidad de aumentar el nivel de aislamiento acústico.

Coefficiente de absorción acústica

Según UNE-EN 20354



* Espesor del panel 40 mm
NRC = 0.75
aw = 0.65

Características químicas

La lana de roca ROCKWOOL es químicamente inerte y no puede causar o favorecer la aparición de una corrosión de materiales. Es indeformable con el paso de los años. No favorece el desarrollo bacteriano.

DATOS GENERALES ▼

Dimensiones (mm)

LARGO	1.350
ANCHO	600
ESPESOR (mm)	40 | 50 | 60 | 75
ANCHO	400
ESPESOR (mm)	40 | 50 | 60

Instalación

- Si es preciso, cortar los paneles a medida con ayuda de un cuchillo o cutter.
- Prever siempre una anchura de panel 10 a 15 mm mayor que la distancia entre montantes.
- Siempre que sea posible fijar el papel mecánicamente o con ayuda de un mortero o un adhesivo.

Mantenimiento

Los paneles Confortpan 208 Roxul no precisan ningún tipo de mantenimiento.

Embalaje

Los paneles son suministrados en paquetes embalados con película plástica y retráctil y paletizados. Los paquetes deben almacenarse sin contacto con el suelo y a cubierto.

Generalidades

Los valores reseñados en la presente ficha técnica son valores medios obtenidos en ensayos. ROCKWOOL se reserva el derecho en todo momento y sin previo aviso a modificar las especificaciones de sus productos.

VENTAJAS ▼

- Facilidad y rapidez de instalación
- Seguridad en caso de incendio
- Mejora notoria del aislamiento acústico
- No hidrófilo ni higroscópico
- Químicamente inerte
- Libre de CFC y HCFC, respetuoso con el medio ambiente
- Gran aislamiento térmico



020/002191



0370-CPD-0123

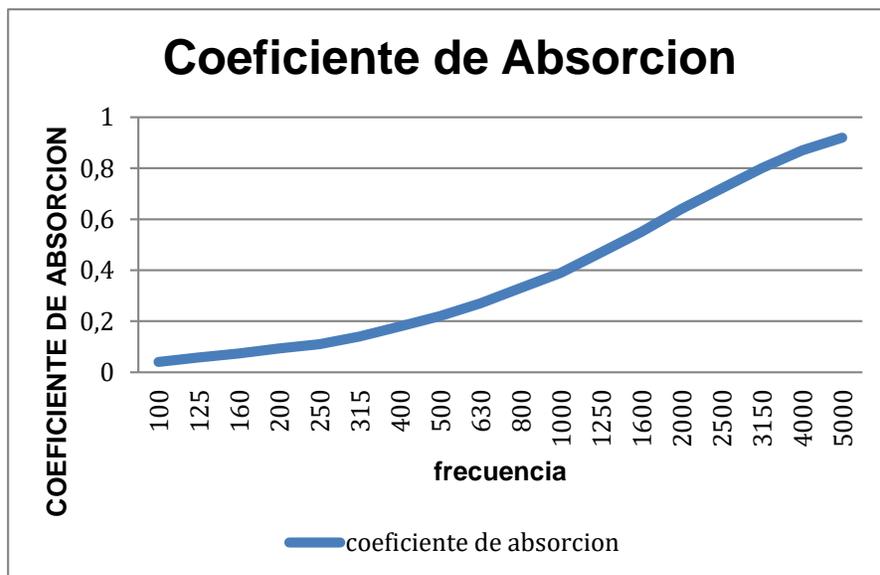


ESTE PRODUCTO SE UTILIZA EN LOS SIGUIENTES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS:



ROXUL208-072017

5.1.8. Tubo de impedancia incidencia normal



PRODUCTO	LANA DE ROCA	
TIPO	FIBROSO	
ESPESOR	3"	
CAMARA DE AIRE EN mm	0	
FRECUENCIA	a	a
100	0,04	
125	0,058	0,06
160	0,074	
200	0,093	
250	0,11	0,11
315	0,14	
400	0,18	
500	0,22	0,22
630	0,27	
800	0,33	
1000	0,39	0,39
1250	0,47	
1600	0,55	
2000	0,64	0,64
2500	0,72	
3150	0,8	
4000	0,87	0,87
5000	0,92	

El material de referencia que se utilizó es lana de roca marca roxul modelo confortpan 208 de 30Kg/m³ de 3" de espesor, la medición que se realizó corresponde a este material.

La curva del material de referencia (tabla. 42) fue medido por una cámara reverberante (sala difusa), donde se analizó la onda incidente físicamente en la forma de llegada al material.

En la (tabla. 43) fue medido en el tubo de impedancia incidencia cero se hace el análisis de la llegada del frente de onda al material.

el coeficiente de absorción a incidencia aleatoria, es decir que la onda llega de cualquier forma. Se puede notar que en incidencia

normal la curva posee menor absorción en el rango de bajas frecuencias y en altas frecuencias las dos curvas son similares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Para cumplir el proyecto de grado referido a la construcción del tubo de impedancia y así obtener el grado de absorción acústica en materiales, se acudió a la búsqueda y adquisición de los elementos, como ser tubo liso, rígido y poco poroso, placas de juntas de aluminio, porta micrófonos material de bronce, pedestales de fierros, altavoz, amplificador de potencia y pernos. Los mismos que fueron adquiridos en el comercio de la ciudad de Cochabamba, (véase anexo E).

El tubo de impedancia y el método de la función de transferencia fueron primordiales para el desarrollo del proyecto de grado, donde se involucra el área de la acústica, programación en Excel y la utilización de software de smart live v8 para el análisis de presión sonora.

Durante la construcción del tubo de impedancia existieron pequeñas imperfecciones que disminuyeron la efectividad y precisión durante el desarrollo de la medición, por esa razón se realizó una estadística de laboratorio obteniendo un margen de error de medición, (véase pag. 46 cuadros tomas de datos y estadísticos).

Al momento del armado del tubo de impedancia se observó algunos detalles antes de hacer una calibración del instrumento de laboratorio, así mismo se tuvo en cuenta la parte de la etapa de potencia para el altavoz que necesito alimentación del amplificador, se realizó el análisis con un multímetro para dicha operación, consecuentemente se conectó a la computadora así mismo poder configurar el software smart live v8 que permitió el análisis de presión sonora, previa instalación de los micrófonos de condensador de medición Beyerdynamic

MM1 con una alta sensibilidad y una respuesta en frecuencia relativamente eualizada, se necesitó un voltaje de alimentación de 48 voltios, que requiere según el fabricante para su funcionamiento.

Al momento de haber verificado la conexión correctamente se procedió a la calibración del tubo de impedancia con un tono puro de mil Hertz, de 94 db usando un pistofono IEC 60942 clase 2 ANSI S1.40-1984.

Al haber realizado la calibración de micrófonos, se produjo el calentamiento del tubo con un ruido rosa que se generó del software smart live v8 para obtener una temperatura adecuada. Teniendo un ambiente controlado en el lugar de medición de 20 grados centígrados y un ruido de fondo de 63,4 db respecto de los dos micrófonos en el tubo así, cumpliendo con todos los apartados de calibración y proceso de calibrado del instrumento de medición para el coeficiente de absorción acústica.

El procedimiento de montaje de la muestra puede variar los resultados obtenidos, ya que si existen fugas, compactación del material, espacios de aire, así como una superficie no plana, estos podrían causar errores en el plano de referencia. [L]
[SEP]

El montaje de la muestra es el que ocasiona los errores más comunes, es por esto que se debe tener un cuidado especial en este paso del procedimiento. [L]
[SEP]

De este modo se prosiguió al análisis del material, generando tonos puros por un tercio de octava, y verificando los resultados de presión sonora en el sonómetro calibrado del smart live v8 y llevando los resultados a la hoja Excel que se programó como ser para la estadística y toma de datos de presión, transformado en pascales y realizado automáticamente la ecuación de presión compleja que pide la norma ISO 10534-2 2002, se obtuvo los resultados

individual de cada frecuencia, y se realizó a la tabulación. Así mismo se generó una curva de coeficiente de absorción sonora en incidencia normal.

Logrando cada paso de medición se hizo una comparación de curvas de coeficiente de absorción, donde se analizó entre una incidencia cero y una cámara reverberante, se llega a la conclusión que las curvas no son similares por la angulación de la onda incidente, el tamaño de muestra, analizando el frente de onda del tubo de impedancia que se genera son ondas planas, internamente y teniendo una reflexión transversal hacia los micrófonos de medición.

RECOMENDACIONES

El mejoramiento de los elementos del tubo de impedancia debe tomarse en cuenta lo siguiente:

- ▶ El aislamiento del tubo (espesor).
- ▶ Sujeción de la junta 2 hacia el tubo.
- ▶ Anti vibración para los análisis .
- ▶ Aislación para el porta micrófono.
- ▶ Programación de software.

Los procesos acústicos deberían volverse estándares para el área de estudio y la industria. Así como en otras áreas tecnológicas, la ingeniería de sonido, acústica, debe beneficiarse, en este sentido y en todo proceso. Los equipos e instrumentos y materiales utilizados deben ser de la mejor calidad posible, para que no alteren los resultados. Se deben cumplir a pie de la letra los primeros procesos, como ser, la calibración de los micrófonos , revisar el cumplimiento de la relación señal ruido, realizar un montaje lo más exacto posible de la muestra del material a evaluar, para que de esta manera la medición sea precisa.

PROPUESTA

Se propone determinar el coeficiente de absorción para distintos materiales acústicos para la elaboración de fichas técnicas no establecido en el mercado informal.

Generando la tonos puros por banda de un tercio de octavas y determinar por una tabulación de datos que se programó, para el hallazgo del coeficiente de absorción en el tubo de impedancia.

Donde se deberá hacer el análisis matemático del frente de onda al momento de incidir al material que se está estudiando por cambio de presión en cada micrófono instalado transversalmente al tubo. Obteniendo de esta manera el coeficiente de absorción acústica de cada material estudiado bajo ciertas condiciones de contorno o magnitudes físicas del material.

Para mayor facilidad de medición se debería realizar el diseño de software con un lenguaje de programación para determinar transiciones de función de transferencia en el tubo, y la realización de análisis de impedancia de materiales y obtención de aislamiento acústico acoplado otro sistema de tubo diseñado con dos porta micrófonos transversalmente al tubo con una terminación de un material absorbente.

Realización en la actualización de los procesos de medición del tubo de impedancia, para estudiar el formalismo matemático dentro lo que es el análisis de señales.

BIBLIOGRAFÍA

BERANEK, Leo. *Acustica*. Barcelona: Editorial Hispano Americana, 1969.

HARRYS, Cyril. *Manual de medidas acusticas y control de ruido*. 3ra. Madrid: McGraw-Hill , 1998.

CARRION ISBERT, Antoni. *Diseno Acustico de espacio arquitectonics*. segunda edicion. Madrid: UPC, 1998.

DIGON, A.G & FERRER P. *Configuracion y ajustes de de sistemas de sonido curso practico*,. Tarragona: Altaria , 2014.

RECUERO, Lopez M. *Acondicionamiento Acustico* . Madrid: Paraninfo Thomas Learning, 2001.

SOMMERHOFF, J. *Acustica de locales acondicionamiento acustico interior de salas* . Santiago: Instituto de acustica Austral de Chile, 1987.

RUMSEY, F & McCORMICK, T. *Sonido y Grabacion Introduccion a las tecnicas sonoras*. 2 edicion. Madrid, 2007.

ACOUSTIC, R. *Introduccion a Smaart v8*. Rational Acoustic, 2011.

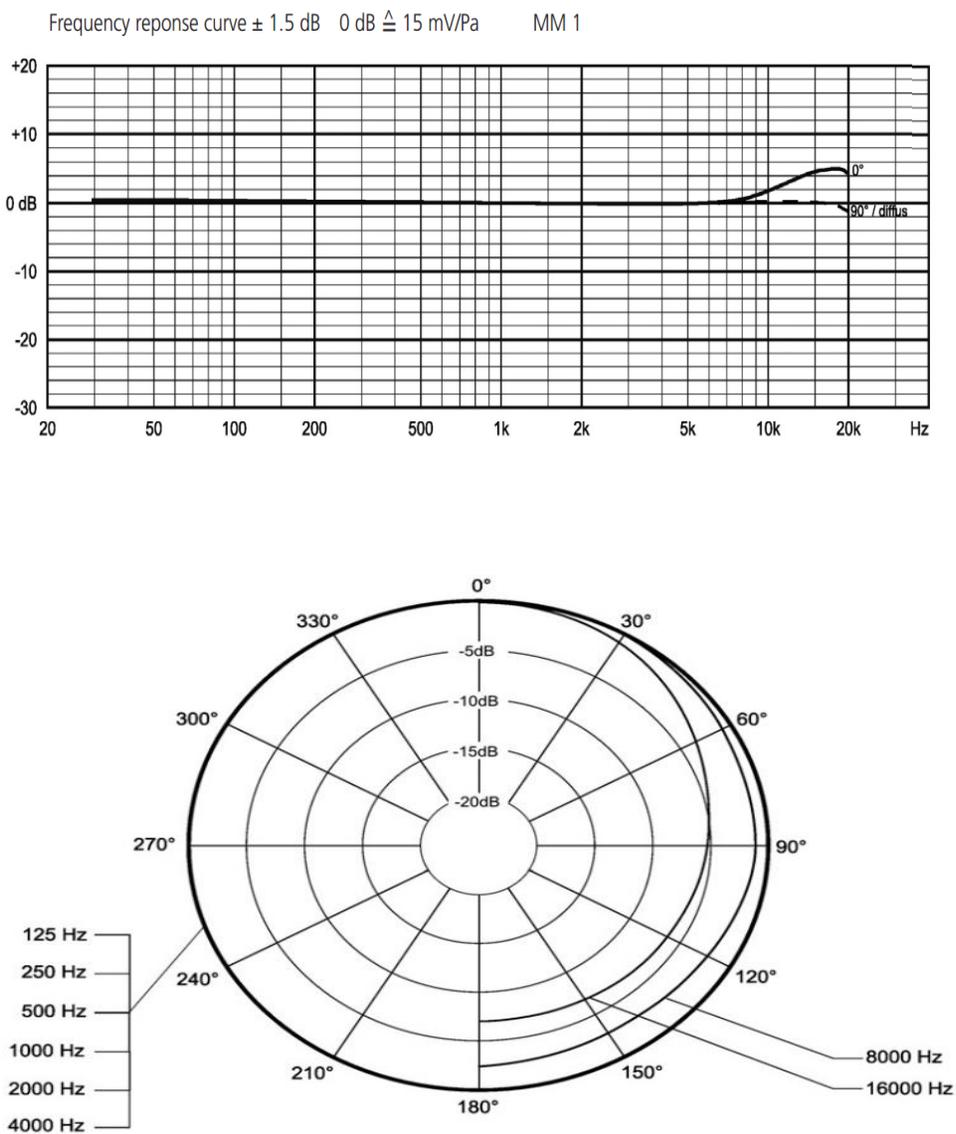
ROMERO, BASILIO PUEO ORTEGA & MIGUEL ROMA. *Electroacustica altavoces y microfonos* . madrid: Pearson Educacion, S.A., 2003.

ANEXOS

Anexo A

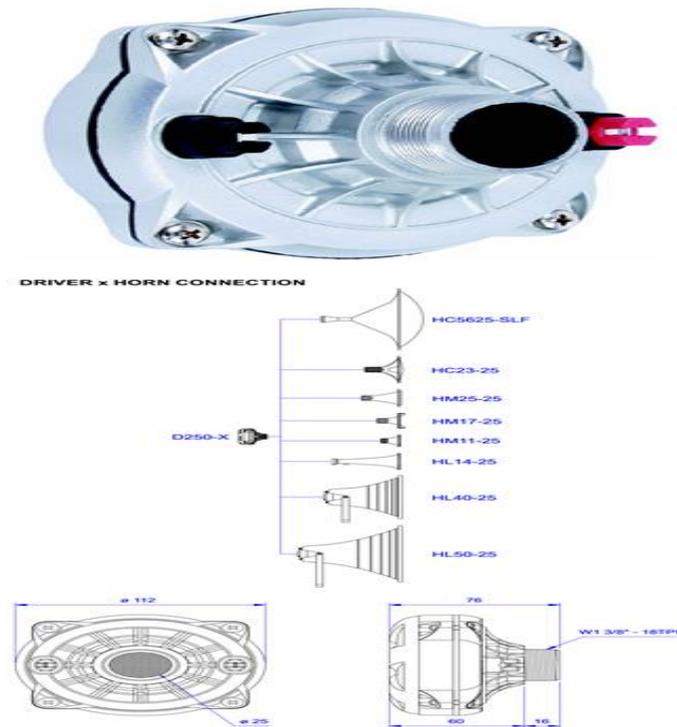
BEYERDINAMIC MM1

Micrófono de condensador omnidireccional para medición (20Hz - 20KHz). Su respuesta plana en campo difuso lo hace ideal para mediciones, al igual que en aplicaciones de investigación.



Anexo B

MANUAL DE DRIVER DE COMPRESIÓN



El D250-X es un controlador de compresión rentable con un diafragma fenólico ligero y fuerte diseñado para la reproducción de banda media (voz) en sonido interior sistemas y pequeños sistemas de PA.

La salida de 1 "(25 mm) se adapta a todos los cuernos de Selenium con un 25 finalización del número de modelo (HL14-25, HC23-25, etc.).

Su ensamblaje magnético de alta densidad.

La bobina de voz está hecha de alambre de alta temperatura se enrolló en Kaptonformer para soportar altas operaciones temperaturas.

Su estructura de diafragma diseñado con precisión y mecanismo de alineación permite fácil, confiable y costo reparación efectiva en caso de falla del diafragma.

MANUALES

Impedancia nominal	8Ω
Impedancia mínima @ 615 Hz	7.2W

POTENCIA CON CROSSOVER (12dB / oct) ACTIVO PASIVO

PROGRAMA MUSICAL (HPF 500 Hz)	80	150 W	MUSICAL
PROGRAM (HPF 1kHz)	86	.....	200 W

Sensibilidad

2 En la bocina, 2.83V @ 1m, en el eje	107dB SPL
3 En el tubo de onda plana, 0.0894V	116dB SPL
Respuesta de frecuencia @ -10 dB	400 a 9,000Hz
Diámetro de la garganta	25 (1) mm (in)
Material de diafragma	Fenólico
Diámetro de la bobina de voz	51 (2) mm (in)
Re	6.0W
Densidad de flujo	1.10T
Crossover mínimo recomendado (12 dB / oct)	500Hz

1 Las especificaciones de manejo de potencia se refieren a material de programa de voz y / o música normal, reproducido por un amplificador que produce no más de 5% de distorsión. La potencia se calcula como verdadero voltaje RMS al cuadrado dividido por la impedancia nominal del altavoz.

2 Medido con HL14-25 cuerno, 1,000 - 3,500 Hz promedio.

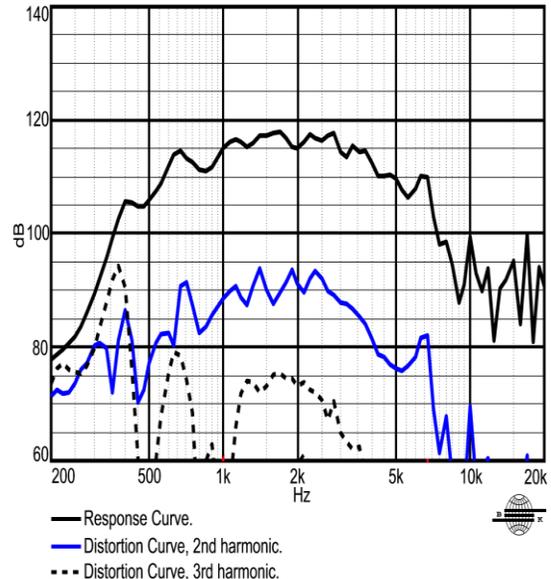
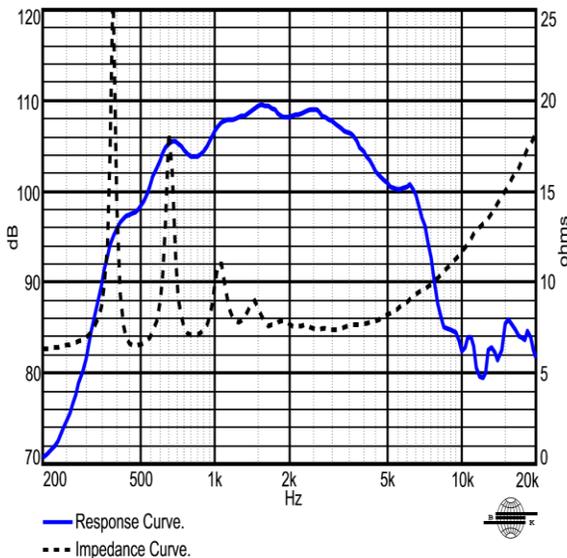
3 La sensibilidad representa el SPL en un tubo con terminación de 25 mm, promedio de 600 - 1.500 Hz.

5 Prueba con una duración de 2h con ruido rosa (desde un factor de cresta de 6dB) y filtrada una década de corte a menudo

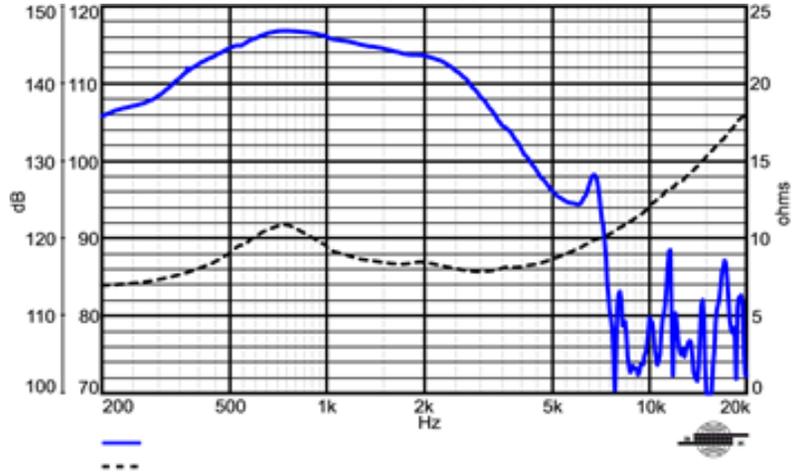
INFORMACIÓN ADICIONAL

Material de imán	Ferrita de bario
Peso del imán	332 (11.7) g (oz)
Diámetro del imán x profundidad	102 x 12 (4,02 x 0,47) mm (in)
Peso del conjunto magnético	978 (2.15) g (lb)
Material de la carcasa	Aluminio
Acabado de la carcasa	Epóxico de plata
Acabado de acero del conjunto magnético	Cinc-plateado
Material de la bobina de voz	Cobre
Material anterior de la bobina de voz	Polyimide (Kapton)
Longitud del devanado de la bobina de voz	5.7 (18.70) m (ft)
Profundidad del devanado de la bobina de voz	3.0 (0.12) mm (in)
Coefficiente de resistencia de la temperatura del hilo (a25).....	0.004041 / ° C
3Volumen desplazado por el conductor	0.5 (0.018) l (ft)
Peso neto	1,290 (2,84) g (lb)
Peso bruto	1,360 (2,99) g (lb)
Dimensiones del cartón (ancho x fondo x altura) ..	41 x 30.5 x 10 (16.1 x 12 x 4) cm (in)

CÁMARA ANECOICA, 1 W / 1 m



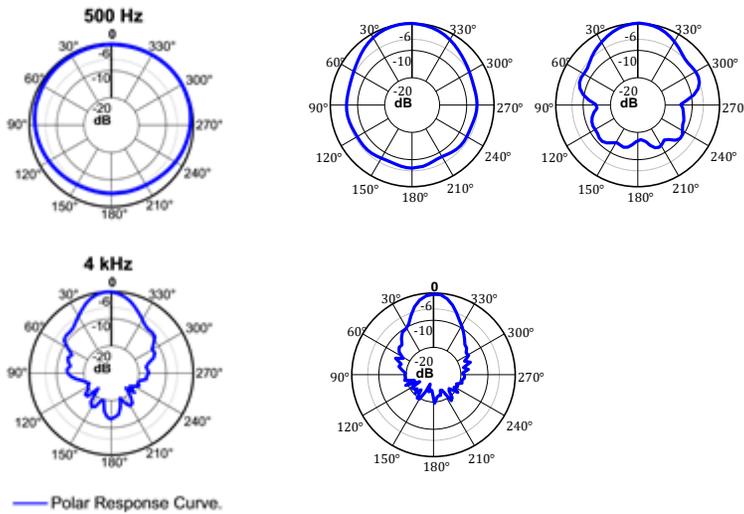
CURVAS DE RESPUESTA E IMPEDANCIA CON TUBO DE ONDAS PLANAS, 1 mW



CURVAS DE RESPUESTA POLAR 1W 1MW

1 kHz

2 kHz

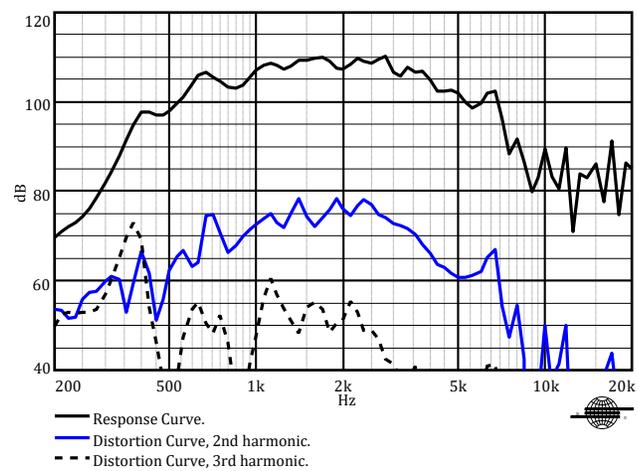


La respuesta de frecuencia y las curvas de impedancia se midieron con un tubo de onda plana terminado en 25 mm.

Controlador D250-X acoplado a una curva de respuesta.

Curva de impedancia del cuerno HL14-25.

CURVAS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA W / HL14-25 HORN, 1 W / 1 m.



Anexo C

INTERFAZ DE AUDIO FOCUSRITE

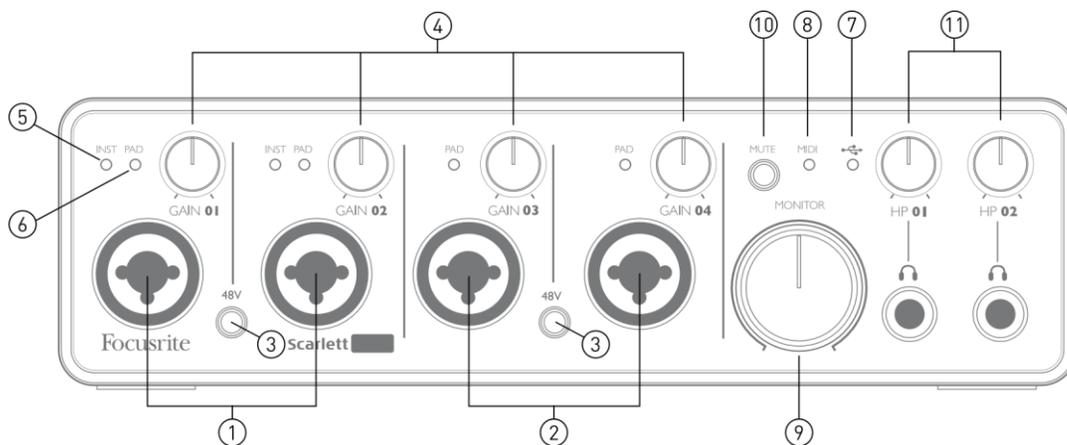
Características

La interfaz de hardware Scarlett 18i8 proporciona los medios para la conexión de micrófonos, instrumentos musicales, señales de audio con nivel de línea y señales de audio digital S/PDIF al puerto USB de una computadora con versiones compatibles de Mac OS o Windows. Las señales en las entradas físicas pueden ser enrutadas a su software de grabación de audio/ estación de trabajo de audio digital (“aplicación DAW” en toda esta Guía de usuario) con una resolución de hasta 24 bits, 96 kHz.

Del mismo modo, las señales de salidas grabadas o de monitorización DAW pueden ser configuradas para aparecer en las salidas físicas de la unidad.

CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE

Panel frontal



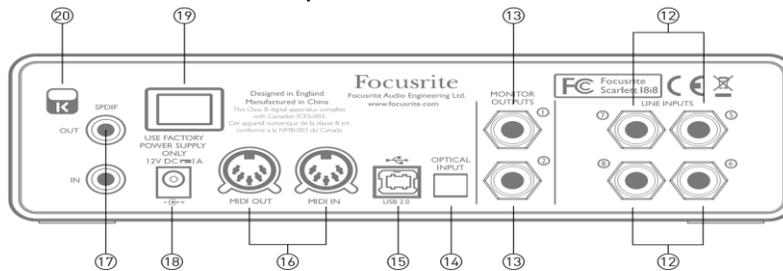
El panel frontal incluye conectores de entrada para señales de micrófono, línea e instrumentos, conectores para auriculares, controles de ganancia de entrada y monitorización.

1. Entradas 1 y 2 – Conectores XLR de entrada tipo combo - Conecte micrófonos, instrumentos (Ej. Guitarra) o señales con nivel de línea utilizando los jacks XLR o de ¼" (6.35 mm) según sea necesario. Cualquiera de los jacks, TRS de ¼" (balanceado) o TS (no balanceado), puede ser utilizado para instrumentos o señales con nivel de línea.
2. Entradas 3 y 4 – Conectores XLR de entrada tipo combo pero aceptan micrófonos, o señales con nivel de línea solamente. La conexión directa de instrumentos debe realizarse en las entradas 1 y/o 2.
3. 48V – Los dos interruptores habilitan la alimentación phantom de 48 V en los contactos de los conectores Combo XLR de a pares (1 & 2; 3 & 4). El interruptor se iluminará indicando que la alimentación phantom se encuentra activa.
4. GAIN 01 a GAIN 04 - Estos controles ajustan la ganancia de entrada para las señales en las entradas 1 a 4 respectivamente. Los controles de ganancia poseen anillos LED concéntricos bicolor para confirmar el nivel de señal: El color verde indicará un nivel de entrada de al menos - 24 dBFS (Ej. 'Señal presente'). El anillo se iluminará de color rojo cuando el nivel de la señal alcance los 0 dBFS.
5. INST – La configuración para los contactos de los jacks de entrada en las entradas 1 y 2 puede ser seleccionada por medio del software Scarlett MixControl. Los LEDs verdes se iluminarán cuando el modo INST se encuentre activo.

Con el modo INST seleccionado, el rango de ganancia y la impedancia de entrada son alteradas (relativas a LINE) y la entrada es convertida en no balanceada a fines de optimizarla para la conexión directa de instrumentos (usualmente a través de un plug TS). Cuando el modo INST es desconectado, las entradas estarán listas para admitir señales con nivel de línea. Las señales con nivel de línea pueden ser conectadas de dos formas: Balanceada por medio de un plug TRS o de forma no balanceada a través de un plug TS.

6. PAD – Un pad de atenuación de 10 dB puede ser insertado en cualquiera de los caminos de entrada de señal. Estos son controlados a través del software Scarlett MixControl. El pad de atenuación aumenta el headroom de la etapa de entrada y podría utilizarse para reducir los niveles de señal de micrófono o línea ‘demasiado calientes’. El PAD de atenuación no está pensado para utilizarse con entradas de instrumento. Los LEDs rojos se iluminarán indicando que el PAD de atenuación se encuentra activo.
 - USB - Es un LED verde que se iluminará indicando que la unidad está siendo reconocida por la computadora a la cual está conectada.
 - LED MIDI – Se iluminará para indicar que el puerto MIDI IN está recibiendo datos MIDI.

MUTE – Presione este botón para silenciar las salidas 1 y 2. El botón se iluminará indicando que MUTE se encuentra activo.



12. HP 01 y HP 02 – Conecte uno o dos pares de auriculares estéreo en los dos jacks TRS de ¼” (6.25 mm) debajo de los controles. Las salidas de auriculares siempre transportan las señales actualmente enrutadas a las salidas analógicas 3/4 y 5/6 respectivamente (Como pares estéreo) en Scarlett MixControl. **Panel posterior** El panel posterior incluye conectores con más entradas de línea y salidas principales de monitorización, además de puertos USB, MIDI y óptico ADAT. LINE INPUTS 5 a 8 – Entradas 5 a 8. Las entradas son balanceadas, en jacks de ¼” (6.35 mm). Conecte aquí otras fuentes de audio con nivel de línea, ya sea utilizando plugs TRS de ¼”(balanceados) o plugs TS (no balanceados). MONITOR OUTPUTS 1 y 2 – Salidas de línea analógicas balanceadas en jacks de ¼” (6.35 mm). Utilice plugs TRS para conexión balanceada o plugs TS para conexiones no balanceadas. Las salidas 1 y 2 normalmente serán utilizadas para alimentar el sistema de altavoces L y R de monitorización primario. Sin embargo, las señales disponibles en las salidas pueden definirse en Scarlett MixControl. OPTICAL INPUT – Conector TOSLINK capaz de llevar 8 canales de audio digital en formato ADAT a un frecuencia de muestreo de 44.1/48 kHz o cuatro canales a 88.2/96 kHz. Estas son simplemente entradas adicionales (11 a 18) de Scarlett 18i8. Puerto USB 2.0 – Conector USB tipo B. Conecte su Scarlett 18i8 a la computadora con el cable provisto.
13. MIDI IN y MIDI OUT – Zócalos estándar DIN de 5 pines para conexión de equipamiento MIDI externo. Scarlett 18i8 funciona como una caja “Break-out (y Break-in)”, permitiendo que los datos MIDI sean distribuidos desde (y hacia) su computadora hacia dispositivos MIDI adicionales.
14. SPDIF IN y OUT – Conectores RCA transportando señales de dos canales digitales de entrada o salida de audio de Scarlett 18i8 en formato S/PDIF. Estos canales son esencialmente las entradas 9 y 10 y las salidas 7 y 8 desde y hacia la unidad.
15. Entrada de alimentación externa – Aquí se alimenta a Scarlett 18i8 con un adaptador de corriente alterna AC (PSU) separado que posee una salida de 12 V DC y 1 A. Tenga en cuenta que Scarlett 18i8 no puede ser alimentada desde la computadora a través del puerto USB.

Anexo D

CALIBRADOR DE NIVEL DE SONIDO HD9101 TIPO 1 IEC 60942.

Frecuencia de calibración 1000Hz, sonido niveles de presión 94dB y 114dB.

El generador de ruido acústico de nivel de sonido HD 9101 es una fuente de sonido portátil alimentada por batería, adecuada para calibración de sonómetros (versiones portátil y de laboratorio) y estaciones de medición acústica.

Las ventajas del calibrador HD 9101 son las siguientes:

Con la frecuencia de la presión del sonido a 1000 Hz, la calibración puede llevarse a cabo sin factores de corrección, independientemente de las ponderaciones A, B, C y D.

El calibrador HD 9101 puede usarse convenientemente en el laboratorio y en el campo.



DATOS TÉCNICOS

El calibrador HD 9101 cumple con los requisitos de la clase 1 según la norma IEC 60942-1988 y los requisitos de la norma ANSI S1.40-1984.

Diámetro de los micrófonos que se pueden calibrar: 23.77 - 0.05 mm 1", 12.7 - 0.03 mm 1/2" (con adaptador 1/2" mod. 9101040), dimensiones estándar según IEC 61094-1 e IEC 61094-4

Tiempo de estabilización: 60 segundos HD 9101 Frecuencia: 1000 Hz $\pm 2\%$

Nivel de presión sonora: 94 dB / 114 dB ± 0.3 dB

Distorsión total: $<0.5\%$

Influencia de la presión estática (Ref. 101.3 kPa):

± 0.1 dB entre 90 kPa y 108 kPa

± 0.3 dB entre 65 kPa y 108 kPa

Influencia de la temperatura (Ref. 23 ° C):

± 0.05 dB entre 5 ° C y 35 ° C
± 0.2 dB entre -10 ° C y 50 ° C
Influencia de la humedad relativa (Ref. 50% R.H.):
± 0.1 dB entre 10% R.H. y 90% R.H. sin condensación
Estabilidad (un año con uso normal): ± 0.1 dB
Temperatura de trabajo: -10 - + 50 ° C
Temperatura de almacenamiento: -25 - + 55 ° C
Humedad relativa: ≤90% R.H.
Volumen equivalente de la cámara de calibración (+ 23 ° C): 10 cm³
Fuente de alimentación: pila alcalina IEC 9V tipo 6F22
Duración de la batería: aproximadamente 15 horas con batería alcalina
Material del recipiente: resina NORYL NE110
Dimensiones: mm 160x140, H = 46 mm Peso: 400 gr.

Anexo E

CONSTRUCCIÓN DEL TUBO DE IMPEDANCIA

El aparato es esencialmente un tubo con un soporte para muestras de prueba en uno de sus extremos y una fuente de sonido en el otro. Los puertos para micrófonos están usualmente ubicados en dos o tres diferentes locaciones a lo largo de la pared del tubo, pero variaciones que implican un micrófono montado en el centro o un micrófono sonda son posibles.

El tubo de impedancia deberá ser recto con una sección transversal uniforme (diámetro o dimensión cruzada interna $\pm 0.2\%$) y rigidez, suavidad, paredes sin porosidades sin hoyos o hendiduras (exceptuando las ubicaciones para los micrófonos) en la sección de prueba. Las paredes deberán ser densas y gruesas así que son a prueba de excitaciones por vibraciones producidas por la señal de sonido y no muestran resonancias vibratorias en el rango de frecuencias de trabajo del tubo. Para paredes de metal, un grosor de al menos 5% del diámetro es recomendado para tubos circulares. Para tubos rectangulares las esquinas deberán ser hechas bastante rígidas para prevenir distorsión de las placas de las paredes laterales. Para esto es recomendado que las paredes laterales sean de un grosor de al menos el 10 % de la dimensión de cruce del tubo. Las paredes del tubo hecho de concreto deberán ser selladas por un adhesivo de acabado suave para asegurar hermeticidad contra el aire. Lo propio se mantiene para tubos con paredes hecha de madera; estas deberían ser reforzadas y amortiguadas por un revestimiento con capas de acero o plomo.

La forma de la sección trasversal del tubo es arbitraria, en principio. Son recomendadas las secciones transversales circular o rectangular (si es rectangular, entonces es preferible que sea cuadrada).

Si los tubos rectangulares están compuestos por placas, se debería tener cuidado con que no hayan fugas de aire (Ej. Sellando con adhesivos o con un

acabado especial). Los tubos deberán ser aislados contra ruidos y vibraciones externas.

Rango de frecuencia de trabajo

Es la frecuencia de trabajo más baja del tubo; Es la frecuencia en operación; Es la frecuencia de trabajo más alta del tubo.

Esta limitada por la precisión del equipo de procesamiento de señal

Esta es elegida para evitar la ocurrencia de propagación de ondas en modo no planas

La condición para f_l es: $d < 0.58\lambda_l$; $f_l \cdot d < 0.58c_l$

Para tubos circulares con un diámetro interno d en metros y f_l en Hertz.
 $d < 0.5\lambda_l$; $f_l \cdot d < 0.50c_l$

Para tubos rectangulares con un largo máximo por lado d en metros; c_l es la velocidad del sonido en metros por segundo dado por la ecuación (5).

El límite de la frecuencia más baja es dependiente del espaciado entre los micrófonos y la precisión del sistema de análisis pero, como una guía general, el espaciado del micrófono debería exceder al menos 5% de la longitud de onda correspondiente a la frecuencia más baja de interés, provisto esto los requerimientos de la ecuación (4) están satisfechos. Un espaciado más largo entre los micrófonos mejora la precisión de las mediciones.

Longitud del tubo de impedancia

El tubo debería ser lo bastante largo para causar el desarrollo de la onda plana entre la fuente y la muestra. Los puntos de medición del micrófono deberán estar en el campo de la onda plana

El altavoz generalmente produce modos no planos además de la onda plana. Éstas debería morir dentro de una distancia de al menos 3 veces el diámetro del tubo o 3 veces el máximo de las dimensiones laterales de los tubos rectangulares para frecuencias por debajo de la frecuencia de corte más baja del modo más alto. Así es recomendado que los micrófonos estén localizados no tan cerca de la fuente como se sugiere arriba, pero en ningún caso más allá de un diámetro o una dimensión máxima lateral, como algo apropiado.

Las muestras de prueba también causaran distorsiones de proximidad al campo acústico y la siguiente recomendación está dada por el mínimo espaciado entre el micrófono y la muestra, dependiendo del tipo de muestra:

No estructurada: Estructurada semi-lateral: Fuertemente asimétrica:

Micrófonos

$\frac{1}{2}$ del diámetro o $\frac{1}{2}$ de la dimensión máxima lateral 1 diámetro o 1 dimensión máxima lateral $\frac{1}{2}$ diámetros o 2 veces la dimensión máxima lateral

Micrófonos de tipo idéntico deberían ser usados en cada ubicación. Cuando son usados micrófonos montados en el lado de la pared, el diámetro de los micrófonos deberían ser comprados con En adición, es recomendado que los diámetros de los micrófonos sean menores al 20% del espaciado entre ellos.

Para el montaje en la pared lateral, es recomendado usar micrófonos de presión. Para micrófonos sonda es recomendado usar micrófonos de tipo campo libre.

Anexo F

APLICANDO LA TRANSFORMADA DE LAPLACE

Definición. La transformada de Laplace es un tipo de transformada integral frecuentemente usada para la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias. La transformada de Laplace de una función definida para todos los números positivos es la función:

$$L(f(t)) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt$$

Movimiento oscilatorio forzado:

$$a \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + Cx = A \cos(\omega t)$$

$$P_i = \widehat{P}_i * e^{ikox}$$

$$P_r = \widehat{P}_r * e^{-ikox}$$

$$k_o = k_o' - ik_o$$

$$P_i = \widehat{P}_i e^{ikox} + \widehat{P}_R e^{-ikox}$$

$$P_2 = \widehat{P}_i e^{ikox} + \widehat{P}_R e^{-ikox}$$

Entonces:

Donde:

$$P_{i1} = \widehat{P}_i e^{jkox}$$

$$P_R = \widehat{P}_R e^{-jkox}$$

$$H_i = \frac{P_{i1}}{P_{o1}} = e^{-jko(x_1 - x_2)}$$

$$H_i = \frac{\widehat{P}_i e^{ikox_2}}{\widehat{P}_i e^{jkox_1}} = e^{ikox_2 - jkox_1} = e^{-jko(x_1 - x_2)}$$

$$H_R = \frac{\widehat{P}_R e^{jkox_1}}{\widehat{P}_R e^{jkox_2}} = e^{jko(x_1 - x_2)}$$

Para Analizar con la separación:

X1->distancia más larga

X2->distancia mas corta

Entonces:

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{e^{jkox2} + re^{-jkox2}}{e^{jkox2} + re^{-jhox1}} = \frac{P_2}{P_1}$$

$$H_{12} = \frac{\widehat{P}ie^{jkox2} + \widehat{P}re^{-jkox2}}{\widehat{P}ie^{jkox1} + \widehat{P}re^{-jkox1}} = \frac{e^{-jhox1}(\widehat{P}ie^{2ikox2} + \widehat{P}12)}{e^{jkox2}(\widehat{P}ie^{2jkox1} + \widehat{P}12)}$$

$$H_{12} = \frac{e^{jko(x1-x2)}(\widehat{P}ie^{2jkox2} + \widehat{P}12)}{(\widehat{P}ie^{2jkox1} + \widehat{P}12)}$$

Consecuencia:

$$K_o = \frac{w}{c_o} = \frac{2\pi f}{c_o}$$

$$K_o = ko' - jko''$$

Componente real:

$$K_o' = \frac{2n}{\lambda_o}$$

Componente imaginaria:

$$K o'' = 1,94 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{f}{cd}}$$

si $K o = k o' - j k o''$

Módulo de Onda:

$$|k o| = (k o'^2 + k o''^2)^{1/2}$$

Pero según relación:

$$z = a + i b$$

$$\rho = (a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$e^{i\theta} = \sin \theta + i \cos \theta$$

$$\rho e^{i\theta} = \rho(\sin \theta + i \cos \theta)$$

$$\rho |e^{i\theta}| = \rho(\sin \theta + \cos \theta) = |e^{i\theta}| = 1$$

$$\rho e^{i\theta} = a + i b$$

$$k o = k o' + i k o''$$

$$i k o = i k o' - k o''$$

$$i k o = -(k o'' - i k o)$$

$$\theta^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta = |e^{i\theta}| = 1$$

Toma #1 $k o = \frac{2\pi f}{c}$

Toma #2 $k o = 1,94 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{f}{cd}} = 0.0251$

Toma #3 $\left(\left(\frac{2\pi f}{c}\right)^2 + \left(1,94 \times 10^{-2} * \sqrt{\frac{f}{cd}}\right)^2\right)^{1/2}$

Elemento 1.

Frecuencia 100 Hz

$$k o = \frac{2\pi(2j k o)}{349,4} = 1,830231665$$

$$k_o = [(1,830)^2 + (0,161)]^2 0,9232$$

$$H_i = e^{-(1,830) \cdot 0,0286} = 0,973$$

$$H_r = e^{(1,830)(0,0286)} = 1,02$$

$$H_{12} = \frac{e^{0,9232 \cdot (0,0509 - 0,0795)} (0,20 * e^{2(0,9232)(0,0509)} + (0,23))}{(0,20 e^{2(0,9232)(0,0509)} + 0,23)}$$

$$H_{12} = 1$$

$$r = \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_r)} e^{2(4,495)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,973)}{(1,02 - 1)} e^{2(0,9232)(0,0509)}$$

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

$$\alpha = 0,04$$

Elemento 2.

Frecuencia 125 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 4,499$$

$$k_o = [(2,28)^2 + (0,18)]^2 = 1,152$$

$$H_i = e^{-(1,152)(0,0286)} = 0,967$$

$$H_r = e^{(1,152)(0,0286)} = 1,033$$

$$H_{12} = \frac{e^{(1,152)((0,0509 - 0,0795))} (0,25 * e^{2(1,152)(0,0509)} + (0,22))}{(0,25 e^{2(1,152)(0,0795)} + 0,22)}$$

$$H_{12} = 1$$

$$r = \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_r)} e^{2(4,495)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,967)}{(1,033 - 1)} e^{2(1,152)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,058$$

Elemento 3.

Frecuencia 160 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,020$$

$$k_o = [(0,020)^2 + (2,92)]^2 = 1,47$$

$$H_i = e^{-(1,47)(0,0286)} = 0,958$$

$$H_r = e^{(1,47)(0,0286)} = 1,04$$

$$H_{12} = \frac{e^{(1,47)(0,0286)}(0,39 * e^{2(1,47)(0,0509)} + (0,35))}{(0,39e^{2(1,47)(0,0795)} + 0,35)}$$

$$H_{12}=0,9556696766$$

$$r = \frac{(H_{12} - HI)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(1,47)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,958)}{(1,04 - 1)} e^{2(1,47)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,074$$

Elemento 4.

Frecuencia 200 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,022$$

$$k_o = [(0,022)^2 + 3,66]^2 = 1,84$$

$$H_i = e^{-(1,84)(0,0286)} = 0,94$$

$$H_r = e^{(1,84)(0,0286)} = 1,05$$

$$H_{12} = \frac{e^{(1,84)(0,0286)}(0,46 * e^{2(1,84)(0,0509)} + (0,36))}{(0,46e^{2(1,84)(0,0795)} + 0,36)}$$

$$H_{12}=0,9556696766$$

$$r = \frac{(H_{12} - HI)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(1,84)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,94)}{(1,04 - 1)} e^{2(1,84)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,093$$

Elemento 5.

Frecuencia 250 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,025$$

$$k_o = [(0,025)^2 + (4,57)]^2 = 2,3$$

$$H_i = e^{-(2,3)(0,0286)} = 0,93$$

$$H_r = e^{(2,3)(0,0286)} = 1,06$$

$$H_{12} = \frac{e^{(2,3)(0,0286)}(0,51 * e^{2(2,3)(0,0509)} + (0,047))}{(0,51e^{2(2,3)(0,0795)} + 0,47)}$$

$$H_{12}=0,9556696766$$

$$r = \frac{(H_{12} - HI)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(2,3)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,93)}{(1,06 - 1)} e^{2(2,3)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,11$$

Elemento 6.

Frecuencia 315 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,028$$

$$k_o = [(0,028)^2 + (5,7)]^2 = 2,8$$

$$H_i = e^{-(42,8)(0,0286)} = 0,92$$

$$H_r = e^{(2,8)(0,0286)} = 1,08$$

$$H_{12} = \frac{e^{(2,8)(0,0286)}(0,63 * e^{2(2,8)(0,0509)} + (0,57))}{(0,63e^{2(2,8)(0,0795)} + 0,57)}$$

$$r = \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_r)} e^{2(2,8)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,92)}{(1,08 - 1)} e^{2(2,8)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,14$$

Elemento 7.

Frecuencia 400 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,032$$

$$k_o = [(40,032)^2 + (07,3)]^2 = 3,67$$

$$H_i = e^{-(3,67)(0,0286)} = 0,900$$

$$H_r = e^{(3,67)(0,0286)} = 1,11$$

$$H_{12} = \frac{e^{(3,67)(0,0286)}(0,79 * e^{2(3,67)(0,0509)} + (0,66))}{(0,79e^{2(3,67)(0,0795)} + 0,66)}$$

$$r = \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_r)} e^{2(3,67)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,900)}{(1,11 - 1)} e^{2(3,67)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,018$$

Elemento 8.

Frecuencia 500 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,036$$

$$k_o = [(0,036)^2 + (9,15)]^2 = 9,59$$

$$H_i = e^{-(9,59)(0,0286)} = 0,87$$

$$\begin{aligned}
 Hr &= e^{(9,59)(0,0286)} = 1,14 \\
 H_{12} &= \frac{e^{(9,59)(0,0286)}(0,89 * e^{2(9,59)(0,0509)} + (0,76))}{(0,89e^{2(9,59)(0,0795)} + 0,76)} \\
 H_{12} &= 0,9556696766 \\
 r &= \frac{(H_{12} - HI)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(9,59)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,87)}{(1,14 - 1)} e^{2(9,59)(0,0795)}
 \end{aligned}$$

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

$$\alpha = 0,22$$

Elemento 9.

Frecuencia 630 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,040$$

$$k_o = [(0,040)^2 + (11,53)]^2 = 5,7$$

$$H_i = e^{-(5,7)(0,0286)} = 0,84$$

$$H_r = e^{(5,7)(0,0286)} = 1,17$$

$$H_{12} = \frac{e^{(5,7)(0,0286)}(0,99 * e^{2(5,7)(0,0509)} + (0,85))}{(0,99e^{2(4,49951)(0,0795)} + 0,85)}$$

$$H_{12} = 0,9556696766$$

$$r = \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(5,7)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,84)}{(1,17 - 1)} e^{2(5,7)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,27$$

Elemento 10.

Frecuencia 800 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,42$$

$$k_o = [(0,42)^2 + (014,64)]^2 = 7,3$$

$$H_i = e^{-(7,3)(0,0286)} = 0,81$$

$$H_r = e^{(7,3)(0,0286)} = 1,23$$

$$H_{12} = \frac{e^{(7,3)(0,0286)}(1,00 * e^{2(7,3)(0,0509)} + (0,81))}{(1,00e^{2(7,3)(0,0795)} + 0,81)}$$

$$H_{12} = 1$$

$$r = \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(7,3)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,81)}{(1,23 - 1)} e^{2(7,3)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,33$$

Elemento 11.

Frecuencia 1000 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,051$$

$$k_o = [(0,051)^2 + (18,3)]^2 = 9,17$$

$$H_i = e^{-(9,17)(0,0286)} = 0,76$$

$$Hr = e^{(9,17)(0,0286)} = 1,31$$

$$H_{12} = \frac{e^{(9,17)(0,0286)}(1,0025 * e^{2(9,17)(0,0509)} + (1,0023))}{(1,0025e^{2(9,17)(0,0795)} + 1,0023)}$$

$$H_{12} = 1$$

$$r = \frac{(H_{12} - HI)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(9,17)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,76)}{(1,31 - 1)} e^{2(9,17)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,39$$

Elemento 12.

Frecuencia 1250 Hz

$$k_o = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,057$$

$$k_o = [(0,057)^2 + (22,8)]^2 = 11,46$$

$$Hi = e^{-(11,46)(0,0286)} = 0,720$$

$$Hr = e^{(11,46)(0,0286)} = 1,38$$

$$H_{12} = \frac{e^{(11,46)(0,0286)}(1,111 * e^{2(11,46)(0,0509)} + (0,94))}{(1,111e^{2(11,46)(0,0795)} + 0,94)}$$

$$H_{12} = 1$$

$$r = \frac{(H_{12} - HI)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(11,46)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,720)}{(1,38 - 1)} e^{2(11,46)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,47$$

Elemento 13.

Frecuencia 1600 Hz

$$\begin{aligned}
 k_o &= \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,064 \\
 k_o &= [(0,064)^2 + (29,28)]^2 = 14,67 \\
 H_i &= e^{-(14,67)(0,0286)} = 0,65 \\
 H_r &= e^{(14,67)(0,0286)} = 1,52 \\
 H_{12} &= \frac{e^{(14,67)(0,0286)}(1,23 * e^{2(14,67)(0,0509)} + (0,95))}{(1,23e^{2(14,67)(0,0795)} + 0,95)} \\
 H_{12} &= 0,9556696766 \\
 r &= \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_r)} e^{2(14,67)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,65)}{(1,52 - 1)} e^{2(14,67)(0,0795)} \\
 \alpha &= 1 - |r|^2 \\
 \alpha &= 0,55
 \end{aligned}$$

Elemento 14.

Frecuencia 2000 Hz

$$\begin{aligned}
 k_o &= \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,076 \\
 k_o &= [(0,076)^2 + (36,6)]^2 = 18,3 \\
 H_i &= e^{-(18,3)(0,0286)} = 0,59 \\
 H_r &= e^{(4,49951)(0,0286)} = 1,6 \\
 H_{12} &= \frac{e^{(18,3)(0,0286)}(1,27 * e^{2(18,3)(0,0509)} + (1,06))}{(1,27e^{2(18,3)(0,0795)} + 1,06)} \\
 H_{12} &= 1 \\
 r &= \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_r)} e^{2(18,3)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,59)}{(1,6 - 1)} e^{2(18,3)(0,0795)} \\
 &= 1 - |r|^2 \\
 \alpha &= 0,64
 \end{aligned}$$

Elemento 15.

Frecuencia 2500 Hz

$$\begin{aligned}
 k_0 &= \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,080 \\
 k_0 &= [(0,080)^2 + (45,75)]^2 = 22,9 \\
 H_i &= e^{-(22,9)(0,0286)} = 0,519 \\
 H_r &= e^{(4,49951)(0,0286)} = 1,92 \\
 H_{12} &= \frac{e^{(22,9)(0,0286)}(1,15 * e^{2(22,9)(0,0509)} + (1,01))}{(1,15e^{2(22,9)(0,0795)} + 1,01)} \\
 H_{12} &= 1 \\
 r &= \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_r)} e^{2(22,9)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,519)}{(1,01 - 1)} e^{2(22,9)(0,0795)} \\
 \alpha &= 1 - |r|^2 \\
 \alpha &= 0,72
 \end{aligned}$$

Elemento 16.

Frecuencia 3150 Hz

$$\begin{aligned}
 k_0 &= \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,090 \\
 k_0 &= [(0,090)^2 + (57,65)]^2 = 28,87 \\
 H_i &= e^{-(28,87)(0,0286)} = 0,43 \\
 H_r &= e^{(28,87)(0,0286)} = 12,28 \\
 H_{12} &= \frac{e^{(28,87)(0,0286)}(0,52 * e^{2(28,87)(0,0509)} + (0,89))}{(0,52e^{2(28,87)(0,0795)} + 0,89)} \\
 H_{12} &= 0,9556696766 \\
 r &= \frac{(H_{12} - H_i)}{(H_{12} - H_r)} e^{2(28,87)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,43)}{(1,28 - 1)} e^{2(28,87)(0,0795)} \\
 \alpha &= 1 - |r|^2 \\
 \alpha &= 0,80
 \end{aligned}$$

Elemento 17.

Frecuencia 4000 Hz

$$\begin{aligned}
 k_0 &= \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,085 \\
 k_0 &= [(0,085)^2 + (73,2)]^2 = 36,6 \\
 H_i &= e^{-(36,6)(0,0286)} = 0,35 \\
 H_r &= e^{(36,6)(0,0286)} = 2,8
 \end{aligned}$$

$$H_{12} = \frac{e^{(36,6)(0,0286)}(0,89 * e^{2(36,6)(0,0509)} + (0,64))}{(0,89e^{2(36,6)(0,0795)} + 0,64)}$$

$$H_{12} = 1$$

$$r = \frac{(H_{12} - HI)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(36,6)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,35)}{(2,8 - 1)} e^{2(36,6)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,87$$

Elemento 18.

Frecuencia 5000 Hz

$$ko = \frac{2\pi(2jko)}{349,4} = 0,11$$

$$ko = [(0,11)^2 + (91,5)]^2 = 45,8$$

$$Hi = e^{-(45,8)(0,0286)} = 0,28$$

$$Hr = e^{(45,8)(0,0286)} = 3,7$$

$$H_{12} = \frac{e^{(45,8)(0,0286)}(0,28 * e^{2(45,8)(0,0509)} + (0,22))}{(0,28e^{2(45,8)(0,0795)} + 0,22)}$$

$$H_{12} = 1$$

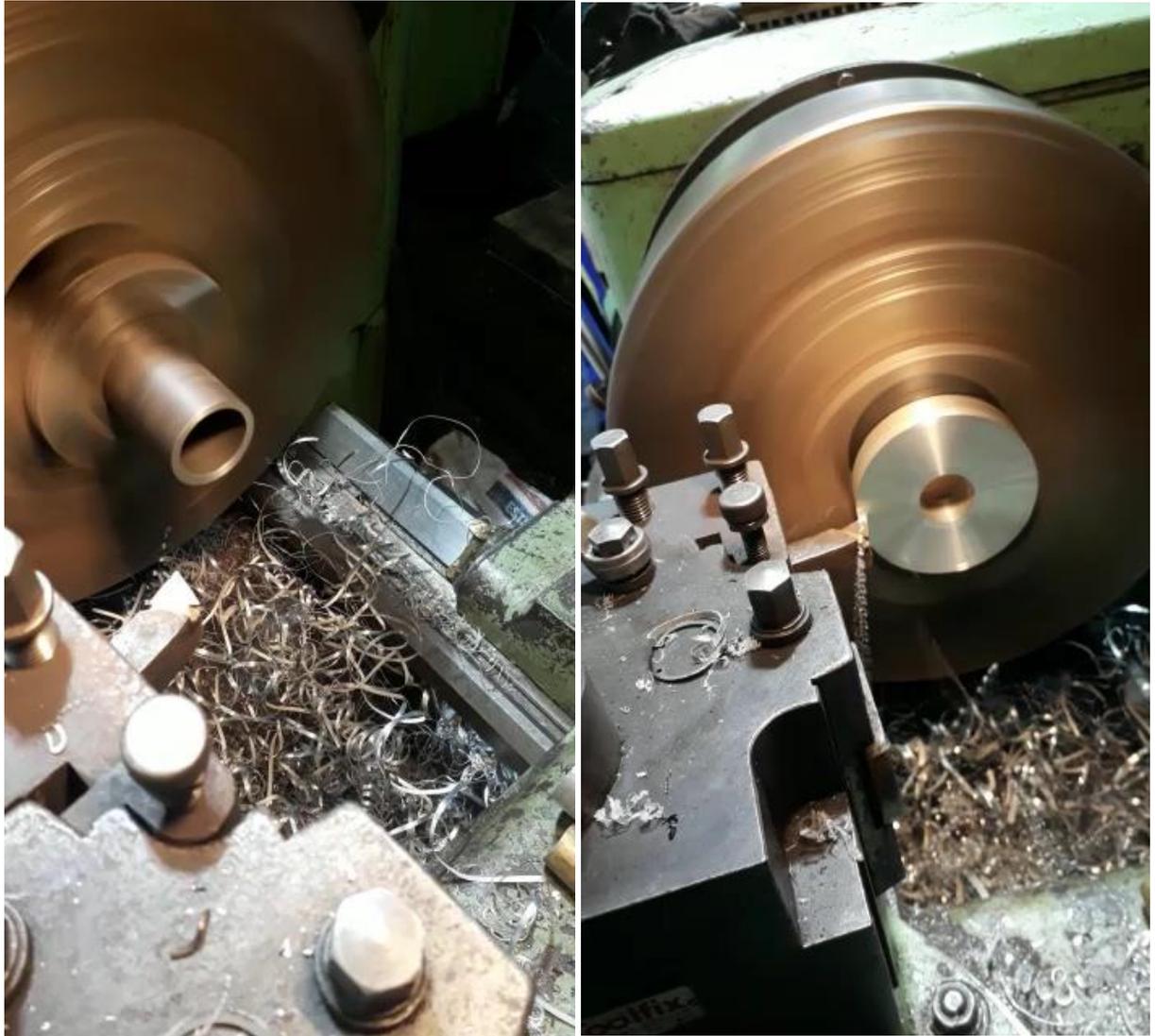
$$r = \frac{(H_{12} - HI)}{(H_{12} - H_{12})} e^{2(45,8)(0,0795)} = \frac{(1 - 0,28)}{(3,7 - 1)} e^{2(44,8)(0,0795)}$$

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

$$\alpha = 0,92$$

ANEXO G

FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN











ANEXO H - COTIZACIÓN

EM	CONCEPTO	CANT.	PRECIO UNIT.	TOTAL
SISTEMA COMPLETO TUBO DE KUNDT 30 mm (150Hz-6600Hz) - MARCA SINUS para medidas de Absorción Sonora				
1	AFD1000 Base Module Set SET including: 801022.5 Speaker Module 800931.1 150W Amplifier 971024.1 Cinch/3.5mm Cable 971025.8 SPEAKON Cable	1	6.750,00 €	6.750,00 €
2	AFD1000 Absorption Tube 30mm Impedance Tube 30mm with probe holder, frequency span: 150...6600 Hz, 2x 1/4" microphones necessary	1	3.100,00 €	3.100,00 €
3	AFD1000 Hollow Drill Tool 30mm	1	690,00 €	690,00 €
4	AFD1001 Impedance Tube Software - measurement acc. to ISO 10534-2 - complex impedance, reflection factor, sound absorption (f) - averaging of results - Excel data export	1	5.145,00 €	5.145,00 €
5	Apollo_lt_4B - 4ch DC...20 kHz (BNC) 115 dB dynamic range - 2ch Trigger - 2 output channels (3.5mm jack) - driver for Windows - USB cable	1	2.650,00 €	2.650,00 €
6	M370 1/4" microphone class 1 - 1/4" ICP microphone - Frequency range 20 Hz...20 kHz, freefield - Dynamic range 35 dB...130 Db	4	415,00 €	1.660,00 €
7	UNF10-32/BNC Cable 3m	4	63,00 €	252,00 €
8	AFD reference specimen - 1x 30 mm - Certificate from AFD	1	490,00 €	490,00 €

OPCIONAL PARA MEDIDAS DE TRANSMISION					
LOST AFD1200 Transmission					
9	Tube 30mm Tube 30mm & 4x 1/4" microphones necessary!	Impedance	1	2.320,00 €	2.320,00 €
OPCIONAL PARA MEDIDAS DE TRANSMISION					
LOST AFD1201 SW					
10	Transmission Loss transmission loss - sound transmission coefficient - complex impedance according to transfer-matrix method of Song & Bolton	-	1	2.678,00 €	2.678,00 €
AFD1001-01 opt: Weight. Absorption 800882.5					
11	Software Option =====		1	640,00 €	640,00 €
according to ISO 11654					
AFD1001-02 opt: DATABASE 800907.1					
12	Software Option =====		1	750,00 €	750,00 €
for AFD1000 Impedance Tube (Base)					
AFD1001-03 opt: Post Processing 801323.6					
13	Software Option =====		1	750,00 €	750,00 €
different diameters & mice positions					
14	Instalación y puesta en marcha del sistema en las instalaciones del cliente durante 1 jornada		1	1.150,00 €	1.150,00 €
				TOTAL	29.025,00 €

Cuadro de cotización

Nro	Descripción	Gastos en Bs
1	Adquisición de material bibliográfico	1000
2	Material de escritorio	500
3	Internet	1200
4	Micrófonos beyerdynamic mm1	8400
5	Laptop dell inspiron14	4200
6	Interfaz digidesing 003	7700
7	Tubos	358
8	Driver de compresión	400
9	Smaart live v8	1750
10	Fibra de vidrio	70
11	Tornería	2000
12	Cables	120
13	Conectores	120
14	Amplificador de potencia	350
15	Energía eléctrica	480
Total		28,648