



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN
Y DE MANTENIMIENTO DEL TUBO DE
IMPEDANCIA ACÚSTICA DEL LABORATORIO DE
MATERIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA
ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

DENIS OSWALDO COLCHA LEÓN

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN
Y DE MANTENIMIENTO DEL TUBO DE
IMPEDANCIA ACÚSTICA DEL LABORATORIO DE
MATERIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA
ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: DENIS OSWALDO COLCHA LEÓN

DIRECTOR: Ing. FABIÁN EDUARDO BASTIDAS ALARCÓN, MSc.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Denis Oswaldo Colcha León

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Denis Oswaldo Colcha León, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de mayo de 2024

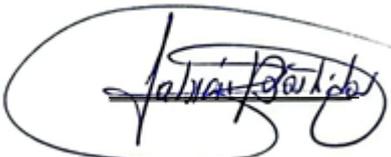


Denis Oswaldo Colcha León

C.I. 060483335-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO DEL TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA DEL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA ESPOCH**, realizado por el señor: **DENIS OSWALDO COLCHA LEÓN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		28-05-2024
Ing. Fabián Eduardo Bastidas Alarcón, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		28-05-2024
Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		28-05-2024

DEDICATORIA

A mis padres Juan y Eva, por todo el esfuerzo y sacrificio que han realizado para llegar a cumplir esta meta que a pesar de todas las adversidades y tropiezos nunca dejaron de estar a mi lado apoyándome.

A mis hermanas Verónica, Miriam y Lorena que son un ejemplo de sacrificio y responsabilidad a mi hermano Juan que me apoya en los momentos cuando más se lo necesita y a mis sobrinos.

Denis

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a nuestro Dios por darnos unos padres luchadores y trabajadores quienes supieron sacarnos adelante, por todo el sacrificio realizado día a día para darnos un buen futuro.

A mis profesores por brindarme sus conocimientos que hicieron posible esta investigación y sobre todo al Ing. Fabián Eduardo Bastidas Alarcón y al Ing. Marco Heriberto Santillán por el apoyo brindado.

Denis

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Manual de operación.....	7
2.2. Operación.....	8
2.2.1. <i>Proceso</i>	8
2.3. Generalidades de pruebas en los equipos.....	9
2.4. Generalidades de levantamiento de procesos.....	10
2.5. Manual de seguridad.....	10
2.5.1. <i>Seguridad</i>	10
2.5.2. <i>Prevención</i>	11
2.5.3. <i>Peligro</i>	11
2.6. Mantenimiento.....	11
2.6.1. <i>Tipos de mantenimiento</i>	11
2.6.2. <i>Manuales de mantenimiento</i>	12
2.7. Tubo de impedancia acústica.....	12
2.7.1. <i>Componentes</i>	12

2.7.2.	<i>Características del tubo de impedancia</i>	13
2.8.	Aislantes	14
2.8.1.	<i>Aislamientos térmicos y acústicos</i>	14
2.9.	Acústica	16
2.9.1.	<i>Impedancia acústica</i>	16
2.9.2.	<i>Admitancia</i>	16
2.9.3.	<i>El sonido</i>	16
2.9.3.1.	<i>Propiedades del sonido</i>	17
2.9.3.2.	<i>Origen y difusión del sonido</i>	18
2.9.3.3.	<i>Velocidad</i>	19
2.9.3.4.	<i>Ecuación para la velocidad del sonido</i>	19
2.9.3.5.	<i>Generadores de señal</i>	20
2.9.4.	<i>El ruido</i>	20
2.9.5.	<i>Tipos de ruido por su forma de transmisión</i>	20
2.9.5.1.	<i>Tipo de ruido por caracterización en frecuencia</i>	21
2.9.5.2.	<i>Reflexión</i>	21
2.9.5.3.	<i>Reflexión regular</i>	22
2.9.5.4.	<i>Reflexión irregular</i>	22
2.9.5.5.	<i>Onda mecánica</i>	23
2.9.5.6.	<i>Onda transversal</i>	23
2.9.5.7.	<i>Onda longitudinal</i>	23
2.9.6.	<i>Longitud de onda</i>	23
2.10.	Ley de la reflexión	24
2.11.	Ley de Snell	25

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	Tubo de impedancia acústica	27
3.1.1.	<i>Datos técnicos del tubo de impedancia acústica</i>	27
3.1.2.	<i>Elementos que conforma el tubo de impedancia acústica</i>	28
3.1.2.1.	<i>Tubo de acero inoxidable (AISI 304)</i>	28
3.1.2.2.	<i>Tarjeta de adquisición de datos (Ni USB-9234)</i>	29
3.1.2.3.	<i>LabVIEW (2017, 32 bits)</i>	29
3.1.2.4.	<i>Micrófonos (¼ Tipos de micrófonos de condensador 130F20)</i>	30
3.1.2.5.	<i>Amplificador</i>	31

3.1.2.6.	<i>Altavoz (ESM6)</i>	32
3.1.2.7.	<i>Cables de adquisición</i>	33
3.2.	Diagnóstico de los componentes del tubo de impedancia acústica.	33
3.3.	Evaluación del estado técnico de los elementos pertenecientes al tubo de impedancia acústica	34
3.3.1.	<i>Determinación de las condiciones iniciales de funcionamiento del tubo de impedancia acústica por medio de la frecuencia natural</i>	34
3.4.	Ubicación del banco de pruebas (tubo de impedancia acústica)	37
3.5.	Determinación del coeficiente de absorción acústica del tubo de impedancia	39
3.5.1.	<i>Mediciones preliminares</i>	39
3.5.2.	<i>Calibración de los equipos y puesta en marcha del tubo impedancia acústica</i>	40
3.5.3.	<i>Especificación del plano de referencia</i>	41
3.5.4.	<i>Determinación de la velocidad el sonido</i>	41
3.5.5.	<i>Longitud de onda</i>	42
3.5.6.	<i>Densidad del aire ρ</i>	42
3.5.6.1.	<i>Selección de la amplitud de la señal</i>	43
3.5.6.2.	<i>Selección del número de promedios</i>	43
3.5.6.3.	<i>Errores aleatorios</i>	43
3.5.7.	<i>Corrección por desajuste entre los micrófonos</i>	44
3.6.	Seguridad en el laboratorio de Ensayos No Destructivos	44
3.7.	Diseño del manual de operación necesario para el manejo del tubo de impedancia acústica	45
3.7.1.	<i>Tubo de impedancia acústica</i>	45
3.8.	Operación del tubo de impedancia acústica.	46
3.8.1.	<i>Pasos preliminares para su funcionamiento</i>	46
3.8.2.	<i>Etapas de pruebas y generación de señales</i>	49
3.9.	Manual de mantenimiento para el tubo de impedancia acústica.	55
3.9.1.	<i>Codificación técnica</i>	56
3.10.	Análisis de criticidad método de criticidad total por riesgo (CTR)	56
3.10.1.	<i>Determinación del estado de criticidad en los elementos pertenecientes al tubo de impedancia acústica</i>	57
3.10.2.	<i>Resultados del CTR</i>	61
3.10.3.	<i>Elaboración de la ficha técnica del equipo</i>	61
3.10.4.	<i>Fichas técnicas del tubo de impedancia acústica</i>	63
3.11.	Previsiones tareas de mantenimiento	64
3.11.1.	<i>Materiales básicos para el mantenimiento</i>	65

3.12.	Banco de tareas de mantenimiento	66
3.12.1.	<i>Tabla de fallas perteneciente al tubo de impedancia acústica</i>	71

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	72
4.1.	Guía para el uso y mantenimiento del tubo de impedancia acústica	72
4.1.1.	<i>Presentación del manual de operación</i>	72
4.1.1.1.	<i>Alcance</i>	72
4.1.1.2.	<i>Condiciones de manejo, LabVIEW y Matlab.....</i>	74
4.1.2.	<i>Parámetros de ensayo</i>	74
4.1.3.	<i>Determinación de las muestras de ensayo</i>	75
4.1.4.	<i>Análisis de los ensayos realizados</i>	77
4.2.	Mantenimiento del tubo de impedancia acústica.....	80
4.3.	Plan de mantenimiento.....	81

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
5.1.	Conclusiones.....	83
5.2.	Recomendaciones.....	83

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Velocidad del sonido por diferentes medios	18
Tabla 3-1:	Datos técnicos del tubo de impedancia	27
Tabla 3-2:	Criterios para la cuantificación de la criticidad	58
Tabla 3-3:	Análisis de criticidad del tubo de impedancia acústica.....	59
Tabla 3-4:	Análisis de criticidad total por riesgo (CTR)	60
Tabla 3-5:	Elementos con muy alta criticidad	61
Tabla 3-6:	Elementos con baja criticidad	61
Tabla 3-7:	Ficha Técnica Tubo de Impedancia Acústica	63
Tabla 3-8:	Tareas de Mantenimiento.....	66
Tabla 3-9:	Tareas de mantenimiento de superficies	67
Tabla 3-10:	Inspección interna y externa	68
Tabla 3-11:	Ajustes internos y externos	69
Tabla 3-12:	Ajustes internos y externos	70
Tabla 3-13:	Fallas, posibles causas y acciones correctivas	71
Tabla 4-1:	Guía para el uso del tubo de impedancia acústica.....	73
Tabla 4-2:	Impedancias micrófono 1	78
Tabla 4-3:	Impedancias micrófono 2.....	80
Tabla 4-4:	Probabilidad de fallas de los equipos.....	80
Tabla 4-5:	Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) del tubo de acero inoxidable AISI-304 del tubo impedancia acústica	82
Tabla 4-6:	Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) de la Tarjeta de adquisición de datos Ni USB-9234 del tubo impedancia acústica	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Clasificación de los procesos.....	9
Ilustración 2-2:	Organigrama tipos de pruebas	9
Ilustración 2-3:	Organigrama tipos de mantenimiento.....	11
Ilustración 2-4:	Equipos que conforman el tubo de impedancia	13
Ilustración 2-5:	Equipos de instrumentación.....	14
Ilustración 2-6:	Ejemplo de resonador de membrana.....	15
Ilustración 2-7:	Esquema de un resonador	15
Ilustración 2-8:	Propiedades del sonido	17
Ilustración 2-9:	Propagación de una onda.....	18
Ilustración 2-10:	Velocidad del sonido	19
Ilustración 2-11:	Ejemplo de ruido aéreo.....	20
Ilustración 2-12:	Ejemplo de ruido de impacto.....	21
Ilustración 2-13:	Reflexión de la onda respecto de la superficie	22
Ilustración 2-14:	Longitud de onda.....	23
Ilustración 2-15:	Reflexión de una onda sobre una superficie plana	24
Ilustración 2-16:	Frente de onda sobre una superficie plana.....	25
Ilustración 3-1:	Partes del tubo de impedancia acústica.....	28
Ilustración 3-2:	Tubo de acero inoxidable.....	28
Ilustración 3-3:	Tarjeta de adquisición de datos DAQ.....	29
Ilustración 3-4:	Interfaz de programación LabVIEW	30
Ilustración 3-5:	Micrófonos piezoeléctricos.....	30
Ilustración 3-6:	Amplificador de señales	31
Ilustración 3-7:	Altavoz integrado.....	32
Ilustración 3-8:	Cables de adquisición	33
Ilustración 3-9:	Análisis vibracional del tubo de impedancia acústica	33
Ilustración 3-10:	Análisis de vibraciones en distintas posiciones	35
Ilustración 3-11:	Ensayo no destructivo en el tubo de impedancia.....	36
Ilustración 3-12:	Frecuencia natural del tubo de impedancia 1x.....	36
Ilustración 3-13:	Resonancia en el tubo de impedancia un punto.....	37
Ilustración 3-14:	Ubicación del Laboratorio de Ensayos no Destructivos e Integridad Superficial.....	38
Ilustración 3-15:	Puesto de trabajo Tubo de Impedancia.....	39
Ilustración 3-16:	Ejemplo de disposición del equipo de ensayo	40

Ilustración 3-17:	Corrección por la atenuación en el tubo de medición.....	40
Ilustración 3-18:	Posición de micrófonos y distancias.....	41
Ilustración 3-19:	Modelo de causalidad de accidentes.....	44
Ilustración 3-20:	Tubo de impedancia acústica.....	45
Ilustración 3-21:	Banco de pruebas tubo de impedancia.....	46
Ilustración 3-22:	Banco de pruebas-tubo de impedancia	47
Ilustración 3-23:	Pasos preliminares para el uso del tubo de impedancia acústica.....	47
Ilustración 3-24:	a) conexión DAQ-micrófonos; b) conexión micrófonos-tubo de impedancia c) iniciar LabVIEW y Matlab	48
Ilustración 3-25:	Interfaz diseñada para las mediciones	49
Ilustración 3-26:	Interfaz LabVIEW y Matlab	50
Ilustración 3-27:	Interfaz Block Diagram, Ingreso a la instrucción DAQ ASISTANT.....	50
Ilustración 3-28:	Ventana de trabajo, selección tipo analógica, presión de sonido.....	51
Ilustración 3-29:	Indicador gráfico de datos de presión de sonido vs tiempo.....	51
Ilustración 3-30:	Diagrama de bloques LabVIEW.....	52
Ilustración 3-31:	Puesta en marcha del analizador.....	53
Ilustración 3-32:	Ingreso de datos para muestreo.....	54
Ilustración 3-33:	Puesta en marcha a Matlab	54
Ilustración 3-34:	Presentación de las curvas de impedancia vs frecuencia.....	55
Ilustración 3-35:	Estructura del FAME.....	56
Ilustración 3-36:	Tubo de impedancia acústica de acero inoxidable.....	61
Ilustración 4-1:	Bloque.....	75
Ilustración 4-2:	Ladrillo	76
Ilustración 4-3:	Cerámica (Baldosa)	76
Ilustración 4-4:	Impedancia vs Frecuencia micrófono 1	77
Ilustración 4-5:	Impedancia vs frecuencia micrófono 2.....	79

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CHECK LIST DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA OPERAR EL TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA
- ANEXO B:** FORMATO DE HISTORIAL DE AVERÍAS
- ANEXO C:** FORMATO DE PLAN ANUAL DE MANTENIMIENTO
- ANEXO D:** DIAGRAMA DE BLOQUES UTILIZADO EN LAB VIEW
- ANEXO E:** ILUSTRACIÓN DE LA PRESIÓN DEL SONIDO PARA BLOQUE, LADRILLO Y CERÁMICA A FRECUENCIAS DE 500 HZ
- ANEXO F:** CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO EN MATLAB ÚTIL PARA LOS TRES MATERIALES A ESTUDIAR

RESUMEN

El tubo de impedancia acústica al ser un equipo nuevo en el Laboratorio de Materiales no cuenta con un manual de operación y mantenimiento, ocasionando que tenga un mal manejo y mantenimiento inadecuado, tampoco hay registros que contengan partes principales, características, operación, control, seguridad e historial de averías, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue elaborar un manual de operación y de mantenimiento del tubo de impedancia acústica del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica ESPOCH. La metodología fue obtener información inicial de las partes principales del módulo de pruebas para posteriormente evaluar el estado técnico de cada una de ellas, por lo cual se utilizó un analizador de vibraciones VibraCheck que determinó la frecuencia natural y se verificó que el dispositivo es útil y confiable para los ensayos que se realicen. Se ubicó el equipo en un área adecuada tomando en cuenta las dimensiones del laboratorio, además se revisó ciertos parámetros de seguridad que los estudiantes deben tomar en cuenta. Se diseñó un manual de operación en el cual se especificó los pasos necesarios para el correcto funcionamiento y un manual de mantenimiento que aseguró la disponibilidad y confiabilidad operativa del equipo. Se realizó un análisis de criticidad para facilitar la toma de decisiones. Mediante esta metodología se logró crear una guía para el uso y mantenimiento del tubo de impedancia acústica, además se realizó una programación en LabVIEW y Matlab que cuenta con parámetros que se van modificando para el uso de ensayos, posterior a ello se realizó el análisis de los ensayos realizados a los distintos materiales. En ese contexto se concluye que, se implementó un manual de operación que detalla los pasos a seguir de manera consecutiva y precisa, optimizando los procesos y evitando la inadecuada manipulación del mismo.

Palabras clave: <MANUAL DE OPERACIÓN> <MANUAL DE MANTENIMIENTO>
<IMPEDANCIA ACÚSTICA> <ANÁLISIS DE CRITICIDAD> <HISTORIAL DE AVERÍAS>

0726-DBRA-UT-2024

A blue ink signature is written over a rectangular official stamp. The stamp contains the text 'FACULTAD DE MECÁNICA' and 'ESPOCH' in a stylized font.

ABSTRACT

The acoustic impedance tube, as a new equipment in the Materials Laboratory, has no operation and maintenance manual, resulting in inappropriate handling and maintenance, there are no records that contain main parts, characteristics, operation, control, safety and history of failures, therefore, the objective of this research was to develop an operation and maintenance manual of the acoustic impedance tube of the Materials Laboratory of Faculty of Mechanics at ESPOCH. The methodology consisted in obtaining initial information of the main parts of the test module to then evaluate the technical status of each one of them, therefore, a VibraCheck vibration analyzer was employed to determine the natural frequency and to verify that the device is useful and reliable for the tests to be carried out. The equipment were located in a suitable area taking into account the space available in the laboratory, and some safety parameters that the students should take into account were also analyzed. A manual of operation was designed in which the essential steps for the correct operation were detailed, as well as a maintenance manual that ensured the availability and operational reliability of the equipment. A criticality analysis was designed to facilitate decision-making. With this methodology it was possible to elaborate a guide for the use and maintenance of the acoustic impedance tube, in addition, a programming in LabVIEW and Matlab was performed, with parameters that are modified for the use of tests, after that, the analysis of the tests performed to the different materials was carried out. In that context, it is concluded that an operation manual was applied, detailing the steps to follow in a consecutive and precise way, optimizing the processes and avoiding the inappropriate manipulation of the equipment.

Key words: <OPERATION MANUAL> <MAINTENANCE MANUAL> <ACOUSTIC IMPEDANCE> <CRITICALITY ANALYSIS> <DAMAGE HISTORY>



Mgs. Mónica Paulina Castillo Niama

C.I. 060311780-5

INTRODUCCIÓN

Mediante el Trabajo de Integración Curricular denominado “Utilización de un tubo de impedancia basado en la norma UNE EN-ISO 10534-2 para la determinación del coeficiente de absorción acústica para materiales aislantes, aplicados en actividades de mantenimiento”, del autor Jimmy Leonel Aguinda Criollo realizado en el año 2022, estableció una metodología para la construcción del tubo de impedancia acústica según los parámetros especificados en la norma. El cual será de mucha utilidad en el área del mantenimiento, el equipo se encuentra en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

Es esencial que el sistema pueda medir la presión acústica en dos puntos de micrófono diferentes y calcular la función de transferencia "H" entre ellos. Además, se recomienda que el rango dinámico del analizador sea de al menos 65 dB.

La longitud de onda es la separación entre dos puntos de la onda en fase. La distancia entre dos máximos o mínimos consecutivos de la onda, la longitud de onda y la frecuencia son magnitudes inversamente proporcionales. Las ondas de sonido audibles tienen una longitud de onda entre menos de 2 y alrededor de 17 cm.

El sonido es una perturbación que se propaga en el aire. Imaginamos un tubo lleno de aire con un pistón en un extremo. Dentro del tubo hay muchas pequeñas partículas de aire. Al principio, el aire en el tubo no se mueve, o, en términos técnicos, está en equilibrio. El equilibrio es dinámico, las moléculas se mueven caóticamente en todas direcciones debido a la agitación térmica, y están homogéneamente repartidas en el tubo.

La absorción acústica es la conversión de energía de una onda sonora en energía térmica. Cuando una onda acústica llega a un material, parte de su energía es reflejada, otra parte es absorbida como energía calorífica, y el resto la atraviesa. La cantidad de energía que se convierte en calor varía según la capacidad de absorción de sonido del material.

El coeficiente de absorción acústica expresa las propiedades absorbentes de sonido de un material en diferentes frecuencias. El coeficiente de absorción acústica se calcula como la proporción de energía sonora absorbida y la energía sonora incidente. Es sin dimensiones y va de 0 (reflexión total) a 1 (absorción total).

El empleo de un manual de operación y mantenimiento ayuda a proteger y conservar los elementos del equipo llamado tubo de impedancia, disminuyendo costos y aumentando su vida útil y de trabajo de manera eficiente para los ensayos que se realizaran con el mismo.

Los manuales de operación y mantenimiento se fundamentan en varias normativas a tomar en cuenta para su posterior implementación, con lo cual se ha logrado a través del tiempo un correcto uso y funcionamiento de sistemas, equipos y herramientas, empeladas en distintas áreas, como la construcción, diseño y fabricación de elementos de máquinas entre otros.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

Este capítulo aborda el origen, importancia y alcances del problema.

1.1. Planteamiento del problema

El actual módulo de pruebas al ser un equipo nuevo en el laboratorio no cuenta con un manual de operación y mantenimiento en el cual se establecerán parámetros para su correcto manejo por parte de los estudiantes.

Se deberá utilizar la normativa adecuada ya que en todo equipo, máquina o instrumento a lo largo de su operación sufrirá cambios inevitables sin importar la perfección del diseño, de los materiales empleados en su fabricación y de la tecnología de su producción, si su manejo y mantenimiento es el inadecuado; por lo cual es necesario contar con un manual básico que contenga partes principales, características, operación, control, seguridad, historial de averías y registros para un monitoreo adecuado de dichos implementos.

Se necesitará determinar los materiales necesarios para poder realizar las pruebas suficientes, éstos podrán ser de materiales metálicos y no metálicos. Implementar un manual de mantenimiento que permita proteger y conservar al equipo de manera óptima con el uso de procedimientos concretos y adecuados

1.2. Justificación

El fenómeno del sonido consiste en oscilaciones de presión que viajan a través de un medio, ya sea fluido, gaseoso o sólido. Estas oscilaciones se extienden en forma de ondas a la velocidad del sonido, que depende del medio a través del cual se propagan. En los gases, la velocidad del sonido a 20°C es de aproximadamente 343 m.s⁻¹, mientras que a la misma temperatura y en agua, la velocidad del sonido toma un valor aproximado de 1.482 m.s⁻¹. En el caso del acero, alcanza valores de alrededor de 5.960 m.s⁻¹.(Torner, 2018, pág. 3)

Con la elaboración del tubo de impedancia bajo la norma UNE-EN ISO 10534-2, ésta sirve también para la “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica

en tubos de impedancia”, se busca estudiar la precisión de absorción acústica y la impedancia acústica de diferentes materiales porosos.

En relación a la precisión del método se ha analizado si la preparación e instalación de la muestra son causas de imprecisión. Para ello, se han realizado varios ensayos con dos tipos de materiales acústicos, con el fin de estudiar la dispersión entre los resultados que produce tanto el corte de la muestra, realizado en el proceso de confección, como su colocación en el tubo de impedancia.

Además, se ha estudiado si desviaciones en la medida de la temperatura y de la distancia entre los micrófonos influyen en los valores del coeficiente de absorción acústica medido y de su incertidumbre asociada. Puesto que el resultado de un ensayo únicamente se halla completo cuando está acompañado de una declaración acerca de la incertidumbre de dicho resultado. (Sarabia, 2014, pág. 4)

Los materiales de construcción están constituidos por una estructura que configura una elevada cantidad de intersticios o poros, comunicados entre sí. Los materiales de estructura fibrosa se ajustan exactamente a esta configuración. Al incidir una onda acústica sobre la superficie del material, un importante porcentaje de la misma penetra por los intersticios; haciendo entrar en vibración a las fibras, con lo que se produce una transformación en energía cinética de parte de la energía acústica.

Los materiales de construcción y los revestimientos tienen propiedades absorbentes muy variables. A menudo es necesario, tanto en salas de espectáculo como en estudios de grabación y monitoreo, realizar tratamientos específicos para optimizar las condiciones acústicas.

Ello se logra con materiales absorbentes acústicos, que son todos aquellos materiales o sistemas que disponen de elevados coeficientes de absorción sonora en todo o en parte del espectro de frecuencias audibles. Como quiera que la sección que dispone la onda acústica está limitada por el esqueleto o elemento sólido; se comprende que el comportamiento del material dependerá de la porosidad del mismo. Efectivamente, la elevada absorción acústica de los materiales constituidos por fibras de vidrio o roca es explicable a su elevada porosidad que puede rebasar el 99%. (Conesa, 2018, pág. 8)

Los materiales absorbentes acústicos son útiles para controlar la energía que hay en el interior de una sala. Mientras que los aislantes acústicos son recomendables para reducir la energía que se transmite. Esta es la principal característica de cada uno para poder diferenciarlos y utilizarlos siempre que sea necesario.

Por lo que, a la hora de hablar de los distintos materiales se encuentra con que los absorbentes acústicos suelen englobar materiales de baja densidad, ligeros y flexibles. Es así cómo se caracterizan principalmente y las cualidades que permiten distinguirlos respecto a otros. Algunos ejemplos de absorbentes acústicos son las fibras minerales (ladrillo o cerámica), las espumas acústicas (melamina o poliuretano), los textiles (algodón o poliéster); éstos son algunos de los más frecuentes cuando se habla de este tipo de materiales.

Por otro lado, los aislantes acústicos son, por el contrario, materiales pesados, de gran densidad y rigidez. En este punto se destaca elementos como los materiales de construcción tipo hormigón, cerámica, metales, yeso, madera, por lo que ya son de otro tipo más diferenciado que en el caso de los absorbentes. (Wilson, 2002, pág. 7)

Para poder mantener operativo todo equipo debe contar con un manual de mantenimiento y algunos otros procedimientos que podrán ser útiles para estos fines. El mantenimiento es toda acción que tiene como objetivo mantener la funcionalidad del sistema durante su vida operativa.

Estas acciones incluyen la combinación de acciones técnicas y administrativas correspondientes, con la finalidad de cumplir con las funciones para la cual fue proyectada con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizada en condiciones de seguridad adecuadas.

Para el diseño de un manual de operación y mantenimiento es necesario determinar las funciones específicas de cada componente y cómo afectará un mal uso de los mismos en la toma de datos y los estudios a realizar con el presente módulo de pruebas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Elaborar un manual de operación y de mantenimiento del tubo de impedancia acústica del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica ESPOCH

1.3.2. Objetivos específicos

Desarrollar un procedimiento metodológico para elaborar manuales de operación y mantenimiento para el tubo de impedancia acústica, mediante la revisión de trabajos de investigación, estudios previos realizados y bibliografía específica.

Generar un manual de operación en el que se establezcan los pasos a seguir para poner en funcionamiento el tubo de impedancia acústica, de manera que los usuarios puedan aprovecharlos de forma adecuada.

Desarrollar un manual de mantenimiento del tubo de impedancia acústica, en el que se especifiquen las actividades necesarias para su realización.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se examinan definiciones de temas y conceptos relevantes que contribuyen al avance y entendimiento del proyecto.

2.1. Manual de operación

Un manual de operación es un texto que proporciona instrucciones sobre qué acciones realizar y cómo llevarlas a cabo. Para elaborarlo correctamente, es importante seguir los siguientes cinco pasos de manera adecuada. Estos pasos permitirán abordar de forma sistemática y secuencial todo lo necesario para su utilización y aplicación (Acurio, 2017 pág. 6)

Un manual de operación tiene como finalidad orientar a los estudiantes en funcionamiento de un equipo, específicamente el tubo de impedancia acústica, un manual de operación se basa en y se diseña siguiendo algunos aspectos a tomar en cuenta, dependiendo del equipo y su función.

Según PyMe (2013, pág. 4), se establecen los elementos que deben incluirse en un manual de operación:

- Cada manual debe incorporar la información fundamental, como una portada identificativa con el nombre del procedimiento a detallar y el logotipo de la empresa.
- Es esencial establecer un objetivo claro, ya que la secuencia de los procedimientos conduce a una meta específica.
- Se debe designar claramente a los responsables de cada tarea a realizar.
- Las actividades deben ser descritas de manera precisa, es decir, explicar de forma clara los procedimientos.
- Para realizar un seguimiento de las acciones, es necesario desarrollar formatos, documentos o sistemas que detallen las acciones realizadas y las que aún faltan por realizar. Estos elementos deben ser incluidos en el manual.
- Es posible integrar diagramas de flujo que muestren la secuencia de las actividades a lo largo del procedimiento, lo que proporcionará una mejor comprensión de los procesos en curso.

El propósito de un manual de operación es servir como un documento orientativo para asegurar que al concluir un período, una auditoría de calidad pueda verificar si los procedimientos fueron llevados a cabo conforme a lo establecido (Pyme, 2013, pág. 5).

2.2. Operación

Se trata de una serie de acciones realizadas de manera organizada con el propósito de iniciar el funcionamiento de un equipo para que logre cumplir con su objetivo previsto, y para detener su operación una vez que el proceso haya concluido.

Hay varias técnicas disponibles para establecer el procedimiento de operación de un equipo, como Tablas, listas de instrucciones y diagramas de flujo. Para ciertos equipos, es posible seguir las indicaciones proporcionadas por los fabricantes. Es esencial determinar las actividades para la operación y puesta en marcha del equipo de manera secuencial, ya que esta es la forma más efectiva de prevenir fallas o usos incorrectos del mismo (Acurio, 2017 pág. 6).

2.2.1. Proceso

Un proceso se caracteriza por ser una serie de actividades o acciones coordinadas e interconectadas que buscan alcanzar un resultado específico y previamente establecido. Este resultado se logra mediante la contribución organizada y colaborativa de todos los involucrados en el proceso. Usualmente, se representa visualmente mediante un diagrama de flujo (Corrales, 2016 pág. 16).

- Un proceso correctamente definido se compone de las siguientes componentes:
- **Objetivo:** Es la meta general que se logra a través de la implementación del proceso.
- **Entradas:** Representan el conjunto de equipos, materiales y documentos utilizados para iniciar el proceso.
- **Actividades:** Son las acciones realizadas para agregar valor al proceso y obtener sus resultados.
- **Recursos:** Incluyen los elementos, tanto tangibles como intangibles, necesarios para llevar a cabo las actividades del proceso.
- **Salidas:** Consisten en los equipos, materiales y documentos generados como resultado del proceso, los cuales deben cumplir con el objetivo general del mismo.

La categorización de los procesos puede visualizarse en la Ilustración 2-1

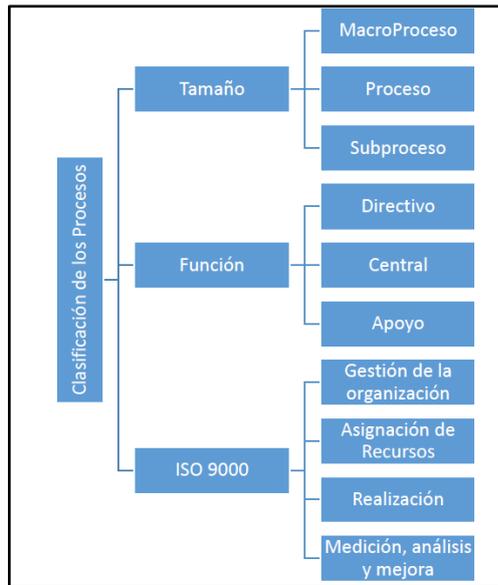


Ilustración 2-1: Clasificación de los procesos

Fuente: Corrales, 2016.

2.3. Generalidades de pruebas en los equipos

Las pruebas son un grupo de actividades que permiten determinar o evaluar el estado de un equipo o los elementos que lo conforman. Cabe mencionar que es importante normativa e indicaciones presentada por el fabricante de dicho equipo (Pyme, 2013, pág. 6).

Existe un sin número de clasificaciones para las pruebas, cómo se muestra en la Ilustración 2-2.

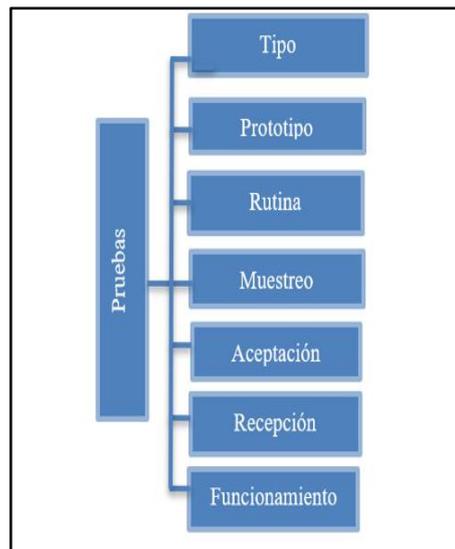


Ilustración 2-2: Organigramma tipos de pruebas

Realizado por: Colcha, D., 2023.

En ningún caso se podrán realizar pruebas destructivas sobre el equipo ya que se debe considerar las restricciones puestas por el fabricante de cada uno de los elementos que conforman el tubo de impedancia.

Es posible llevar a cabo pruebas que van desde una simple inspección visual hasta un completo análisis mediante megado de un cable. Las pruebas básicas no requieren cuidados adicionales y pueden realizarse de manera sencilla. Sin embargo, hay numerosas pruebas más complejas que demandan personal capacitado y suficiente para su realización, y deben seguir una metodología aprobada según las normativas correspondientes.

El propósito de llevar a cabo pruebas es confirmar que un equipo o sus componentes funcionan adecuadamente. Es fundamental asegurarse de que las pruebas no perturben el funcionamiento normal del equipo ni representen riesgos para el personal encargado de realizarlas (PyMe, 2013).

2.4. Generalidades de levantamiento de procesos

El análisis de procesos es una herramienta de gestión administrativa que facilita la adecuada administración de las operaciones y el mantenimiento de un tubo de impedancia acústica.

2.5. Manual de seguridad

Se trata de un conjunto de medidas y enfoques que contribuyen a la prevención y gestión de accidentes laborales y enfermedades ocupacionales. Vale la pena destacar que los manuales de seguridad describen una serie de actividades planificadas para asegurar la seguridad del personal. Por consiguiente, es fundamental fomentar la conciencia sobre la identificación de riesgos, la prevención de accidentes y las enfermedades profesionales en todas las áreas de trabajo (Monterroso, 2007, pág. 26).

2.5.1. Seguridad

Involucra todas las acciones destinadas a evitar daños o peligros. Es crucial considerar el correcto funcionamiento del equipo, dado que su uso incorrecto puede poner en riesgo a los usuarios, especialmente cuando se trata de estudiantes con poca experiencia en la operación de los equipos o que los utilizan por primera vez, lo que aumenta su vulnerabilidad y, por ende, su riesgo. Así pues, la responsabilidad recae en los docentes técnicos, quienes tienen la tarea de supervisar todas las actividades llevadas a cabo en el laboratorio y asegurarse de que los estudiantes realicen sus prácticas de manera segura.

2.5.2. *Prevención*

Estas acciones engloban todas las medidas para evitar que ocurran accidentes, ya que constituyen el fundamento de la seguridad al anticiparse a las posibles causas de accidentes e implementar medidas para reducir su riesgo, e idealmente eliminarlo (Acurio, 2017 pág. 6).

2.5.3. *Peligro*

Se refiere a cualquier factor que pueda causar daño a una persona, por lo que es necesario identificarlo y evaluarlo para aplicar medidas preventivas y evitar que represente un riesgo para individuos, empresas o instituciones (Acurio, 2017 pág. 7).

2.6. **Mantenimiento**

Conforme a la normativa UNE EN 13306, se entiende por mantenimiento la amalgama de todas las intervenciones técnicas, administrativas y de gestión a lo largo del ciclo de vida de un ítem, con el propósito de conservarlo o restituirlo a un estado en el cual pueda cumplir con la función requerida.

2.6.1. *Tipos de mantenimiento*

La norma UNE EN 13306:2011, realiza la siguiente clasificación de los tipos de mantenimiento como se muestra en la Ilustración 2-3.

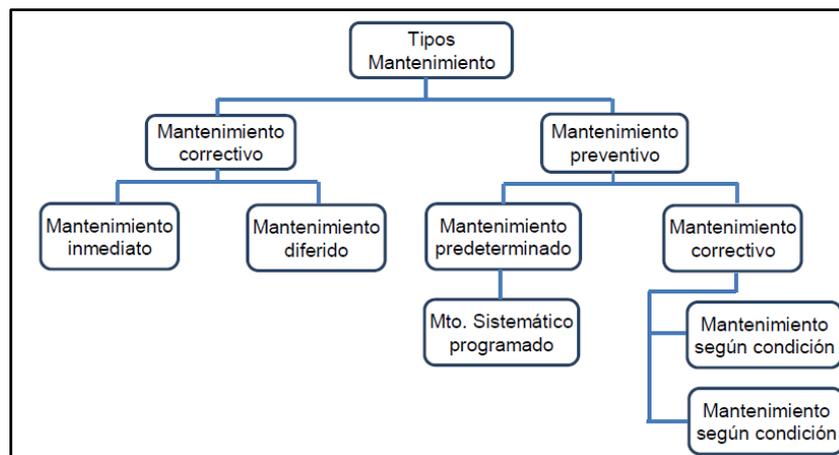


Ilustración 2-3: Organigrama tipos de mantenimiento

Fuente: UNE EN-13306, 20011.

2.6.2. Manuales de mantenimiento

Son documentos indispensables para la ejecución de un correcto mantenimiento, con lo cual se busca dar un mejor manejo, prolongar la vida útil del equipo, y en él se encuentra información importante como: (Mejía, 2018 pág. 20)

- Fichas técnicas: codificación técnica, características generales, datos de la máquina, partes principales.
- Procedimiento para seguir: Descripción detallada paso a paso de la manera aconsejada de operación.
- Banco de tareas de mantenimiento: Tareas de mantenimiento que se debe realizar, frecuencia de operación, materiales y herramientas necesarias para la aplicación de la tarea.
- Tablas: indicativas de fallas, posibles causas y soluciones.

En los manuales de mantenimiento se resumen todos los documentos generados para el desarrollo de mantenimiento individual del equipo, como de la planta o de los equipos que funcionen en un conjunto (Mejía, 2018 pág. 20).

2.7. Tubo de impedancia acústica

Los tubos de impedancia son dispositivos utilizados para investigar y adquirir información sobre las características acústicas de los materiales sometidos a prueba. A través de estos ensayos, es posible determinar la impedancia acústica y el coeficiente de absorción de diversos materiales bajo condiciones normales de incidencia, en relación con la frecuencia y la presión del sonido.

Tiene una guía de línea, mostrando una línea recta y continua donde se unen las paredes duras y lisas, no debe haber agujeros en ninguna parte del producto, este dispositivo se lo puede fabricar en acero inoxidable con lo cual se puede evitar corrosión y con ello malas mediciones y ensayos inadecuados.

2.7.1. Componentes

Se debe tomar en cuenta la siguiente estructura, para cumplir con la normativa, usando la norma UNE EN ISO 10534-2 siendo ésta la más actualizada, referente con el diseño y construcción de tubos de impedancia, la norma habla de los elementos que forman parte importante para su uso, siendo elementos específicos con los cuales se podrá trabajar de manera adecuada y siguiendo los

pasos para llegar a los resultados esperados. El ensamblaje del equipo se muestra en la Ilustración 2-4.

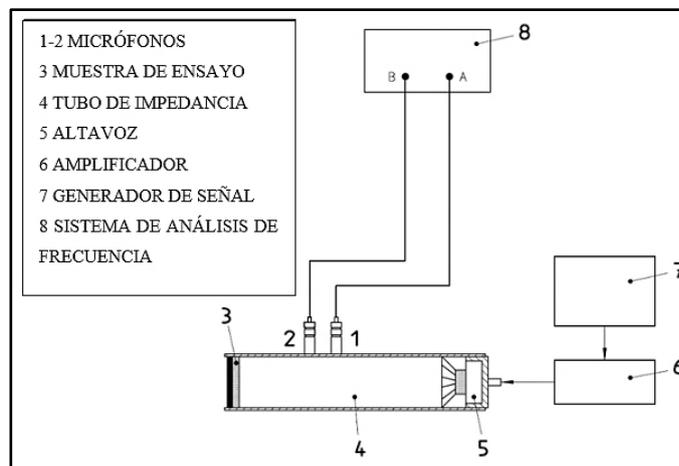


Ilustración 2-4: Equipos que conforman el tubo de impedancia

Fuente: Standard, 2018.

2.7.2. Características del tubo de impedancia

ASTM C384:98 proporciona pautas para los factores, tanto de medición y absorción de sonido de diferentes materiales cuando el tubo de resistencia funciona normalmente, siendo las pruebas más concretas, un ensayo basado en ultrasonido como también determinando la impedancia generada en el interior del dispositivo.

Para que las pruebas sean analizadas de una manera muy adecuada y así tener consideraciones específicas de las mismas, se usan diversos modelos matemáticos los cuales al ingresarlos en la programación adecuada permitirán generar las señales de presión y de frecuencia necesarios.

Este método permite medir las propiedades de absorción de los materiales utilizando muestras en un método reproducible rápido y simple (Castañeda et al, 2004, pág. 3).

Básicamente, el dispositivo (tubo de Kundt) está equipado con un parlante que genera ondas de sonido que se propagan dentro del tubo y son reflejadas por la muestra que se examina; la diferencia de fase de las ondas que se originan en la muestra y se reflejan dentro del tubo, provoca un patrón de onda estacionaria, cómo se muestra en la Ilustración 2-5 (Flores, 2016, pág. 12. En el tubo si se refleja el 100% de la onda incidente, las ondas incidente y reflejada tienen la misma amplitud; la presión en el nodo de la tubería es cero y la presión en el nodo opuesto es el doble (Flores, 2016, pág. 7).

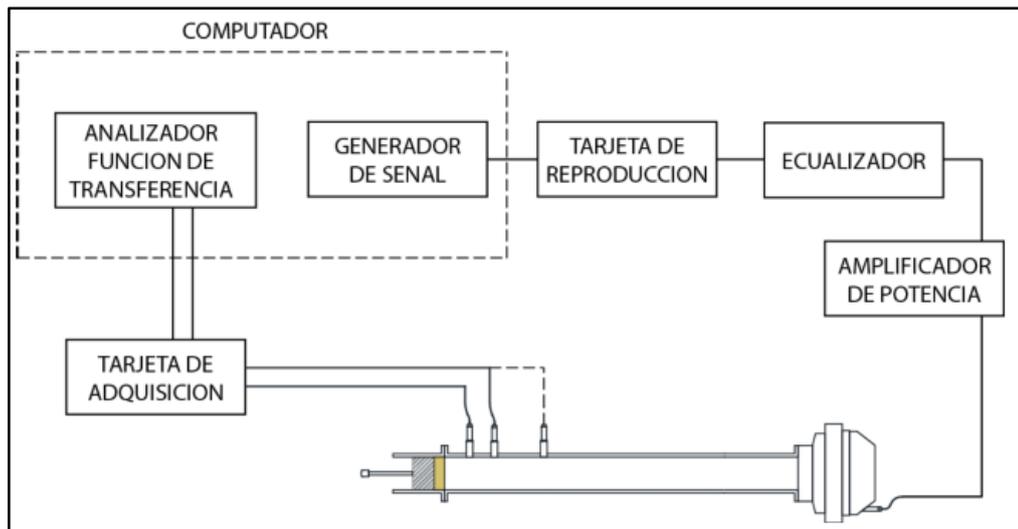


Ilustración 2-5:Equipos de instrumentación

Fuente: Flores, 2016.

2.8. Aislantes

Los aislantes funcionan como métodos de protección para locales o viviendas, logrando controlar el clima y confort dentro de los mismos. Por confort se entiende a la necesidad de una vivienda o local que otorgue comodidad al usuario (Aguinda, 2022, pág. 26).

2.8.1. Aislamientos térmicos y acústicos

Para aislar los elementos acústicos y térmicos se utilizan materiales similares, por lo que el estudio de este tipo de materiales se realiza de forma similar. Mediante el uso de aislantes acústicos, se pretende reducir el nivel de ruido gracias a los numerosos materiales utilizados como barreras (Aguinda, 2022, pág. 34).

El acondicionamiento acústico de un entorno implica garantizar que el sonido de una o más fuentes se emita uniformemente en todas las direcciones, mientras se captura el campo de sonido difuso ideal. Con ello se pretende mejorar las condiciones acústicas del sonido y aumentar el confort acústico dentro de la instalación (Aguinda, 2022, pág. 21).

Resonancia: La resonancia es el medio de absorción de las ondas sonoras. La circulación resonante de una porción del régimen extrae energía del campo de sonido selectivamente, y afecta un rango de frecuencia específico. Como por ejemplo en la Ilustración 2-6 de un resonador de membrana (Aguinda, 2022, pág. 32).

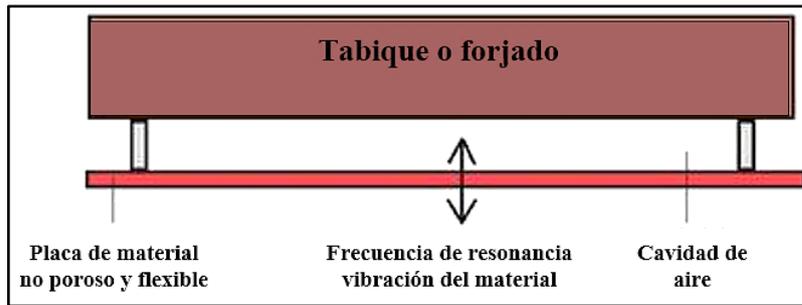


Ilustración 2-6: Ejemplo de resonador de membrana

Fuente: Aguinda, 2022.

En el caso de las partes móviles correspondientes a éstos, viene determinado por el aire atrapado en el cuello, el espacio en el que se produce el contacto con la cámara posterior, que actúa como materiales elásticos o resortes, en la zona de la acústica, como se muestra en la Ilustración 2-7 (Aguinda, 2022, pág. 10).

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{LV}}$$

Ecuación 2-1. Cálculo de la frecuencia de resonancia

Donde:

c = Velocidad del sonido en el aire

S = Área de la sección transversal del resonador

L = Longitud efectiva del cuello del resonador

V = Volumen de la cavidad

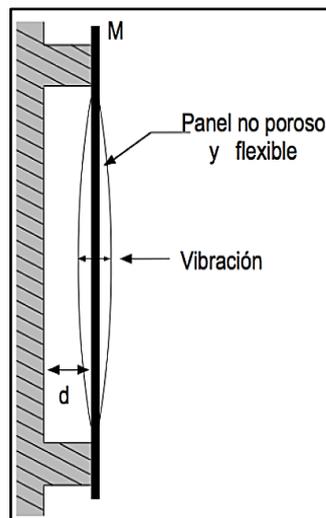


Ilustración 2-7: Esquema de un resonador

Fuente: Aguinda, 2022.

2.9. Acústica

Es similar a un campo de estudio que se enfoca en el fenómeno del sonido. Implica la recepción de ondas sonoras en el entorno, su propagación a través de materiales, transmisión y almacenamiento, así como diversas aplicaciones tecnológicas asociadas. Este campo de estudio constituye una disciplina que demanda la colaboración y acción de múltiples expertos (Aguinda, 2022, pág. 5).

2.9.1. Impedancia acústica

Está íntimamente relacionado con la resistencia del aire, expresada como lo contrario de las ondas transmitidas, y se define como la presión que acompaña al sonido a determinadas velocidades de las partículas. Esta resistencia generalmente se denota por z y p es la presión (Aguinda, 2022, pág. 4).

$$Z = \frac{P}{V}$$

Ecuación 2-2. Cálculo de la impedancia acústica

2.9.2. Admitancia

Es la resistencia entre las ondas creadas por el sonido, si también se les permite viajar entonces la permeabilidad en este caso se define como la inversa. La admitancia desempeña un papel fundamental en la evaluación y desarrollo de circuitos de corriente alterna, siendo aplicada en una amplia gama de contextos, tales como:

- Evaluación de Circuitos: Contribuye al análisis de cómo responde un circuito a distintas frecuencias, aspecto crucial en sectores como las telecomunicaciones.
- Diseño de Filtros: La utilización de admitancia en el diseño de filtros permite el paso o bloqueo de determinadas frecuencias, aplicable en dispositivos como radios, televisores y otros equipos electrónicos.
- Gestión de Energía: En la administración y control de sistemas de energía, la admitancia desempeña un papel esencial para mantener la eficiencia y estabilidad del sistema.

2.9.3. El sonido

Es la capacidad de escuchar ondas de sonido, generalmente causadas por vibraciones en el aire, asociadas con la expansión y la percepción. Esta vibración se propaga a través del medio elástico,

liberando la presión y vibración de las partículas, que normalmente es detectada por varios instrumentos y el oído humano. El sonido es energía mecánica no transportable (Aguinda, 2022).

2.9.3.1. Propiedades del sonido

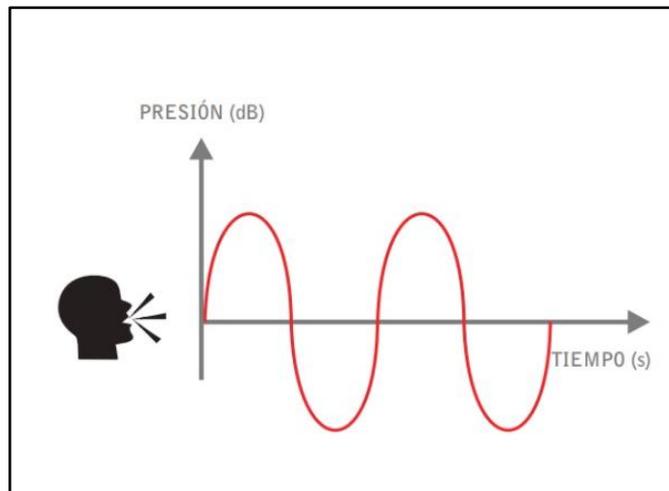


Ilustración 2-8: Propiedades del sonido

Fuente: Aguinda, 2022.

Como se observa en la Ilustración 2-8, en un sistema de referencia entre presión de sonido y tiempo los cuales nos brindaran información sobre la presión de sonido para estimar el movimiento, una onda debe tener las siguientes propiedades:

Inercia: Es una de las propiedades radiactivas de una serie de movimientos de volumen y densidad. La resistencia que introduce un elemento al cambiar de dirección o estado de movimiento se llama fuerza de inercia. Al mismo tiempo, en mecánica, la suma de los productos obtenidos al multiplicar la masa de cada elemento del objeto por el cuadrado de la distancia al eje de rotación se llama momento de inercia.

Elasticidad: Corresponde a las propiedades producidas por las fuerzas existentes en la posición de equilibrio que permiten la deformación de los objetos por acciones externas o internas producidas por otros objetos. (Aguinda, 2022, pág. 4)

El aire consta de elementos con dos propiedades que se pueden obtener de antemano para propagar ondas sonoras que contienen masas correspondientes a la densidad y la elasticidad y que se pueden comprimir de nuevo a su estado normal. La velocidad del sonido depende del tipo de medio por el que viaja. La Tabla 2-1 se muestra la velocidad del sonido para diferentes medios de transmisión (Aguinda, 2022, pág. 3).

Tabla 2-1: Velocidad del sonido por diferentes medios

Medio de transmisión	Velocidad del sonido (m/s)
Agua 25°C	1943
Agua templada	1400
Acero	5100
Aire	340
Placa de yeso	2400
Madera	2500
Ladrillo cerámico	2700
Hormigón	3400
Vidrio	4900
Aluminio	5100
Hierro	5130

Fuente: Lancerio, 2015.

Realizado por: Colcha, D., 2023.

2.9.3.2. Origen y difusión del sonido

Las ondas usualmente surgen de perturbaciones, pero oscilan cerca de su posición de equilibrio. La transmisión del ruido se define como la propagación de ondas sonoras que generan vibraciones necesarias para el estudio. La vibración ocurre cuando la superficie exterior de la membrana está en contacto con el tambor. En el caso de las membranas, se desprenden y más partículas de aire llegan a la superficie donde se acumulan y forman zonas de compresión, mientras que, por el contrario, las ondas tienden a propagarse. (Aguinda, 2022)

En el caso de las ondas de sonido longitudinales, se observa lo contrario en comparación con las ondas electromagnéticas, donde las señales suelen generarse en dirección perpendicular a la propagación de la onda, tal como se ilustra en la Ilustración 2-9.

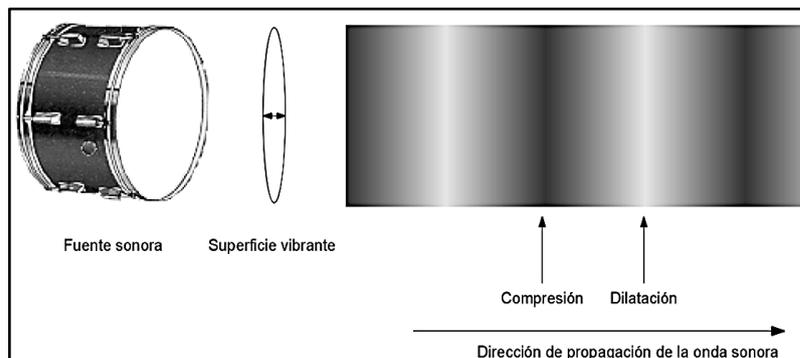


Ilustración 2-9: Propagación de una onda

Fuente: Carrión, 2001.

Un método comúnmente utilizado para describir cuantitativamente las dimensiones espaciales del sonido es la intensidad del sonido o la intensidad entre las ondas existentes se puede determinar con los cálculos y las leyes establecidas a continuación.

2.9.3.3. Velocidad

Corresponde a la relación entre elasticidad y densidad, que se ve afectada por el proceso de migración. Por supuesto, existen dos tipos de bebidas espirituosas según el valor correspondiente a la presión estática de la atmósfera, dado como P0, que representa la temperatura. Tenga en cuenta que la velocidad depende de la calidad. 345 m/s, como se muestra en la Ilustración 2-10. (Aguinda, 2022, pág. 7).

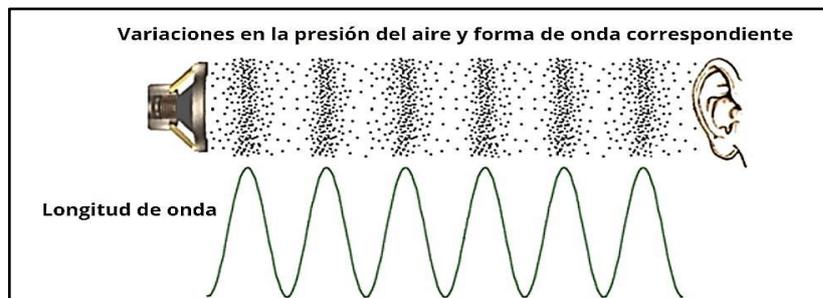


Ilustración 2-10: Velocidad del sonido

Fuente: Zapata, 2020.

Sabiendo que el aire es el principal medio de las ondas sonoras, cabe señalar que el sonido se puede transmitir a través de medios flexibles. En este caso, el terremoto se siente incluso antes de que se escuche el sonido del viento.

2.9.3.4. Ecuación para la velocidad del sonido

$$V = \sqrt{\frac{\text{propiedades elásticas}}{\text{propiedad inercial}}}$$

Donde la propiedad elástica es el módulo de compresibilidad B y la propiedad y la densidad ρ , de tal manera se brinda una ecuación que permite encontrar la velocidad del sonido necesario para los cálculos que se presentaran en el posterior estudio y análisis:

$$V = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Ecuación 2-3. Cálculo de la velocidad del sonido

Por último, otro factor importante es la temperatura, ya que el sonido viaja a través de gases como el aire, que es por donde se propagan la mayoría de las ondas. En un modelo de gas ideal, la relación B/p depende solo de la temperatura específica T .

2.9.3.5. Generadores de señal

Los tipos de síntomas se pueden dividir en varios tipos; A menudo producen sonidos y ondas, siendo las más comunes el blanco, el rosa y el marrón, donde a menudo se toman diferentes medidas sin una pista de radio (Aguinda, 2022, pág. 7).

2.9.4. El ruido

Corresponde a un sonido en el que los armónicos no superan la frecuencia armónica, y el tamaño de la amplitud determina la fuerza de la corrección. Permite que la vibración comience a funcionar.

Puede generar inconvenientes tanto sociales, físicos como también económicos con un sin número de efectos en las personas y sociedades que están en estrecho contacto con estos sonidos (Aguinda, 2022, pág. 4).

2.9.5. Tipos de ruido por su forma de transmisión

Ruido aéreo: Es uno de los sonidos más utilizados cuando viaja por el aire y las ondas que produce suelen chocar con otras superficies o zonas, provocando vibraciones y nuevos sonidos. Un ejemplo de ruido aéreo se muestra en la ilustración 2-11 (Aguinda, 2022, pág. 6).

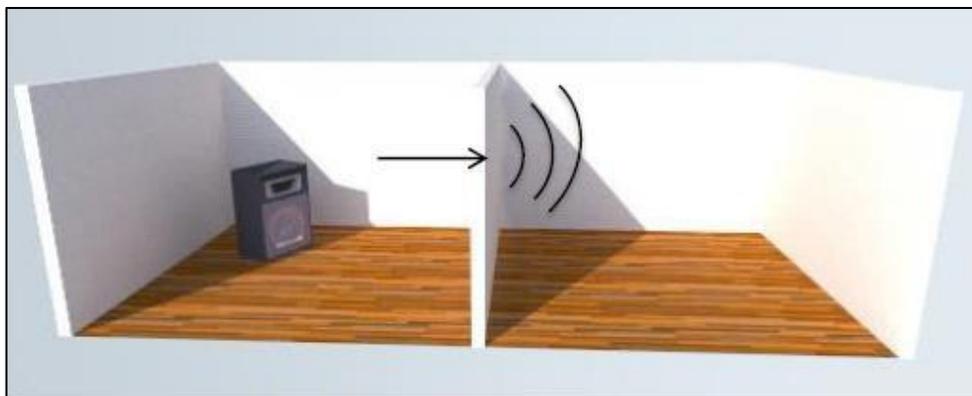


Ilustración 2-11: Ejemplo de ruido aéreo

Fuente: Lancerio, 2015.

Alto volumen: afecta el sonido en el espacio, especialmente el espacio del personaje, ya que causa vibración, por lo que el sonido depende del objetivo al que golpea, como podemos observar en la Ilustración 2-12. (Aguinda, 2022, pág. 6).



Ilustración 2-12: Ejemplo de ruido de impacto

Fuente: Lancerio, 2015.

2.9.5.1. Tipo de ruido por caracterización en frecuencia

Ruido blanco: Esto implica que existe una frecuencia inherente que es suave, lo que evita que la calidad se vea comprometida. El ruido blanco provoca que el umbral auditivo alcance su nivel máximo de sensibilidad. Como resultado, cuando se presentan estos sonidos de fondo, los estímulos auditivos más intensos tienen dificultades para activar completamente la corteza cerebral durante la fase de sueño (Aguinda, 2022, pág. 7).

Ruido rosa: La potencia relativa de la onda sonora se reduce en 3 dB. A menudo se utiliza como indicador acústico y debe separarse para medir la absorción acústica. ruido fuerte: En este caso, se puede decir que su volumen único puede estar por encima de los 5 dB. Este ruido solo se puede medir en motores o vehículos grandes. (Aguinda, 2022, pág. 12)

2.9.5.2. Reflexión

Como se muestra en la Ilustración 2-13, la sensación ocurre cuando las ondas sonoras viajan. Por separación de otro método. Signos planos, es decir Cohesión Fría en este caso, si las dimensiones son grandes, el sonido es igualmente visible, y al tocarlo se convierte en otras dos fuerzas: dispersos desde el centro y dispersos sobre el tema (Aguinda, 2022, pág. 18).

La superficie promedio es golpeada por ondas sonoras; a veces cuando la base se reduce por igual. Las ondas incidentes se reflejan y se propagan en diferentes direcciones. Las ondas suelen tener un área fija para reflejar el sonido (Aguinda, 2022, pág. 19). Tenga en cuenta que esto se debe a la duración del evento. Debe demostrarse cuando la base está conectada al tamaño de las ondas producidas (Aguinda, 2022, pág. 20).

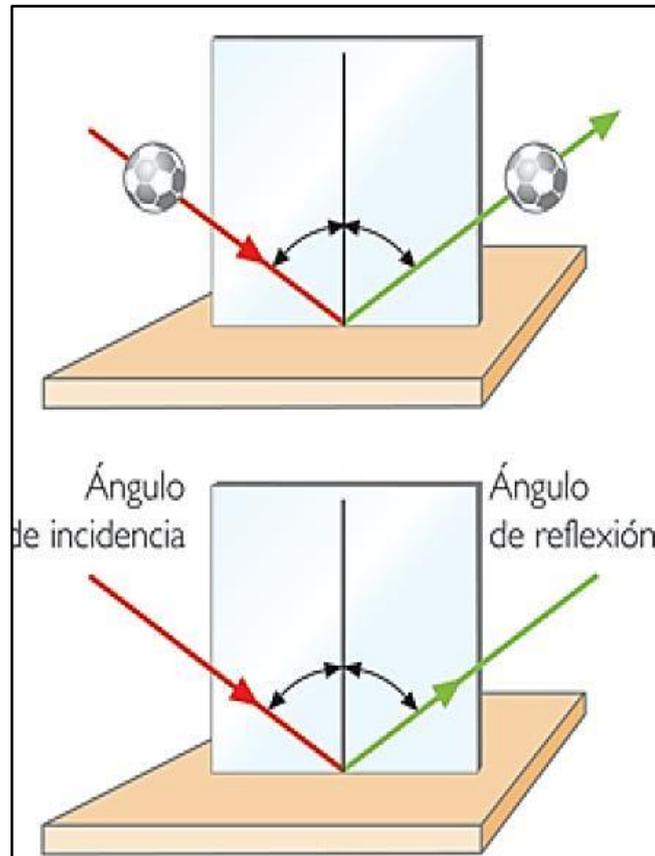


Ilustración 2-13: Reflexión de la onda respecto de la superficie

Fuente: Soto, 2012.

2.9.5.3. Reflexión regular

Esto ocurre cuando la onda incidente golpea una superficie plana y la onda incidente refleja la línea del plano.

2.9.5.4. Reflexión irregular

Esto depende de la superficie y la cantidad de irregularidades, por lo que las olas no se muestran de la misma manera que las olas entrantes, sino que se muestran en diferentes direcciones.

2.9.5.5. Onda mecánica

Responder a los errores utilizando objetos o ideas. Si la vibración es más ambiental, se debe usar más según el tipo de onda (Soto,2012, pág. 3).

2.9.5.6. Onda transversal

Estas son las partes de los escalones con las curvas que los hacen moverse. Repite en secuencia hacia arriba y hacia afuera con estos pasos, esto se hace siguiendo la dirección de la onda.

2.9.5.7. Onda longitudinal

Es la tasa de movimiento y la presión de movimiento en el medio. Al mismo tiempo, el movimiento de diferentes partes va y viene; se considera la propagación de ondas (Soto,2012, pág. 4).

2.9.6. Longitud de onda

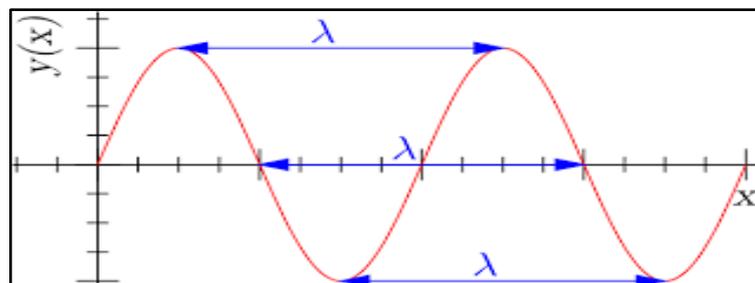


Ilustración 2-14: Longitud de onda

Fuente: Santander, 2022.

La longitud de onda es la separación entre dos puntos sucesivos de una onda que están en fase. Un ejemplo evidente es una onda con dos crestas adyacentes. Se representa por " λ " (lambda) y se mide en metros (Aguinda, 2022, pág. 10).

$$\lambda = c/f$$

Ecuación 2-4. Cálculo de la longitud de onda

Donde:

c: es la velocidad de onda

f: la frecuencia de la onda

La fórmula anterior corresponde a dos magnitudes diferentes, uno grande y uno pequeño. Las medidas son precisas y las ondas permitidas para cada persona varían de 2 cm a 17 metros, la longitud de onda puede ser utilizada de diversas maneras como también es importante y aplicable con la ley de reflexión y sobre todo la ley de Snell la cual permite determinar los ángulos de incidencia y reflexión de las ondas sonoras al contacto con las paredes (Soto,2012, pág. 11).

2.10. Ley de la reflexión

En la Ilustración, el lado izquierdo exhibe un frente de onda que está experimentando reflexión al incidir sobre una superficie plana. Mediante la aplicación del principio de Huygens, se puede demostrar que cuando un frente incidente forma un ángulo θ_i con la superficie reflectante, el frente de onda reflejado formará un ángulo θ_r que es igual a θ_i .

Se pueden determinar las ubicaciones exactas de las ondas en un momento dado, t , proyectando círculos con un radio igual a la velocidad de propagación de las ondas multiplicada por el tiempo t . Estos círculos se trazan con las fuentes secundarias de las ondas colocadas en diferentes localizaciones a lo largo del frente de onda inicial.

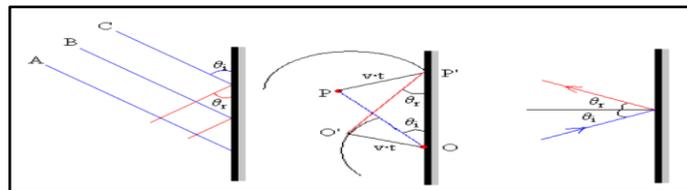


Ilustración 2-15: Reflexión de una onda sobre una superficie plana

Fuente: Schehu, 2019.

Las ondas secundarias que están ubicadas cerca del extremo superior A se moverán sin encontrar ningún obstáculo en su camino. El patrón general resultante generará un frente de ondas adicional que será paralelo al frente original y se ubicará a una distancia v multiplicada por el tiempo t .

Las ondas secundarias, las cuales se generan en el extremo inferior del frente de onda, impactan contra la superficie reflectante y, como resultado, cambian la dirección en la que se están moviendo.

La parte del frente de ondas reflejado se forma a partir de la envolvente de las ondas secundarias que son reflejadas de vuelta. En el momento t , el frente de ondas aparece como una línea interrumpida en su totalidad. (Soto,2012)

La fuente de onda secundaria P se encuentra en la sección OP del frente de ondas incidente, donde se dibuja una línea perpendicular PP' de longitud $v_1 t$. Se dibuja una circunferencia con su centro localizado en el punto O y con un radio específico. Se dibuja el segmento P'O', que es tangente a esa circunferencia. Este segmento representa la parte del frente de onda reflejado. Al observar que los triángulos OPP' y OO'P' son iguales, se deduce que el ángulo θ_i es igual al ángulo θ_r .

Al trazar líneas perpendiculares (llamadas rayos) a los frentes de onda incidente y reflejado, se deduce que el ángulo de incidencia θ_i , formado por el rayo incidente y la línea perpendicular a la superficie reflectante, es igual al ángulo de reflexión θ_r , formado por el rayo reflejado y la misma línea perpendicular.

2.11. Ley de Snell

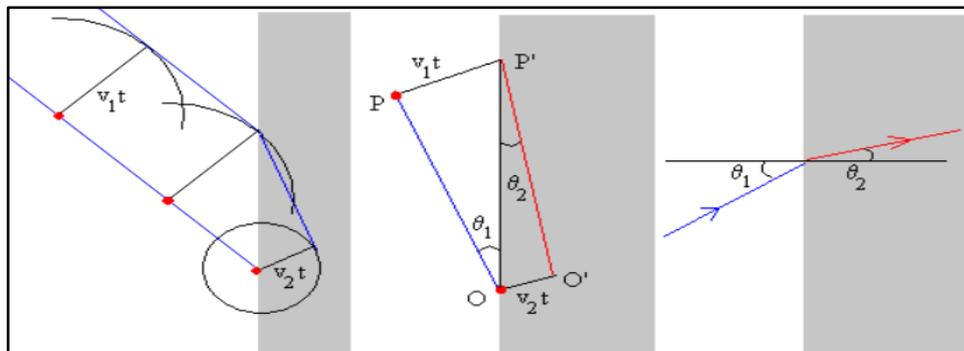


Ilustración 2-16: Frente de onda sobre una superficie plana

Fuente: Sechu, 2019.

Supongamos que un frente de onda se aproxima a las superficies separadas de dos medios con características distintas. Si una onda se desplaza con una velocidad v_1 en el primer medio y con una velocidad v_2 en el segundo medio, se calcula la configuración del frente de onda en un momento posterior t siguiendo el principio de Huygens.

En la parte izquierda de la Ilustración 2-15 se aprecia la refracción de un frente de onda al pasar de un medio a otro al ser golpeado por el frente de onda incidente. Al enfrenar una onda incidente, una fuente emite una onda secundaria que se difunde en todas direcciones a diferentes velocidades en dos medios. (Soto, 2012, pág. 4).

El contorno de un círculo trazado tras un intervalo de tiempo t representa la configuración de la línea curva o poligonal generada por la sección inicial del frente de onda que se mueve en el medio y la sección posterior del frente de onda en movimiento.

El frente de onda incidente presenta un ángulo θ_1 respecto a la superficie de separación, mientras que el frente de onda refractado tiene un ángulo θ_2 respecto a la misma superficie (Soto,2012).

La parte central de la Ilustración 2-15 se establece la relación entre los dos ángulos.

- En el triángulo rectángulo OPP' se tiene que:

$$v_1 * t = |OP'| * \sin \theta_1$$

Ecuación 2-5. Cálculo de la velocidad 1 por el tiempo

- En el triángulo rectángulo OO'P' se tiene que:

$$v_2 * t = |OP'| * \sin \theta_2$$

Ecuación 2-6. Cálculo de la velocidad 2 por el tiempo

La relación entre los ángulos θ_1 y θ_2 es

$$\frac{v_1}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{\sin \theta_2}$$

Ecuación 2-7. Cálculo de la relación de los ángulos

Reflexión total

- Si $v_1 > v_2$ el ángulo $\theta_1 > \theta_2$ el rayo refractado se acerca a la normal
- Si $v_1 < v_2$ el ángulo $\theta_1 < \theta_2$ el rayo refractado se aleja de la normal

En este segundo caso, para el ángulo límite θ_c el ángulo de refracción es $\theta_2 = \pi/2$

$$\text{Sen } \theta_c = v_1/v_2$$

Ecuación 2-8. Cálculo para el ángulo límite

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tubo de impedancia acústica

El tubo de impedancia acústica fue diseñado en materiales de acero inoxidable y cuenta con varios elementos que permiten realizar análisis de impedancia acústica con el fin de poder determinar la capacidad de absorción acústica de distintos materiales en condiciones de laboratorio para su estudio y de la misma manera con la elaboración de manuales con los que se le podrá dar el uso adecuado y el mantenimiento correspondiente, equipo utilizado en la escuela de Mantenimiento Industrial de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

3.1.1. Datos técnicos del tubo de impedancia acústica

En la Tabla 3-1 se observa una ficha de información correspondiente a las partes principales del tubo de impedancia acústica.

Tabla 3-1: Datos técnicos del tubo de impedancia

INFORMACIÓN INICIAL.				
Código del tubo de impedancia acústica			FAME-EI-TI01	
Equipo		Tubo de impedancia acústica		
Ubicación: ESPOCH, Facultad de Mecánica, Laboratorio de Materiales				
PARTES PRINCIPALES DEL MÓDULO DEL TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA				
#	Nombre	Cantidad	Marca	Característica
1	Tubo de acero inoxidable	1		AISI-304
2	Tarjeta de adquisición de datos	1	National Instruments	Ni USB-9234
3	Micrófonos	2	PCB Piezotronics	¼ Tipos de micrófonos de condensador 130F20
4	Altavoz	1	EM3	ESM6
5	Amplificador	1		

Realizado por: Colcha, D., 2023.

3.1.2. Elementos que conforma el tubo de impedancia acústica

El tubo de impedancia acústica al ser un equipo electrónico cuenta con varios elementos que permiten su correcto funcionamiento. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de ellos, con la función que cumplen el proceso de análisis de señales como se muestra en la Ilustración 3-1.

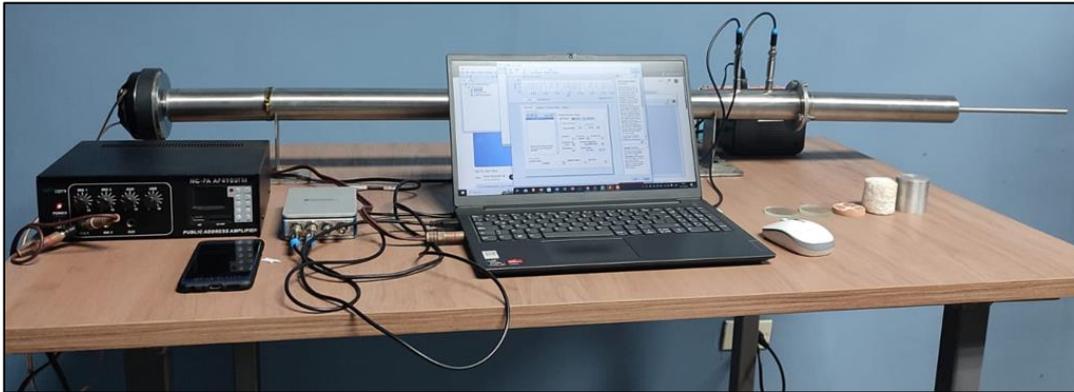


Ilustración 3-1: Partes del tubo de impedancia acústica

Realizado por: Colcha, D., 2023.

3.1.2.1. Tubo de acero inoxidable (AISI 304)

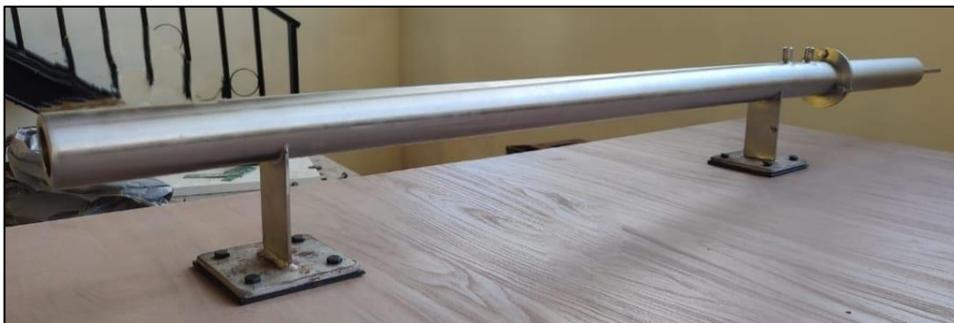


Ilustración 3-2: Tubo de acero inoxidable

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Como se observa en la Ilustración 3-2, el tubo de impedancia como su nombre lo indica es un tubo fabricado en acero inoxidable en el cual se integran la mayor cantidad de elementos necesarios para su operación y posterior estudio, según la norma europea UNE EN 10088, define al acero inoxidable como aleación de hierro con un contenido de cromo $>10.5\%$ y de carbono $<1.2\%$, con esta aleación de cromo se puede crear una capa de protección superficial autorregenerable (capa pasiva), la cual proporciona una resistencia adecuada a la corrosión, que

es de utilidad para no generar errores en la medición, al contener corrosión en la parte hueca del tubo de impedancia acústica, las ondas generadas no serán las correctas.

Su función es transmitir las ondas sonoras por su interior chocando con sus paredes lisas hasta llegar a ser interceptadas por el material que se esté utilizando en el análisis, con el fin de que estas reboten y se generen las señales que se necesitan para el estudio. (CEDINOX, 2022, pág. 1)

3.1.2.2. Tarjeta de adquisición de datos (Ni USB-9234)

El equipo de adquisición de datos (DAQ) cuenta con cuatro canales en los cuales se puede realizar mediciones de frecuencia de audio con alta precisión, se aplica específicamente en sonido y análisis de vibraciones en muchos canales como se muestra en la Ilustración 3-3.



Ilustración 3-3: Tarjeta de adquisición de datos DAQ

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Entre sus funciones está el adquirir las señales para su análisis, no cuenta con memoria de almacenamiento solo de adquisición y por tal motivo es indispensable un software con el cual se pueda analizar y almacenar dichas señales.

3.1.2.3. LabVIEW (2017, 32 bits)

Es una herramienta proporcionan mediciones integrales, análisis y visualización de herramientas para todas las aplicaciones de monitorización de ruido o vibración, su enfoque es único en medición basado en software, tal es su utilidad en la parte de análisis de ultrasonido que nos permitirá realizar análisis de presión de sonido en función de tiempo y poder determinar valores para su posterior estudio, como se muestra en la Ilustración 3-4.

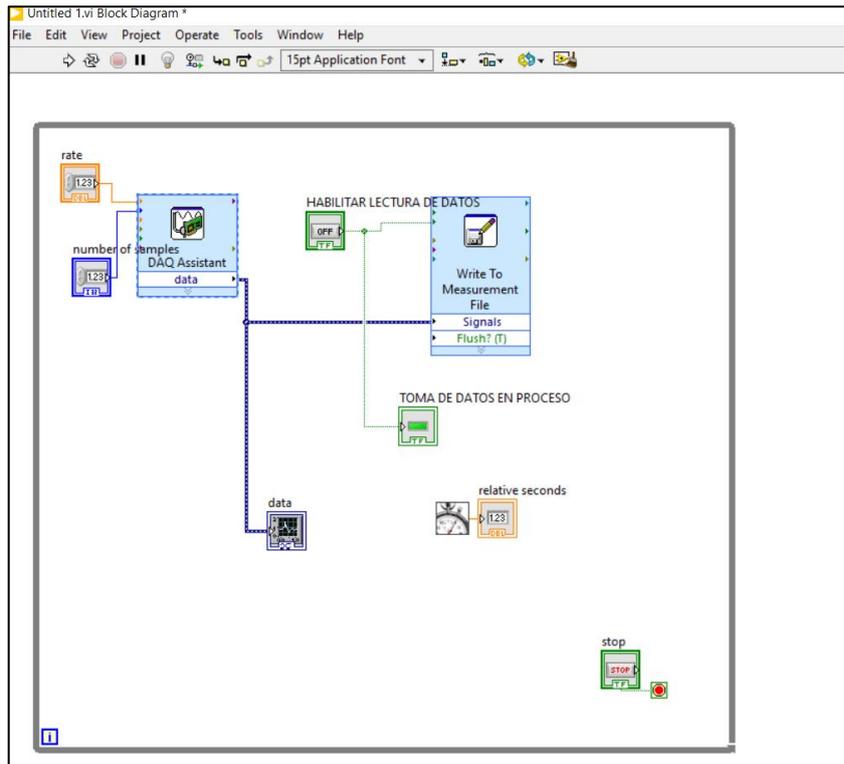


Ilustración 3-4: Interfaz de programación LabVIEW

Realizado por: Colcha, D., 2023.

3.1.2.4. Micrófonos (¼ Tipos de micrófonos de condensador 130F20)



Ilustración 3-5: Micrófonos piezoeléctricos

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Micrófono de matriz ICP® con preamplificador integral, conector jack BNC, TEDS

- Diámetro nominal del micrófono: 1/4"
- Sensibilidad: 45 mV/Pa
- Ruido inherente: 29 dB re 20 µPa

Los micrófonos son los elementos con los cuales se captarán las señales producidas por el altavoz amplificador y llevarán las señales hacia la DAQ con ello se realizará el análisis de cada una de las señales producidas a diferente intensidad, como se observa en la Ilustración 3-5. (PIEZOTRONICS, 2023, pág. 5).

3.1.2.5. Amplificador



Ilustración 3-6: Amplificador de señales

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Según lo representado en la Ilustración 3-6, un amplificador de audio es un aparato que incrementa la intensidad de una señal de audio, elevando su nivel de volumen con el fin de proveer energía a altavoces u otros equipos destinados a la reproducción de sonido. En entornos domésticos para el mejoramiento de la calidad del sonido, hasta su empleo en eventos en directo como conciertos y en configuraciones profesionales de equipos de audio (NTXDISTRIBUTION, 2023, pág. 2).

- Componentes básicos de un amplificador de audio

Un amplificador de audio consta de varios componentes clave que trabajan en conjunto para amplificar la señal de audio. Estos componentes incluyen:

1. **Etapa de entrada:** Es la encargada de recibir la señal de audio de entrada y prepararla para su amplificación.
2. **Etapa de amplificación:** Es la etapa principal del amplificador donde la señal de audio se amplifica mediante transistores o tubos de vacío.
3. **Etapa de salida:** Es la encargada de enviar la señal amplificada a los altavoces u otros dispositivos de reproducción de sonido.
4. **Fuente de alimentación:** Proporciona la energía necesaria para el funcionamiento del amplificador.

Un amplificador de audio cumple con la función elemental de transformar una señal eléctrica de entrada de baja intensidad en una señal ampliada de mayor potencia a través de su funcionamiento básico. Este proceso se lleva a cabo al variar una señal eléctrica de corriente o voltaje en la etapa de amplificación. El amplificador recibe la señal de audio que ingresa, la aumenta en su potencia y la transmite a los altavoces a través de la etapa de salida.

3.1.2.6. Altavoz (ESM6)



Ilustración 3-7: Altavoz integrado

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Como se observa en la Ilustración 3-7, un altavoz (también llamado altavoz, megáfono, trompeta o bocina en Sudamérica) es un transductor electroacústico, un dispositivo que convierte señales electroacústicas en ondas sonoras mecánicas. Un sistema de dos altavoces (a menudo denominado simplemente altavoz) consta de uno o más sensores, un panel de control, conexiones eléctricas y, a veces, un cruce. Es considerado como un dispositivo con una fuerza equivalente a 700W, su rango varía de 1,5 kHz hasta 22 kHz y una sensibilidad de 99 ± 2 dB, como se observa en la Ilustración 3-7.

A continuación, se detalla las características del equipo (AMAZON, 2023, pág. 3)

- EMB ESM6 700W Max Power Tweeter de compresión funciona para JBL, Peavey, Cerwin Vega, Gemini, EMB, BMB, Pyle-Pro, Mr.DJ y muchas marcas
- Potencia máxima: 700 vatios
- Bobina de voz única | Tornillo de montaje de 1-3/8"
- Impedancia: 8 Ohm
- Frecuencia: 1.2k-20kHz

3.1.2.7. Cables de adquisición

Los cables de adquisición como se muestra en la Ilustración 3-8 van conectados entre los micrófonos con sus distintas posiciones y los canales de la tarjeta de adquisición de datos DAQ su función es transmitir las señales desde los micrófonos hasta la tarjeta y con ello continuar con el procesamiento de las señales.



Ilustración 3-8: Cables de adquisición

Realizado por: Colcha, D., 2023.

3.2. Diagnóstico de los componentes del tubo de impedancia acústica.



Ilustración 3-9: Análisis vibracional del tubo de impedancia acústica

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Previo a la elaboración de los manuales de operación y mantenimiento del tubo de impedancia acústica es necesario poner en marcha el equipo y realizar la verificación de su buen funcionamiento por medio de ensayos.

3.3. Evaluación del estado técnico de los elementos pertenecientes al tubo de impedancia acústica

Para determinar el estado técnico actual del tubo de impedancia acústica, se establecen los parámetros de funcionamiento inicial, como también se busca el mejor método con el cual se determine el estado de cada uno de los elementos y componentes que conforman el banco de pruebas, tubo de impedancia acústica.

Al determinar un modelo semicuantitativo como el adecuado para dicho banco de pruebas, se establece el modelo CTR (Criticidad total por riesgos) modelo con el cual se jerarquiza los procedimientos y los elementos según su importancia en la operación y funcionamiento, como también se determina el valor de la conciencia al fallo de dichos elementos, dando como resultado el estado técnico y actualidad de cada componente que conforma el tubo de impedancia acústica.

Con las condiciones iniciales del equipo se determina la frecuencia y criticidad, como también los costos y los procedimientos de mantenimiento correspondientes por frecuencia a cada elemento del módulo de trabajo.

3.3.1. Determinación de las condiciones iniciales de funcionamiento del tubo de impedancia acústica por medio de la frecuencia natural

Usando un analizador de vibraciones se podrá determinar la frecuencia natural del módulo en el cual se realizarán los ensayos con los distintos materiales, para poder determinar la frecuencia natural del equipo este se deberá encontrar sujeto firmemente en una superficie que no produzca mayores inconvenientes de manera vibracional, por ende, se utiliza una base tipo mesa en la cual va sujeto el equipo y posterior realizar los ensayos no destructivos en el mismo.

El VibraCheck es un dispositivo capaz de obtener formas de onda al golpear el material a ensayar y por medio de un analizador gráfico conectado a un ordenador determinar la frecuencia natural del mismo, y con esto saber que tan funcional es el material, dispositivo o equipo con el que se procederá a realizar los demás ensayos.

Para este ensayo es necesario el uso de un VibraCheck, un martillo de hule y un acelerómetro, herramientas con las cuales se medirá mediante un ligero golpe y un software de análisis las distintas frecuencias a las cuales trabaja dicho dispositivo, como se muestra en la Ilustración 3-10.



Ilustración 3-10: Análisis de vibraciones en distintas posiciones

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Al determinar la frecuencia natural del tubo de impedancia se logra establecer valores que permitan saber si las condiciones en las cuales se operara el tubo de impedancia son las adecuadas,

La frecuencia natural 1x tanto de la mesa como del tubo de impedancia deben dar valores dispares, ya que al aproximarse dichos términos el conjunto tubo de impedancia y mesa de trabajo entrarían en resonancia y esto nos perjudicara a la hora de las pruebas en dicho módulo. Por tal motivo se procederá a realizar cambios en estos equipos y así determinar la mejor opción para su óptimo funcionamiento.

Como se muestra en la Ilustración 3-11, al determinar distintas posiciones para la toma de datos en el ensayo realizado, se establece la frecuencia normal de los elementos, mesa como tubo de impedancia.

La frecuencia natural describe el tipo de vibración con la que el módulo trabaja, sin caer en resonancia, la misma que a la hora de la práctica arrojará valores errados que no serán útiles a la hora de comprarlos con sus respectivas fichas técnicas.

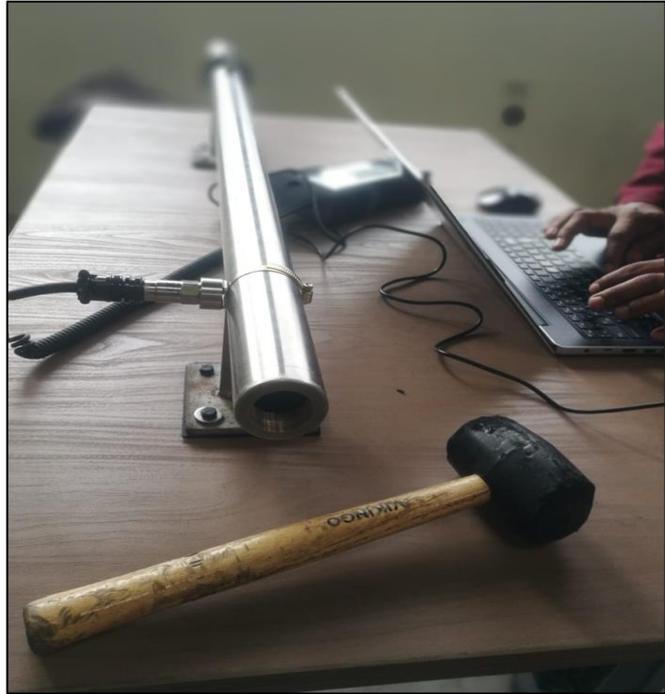


Ilustración 3-11: Ensayo no destructivo en el tubo de impedancia
Realizado por: Colcha, D., 2023.

Esta frecuencia es considerada como la frecuencia a la que un objeto sigue vibrando después de golpearlo, todo objeto mecánico tiene una frecuencia natural, también podrían tener muchas frecuencias naturales, depende de la geometría que tenga cada uno de los elementos que se analicen.

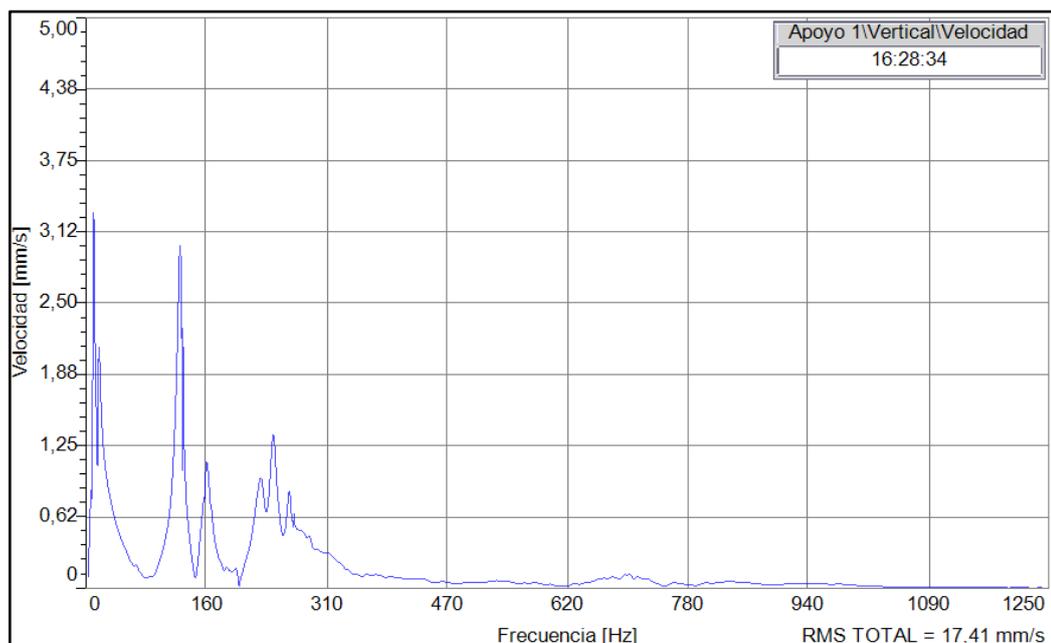


Ilustración 3-12: Frecuencia natural del tubo de impedancia 1x
Realizado por: Colcha, D., 2023.

Como se muestra en la Ilustración 3-12, La frecuencia natural se la expresa por medio de ondas en las cuales se aprecia los picos tanto de 1x como 2x sucesivamente, estos nos permiten hallar la frecuencia en la cual operará sin errores y posterior permitirá modificar detalles para su correcto funcionamiento.

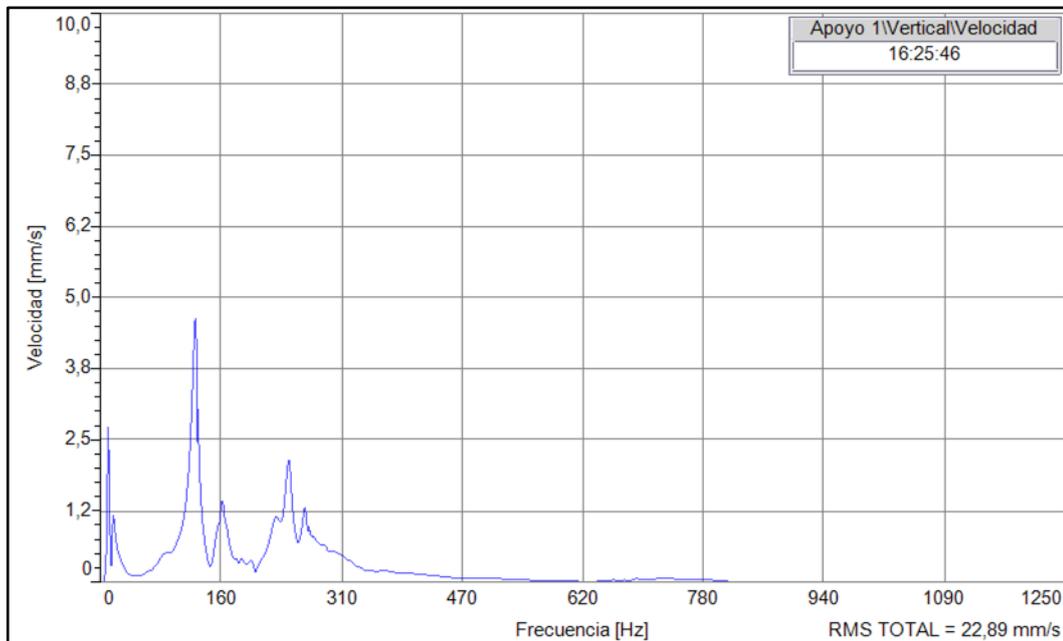


Ilustración 3-13: Resonancia en el tubo de impedancia un punto

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Al verificar la correcta operación del equipo se procede a indicar que el dispositivo es útil y confiable para las pruebas que se van a realizar en éste, siendo el siguiente paso la implementación de los manuales de operación y de mantenimiento correspondiente.

3.4. Ubicación del banco de pruebas (tubo de impedancia acústica)

Para la ubicación del módulo de trabajo se tomó en cuenta las dimensiones del laboratorio en el cual funcionará y de tal manera tener un área adecuada para su instalación y posterior uso.

Para la instalación se busca un área que tenga una base firme y rígida de hormigón en la cual se asentará el módulo de pruebas, junto con los aislamientos adecuados que evitaren las vibraciones excesivas al momento de su puesta en marcha. El hormigón es un material altamente rígido capaz de soportar altas cargas, perfecto para el peso del equipo y su colocación de manera adecuada en el área designada, la cual debe contar con una toma de energía eléctrica para el funcionamiento del tubo de impedancia.

La ubicación del tubo de impedancia permite realizar ensayos adecuados al estar sobre una losa que da la firmeza al banco de trabajo con lo cual se procede a los estudios y ensayos que sean necesarios en el equipo.

Se contará con una zona de desinfección para el ingreso al laboratorio y así poder tener un desempeño óptimo de las herramientas a utilizar como también se podrá contar con un botiquín de primeros auxilios necesario en cualquier ambiente cerrado y en donde se utilicen equipos eléctricos y material inflamable.

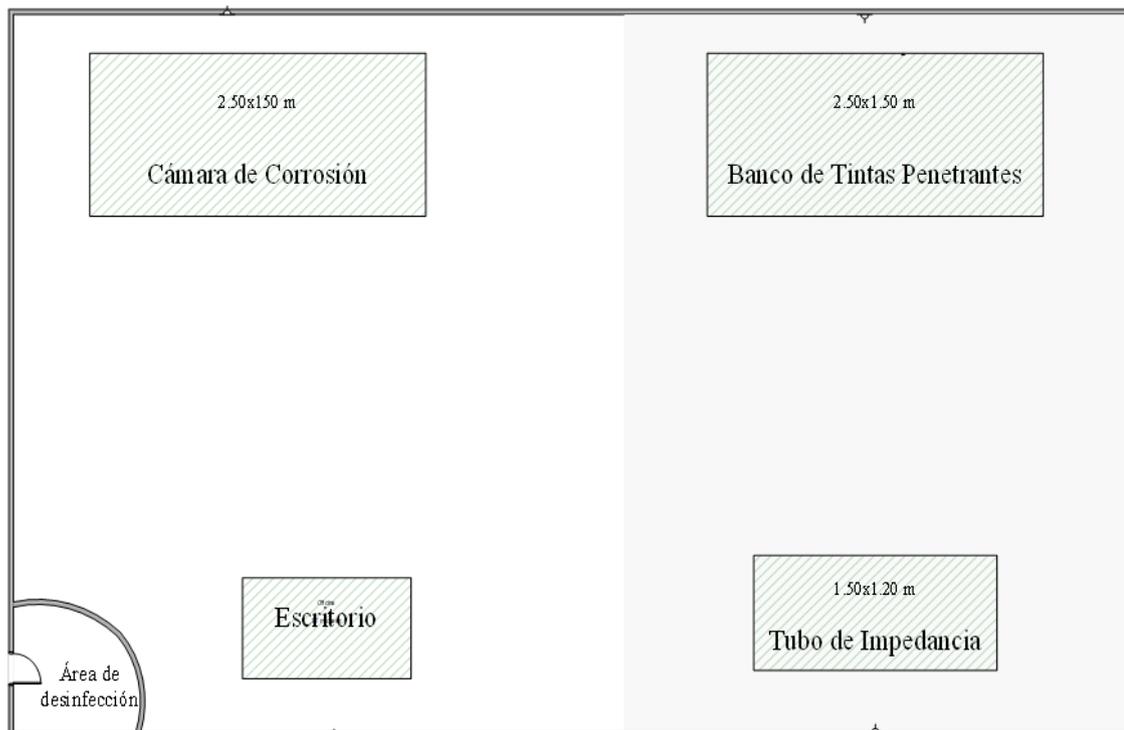


Ilustración 3-14: Ubicación del Laboratorio de Ensayos no Destructivos e Integridad Superficial
Realizado por: Colcha, D., 2023.

El área debe ser adecuada para las pruebas que se realizarán, evitando el ingreso de ruidos externos y anomalías los ambientes para cada uno de los equipos es el adecuado y permite trabajar de manera independiente y segura como también la disposición de cada uno de los módulos permiten que los estudiantes que realicen los ensayos puedan aprender y entender de una manera adecuada, como se muestra en la Ilustración 3-14.

Según la Ilustración 3-15, la instalación del módulo en el laboratorio designado se dará luego de especificar y designar las áreas correspondientes para cada uno de los puestos de trabajo, en base a las necesidades.



Ilustración 3-15: Puesto de trabajo Tubo de Impedancia

Realizado por: Colcha, D., 2023.

3.5. Determinación del coeficiente de absorción acústica del tubo de impedancia

Para determinar el coeficiente de absorción acústica de los distintos materiales de estudio se procede a realizar las calibraciones iniciales de los equipos a emplear en la toma de datos y análisis específicos.

Como también la determinación de las distintas ecuaciones necesarias en la toma de datos con los elementos usados en el tubo de impedancia acústica, basándose en la norma UNE EN ISO 10534-2

3.5.1. Mediciones preliminares

Según la Ilustración 3-16 para realizar las mediciones preliminares es necesario que todo el equipo y sus elementos se encuentren conectados y en funcionamiento, estas pruebas ayudan a eliminar las fuentes de los errores.

Los ensayos a realizar permiten comprobar el funcionamiento de los micrófonos, temperatura y presión que maneja el equipo.

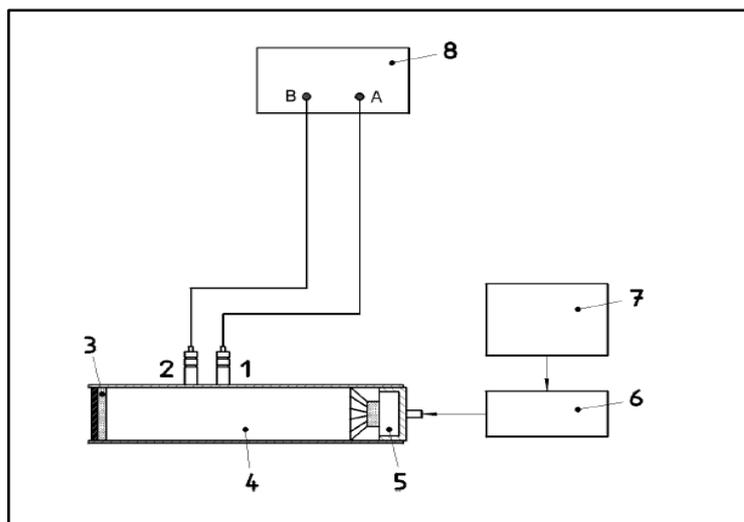


Ilustración 3-16: Ejemplo de disposición del equipo de ensayo

Fuente: UNE EN ISO 10534-2, 2002

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Componentes

- 1 Micrófono A
- 2 Micrófono B
- 3 Muestra de ensayo
- 4 Tubo de impedancia
- 5 Fuente acústica
- 6 Amplificador
- 7 Generador de señal
- 8 Sistema de análisis de frecuencia

3.5.2. Calibración de los equipos y puesta en marcha del tubo de impedancia acústica

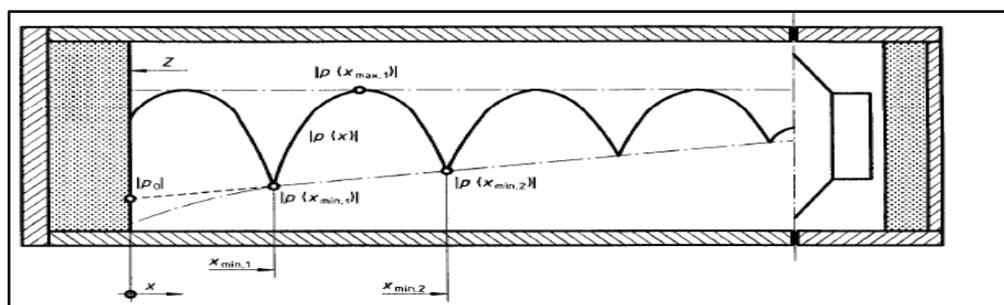


Ilustración 3-17: Corrección por la atenuación en el tubo de medición

Fuente: UNE EN ISO 10534-2, 2002.

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Para calibrar los equipos como primer paso se procede a determinar la correcta posición de los micrófonos en las distintas posiciones de ensayo. Al calibrar los micrófonos se debe determinar una respuesta en amplitud con precisión del 0,3 dB con referencia a una fuente acústica estable en todo el intervalo de trabajo como se observa en la Ilustración 3-17.

3.5.3. Especificación del plano de referencia

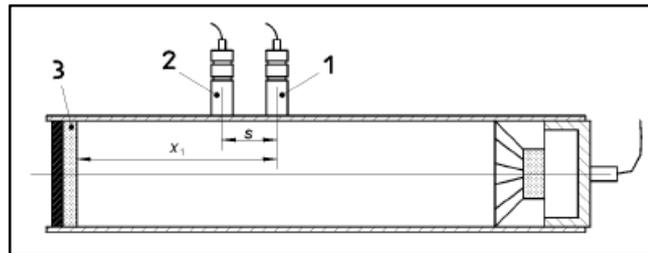


Ilustración 3-18: Posición de micrófonos y distancias

Fuente: UNE EN ISO 10534-2, 2002

Se tomará como plano de referencia al eje x , siendo $x=0$. De manera frecuente coincide con la superficie de la muestra de ensayo, el plano de referencia permite delimitar la posición en que se tomaran los datos para la medición de la impedancia dando uno o dos ejes, como se muestra en la Ilustración 3-18.

Par su correcta colocación se debe especificar con una precisión de $\pm 0,5$ mm.

Componentes:

- 1 Micrófono 1
- 2 Micrófono 2
- 3 Muestra de ensayo

3.5.4. Determinación de la velocidad el sonido

La velocidad de las ondas del sonido se representa con la letra “s” (m/s). la velocidad del sonido a 1°C es de 331.6 m/s.

Al aumentar la temperatura aumenta la velocidad. Entonces la velocidad a 20°C es 343 m/s que generalmente se redondea a 344 m/s.

$$c_0 = 343.2 \sqrt{T/293} \text{ m/s}$$

Ecuación 3-1. Cálculo para la velocidad del sonido

c_0 : velocidad del sonido

T: es la temperatura ambiente.

3.5.5. Longitud de onda

Para determinar la longitud de onda se expresa la siguiente ecuación, con el fin de determinar uno de los parámetros importantes el hallazgo de la función de transferencia.

$$\lambda_0 = c_0 / f$$

Ecuación 3-2. Cálculo de la longitud de onda

λ_0 : longitud de onda

c_0 : velocidad del sonido

f : frecuencia de medición

3.5.6. Densidad del aire ρ

Para poder determinar la densidad del aire es la masa por unidad de volumen de la atmósfera terrestre. La densidad como la presión disminuye con respecto a la altitud. Otro factor que influye en la variación de la densidad, tiene que ver con la presión atmosférica, la temperatura y la humedad.

$$\rho = \rho_0 \frac{\rho_a T_0}{\rho_0 T}$$

Ecuación 3-3. Cálculo de la densidad del aire

T: la temperatura, en Kelvin;

ρ_a L presión atmosférica, en kilo Pascales;

$T_0 = 293 \text{ K}$;

$\rho_0 = 101,325 \text{ kPa}$;

$\rho_0 = 1,186 \text{ kg/m}^3$

La impedancia característica del aire es el producto ρc_0

3.5.6.1. Selección de la amplitud de la señal

Para poder determinar de mejor manera la señal y los valores en amplitud se elige una señal de al menos 10dB, y dependiendo de la capacidad del altavoz que en frecuencia es de 400 Hz, necesarios para una toma de datos de manera adecuada y con la mejor amplitud posible para el posterior análisis con el fin de poder observar las ondas y como estas interactúan con respecto a las distintas frecuencias que se realizaran los análisis.

3.5.6.2. Selección del número de promedios

El número de promedios necesarios depende del material ensayado y de la precisión requerida en la determinación de la impedancia del material, por lo cual el número de promedios o muestras ensayadas será de 10 tomas por cada uno de los materiales, siendo 10 segundos el tiempo necesario por cada una de las muestras.

3.5.6.3. Errores aleatorios

Los errores aleatorios aparecen usualmente cuando se procesan registros de ruidos aleatorios de longitud finita, pero pueden implicar también ruido eléctrico de la instrumentación, o señales acústicas extrañas.

Los errores aleatorios se mantienen pequeños mediante promediados adecuados y también se minimizan usando señales deterministas. La selección del ancho de banda y la duración de la señal para conseguir promediados de conjunto de los espectros en los micrófonos es efectiva normalmente en la limitación de este error en cada canal, por tal motivo y basándose en estudios previos realizados se llegó a la conclusión que 10 segundos es lo necesario para poder ingresar ruido blanco que limpiara el interior del tubo de impedancia y posteriores otros 10 segundos con las frecuencias establecidas.

La longitud del registro y el ancho de banda pueden elegirse para dar una desviación estándar relativa para la medida del valor eficaz (rms) de una señal aleatoria. Normalmente, valores del producto del ancho de banda y el tiempo total de promediado entre 50 y 100 dan valores bajos del error aleatorio, alternativamente, el número de promediados requerido para conseguir un error estándar para mediciones en una posición particular de micrófono.

3.5.7. Corrección por desajuste entre los micrófonos

Para poder determinar el desajuste entre los micrófonos se deberá aplicar la técnica de los dos micrófonos, la cual nos permitirá conocer la cantidad de dB que se van a tomar, permite determinar y mejorar la toma de datos en todas las pruebas.

$$n=(1/2\sigma)^2$$

Ecuación 3-4. Cálculo del número de espectros independientes

Donde:

n = el número de espectros independientes (sin solapamiento) promediados:

σ = el error estándar.

3.6. Seguridad en el laboratorio de Ensayos No Destructivos



Ilustración3-19: Modelo de causalidad de accidentes

Fuente: Salazar, 2018.

Para usar el laboratorio de una manera adecuada se deberá verificar ciertos parámetros de seguridad que los estudiantes tendrán en cuenta para evitar algún tipo de inconveniente en el laboratorio y así poder tener éxito en los ensayos que allí se realicen.

Para poder evitar exposición elevada a las ondas de sonido que se producen con el uso del tubo de impedancia dependiendo de las frecuencias a las que se trabaje es necesario llevar protección auditiva que permita trabajar de mejor manera en el equipo y de una manera activa y por tiempos largos de trabajo.

La exposición elevada a ruidos fuertes provoca en las personas un tipo de sordera o dolores que pueden incluir dolores de cabeza y malestar en algunas personas con sensibilidad a este tipo de ruidos que por lo general llevan un tiempo prolongado para realizar los ensayos necesarios

3.7. Diseño del manual de operación necesario para el manejo del tubo de impedancia acústica

El tubo de impedancia acústica al ser un equipo utilizado por los estudiantes de la Facultad de Mecánica y sobre todo de Mantenimiento Industrial, debe contar con las prestaciones necesarias para su correcto funcionamiento para el uso adecuado en el laboratorio.

Es necesario implementar un manual de operación, como también de los pasos necesarios para el correcto funcionamiento del equipo, ya que su incorrecta manipulación desembocaría en fallas de análisis o daños en cada uno de los elementos que conforman el tubo de impedancia, siendo estos de difícil reemplazo ya sea por su elevado costo o su difícil acceso en el mercado.

3.7.1. *Tubo de impedancia acústica*



Ilustración 3-20: Tubo de impedancia acústica

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Como se muestra en la figura 3-20, para el manejo adecuado del tubo de impedancia acústica se debe conocer cada uno de los pasos a seguir tanto en su parte inicial, operación y al final del uso

del tubo de impedancia acústica, con lo cual se podrá tener una mejor toma de datos y uso del banco de pruebas con la finalidad de prolongar su vida útil y operación adecuada.

3.8. Operación del tubo de impedancia acústica.

Para la operación del tubo de impedancia acústica se tomará en cuenta una serie de pasos con los cuales el uso del equipo se dará de una manera ordenada y confiable por parte de los operadores del mismo.

3.8.1. Pasos preliminares para su funcionamiento

- Colocar los equipos en el lugar correspondiente.



Ilustración 3-21: Banco de pruebas tubo de impedancia

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Como se puede observar la Ilustración 3-23 se presenta las posiciones designadas de los equipos, y su preparación en sus posiciones indicadas. Para poder operar el tubo de impedancia acústica se procede a colocar los equipos en las posiciones designadas para cada uno de los elementos, de tal manera que sea fácilmente manipulables y de fácil acceso para los estudiantes encargados de los ensayos.

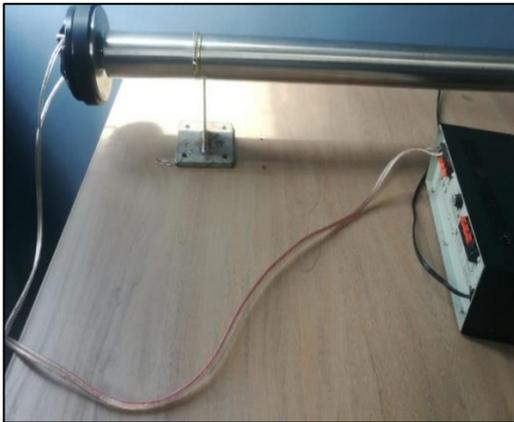
- Posición amplificador-tubo de impedancia acústica

Como se observa en la Ilustración 3-24, el amplificador se coloca frente al tubo de impedancia, los micrófonos y cables de conexión se colocan en los bocines correspondiente al tubo de impedancia según el análisis a realizar siendo dos las posiciones que se pueden utilizar; en donde la posición uno es la más lejana al porta muestras y la posición dos la más cercana.



Ilustración 3-22: Banco de pruebas-tubo de impedancia

Realizado por: Colcha, D., 2023.



a)



b)



c)

Ilustración 3-23: Pasos preliminares para el uso del tubo de impedancia acústica.

Realizado por: Colcha, D., 2023.

- A) Conexión amplificador-parlante

El parlante va conectado en la parte posterior del tubo de impedancia acústica por medio de una rosca a modo de perno ajustándolo de manera que quede rígido y sin la posibilidad de moverse, luego conectado al amplificador por medio de cables según la polaridad correspondiente de cada uno

- B) Conector de audio (Jac) 6.35mm a 3,5 mm

Se conectará el jac 6.35mm correspondiente al amplificador al jac del dispositivo sea celular u ordenador de 3,5 mm por medio de cables estéreo, con el cual se procede a ingresar las señales de ruido sea este ruido blanco o las demás frecuencias usadas dependiendo del ensayo, del ordenador al tubo de impedancia procurando generar la menor cantidad de ruido de manera externa con la finalidad que el ensayo sea lo más preciso posible.

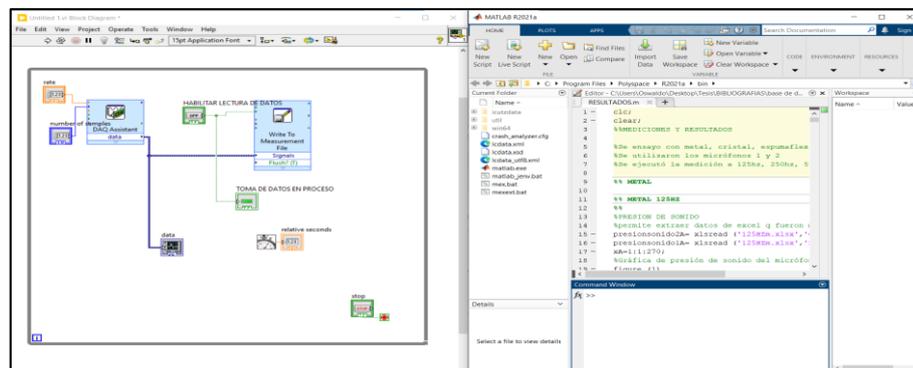
- C) Posiciones iniciales de los equipos que serán posteriormente colocados en sus respectivas áreas de funcionamiento.



a)



b)



c)

Ilustración 3-24: a) conexión DAQ-micrófonos; b) conexión micrófonos-tubo de impedancia c) iniciar LabVIEW y Matlab

Realizado por: Colcha, D., 2024.

A) Conexión DAQ-micrófonos.

Como se observa en la Ilustración 3-26, Por medio de un cable de adquisición de datos USB se conecta la DAQ al ordenador que tendrá la capacidad de analizar las señales adquiridas y procesadas por medio de la programación establecida y con la cual se ensayará.

B) Conexión micrófonos-DAQ-Tubo de impedancia

conectar la DAQ utilizando los canales 0 y 1 correspondientes a los micrófonos en sus respectivas posiciones, las cuales deben estar en el orden establecido, siendo la posición cero de la tarjeta con la posición uno del tubo de impedancia y la posición uno de la DAQ con la posición dos del tubo. Para posteriores ensayos las posiciones se pueden intercambiar y generar distintas señales basándose en la norma UNE EN ISO 10534-2, CONSTRUCCIÓN DE UN TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA.

C) Interfaz LabVIEW- Matlab

Por último, como parte de proceso preparatorio se procede a abrir los softwares, tanto LabVIEW como Matlab, las aplicaciones generadoras de ruido y generación de frecuencias instaladas en un dispositivo celular.

3.8.2. Etapa de pruebas y generación de señales

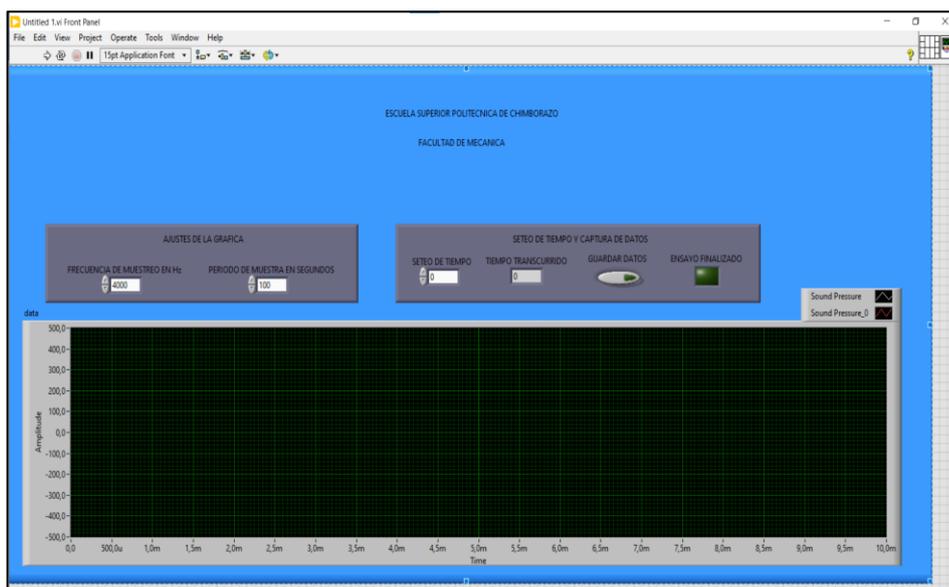


Ilustración 3-25: Interfaz diseñada para las mediciones

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Como segunda etapa en el proceso de operación del tubo de impedancia acústica con la finalidad de poder generar y analizar las señales adquiridas por la DAQ se cuenta con distintos programas y softwares, el que se utilizará en los presentes ensayos es LabVIEW y Matlab, los cuales por medio de la programación adecuada permitiendo realizar operaciones con el fin de poder estudiar y comparar cada una de las muestras, independiente de las versiones que se cuenten en el laboratorio o por parte de cada uno de los estudiantes, como se presenta en la Ilustración 3-25.



Ilustración 3-26: Interfaz LabVIEW y Matlab

Realizado por: Colcha, D., 2023.

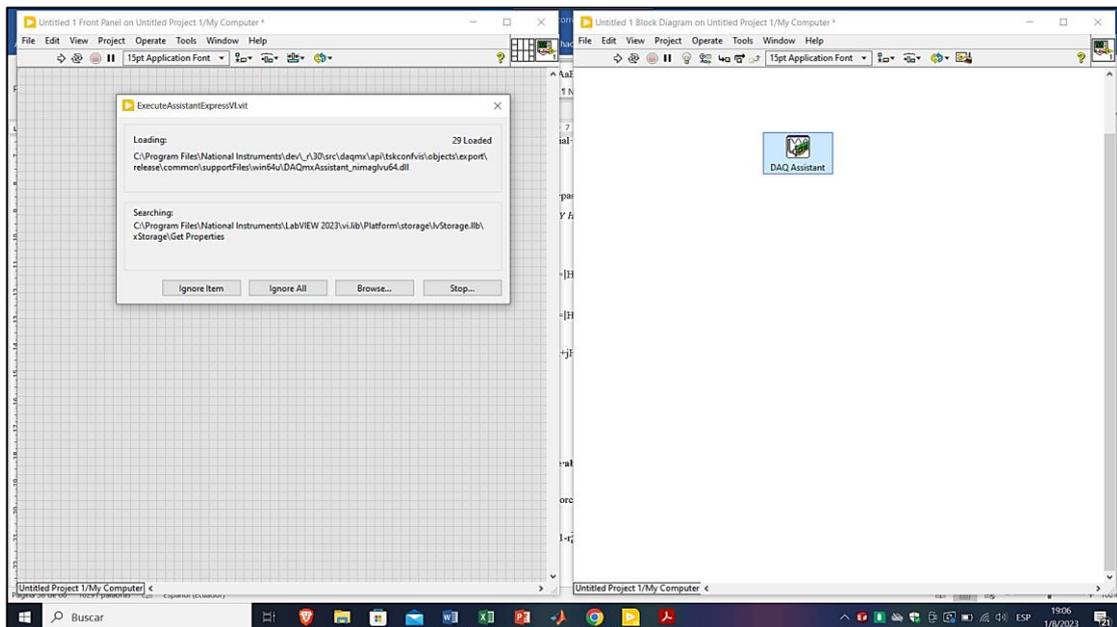


Ilustración 3-27: Interfaz Block Diagram, Ingreso a la instrucción DAQ ASISTANT

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Como se muestra en la Ilustración 3-27, se presenta la interacción entre la DAQ y el programa LabVIEW que cuenta con las herramientas necesarias para poder realizar el análisis de lo que se adquiere en la tarjeta de adquisición y posterior mediante programación encontrar los resultados.

- Apertura DAQ Asistant y generación de valores en programación.

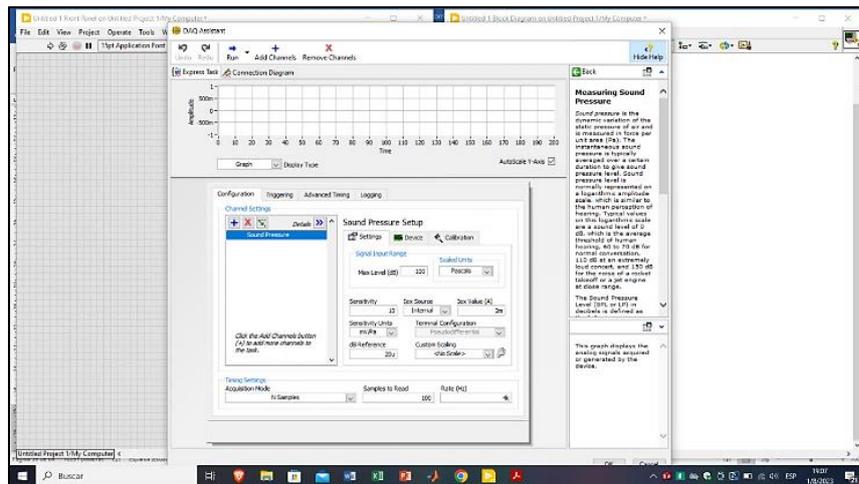


Ilustración 3-28: Ventana de trabajo, selección tipo analógica, presión de sonido
Realizado por: Colcha, D., 2023.

Como se observa en la Ilustración 3-28, en modo de prueba se toman 2 canales, dejando en un valor cercano a 1 kHz de acuerdo a los rangos de frecuencia dados por los dispositivos y 4 kHz por ecuaciones presentadas según la Norma con valores cercanos a 3700 Hz de acuerdo a la capacidad con la se maneja el parlante.

- Elección de canales correspondientes a cada posición de los micrófonos.

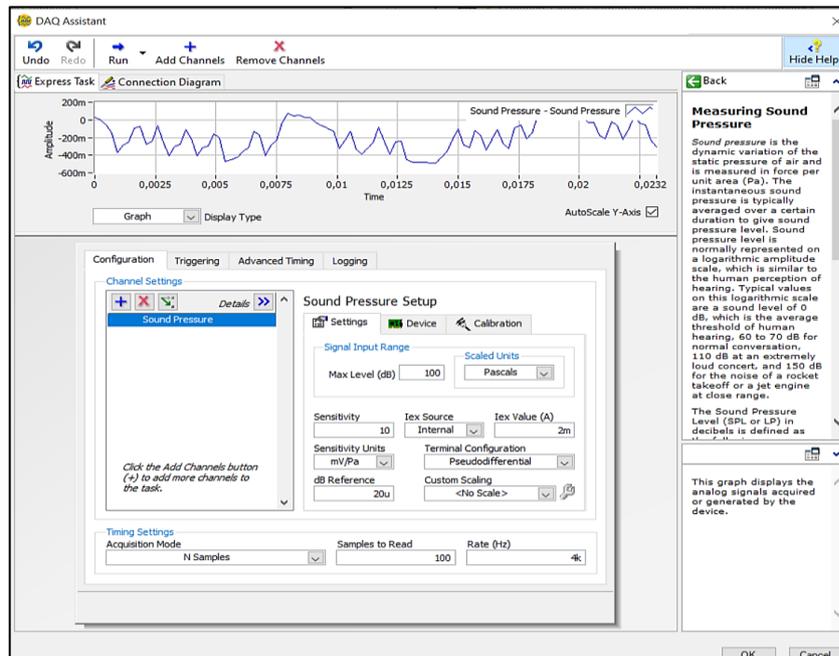


Ilustración 3-29: Indicador gráfico de datos de presión de sonido vs tiempo
Realizado por: Colcha, D., 2023.

- Como se muestra en la Ilustración 3-29, con los parámetros definidos, se puede proceder a la revisión gráfica de la adquisición de datos y a la instrucción de toma de datos, creando de ese modo un indicador gráfico encerrándolo en un While Loop para ejecutar como también en un case structure, dando como resultado así la adquisición de datos de presión vs tiempo y la botonera necesaria para que la nueva interfaz pueda desarrollarse y usarse de manera óptima.

NOTA: Esto se aplicará en los casos cuando se presente nuevos valores de programación o se deban incrementar comandos, cómo también en el uso de nuevos canales al incrementar o disminuir las fuentes.

- Primero paso en la interfaz, ingreso de ruta en la cual se guardarán las señales con cada una de las frecuencias. (Measurement file)

Como primer paso al presionar la tecla ctr + t en LabVIEW se accede al diagrama de bloques en el cual se ingresa la ruta para guardar los archivos y mediciones tomadas, con los tiempos y frecuencias establecidos y así para cada una de las muestras a utilizar, siendo éstas: bloque, cerámica y ladrillo.

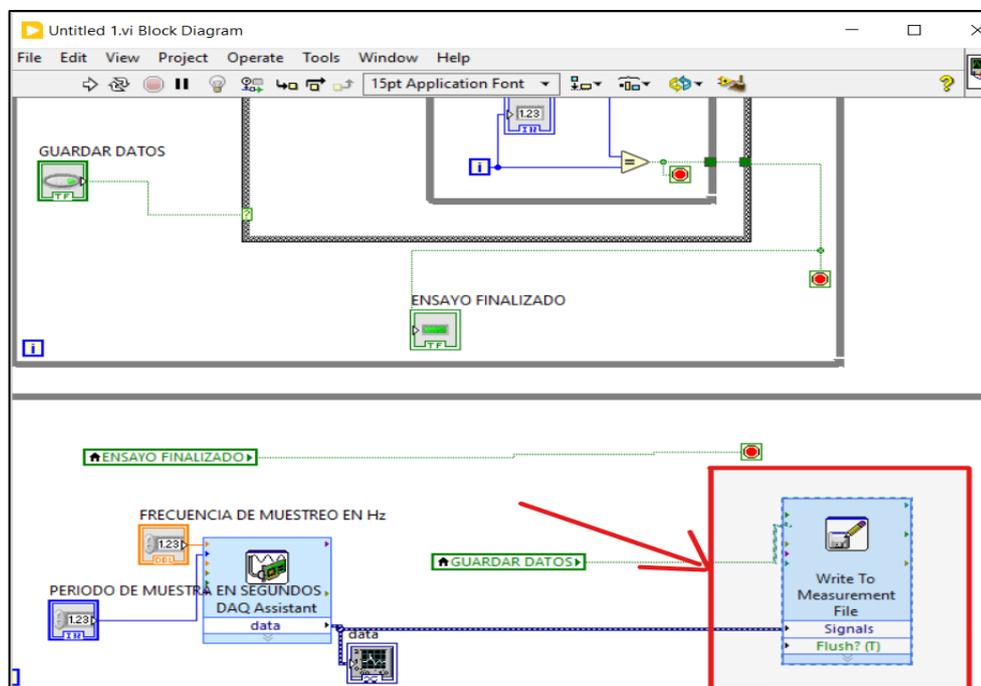


Ilustración 3-30: Diagrama de bloques LabVIEW

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Las rutas se deben guardar con la leyenda **250HZm1** “Frecuencia establecida en Hertz, m corresponde a muestra y seguido del número de muestra” con la cual se podrá dar a conocer cada una de las muestras siendo m1, m2 o m3 dependiendo del número de materiales a analizar, cabe mencionar que las rutas no deben cambiar y se debe tener en cuenta al material correspondiente.

- Segundo, presionar iniciar y verificar condiciones iniciales.

Como se observa en la Ilustración 3-31, para que le programa empiece a correr se debe presionar la flecha de color blanco y así continuar con el procedimiento, como siguiente punto se procede a ingresar las frecuencias y verificar que el programa esté en condiciones iniciales, es decir en modo off, con los pulsadores apagados.

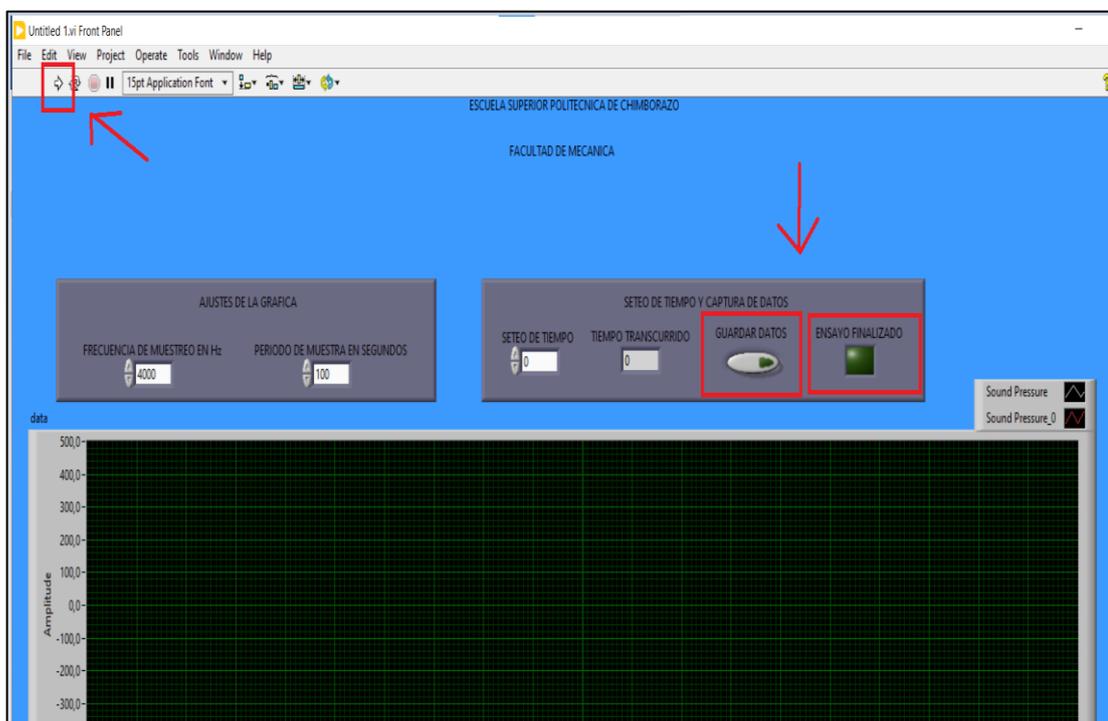


Ilustración 3-31: Puesta en marcha del analizador

Realizado por: Colcha, D., 2024.

- Tercero, colocar los valores

Ingresar los valores de los periodos de muestras en segundos y el seteo de tiempo con los cuales se procede a realizar la toma de muestras y del número de datos por segundo que se van a analizar, en función de la cantidad de datos necesarios para el estudio, son valores indiferentes ya que cada estudio o cada persona elegirá cuantos datos tomar y así realizar un análisis más exacto o no.

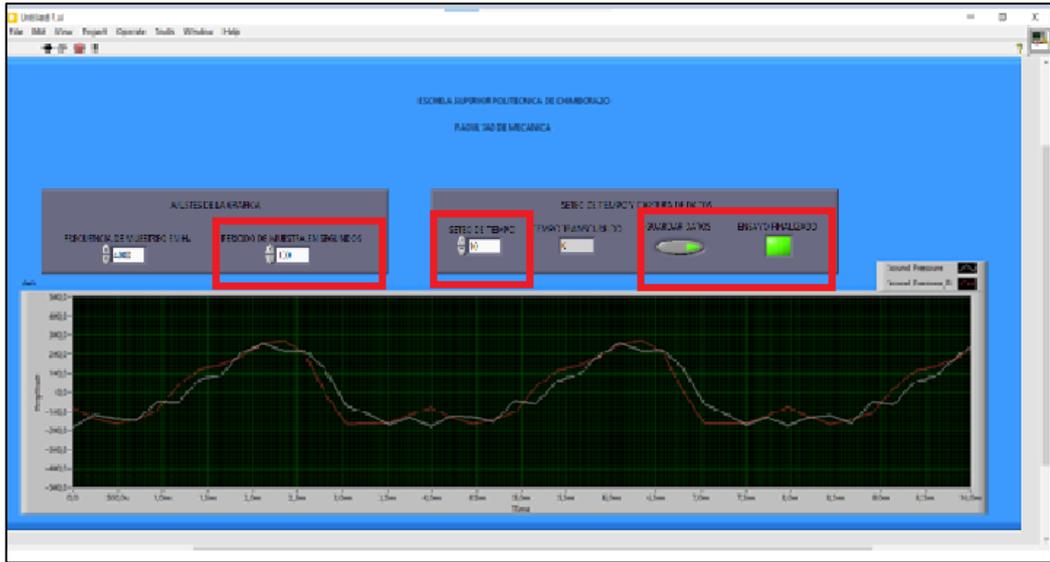


Ilustración 3-32: Ingreso de datos para muestreo

Realizado por: Colcha, D., 2024.

- Cuarto, ejecución de programa Matlab

Ilustración 3-33: Puesta en marcha a Matlab

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Como se observa en la Ilustración 3-35, para visualizar los resultados y mediciones obtenidas en LabVIEW se usa Matlab que es el programa que no permite generas curvas' y poder realizar la

comparación entre cada una de ellas, dependiendo de la posición en los micrófonos, con un código de programación establecido con ecuaciones en las cuales intervienen: la impedancia, la velocidad y la frecuencia.

Para que el programa corra se debe presionar el botón verde en la barra principal de Matlab, el cual no generará de manera automática las curvas de cada material y de cada micrófono.

- Quinto, análisis de curvas

Según los resultados obtenidos con la secuencia de pasos anteriormente descritos, se llega a la obtención de las curvas características para cada uno de los materiales, teniendo así la posibilidad de interpretar cada una de las gráficas que nos brinda la interfaz implementada para este fin, lo cual se mide en función de la frecuencia y la impedancia acústica.

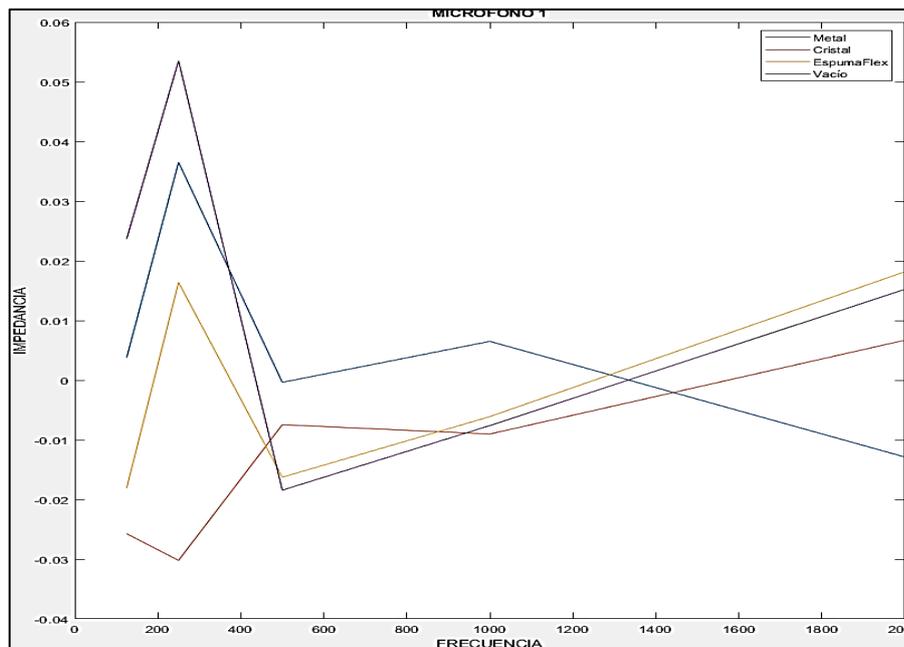


Ilustración 3-34: Presentación de las curvas de impedancia vs frecuencia

Realizado por: Colcha, D., 2024.

3.9. Manual de mantenimiento para el tubo de impedancia acústica.

Se entiende como manual a una guía en la que se ejecutan acciones técnicas, operativas y de mantenimiento de los equipos y elementos que conforman un equipo, taller o laboratorio, con la finalidad de asegurar su disponibilidad y confiabilidad operativa del equipo.

3.9.1. Codificación técnica

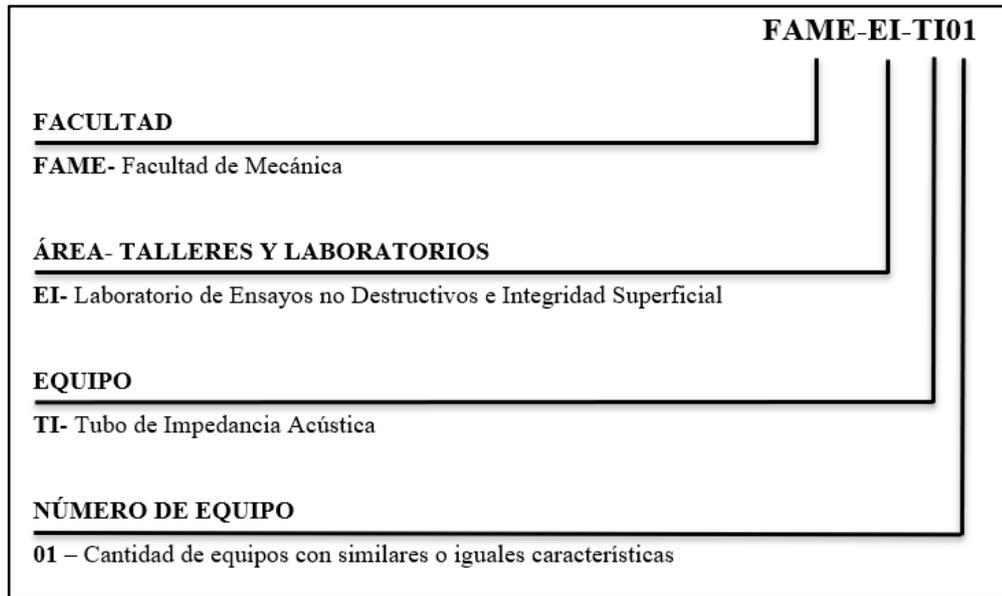


Ilustración 3-35: Estructura del FAME

Realizado por: Colcha, D., 2024.

3.10. Análisis de criticidad método de criticidad total por riesgo (CTR)

Para determinar el estado técnico del tubo de impedancia, se utiliza el método de criticidad total por riesgo, es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

El análisis de criticidad se caracteriza por el proceso de asignar una calificación de criticidad a un activo en función de su riesgo potencial. Según ISO 31000, el riesgo se caracteriza como "el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos":2009 - Gestión de riesgos - Principios y directrices. Debido a que el riesgo no se puede medir verdaderamente, este contexto analiza todas las formas posibles en que un activo podría fallar y el impacto de la falla en todo el sistema y las operaciones. Por lo tanto, el análisis de criticidad está estrechamente relacionado con el análisis modal de fallas y efectos (FMEA) y el análisis modal de fallas, efectos y criticidad (FMECA), que se analizan más adelante. Después de realizar el análisis de criticidad, el AMEF generalmente se realiza en el 20% de los elementos más críticos.

El análisis de criticidad le permite comprender los riesgos potenciales del activo que podrían afectar su operación. Asegura que la confiabilidad se vea con una lupa desde una perspectiva basada en el riesgo en lugar de la opinión de cada persona.

3.10.1. Determinación del estado de criticidad en los elementos pertenecientes al tubo de impedancia acústica

Para el análisis de criticidad se utiliza la metodología semicuantitativa, que es de fácil manejo, en la que se emplea la frecuencia de fallos y criterios de evaluación enfocados en identificar el grado de impacto en las áreas: operacionales, verifica la flexibilidad operacional, evalúa el impacto en los costos de mantenimiento y el impacto en la seguridad humana y el ambiente presentado en la Tabla 3-2.

El valor de la criticidad total se obtiene del producto entre la frecuencia de fallos y el valor de la consecuencia-, para lo cual se emplearán las siguientes fórmulas:

$$CT = Ff * C$$

Ecuación 3-5. Cálculo de la criticidad total

Donde:

CT: Criticidad Total

Ff: Frecuencia de fallos

C: Consecuencia

$$CT = Ff * (IO * FO) + CM + IU$$

Ecuación 3-6. Cálculo de la criticidad total

Donde:

CT: Criticidad Total

Ff: Frecuencia de fallos

IO: Impacto Operacional

FO: Flexibilidad Operacional

CM: Costo de Mantenimiento

IU: Impacto a la Seguridad Humana y ambiente

Para seleccionar los factores ponderados, se realiza reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional del activo en estudio (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente).

Para evaluar el impacto de falla, se han determinado los criterios que se describen en la Tabla 3-2, los mismos han sido adaptados para que sean aplicables al activo que se analiza.

Tabla 3-2: Criterios para la cuantificación de la criticidad

Criterios para determinar la criticidad	Cuantificación
Frecuencia de fallas	
Mayor a 4 fallas/mes	4
2-4 fallas/mes	3
1-2 fallas /mes	2
Mínimo 1 falla/mes	1
Impacto operacional	
Parada inmediata de todo el activo	10
Parada del activo (recuperable en otros activos)	8
Impacto en los niveles de producción o calidad	6
Repercute en costos operacionales adicionales (indisponibilidad)	3
No genera ningún efecto o impacto significativo sobre las demás operaciones	1
Flexibilidad operacional	
No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	5
Hay opción de producción a la capacidad mínima permisible	4
Hay opción de repuesto compartido	3
Función de repuesto disponible	1
Costo de mantenimiento	
Mayor o igual a 6300 USD	2
Menor a 6300 USD	1
Impacto a la seguridad humana y ambiente	
Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta al ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones o personas causando daños severos	3
No existe ningún riesgo para la salud del personal	1

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Una vez que se dispone de la información necesaria para realizar el análisis de criticidad, se procede a realizar los cálculos para determinar cuál es el elemento más crítico en la Tabla 3-3 se indican los elementos a los que se evaluará su criticidad

Tabla 3-3: Análisis de criticidad del tubo de impedancia acústica

CRITERIOS	TIPO DE EQUIPOS		
	Crítico (a)	Importante (b)	Prescindible (c)
MEDIO AMBIENTE	Pueden ocasionar accidentes muy graves que pudiesen afectar a la salud de las personas y del medio ambiente.	Pueden ocasionar accidentes graves que pueden gestionarse en el interior de la empresa.	Si un fallo del mismo no produjese ningún tipo de contaminación medioambiental.
SEGURIDAD	Serán aquellos cuyos fallos pueden producir accidentes que provocan ausentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo.	Podría causar daños menores a la gente en el trabajo, no producen la ausencia de trabajo.	Son activos cuyos fallos no pueden crear consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas.
CALIDAD	Es clave para la calidad del producto	Afecta a la calidad de, pero habitualmente no es problemático	Podrían sufrir fallos que no ocasionan ningún impacto
TRABAJO	Corresponderán a esta categoría los activos que trabajan a tres turnos.	Los activos que trabajan a dos turnos, pertenecerán a esta categoría.	Los activos de producción que tienen en programación un solo turno de trabajo al día, los incluiremos en la categoría "C".
ENTREGA	Son los que producen un paro en toda la fábrica cuando fallan.	Pueden dejar sólo una línea de producción parada al fallar.	Por último, los activos que no producen una interrupción significativa de la producción serían de la categoría "C"
FIABILIDAD	Los activos con frecuencia de fallo menor de 5 h	Los activos con frecuencias de fallo mayor de 5 h y menor de 10 h.	Los activos con frecuencias de fallo superiores a 10 h.
MANTENIBILIDAD	Los activos que requieren un tiempo medio de reparación de más de 90 minutos.	Los activos que requieren un tiempo medio de reparación entre 45 y 90 minutos estaría	Aquellos activos cuyo tiempo medio de reparación es inferior a 45 minutos.

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Tabla 3-4: Análisis de criticidad total por riesgo (CTR)

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		FRECUENCIA		CONSECUENCIAS														FRECUENCIA (FF)		CONSECUENCIA S= (IO*FO)+CM+SH		CTR = FF x C		
		Frecuencia de fallos (FF)		Impacto operacional (IO)				Impacto por flexibilidad operacional (FO)			Costos de mantenimiento (CM)		Impacto en la seguridad, higiene y medio ambiente (SHA)					FRECUENCIA (FF)	CONSECUENCIA S= (IO*FO)+CM+SH	CTR = FF x C				
		Frecuente: Mayor a 2 eventos al año	Probable: 1 y 2 eventos al año	Bueno: Entre 0,5 y un evento al año	Excelente: Menos de 0,5 eventos al año	Pérdidas de producción superiores al 75%	Pérdidas de producción entre el 50% - 74%	Pérdidas de producción entre el 25% - 49%	Pérdidas de producción entre el 10% - 24%	Pérdidas de producción menor al 10%	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.	Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.	Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños.	Costes de reparación materiales y mano de obra superiores a 6300	Costes de reparación materiales y mano de obra inferiores a 6300	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos.	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud del personal y/o incidente ambiental de difícil restauración.				Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable),	No existe ningún riesgo para la salud del personal, ni afección a la salud, ni daños ambientales		
PONDERACIONES DE LOS FACTORES		4	3	2	1	10	7	5	3	1	4	2	1	2	1	8	6	3	1			CT	TIP	
N	DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS																							
1	Tubo de acero inoxidable AISI-304			2				5				1	2					3		2	10	20	B	
2	Tarjeta de adquisición de datos NI-USB-9234		3				7				2		2					3		3	19	57	MA	
3	Micrófonos	4							3		4			1				3		4	16	64	MA	
4	Altavoz			2				5				1	2							1	2	8	16	B
5	Cableado de adquisición				1					1				1				3		1	6	6	B	

Realizado por: Colcha, D., 2023.

3.10.2. Resultados del CTR

- Zona con muy alta criticidad

Tabla 3-5: Elementos con muy alta criticidad

ZONA DE CRITICIDAD MA: MUY ALTA CRITICIDAD	
Código	Descripción
FAME-EI-TI01	Tarjeta de adquisición de datos NI-USB-9234
FAME-EI-TI01	Micrófonos

- Zona con baja criticidad (B)

Tabla 3-6: Elementos con baja criticidad

ZONA DE CRITICIDAD B: BAJA CRITICIDAD	
Código	Descripción
FAME-EI-TI01	Tubo de acero inoxidable AISI-304
FAME-EI-TI01	Altavoz
FAME-EI-TI01	Cableado de adquisición

3.10.3. Elaboración de la ficha técnica del equipo



Ilustración 3-36: Tubo de impedancia acústica de acero inoxidable

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Para poder realizar la implementación de los manuales se debe tener en cuenta como primer paso la elaboración de las fichas técnicas de los equipos o de los elementos que conforman el equipo.

Para ello se seguirá el formato establecido previamente en otros trabajos en los cuales se implementan manuales para distintos laboratorios y equipos.

Los campos que contienen las fichas deben contener la siguiente información:

- Logotipo de la ESPOCH y la Facultad e Mecánica
- Nombre del grupo
- Nombre de la ficha
- Laboratorio
- Ubicación del laboratorio
- Número de la ficha
- Cantidad de sistemas o elementos
- Nombre del equipo
- Partes principales
- Características principales del equipo
- Código de elemento
- Imagen del elemento
- Imagen de partes principales

Se debe tener en cuenta cuales son los campos necesarios que irán en la ficha y los que no son necesarios para ello teniendo en cuenta la información disponible del equipo y del laboratorio donde se lo ubique.

El presente manual es una guía para la ejecución de los procedimientos y tareas de mantenimiento, incluyendo todos los elementos y equipos que forman parte del tubo de impedancia acústica como: DAQ, amplificador, parlante, micrófonos, tubo de impedancia.

La presente ficha técnica tiene como objetivo presentar cada uno de los elementos que conforman el tubo de impedancia acústica como también las partes importantes de ésta con las cuales no realizaría un trabajo adecuado.

A continuación, en la Tabla 3-6 se presenta el formato de fichas técnicas del equipo y el laboratorio en el que se ubique para su posterior uso y manejo por parte de los estudiantes y personal que utilice el dispositivo.

3.10.4. Fichas técnicas del tubo de impedancia acústica

Laboratorio de ensayos no destructivos e integridad superficial

Tabla 3-7: Ficha Técnica Tubo de Impedancia Acústica

Tubo de Impedancia Acústica	Ficha 1-2				
DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES	Inventario:01				
	Manuales de Fabricante: No				
ESPOCH – FACULTAD DE MECÁNICA	Sección: Taller de fundición				
EQUIPO	DATOS TÉCNICOS				
	Marca	Modelo	Serie		
	No	No	No		
	Color	País de origen	Serie		
	Plata	Ecuador	01		
	Características Generales				
	Diámetro del tubo ext: 50.8mm int: 48,8mm Capacidad: 3000 Hz				
	Datos técnicos De la DAQ				
	Marca	NI	Modelo	9234	
	Capacidad	102 dB	Frecuencia	25.6 kHz	
	Datos Técnicos Altavoz				
	Marca	EM3	Modelo	EM6	
	Capacidad	2700 Hz	Intensidad	700 W	
	Datos Técnicos Micrófonos				
	Marca	PCB	Modelo	64228	
	Capacidad		Frecuencia	10 kHz	
	Datos Técnicos Amplificador				
	Marca	PAA	Modelo	NC-PA	
	Capacidad	200 kΩ	Frecuencia	1kHz	

Realizado por: Colcha, D., 2023.

3.11. Previsiones tareas de mantenimiento

Al implementar el mantenimiento dentro de un laboratorio o con un equipo específico minimiza el riesgo de fallos y averías, como también asegura la correcta y continua operación de dichos equipos, evitando estar instalando o calibrando equipos sensibles, la incorrecta manipulación o a su inevitable desgaste.

Para llevar a cabo este propósito se toma en cuenta algunos parámetros generales:

- **Condiciones ambientales:** analizar el ambiente en el que se encuentra el equipo, ya sea en funcionamiento o en almacenamiento. Se recomienda evaluar temperatura, humedad, presencia de polvo, exposición a vibraciones mecánicas y seguridad de la instalación.
- **Limpieza integral externa:** eliminar cualquier vestigio de suciedad, desechos, polvo, moho, hongos, etc., en las partes externas que componen al equipo, mediante los métodos adecuados según corresponda. Esto podría incluir:
Limpieza de superficie externa usando limpiador líquido, lija, etc.
Limpieza de residuos potencialmente infecciosos utilizando sustancias desinfectantes como bactericidas no residuales ni corrosivas.
- **Inspección externa del equipo:** examinar o reconocer atentamente el equipo, partes o accesorios que se encuentran a la vista, sin necesidad de quitar partes, tapas, etc., tales como mangueras, chasis, cordón eléctrico, conector de alimentación, para detectar signos de corrosión, impactos físicos, desgastes, vibración, sobrecalentamiento, fatiga, roturas, fugas, partes faltantes, o cualquier signo que obligue a sustituir las partes afectadas o a tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo o correctivo.
- **Limpieza integral interna:** eliminar cualquier vestigio de suciedad, desechos, polvo, moho, hongos, etc., en las partes internas que componen al equipo, mediante los métodos adecuados según corresponda.
- **Reemplazo de partes defectuosas:** la mayoría de los equipos tienen partes diseñadas para gastarse durante el funcionamiento del equipo, de modo que prevengan el desgaste en otras partes o sistemas del mismo.
Ejemplo de estos son los empaques, los dispositivos protectores, los carbones, etc. El reemplazo de estas partes es un paso esencial del mantenimiento preventivo, y puede ser realizado en el momento de la inspección.
- **Pruebas funcionales completas:** Además de las pruebas de funcionamiento realizadas en otras partes de la rutina, es importante trabajar con el usuario para operar el dispositivo en todos los modos de funcionamiento disponibles.

Esto no sólo facilita la identificación de posibles daños en el equipo, sino que también mejora las condiciones. Comunicación entre técnicos y usuarios, como resultado el propio técnico o usuario podría detectar el mal funcionamiento del equipo.

- **Ajuste y calibración:** Para las pruebas se debe tomar en cuenta lo analizado antes, en la inspección interna y externa del equipo, donde se miden los parámetros más importantes de acuerdo con las normas técnicas vigentes para ello, instrucciones del fabricante u otras normas necesarias.

Luego, se debe realizar las calibraciones necesarias, encender el dispositivo y medir los parámetros necesarios. Ambas medidas son necesarias hasta que la maquina muestre signos de desequilibrio. Antes de realizar cualquier mantenimiento, asegúrese de contar con los materiales, herramientas y equipos necesarios para realizar cada mantenimiento.

3.11.1. Materiales básicos para el mantenimiento

- **Pintura tipo esmalte anticorrosivo:** Producto que actúa como anticorrosivo y como pintura de terminación al mismo tiempo. Está formulado a base a resinas alquílicas y pigmentos inhibidores de corrosión que le confieren un alto poder anticorrosivo, presenta terminación semi brillo.

- **Recubrimiento antioxidante:** los recubrimientos inhibidores de corrosión más efectivos, en un tiempo, fueron los materiales de base aceite o solvente.

En años recientes los productos de base agua han sido desarrollados y están siendo utilizados con gran éxito. La mayor parte de estos son formulados con resinas nitro acrílicas y pigmentos metálicos de acero inoxidable (composición: Cromo 17%, Níquel 13%, Molibdeno 2,25%, Acero 67,75%).

Siendo usado como acabado para la protección de superficies de acero inoxidable que han sido soldadas o atacadas por un elemento físico-químico. Proporcionan un brillo metálico a la superficie, excelente poder anticorrosivo, protege la base metálica, excelente adherencia sobre metales y plásticos, etc.

- **Pulimento de metales:** en forma de pasta ayuda a la limpieza y mantenimiento de metales ya que su fórmula con agentes activos que actúan química y mecánicamente en las piezas a tratar ofrece excelentes resultados de limpieza y de protección de piezas metálicas en una sola operación, con su mezcla de base acuosa con hidrocarbonatos y agentes de pulimento (óxido de aluminio).

No es tóxico ni inflamable, puede ser aplicado manualmente o con un sistema de limpieza y pulido. Elevada resistencia térmica. No perjudica la piel del usuario, aunque conviene lavarse después de su utilización.

- **Instrumentos de electricidad:** Con la finalidad de poder solventar los inconvenientes generados por las desconexiones, cortes o fundición de algunos cables eléctricos y de paso de señales.

Es necesario contar con algunas herramientas como; alicate, playo, cinta de alta emisividad, y repuestos de los mismos cables; así solucionando los problemas tanto eléctricos u otros

3.12. Banco de tareas de mantenimiento

Para las tareas de mantenimiento necesarias previstas en el tubo de impedancia acústica, se detalla de una manera ordenada las partes fundamentales que requieren revisiones periódicas, tanto por su uso, como también por su funcionamiento, siendo partes indispensables y fundamentales para el funcionamiento del banco de pruebas.

Las tareas que se presentan a continuación pueden estar sujetas a modificaciones con el tiempo y el uso del equipo, presentando y actualizando las fichas e historiales de uso y averías que se proporcionaron con el fin de poder mantener y mejorar las presiones y tareas de mantenimiento con el tiempo.

Tabla 3-8: Tareas de Mantenimiento

 		TAREAS DE MANTENIMIENTO					
Versión: 2024		TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA					
#	Tareas	Ide.	Superficie	#	Tareas	Ide.	Superficie
1	LIMPIEZA EXTERNA	a	Equipo	2	LIMPIEZA INTERNA	a	Tubo de acero inoxidable
		b	Mixtos				
#	Tareas	Ide.	Superficie	#	Tareas	Ide.	Superficie
3	INSPECCIÓN	a	Externa	4	AJUSTES	a	Internos
		b	Interna			b	Externos
#	Tareas	Ide.	Superficie	#	Tareas	Ide.	Superficie
5	PRUEBAS FUNCIONALES	a	Completa	6	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	a	Bocines
		b	Por partes			b	Acoples
						c	Pintura

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Tabla 3-9: Tareas de mantenimiento de superficies

Limpieza externa e interna del tubo de impedancia acústica		Tarea: 01 a-b	
		Frecuencia	
		Ejecutada Práctica	
Tareas de Mantenimiento		Mensual	
Tubo de impedancia acústica		Semanal	x
		Máquina	
		Apagada	x
Tiempo de ejecución: 20 min/ equipo	Encendida		
<p>Aplica a:</p> <p style="text-align: center;">Todas las partes presentes en el banco de pruebas FAME-EI-TI01</p>			
Herramientas: Brocha, franela, esponja	Materiales: Líquido limpiador de pintura, cera, saca brillo	Equipos: Aspiradora, compresor	
<p>Procedimiento:</p> <p>Externo</p> <p><input type="checkbox"/> Encender la aspiradora y con ayuda de la brocha se procede a absorber todas las partículas de polvo que se encuentren dentro del tubo hueco y el porta muestras.</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Con la franela limpiar todas las partes del banco de pruebas, teniendo cuidado con los equipos frágiles, recogiendo con la aspiradora y la franela los restos de polvo desplazados.</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Para mejorar la apariencia del equipo, con la franela y la esponja colocar un poco de cera o limpiador y frotarlo sobre el metal con cuidado y sobre este formando círculos.</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Retirar lo aplicado con una franela seca.</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Si no se logra el aspecto requerido, repetir los puntos anteriores hasta lograr el aspecto deseado.</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Las franclas usadas tanto para retirar el polvo como para limpiar la cera deben ser lavados para un próximo uso.</p> <p>Interno</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Con la broca proceder a limpiar la parte interna del tubo de impedancia separando el polvo encontrado en su interior</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Con la franela quitar la acumulación de polvo para posterior aspirarlo</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Separar el parlante del tubo de impedancia y proceder a limpiarlo con la esponja y un poco de saca brillo <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Proseguir con la limpieza interna del amplificador el cual se lo realizara quitando la tapa de protección y posterior limpiando en su interior con una brocha</p>			
<p>Observaciones:</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> En la limpieza se puede empezar por el piso y ventanas de laboratorio con anterioridad, ya que las partículas de polvo que se elevan durante este procedimiento, reposan nuevamente sobre los equipos.</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Evitar untar en exceso la cera o le limpiador; este puede tardar más en ser removido o puede cubrir ciertos conductos o elementos, siendo necesaria la ayuda de otras herramientas para ser retirado.</p>			

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Tabla 3-10: Inspección interna y externa

Inspección externa e interna del tubo de impedancia acústica		Tarea: 03 a-b	
		Frecuencia	
		Ejecutada Práctica	
Tareas de Mantenimiento		Mensual	
Tubo de impedancia acústica		Semanal	x
		Máquina	
		Apagada	x
Tiempo de ejecución: 20 min/ equipo		Encendida	
<p>Aplica a:</p> <p style="text-align: center;">Todas las partes presentes en el banco de pruebas</p> <p style="text-align: center;">FAME-EI-TI01</p>			
Herramientas: Medios Visuales, táctiles y auditivos		Materiales:	Equipos: Vibrachek
<p>Procedimiento:</p> <p>Externo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se verifica a simple vista el estado del banco de pruebas, como de cada uno de los equipos, conexiones, aspecto de la mesa y soportes, y de las partes importantes. • Si se presenta corrosión se debe proceder a la tarea correspondiente a corrección de superficies. • Revisar que el parlante, amplificador, micrófonos y demás equipos funciones correctamente, cerciorándose que los equipos no tengan obstrucción por partículas de polvo o basura. • Verificar el estado del acople entre el porta muestras y el tubo de impedancia, para que sea lo más hermético posible. • Examinar los acoples entre el parlante y el tubo de impedancia como también de los bocines para el ingreso de los micrófonos. <p>Interno</p> <ul style="list-style-type: none"> • Separar las bridas del porta muestras y el tubo de impedancia y verificar algún daño interno, o la presencia de material corrosivo o restos de muestras. • Proceder al siguiente procedimiento como es la tarea correspondiente a corrección de superficies internas. • Observar signos de desgaste, fatiga o rotura, en las uniones o pernos que sujetan el porta muestras, cómo al tubo de impedancia en la mesa de trabajo. • Abrir el amplificador y verificar las conexiones eléctricas y electrónicas, en los controles y cableado verificar el desgaste de las uniones. 			
Observaciones:			

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Tabla 3-11: Ajustes internos y externos

Ajustes internos y externos del tubo de impedancia acústica		Tarea: 04 a-b	
		Frecuencia	
		Ejecutada Práctica	
Tareas de Mantenimiento		Mensual	
Tubo de impedancia acústica		Semanal	x
		Máquina	
		Apagada	x
Tiempo de ejecución: 20 min/ equipo	Encendida		
<p>Aplica a:</p> <p style="text-align: center;">Todas las partes presentes en el banco de pruebas</p> <p style="text-align: center;">FAME-EI-TI01</p>			
Herramientas: Brocha, franela, esponja	Materiales: Líquido limpiador de pintura, cera, saca brillo	Equipos: Aspiradora, compresor	
<p>Procedimiento:</p> <p>Interna:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abrir las tapas del amplificador, DAQ y del tubo de impedancia. • Revisar el ajuste de los pernos del porta muestras y de la base del tubo de impedancia. • Revisar el ajuste del parlante y de los cables del amplificador que no puedan causar un cortocircuito. • Revisar en el interior de la DAQ la correcta unión de los polos y de los cables de datos y de adquisición de datos. <p>Externa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Constatar que todos los pernos de sujeción de la estructura se encuentren apretados usando la llave específica para cada uno de estos y cuidando que el empaque ubicado entre el soporte y en este caso el piso (cimentación) no se destruya. • Revisar que los diferentes pernos de las tapas susceptibles a ser abiertas en los equipos no estén flojos. • Los soportes de cada motor deberán ser ajustados hasta el margen fijado por el instructor ya que como se ha mencionado al principio este equipo fue diseñado para simular los diferentes tipos de desalineación. 			
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si no se logra ajustar de manera adecuada se debe reemplazar los elementos, pernos o componentes defectuosos por otros nuevos o de mejor calidad, con el fin de evitar inconvenientes. 			

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Tabla 3-12: Ajustes internos y externos

Pruebas funcionales del tubo de impedancia acústica		Tarea: 05 a-b	
		Frecuencia	
		Ejecutada Práctica	x
Tareas de Mantenimiento		Mensual	x
Tubo de impedancia acústica		Semanal	x
		Máquina	
		Apagada	x
Tiempo de ejecución: 20 min/ equipo		Encendida	
<p>Aplica a:</p> <p style="text-align: center;">Todas las partes presentes en el banco de pruebas</p> <p style="text-align: center;">FAME-EI-TI01</p>			
Herramientas:	Materiales:	Equipos:	
Brocha, franela, esponja	Líquido limpiador de pintura, cera, saca brillo	Aspiradora, compresor	
<p>Procedimiento:</p> <p>Completas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cerciorarse que ningún elemento extraño impida el normal funcionamiento del equipo antes de encenderlo. • Encender el equipo siguiendo todos los procedimientos indicados en la ficha de partes principales. • Verificar el funcionamiento de los diferentes interruptores de encendido o apagado, como también del funcionamiento del cableado necesario para la transmisión de las señales en los distintos equipos. • Para la medición de vibraciones tomares en cuenta el siguiente procedimiento: <ul style="list-style-type: none"> • Armar las rutas de medición en un computador. • Transferir las rutas al equipo. • Escoger el transductor más adecuado. • Armar el acelerómetro y el medidor de temperatura. • Medir en cada punto establecido con el banco en funcionamiento. • Guardar los datos tomados. • Transferir los datos al computador. • Realizar el análisis de los espectros. 			
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si el equipo presentase alguna condición anormal en su funcionamiento, revisar las Tablas de datos indicativos de acuerdo a las partes que lo constituyen a fin de establecer causas, síntomas y posibles soluciones mediante la prueba de funcionamiento por partes. • Se debe cubrir con papel y cinta adhesiva las superficies a las que pudiera afectar las gotas de pintura. 			

Realizado por: Colcha, D., 2024.

3.12.1. Tabla de fallas perteneciente al tubo de impedancia acústica

Tabla 3-13: Fallas, posibles causas y acciones correctivas

Tabla indicativa de fallas, posible causa y acción correctiva		
Tubo de Impedancia Acústica		
Síntoma	Posible Causa	Acción Correctiva
Generación de ruidos inadecuados en el banco de pruebas	Mala conexión entre los micrófonos	Determinar las posiciones de cada uno de ellos
	Desgaste en los cables de entrada y salida	Los cables apantallados son sensibles a roturas, verificar
	Cable de conexión inadecuado, no absorben ruido externo.	Los cables adecuados deben ser apantallados no cables normales
Altavoz con exceso de vibración	Desgaste en la rosca del altavoz	Reparar la rosca en el interior del tubo y el contorno del parlante
Vibración entre bocines-micrófonos	Mal ajuste entre los micrófonos y el bocín	Verificar un adecuado cierre entre los dos materiales por medio de silicona u otros
	Falta de empaque y desgaste de los bocines	Para una correcta sujeción en los bocines se recomienda aumentar su diámetro e introducir una capa de material aislante
Mala sujeción en la brida con el porta muestras	Mal ajuste de los pernos	Apretarlos adecuadamente o reemplazarlos.
	Verificar la posición de ajuste	Cada elemento tiene una posición designada, tener en cuenta
Los micrófonos no receptan las señales adecuadas	Cables rotos	Al se cables apantallados se los puede cambiar por nuevos
	Mala conexión	Las entras y salidas sufren desgastes cambiar las mismas
La DAQ no adquiere datos de manera precisa	Puntos de conexión desgastados, cable de datos con roturas	Para el cable de datos se debe cambiar inmediatamente por un repuesto nuevo.
Fusibles quemados o fallas de cortocircuitos	Se sobrecarga el circuito	Reducir la presión en el objeto
	Fusible o interruptor descartado	Sustituya por el fusible o el interruptor correcto.

Realizado por: Colcha, D., 2024.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Guía para el uso y mantenimiento del tubo de impedancia acústica

Para entender de manera concreta cómo opera y los pasos necesarios para el mantenimiento del tubo de impedancia acústica, se da una guía, esto ayudará de manera que los estudiantes y personal que realice pruebas en el equipo lo realicen adecuadamente con el tiempo necesario para cada ensayo.

Por otra parte, se detalla los resultados obtenidos en las pruebas realizadas bajo determinadas condiciones con algunos materiales de construcción donde se detalla y analiza la impedancia de cada material y se compara cada uno de ellos.

4.1.1. *Presentación del manual de operación*

El propósito de esta guía es proporcionar las herramientas y la información necesarias para operar adecuadamente el banco de pruebas denominado tubo de impedancia acústica. Para la operación se presentan siete pasos fundamentales, que garantiza el correcto manejo apoyado de los estándares presentes en normas internacionales como la UNE EN ISO 10534-2 esto permitirá preservar la vida útil del equipo, como se muestra en la Tabla 4-1

4.1.1.1. *Alcance*

Este manual aplica desde la ubicación de cada uno de los equipos en las posiciones correspondientes, pasando por las instalaciones y conexiones necesarios entre ellos para poder realizar las mediciones.

Posterior se realizará la toma de mediciones por parte de los estudiantes, con el uso de los programas previamente instalados, y conociendo el uso del interfaz y cada uno de sus respectivos comandos y teniendo en cuenta las variables necesarias que se pueden modificar con cada uno de los elementos que se analicen

Tabla 4-1: Guía para el uso del tubo de impedancia acústica

GUÍA DE OPERACIÓN PARA EL TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA		Ficha 2-2	
ESPOCH – FACULTAD DE MECÁNICA		Aplica a:	
SECCIÓN: LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS E INTEGRIDAD SUPERFICIAL		FAME-EI-TI01	
<p>DESCRIPCIÓN: Se le llama tubo de impedancia acústica, al equipo que consiste en un tubo hueco con un porta muestras unidos por una brida, contiene 2 bocines en los cuales se conectan dos micrófonos piezoeléctricos, en uno de sus extremos está conectado a un altavoz que emite las señales a estudiar, las cuales pasan por un amplificador hacia una DAQ que mediante programación transfiere esta información hacia los micrófonos y hasta un ordenador para la simulación y análisis.</p>			
SEGURIDAD:	PROCESO	DESCRIPCIÓN	CONTROL
<p>Utilice mandil y equipo auditivo de seguridad correspondiente para el uso del tubo de impedancia</p>	<pre> graph TD Start([Comienzo]) --> Familiarize[Familiarice con los equipos] Familiarize --> Connect{Conecte el amplificador con la toma de energía eléctrica} Connect -- No --> Revise[Revise las tomas y las conexiones] Revise --> Connect Connect -- Yes --> TurnOn[/Encienda el amplificador/] TurnOn --> ConnectEquip[/Conecte los equipos (altavoz y micrófonos) adecuadamente en el tubo de impedancia/] ConnectEquip --> Adjust[Ajuste las probetas en el portamuestras] Adjust --> ConnectDAQ[/Conecte la DAQ a la computadora y a los polos opuestos de los cables de micrófonos/] ConnectDAQ --> StartSoft[Inicio de los softwares] StartSoft --> FamiliarizeLabVIEW[/Familiarice con los comandos en labVIEW/] FamiliarizeLabVIEW --> TakeSamples[/Tome las muestras en los tiempos establecidos para cada material/] TakeSamples --> TurnOff[/Apague, desconecte y guarde los equipos usados/] TurnOff --> End([Fin]) </pre>	<p>Conecte el amplificador a la fuente de energía eléctrica cómo también al cortapicos.</p>	<p>Asegurarse que los polos del amplificador coincidan mediante color con los del altavoz para su correcto funcionamiento</p>
		<p>El tubo de impedancia funciona en conjunto con un ordenador un amplificador. Los equipos deben estar encendidos</p>	<p>Realice pruebas en el equipo con ruido blanco antes de los ensayos</p>
		<ul style="list-style-type: none"> • Conecte el amplificador al altavoz, luego la DAQ con los micrófonos en el tubo de impedancia y por último mediante un cable de transmisión de datos al ordenador desde la DAQ • Abra LabVIEW y Matlab • Abra la aplicación desarrollada para los análisis • Coloque las instrucciones necesarias de frecuencia y de amplitud. • Ingrese las muestras en el porta muestras con 	<p>Con la operación de los equipos evitar generar ruidos externos para que los ensayos funcionen de manera adecuada. Al realizar el manejo del software guardar los ensayos de manera adecuada como se muestra en la guía para no tener inconvenientes. Al procesar las señales darse cuenta de las variaciones entre uno y otro material.</p>

		una película lubricante (vaselina). <ul style="list-style-type: none"> • Arranque el programa y tome las muestras necesarias. • Apague y desconecte los equipos, guárdelos y manténgalos seguros. 	
--	--	---	--

Realizado por: Colcha, D., 2023.

4.1.1.2. Condiciones de manejo, LabVIEW y Matlab

Para realizar un correcto manejo tanto el LabVIEW como en Matlab se realizó una programación abierta a mejoras para los estudiantes, la que cuenta con parámetros que se van modificando para el uso con los ensayos necesarios que se pretendan realizar, los estudiantes pueden modificar los parámetros tanto de frecuencia como de número de muestras y datos que se pueden tomar para cada material que estudien.

En la etapa de prueba y generación de señales es preciso indicar las señales tomadas con cada material, realizando un énfasis en los comandos necesarios para su correcto funcionamiento, logrando generar una interfaz capaz de ser manejado por personal capacitado y por los estudiantes que deseen utilizarlo sin mayores inconvenientes

4.1.2. Parámetros de ensayo

Con el uso de la norma UNE EN ISO 10534-2, se da inicio a las pruebas con los distintos materiales, para realizar las pruebas se debe tomar consideraciones anteriormente descritas como la capacidad en la que opera el altavoz ubicado en la parte posterior del tubo de impedancia acústica, el cual opera en un valor de frecuencia de 1500 Hz a 22000 Hz, por otra parte en estudios anteriores se determinó que la frecuencia que el tubo maneja es de 420 Hz y 3700 Hz.

Por tal motivo se tiene determinadas limitación tanto por construcción como por capacidad de los equipos, en particular la capacidad del altavoz, de tal manera que uno de los parámetros que se debe tener en cuenta es la frecuencia que en el ensayo será de 1500 a 3700 Hz.

Para generar las frecuencias establecidas para los ensayos se recomienda el uso de un dispositivo externo como puede ser un teléfono celular, el cual contenga determinada aplicación que genere

las frecuencias como también permita el uso de ruido blanco con él se procede a aplanar las ondas lo mejor posible para que el tubo de impedancia quede limpio y así realizar buenos análisis.

4.1.3. *Determinación de las muestras de ensayo*

Para realizar los ensayos en el tubo de impedancia acústica se debe tener en cuenta algunos parámetros correspondientes a cada material con el que se va trabajar, como: densidad, volumen y masa.

Material: Bloque

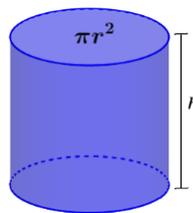


Ilustración 4-1: Bloque

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Densidad ρ : 1.75 g/cm³

Volumen: $v = \pi r^2 * h$



$$v = [\pi (24.4)^2 * 20] \text{ mm}^3$$

$$v = 37.40757 \text{ mm}^3$$

$$v = 3.74075 \text{ cm}^3$$

Masa Total: $m = v * \rho$

$$m = 3.74075 \text{ cm}^3 * 1.75 \text{ g/cm}^3$$

$$m = 6.546 \text{ g}$$

Material: Ladrillo



Ilustración 4-2: Ladrillo

Realizado por: Colcha, D., 2024.

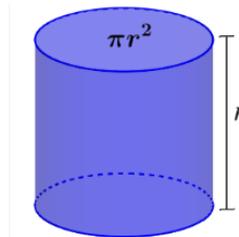
Densidad ρ : 1.95 g/cm³

Volumen: $v = \pi r^2 * h$

$$v = [\pi (24.4)^2 * 40] \text{ mm}^3$$

$$v = 74.8153 \text{ mm}^3$$

$$v = 7.4815 \text{ cm}^3$$



Masa Total: $m = v * \rho$

$$m = 7.48153 \text{ cm}^3 * 1.95 \text{ g/cm}^3$$

$$m = 14.586 \text{ g}$$

Material: Cerámica

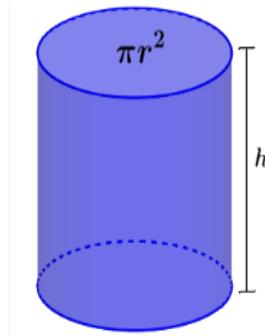


Ilustración 4-3: Cerámica (Baldosa)

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Densidad ρ : 0.23 Kg/m³

Volumen: $v = \pi r^2 \cdot h$
 $v = [\pi (24.4)^2 \cdot 0.5] \text{mm}^3$
 $v = 33.5189 \text{mm}^3$
 $v = 3.3518 \text{cm}^3$



Masa Total: $m = v \cdot \rho$
 $m = 3.3518 \text{cm}^3 \cdot 23 \text{g/cm}^3$
 $m = 7.07 \text{g}$

4.1.4. Análisis de los ensayos realizados

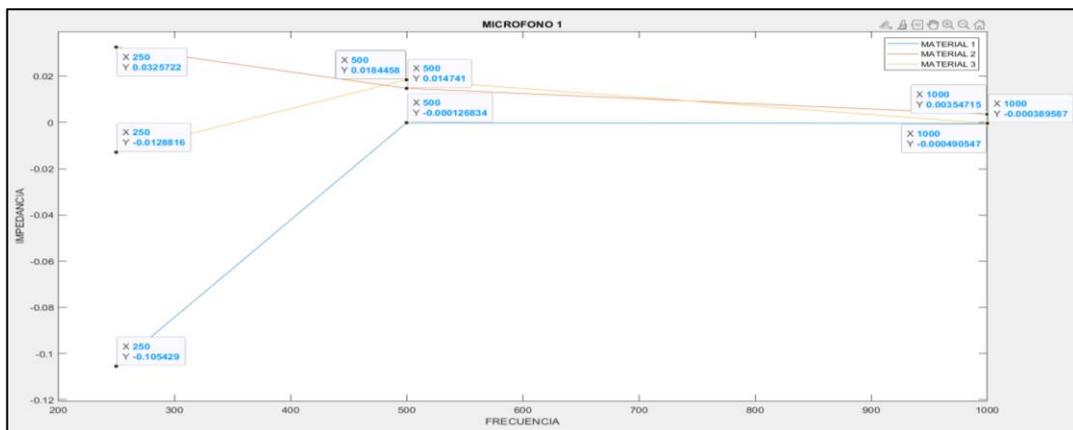


Ilustración 4-4: Impedancia vs Frecuencia micrófono 1

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Interpretación de resultados: micrófono 1:

Para la interpretación de resultados con cada material se procede a analizar a los dos micrófonos por separado ya que por las distancias que existe entre estos y por la distancia a la cual se encuentra la muestra serán valores que diferirán de una manera mínima pero visible.

En donde se observó que a una frecuencia de 250 Hz los tres materiales presentan características totalmente diferentes de impedancia, siendo el bloque el material que se encuentra en la parte más baja de la curva con una impedancia con valores negativos de $-0.1054 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$, mientras que para el ladrillo los valores lo superan sobrepasando los valores negativos llegando a un valor de $0.0325 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$, siendo el último material analizado una fracción de cerámica que empieza con los valores por debajo del cero mostrándonos una impedancia negativa de $-0.01288 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$.

Para la frecuencia de 500 Hz se tiene que existe un aumento considerable en la impedancia por parte del bloque llegando a un valor de $-0.00001268 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$, posterior a eso se observó las características del ladrillo que al contrario del bloque sufrió un descenso en sus cualidades llegando a un valor de $0.01464 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ y para la cerámica a medida que aumentan las frecuencias su impedancia también aumenta a valor de $0.01844 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$

Para la frecuencia de 1000 Hz se llega a una considerable paridad entre las impedancias de los distintos materiales, en la impedancia por parte del bloque llegando a un valor de $-0.0004905 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$, posterior a eso se observó las características del ladrillo que al contrario del bloque sufrió un aumento en sus capacidades llegando a un valor de $0.003547 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ y para la cerámica a medida que aumentan las frecuencias su impedancia declive hasta llegar a valor de $-0.0003895 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$

Tabla 4-2: Impedancias micrófono 1

Material	F(Hz)	$Z(\frac{\text{Pa*s}}{\text{m}})$
bloque	250	-0.1054
	500	-0.00001
	1000	0.0004
Ladrillo	250	0.0325
	500	0.0146
	1000	0.0035
Cerámica	250	-0.0128
	500	0.0184
	10000	-0.0003

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Interpretación de resultados: micrófono 2:

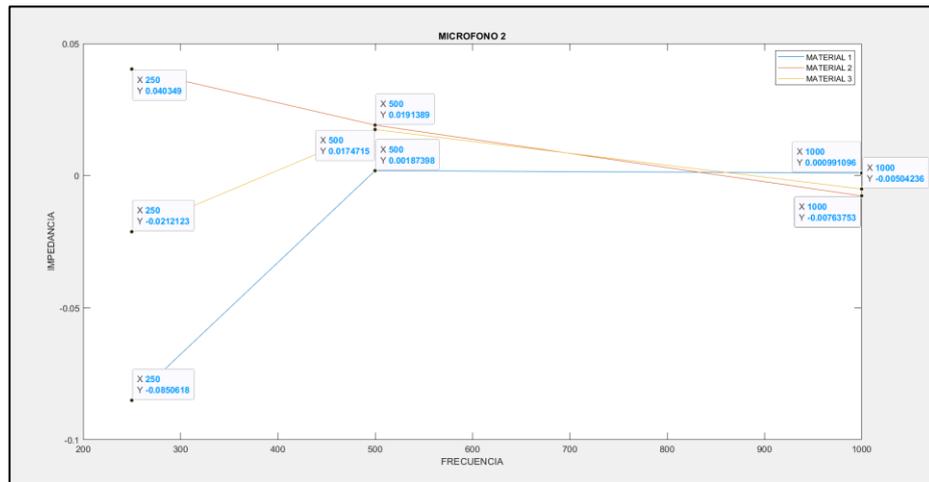


Ilustración 4-5: Impedancia vs frecuencia micrófono 2

Realizado por: Colcha, D., 2024.

En donde se observó que a una frecuencia de 250 Hz los tres materiales presentan características totalmente diferentes de impedancia, siendo el bloque el material que se encuentra en la parte más baja de la curva con una impedancia con valores negativos de $-0.0850 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$, mientras que para el ladrillo los valores lo superan sobrepasando los valores negativos llegando a un valor de $0.0403 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$, siendo el último material analizado una fracción de cerámica que empieza con los valores por debajo del cero mostrándonos una impedancia negativa de $-0.02121 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$.

Para la frecuencia de 500 Hz se tiene que existe un aumento considerable en la impedancia por parte del bloque llegando a un valor de $0.001873 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$, posterior a eso se observó las características del ladrillo que al contrario del bloque sufrió un descenso en sus cualidades llegando a un valor de $0.01913 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ y para la cerámica a medida que aumentan las frecuencias su impedancia también aumenta a valor $0.0174 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$

Para la frecuencia de 1000 Hz se llega a una considerable paridad entre las impedancias de los distintos materiales, en la impedancia por parte del bloque llegando a un valor de $0.000991 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$, posterior a eso se observó las características del ladrillo que al contrario del bloque sufrió un aumento en sus capacidades llegando a un valor de $-0.00763 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$ y para la cerámica a medida que aumentan las frecuencias su impedancia declive hasta llegar a valor de $-0.00504 \text{ Pa} \frac{\text{s}}{\text{m}}$; estos valores permitieron determinar el elemento en cada frecuencia cuenta mayor impedancia y por tal

motivo se tiene una base de datos que servirá para poder determinar el coeficiente de absorción acústica.

Tabla 4-3: Impedancias micrófono 2

Material	F(Hz)	$Z(\frac{P^*s}{m})$
bloque	250	-0.0850
	500	0.0018
	1000	0.0009
Ladrillo	250	0.0403
	500	0.0191
	1000	-0.0076
Cerámica	250	-0.0212
	500	0.0174
	10000	-0.0050

Realizado por: Colcha, D., 2024.

4.2. Mantenimiento del tubo de impedancia acústica.

Tabla 4-4: Probabilidad de fallas de los equipos

	Probabilidad de que el control detecte la falla	DPPM	Probabilidad de detección	Calif.	Escala de color
Muy baja	Sin control del proceso actual. No puede detectarse o no es analizado		Casi imposible	10	
Baja	El modo de falla o la causa no es fácilmente detectado	50.000	Muy remota	9	
	Detección del modo de falla posterior al procesamiento por el operador con ayudas visuales, táctiles o auditivas	20.000	Remota	8	
Moderada	Detección del modo de falla en la estación de trabajo por el operador con ayudas visuales, táctiles o auditivas	10.000	Muy baja	7	
	Detección del modo de falla posterior al procesamiento por medio de chequeos manuales del producto	5.000	Baja	6	
	Detección del Modo de la Falla en la estación por el operador a través del uso de controles automatizados en la estación que detecten la parte discrepante y notifiquen al operador (luz, timbre). Chequeo se ejecuta en los ajustes y en el chequeo de la primera pieza (para causas de ajuste solamente)	2.000	Moderada	5	
Alta	Detección del Modo de la Falla posterior al procesamiento por controles automatizados que detectan la parte discrepante y aseguran la parte para prevenir algún procesamiento posterior	1.000	Altamente moderada	4	
	Detección del Modo de la Falla en la estación por controles automatizados que detectan la parte discrepante y aseguran automáticamente la parte en la estación para prevenir algún procesamiento posterior	500	1 en 2,000	3	
Muy alta	Detección (de las Causas) del Error en la estación por controles automatizados que detectan el error y previenen que la parte discrepante sea hecha.	200	1 en 5,000	2	
	Prevención (de las Causas) del Error como resultado del diseño de un dispositivo, diseño de la máquina o diseño de la parte. Partes discrepantes no pueden hacerse porque el ítem/ artículo se ha hecho a prueba de errores por el diseño del producto/proceso	100	1 en 10,000	1	

Fuente: Aguinda J., 2023.

Realizado por: Colcha, D., 2024.

Al desarrollar una metodología que permitirá dar soluciones a los inconvenientes ocurridos en el transcurso de la vida del equipo se procede a detallar por medio de una Tabla la probabilidad de fallas de cada uno de los equipos que conforman el tubo de impedancia acústica.

4.3. Plan de mantenimiento

Una vez determinadas las funciones, fallas funcionales, modos de falla y consecuencias en el tubo de impedancia acústica se proceden a llenar con dicha información y se obtiene la Tabla 4-5 y la Tabla 4-6

Tabla 4-5: Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) del tubo de acero inoxidable AISI-304 del tubo impedancia acústica

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Área:		Elemento:	Facilitador	Página		
		Ensayos no destructivos		Código:	Auditor	Pág: 1-1		
		Sistema:		Realizado por:	Fecha de la auditoria:			
		Tubo de Impedancia Acústica		Autor	1/08/2023			
Función	N	Falla Funcional	Modo de Fallo Nivel 1	Efecto de Falla	Consecuencia			
1	A	No producir ondas planas entre la fuente y la muestra	Tubo obstruido por acumulación de polvo y humedad	Evidente	Atascamiento de la muestra			
				Afectaciones	Afectación a la toma de datos			
				Tiempo de parada	La parada promedio es de 20 min para realizar la limpieza del tubo			
				Tarea correctiva	Limpieza interior del tubo			
				Probabilidad de ocurrencia	de 1 mes			

Realizado por: Colcha, D., 2023.

Tabla 4-6: Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) de la Tarjeta de adquisición de datos Ni USB-9234 del tubo impedancia acústica

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Área:		Elemento:	Facilitador	Página		
		Ensayos no destructivos		Código:	Auditor	Pág: 1-1		
		Sistema:		Realizado por:	Fecha de la auditoria:			
		Tubo de Impedancia Acústica		Autor	1/08/2023			
Función	N	Falla Funcional	Modo de Fallo Nivel 1	Efecto de Falla	Consecuencia			
1	A	No adquirir datos de frecuencia hasta 25,6 kHz con un rango dinámico de hasta 102 dB	Incompatibilidad con el software	Evidente	No se reciben las mediciones			
				Afectaciones	Afecta a la toma de datos			
				Tiempo de parada	La parada promedio es de 3 horas			
				Tarea correctiva	Instalar la versión compatible con la tarjeta			
				Probabilidad de ocurrencia	de 1 año			

Realizado por: Colcha, D., 2023.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Mediante la revisión bibliográfica de libros, documentos en internet y trabajos de investigación con información relacionada a los métodos y técnicas para la elaboración de manuales de operación y mantenimiento de tubos de impedancia acústica se generó un documento que abarca datos técnicos, pasos para el funcionamiento y recomendaciones de mantenimiento y seguridad.

Se implementó un manual de operación detallando los pasos a seguir de manera consecutiva y precisa para la correcta operación del equipo, diseñándose un formato útil para los estudiantes, optimizando los procesos y evitando la inadecuada manipulación del mismo.

Al estudiar distintos métodos y procedimientos de mantenimiento se llegó a un modelo en el cual están inmersos varios campos de aplicación útiles para fomentar un correcto desenvolvimiento, limpieza y reparación de cada uno de los equipos que conforman el banco de pruebas, obteniéndose historiales de falla y procedimientos con la finalidad de preservar el equipo en las mejores condiciones posibles.

Se realizó ensayos utilizando tres tipos de materiales: bloque, ladrillo y cerámica, arrojando resultados de impedancia en base a frecuencias de 250, 500 ,1000 Hz, las mismas que fueron utilizadas ya que son soportables por el oído humano en determinados intervalos de tiempo. Mediante una base de datos realizada en LabVIEW y Matlab se analizó y comparó las impedancias de cada uno de los materiales, dando como resultado el nivel de disipación de ruido tanto para el micrófono uno y el micrófono dos en los distintos materiales.

5.2. Recomendaciones

Al usar los manuales de operación y mantenimiento seguir de manera adecuada los pasos para realizar los ensayos y posterior cuidado del equipo, cómo también realizar mejoras en el procedimiento para tener mayor claridad y mejor interpretación del uso del equipo, reduciendo o adecuando los parámetros de su funcionamiento.

Llenar los historiales de averías de los equipos de manera adecuada y consciente con la finalidad de poder proporcionar información consistente de las partes y equipos más propensos a fallar durante las operaciones y poder dar soluciones a los mismos de manera eficiente.

El equipo es propenso a mejoras tanto de diseño cómo a su utilidad, realizando más estudios se puede llegar a encontrar características acústicas de los materiales como la obtención del coeficiente de absorción acústica, característica importante para considerar a un material como inhibidor del sonido.

Realizar ensayos cada seis meses utilizando los mismos materiales y las mismas frecuencias con el fin de comparar los resultados y corroborar el correcto funcionamiento del equipo. Para realizar los ensayos en el tubo de impedancia acústica se debe tener en cuenta, como primer paso fundamental la inyección de ruido blanco, ya que este permite aplanar las ondas en el interior del mismo; hay que tener precaución con la manipulación de los micrófonos y DAQ ya que son equipos delicados y costosos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACURIO, David.** Desarrollo de manuales de operación, seguridad y mantenimiento de los equipos del laboratorio de motores de combustión interna y eficiencia energética de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2017. pág. 6. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9201/1/15T00680.pdf>
2. **AGUINDA, Jimmy.** Utilización de un tubo de impedancia basado en la norma UNE EN-ISO 10534-2 para la determinación del coeficiente de absorción acústica para materiales aislantes, aplicados en actividades de mantenimiento [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2022. págs. 1-104. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/20876/1/25T00536.pdf>
3. **AMAZON.** EMB Monitor de estudio, 5" x 5" x 3 (ESM6). *Amazon* [en línea] 2023. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/ESM6-EMB-Monitor-estudio/dp/B00CIATOFM>.
4. **CASTAÑEDA, Jaime.** “Medición del coeficiente de absorción del sonido”. *Scientia Et Technica*, vol. 10, núm. 25 (2018). págs. 101-106.
5. **CEDINOX.** Acero inoxidable. *CEDINOX* [en línea]. 2022. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.cedinox.es/es/acero-inoxidable/que-es-el-acero-inoxidable/>
6. **CORRALES, Andrés.** *Implantación de un sistema de gestión de la calidad según ISO 9001* [en línea]. Madrid-España: Universidad de Madrid. 2022. pág. 16. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: https://oa.upm.es/44096/1/PFC_ANDRES_CORRALES_OJEADO.pdf
7. **FLORES, Mario.** “Base de datos de coeficientes de absorción sonora de diferentes materiales”. *Acoustics and Vibrations (A)* [en línea], 2016, 32(34). págs. 2901-2908. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/4527>

8. **MEJÍA, Diego.** Diseño e implementación de un manual de operación y mantenimiento para los laboratorios de electrotecnia, electrónica, máquinas eléctricas y vibraciones, de la Facultad de Mecánica (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2018. págs. 2-89. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3142/1/15T00560.pdf>
9. **MONTERROSO, Ana.** Diseño e implementación de un manual de seguridad e higiene industrial, para la planta de operación de Prolacsa [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala. 2007. pág. 26. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1788_IN.pdf
10. **NTX DISTRIBUTION.** ¿Qué es un amplificador de audio y para qué sirve? *NTX DISTRIBUTION* [en línea]. 2022. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.ntxdistribution.com/post/qué-es-un-amplificador-de-audio-y-para-qué-sirve#:~:text=Son%20dispositivos%20electrónicos%20que%20permiten,su%20aplicación%20en%20diferentes%20ámbitos...>
11. **PIEZOTRONICS, PCB.** ICP Electret Array Microphone. *PCB PIEZOTRONICS AN AMPHENOL COMPANY* [en línea]. 2023. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.pcb.com/products?m=130f20>
12. **SALAZAR, María.** Percepción de riesgos y clima de seguridad en estudiantes usuarios de laboratorios académicos en instituciones de educación superior de Sonora [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, A.C. Sonora-México. 2018. pág. 24. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/791/1/Salazar%20Escoboza%20MA_2018_MDR.pdf
13. **SARABIA, Arnay.** Estudio de la precisión en la determinación del coeficiente de absorción acústica en tubo de impedancia [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España. 2014. págs. 1-151. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: https://oa.upm.es/32511/1/tesis_master_hector_arnay_sarabia.pdf

- 14. TORNER RUBIES, M.** Tubo de impedancia en medio acuático. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena-Colombia. 2018.
- 15. WILSON, Margaret.** “Six views of embodied cognition”. *Psychonomic bulletin y review*. vol. 9, núm. 4 (2002), págs. 625-636.



ANEXOS

ANEXO A: CHECK LIST DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA OPERAR EL TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA

Modelo de lista de procedimientos de operación

	CHECK LIST OPERACIÓN DEL TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA	
Item/s inspeccionado/s:		Fecha:
Puntos chequeados: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>		Responsable:
Primera etapa: Preparación de equipos		
Coloque los equipos en los lugares correspondientes	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Coloque el Amplificador frente al tubo de impedancia	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Conecte los micrófonos y cables de conexión en los bocines A y B respectivamente en el tubo de impedancia.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Conecte el Altavoz en la parte posterior del tubo de impedancia	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Conecte en los canales 0 y 1 de la DAQ con los micrófonos y su cable de datos conectado a la computadora.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Conecte los Jack de audio desde el amplificador hacia un dispositivo celular o un ordenador	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Abra los softwares y las aplicaciones de generación de ruido y frecuencia.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Segunda etapa: medición y ensayo		
Coloque las muestras a ensayar en el tubo de impedancia, ajustando los pernos de la brida del porta muestras	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Inicie el software LabVIEW con la programación correspondiente	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Coloque los parámetros necesarios tanto de toma de datos como de muestras en función del tiempo con los botones “number of samples” y “rate”	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Inyecte ruido blanco para aplanar las ondas dentro del tubo durante 10 segundos botón Enable	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Después de esto: inyecte la primera frecuencia sea 250, 500 y 1000 hz dependiendo del análisis a realizar durante 10 segundos.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Por cada medición inyecte ruido blanco para la siguiente toma de datos.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Presione play en Matlab para que se generen y analicen las ondas de impedancia vs frecuencia	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	
Guarde y apague los equipos.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	

Realizado por: Colcha, D., 2024.

ANEXO C: FORMATO DE PLAN ANUAL DE MANTENIMIENTO

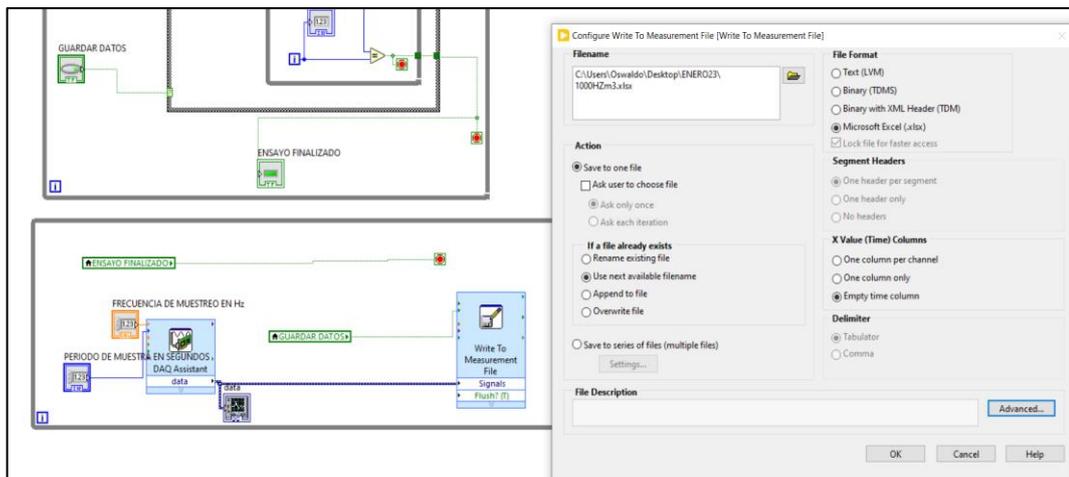
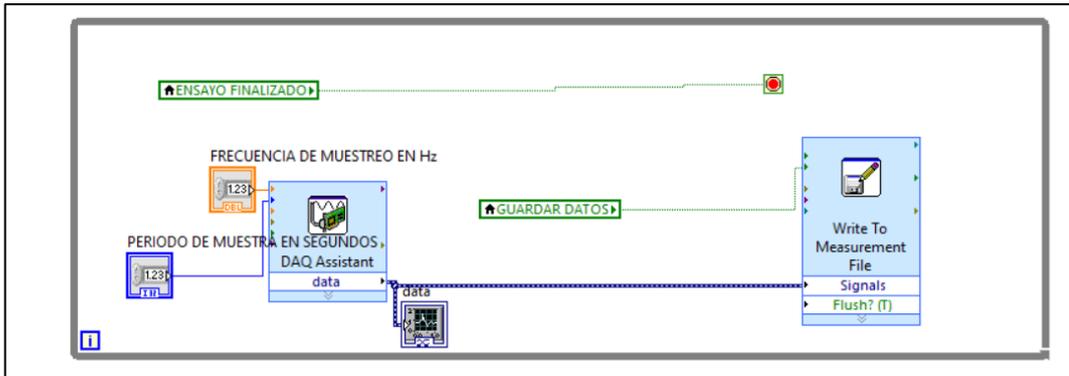
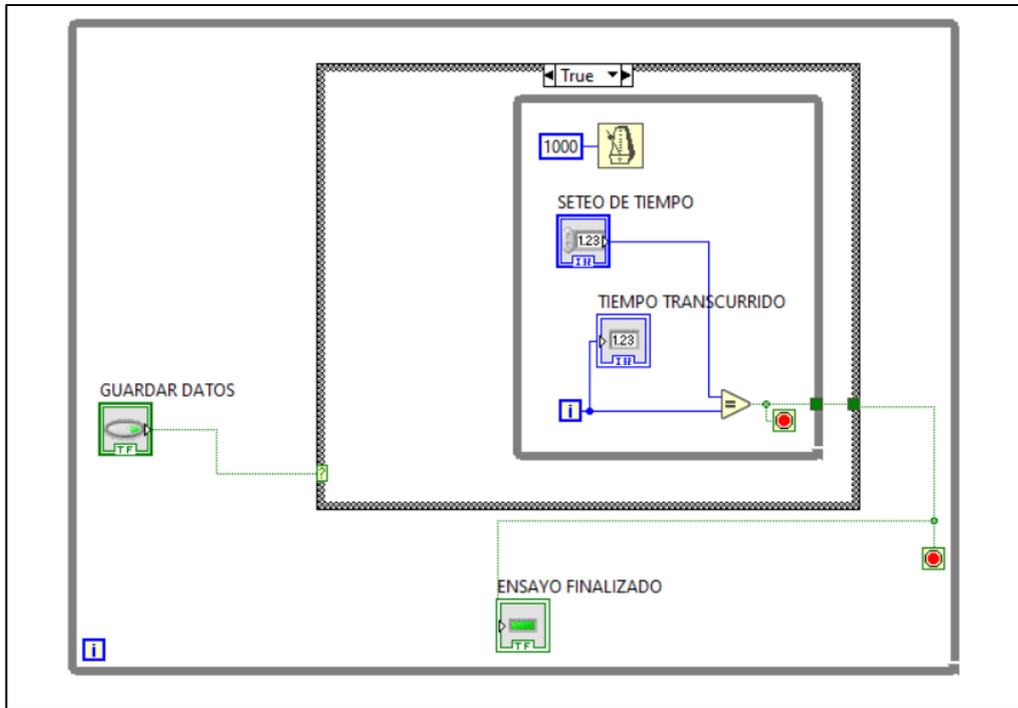
Modelo plan anual de mantenimiento

PLAN ANUAL ESPOCH-FAME-EI-TI01
FICHA DE REGISTRO
TUBO DE IMPEDANCIA ACÚSTICA

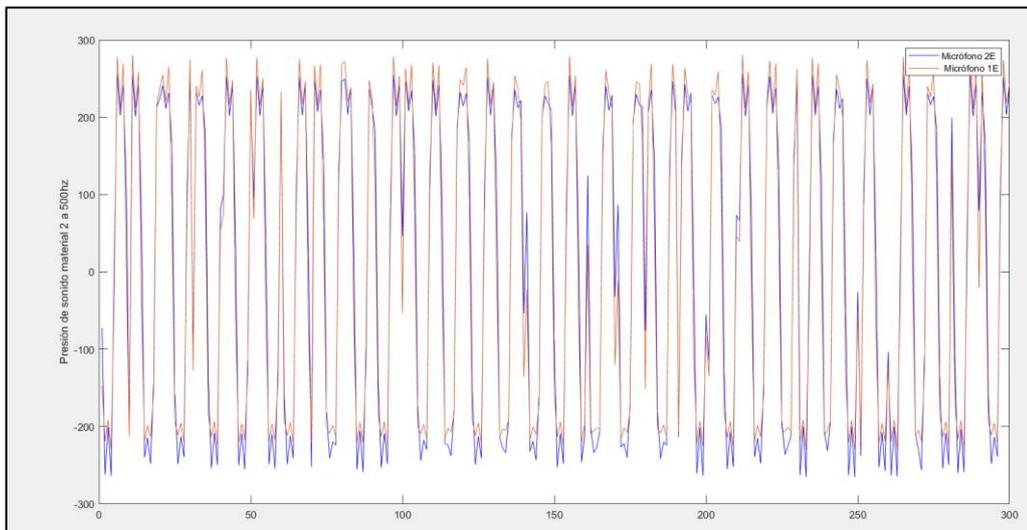
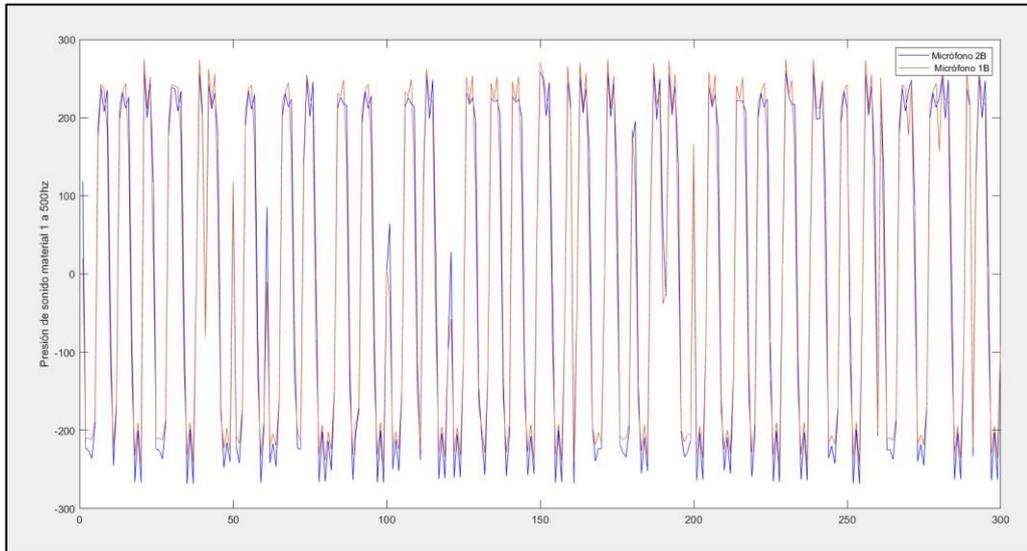
												Año:		
Tarea	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	EP	
01-a														
01-b														
02-a														
03-a														
03-b														
04-a														
04-b														
05-a														
05-b														
06-a														
06-b														
06-c														
07-a	Parte(s) afectada(s)						Fecha:			Firma:				
07-b	Parte(s) afectada(s)						Fecha:			Firma:				
Leyenda EP Ejecutada la práctica. 01-a Limpieza Externa de Superficies Externas 01-b Limpieza Externa de Superficies Mixtas 02-a Limpieza Interna tubo de acero inoxidable 03-a Inspección Externa 03-b Inspección Interna 04-a Ajustes Internos 04-b Ajustes Externos									N/A No se Aplica 05-a Pruebas Funcionales Completa 05-b Pruebas Funcionales Por Partes 06-a Corrección y reparacion en bocines 06-b Corrección de acoples y cableado 06-c Calibración de Instrumentos en General					
												Reemplazo de partes S (Sonido)- E(Eléctricas)		
S	Elemento y ubicación						Fecha:			firma:				
E	Elemento y ubicación						Fecha:			firma:				
S	Elemento y ubicación						Fecha:			firma:				
E	Elemento y ubicación						Fecha:			firma:				
S	Elemento y ubicación						Fecha:			firma:				
E	Elemento y ubicación						Fecha:			firma:				
control	Ene.		Feb.		Mar.		Abr.		May		Jun.			
	Jul.		Ago.		Sep.		Oct.		Nov.		Dic.			
Observaciones:														

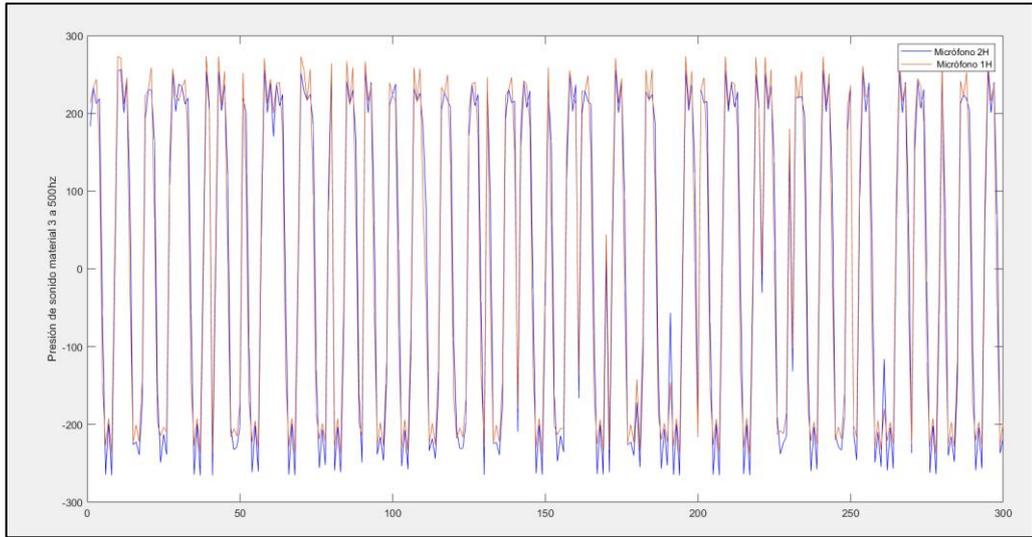
Realizado por: Colcha, D., 2024.

ANEXO D: DIAGRAMA DE BLOQUES UTILIZADO EN LAB VIEW



ANEXO E: ILUSTRACIÓN DE LA PRESIÓN DEL SONIDO PARA BLOQUE, LADRILLO Y CERÁMICA A FRECUENCIAS DE 500 HZ





ANEXO F: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO EN MATLAB ÚTIL PARA LOS TRES MATERIALES A ESTUDIAR

```
clc;
clear;

%Materiales: 1, 2 y 3
%Frecuencias de medida: 250hz, 500hz y 1000hz

%% MATERIAL: 1
%% FRECUENCIA: 250HZ
%%
%LECTURA DE PRESION DE SONIDO
presionsonido2A= xlsread ('250HZm1.xlsx', 'B2:B301');
presionsonido1A= xlsread ('250HZm1.xlsx', 'A2:A301');
xA=1:1:300;
%GRAFICA DE PRESION DE SONIDO DE LOS MICROFONOS 1 y 2
figure (1)
plot(xA,presionsonido2A, 'b', xA,presionsonido1A);
ylabel('Presión de sonido material 1 a 250hz');
legend('Micrófono 2A', ' Micrófono 1A');
%impedancia = presión /velocidad pa.s/m
velocidad=342;
impedancia2A=presionsonido2A/velocidad;
impedancia1A=presionsonido1A/velocidad;
%CALCULO DE LA MEDIA DE LA IMPEDANCIA
promedio_material_1_microfono_2_250hz=(sum(impedancia2A)/300);
promedio_material_1_microfono_1_250hz=(sum(impedancia1A)/300);

%% MATERIAL: 1
%% FRECUENCIA: 500HZ
%%
%LECTURA DE PRESION DE SONIDO
presionsonido2B= xlsread ('500HZm1.xlsx', 'B2:B301');
presionsonido1B= xlsread ('500HZm1.xlsx', 'A2:A301');
xB=1:1:300;
%GRAFICA DE PRESION DE SONIDO DE LOS MICROFONOS 1 y 2
figure (2)
plot(xB,presionsonido2B, 'b', xB,presionsonido1B);
ylabel('Presión de sonido material 1 a 500hz');
```

```

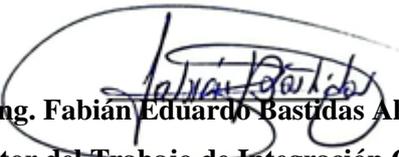
legend('Micrófono 2B',' Micrófono 1B');
%impedancia = presión /velocidad pa.s/m
velocidad=342;
impedancia2B=presionsonido2B/velocidad;
impedancia1B=presionsonido1B/velocidad;
%CALCULO DE LA MEDIA DE LA IMPEDANCIA
promedio_material_1_microfono_2_500hz=(sum(impedancia2B)/300);
promedio_material_1_microfono_1_500hz=(sum(impedancia1B)/300);
%% MATERIAL: 1
%% FRECUENCIA: 1000HZ
%%
%%LECTURA DE PRESION DE SONIDO
presionsonido2C= xlsread ('1000HZm1.xlsx','B2:B301');
presionsonido1C= xlsread ('1000HZm1.xlsx','A2:A301');
xC=1:1:300;
%GRAFICA DE PRESION DE SONIDO DE LOS MICROFONOS 1 y 2
figure (3)
plot(xC,presionsonido2C,'b',xC,presionsonido1C);
ylabel('Presión de sonido metal 1000hz');
legend('Micrófono 2C',' Micrófono 1C');
%impedancia = presión /velocidad pa.s/m
velocidad=342;
impedancia2C=presionsonido2C/velocidad;
impedancia1C=presionsonido1C/velocidad;
%CALCULO DE LA MEDIA DE LA IMPEDANCIA
promedio_material_1_microfono_2_1000hz=(sum(impedancia2C)/300);
promedio_material_1_microfono_1_1000hz=(sum(impedancia1C)/300);
%%
%%
%%

```



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 04/ 07 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: DENIS OSWALDO COLCHA LEÓN
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
Título a optar: INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
<p style="text-align: center;"> Ing. Fabián Eduardo Bastidas Alarcón Director del Trabajo de Integración Curricular</p> <p style="text-align: center;"> Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos Asesor del Trabajo de Integración Curricular</p>