



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“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”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

JIMMY LEONEL AGUINDA CRIOLLO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“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”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: JIMMY LEONEL AGUINDA CRIOLLO

DIRECTOR: ING. EDISON FERNANDO CALDERÓN FREIRE

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Jimmy Leonel Aguinda Criollo

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

Yo, Jimmy Leonel Aguinda Criollo, 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, 09 de agosto de 2023.



Jimmy Leonel Aguinda Criollo

CI: 2200081640

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, “**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**”, realizado por el señor: **JIMMY LEONEL AGUINDA CRIOLLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros 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 PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-08-09
Ing. Edison Fernando Calderón Freire DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-08-09
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-08-09

DEDICATORIA

El esfuerzo de este trabajo se lo dedico sin lugar a dudas a mi Madre Fanny Criollo, quien fue el pilar fundamental en mi formación para que yo diera este paso, siempre me motivó, me apoyo moral y económicamente para así poder llegar a ser un profesional de la patria. A mis padres de crianza (mis abuelos): Manuel Criollo y Juana Sánchez, quienes desde muy pequeño encomendaron su vida a criarme y poner mi vida al servicio de Dios; a mi hermano y sobrina que han estado presentes con su apoyo y motivación incondicional.

Jimmy

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme salud, bienestar y vida por acompañarme en todo mi camino. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que me abrió sus puertas para poder formarme y adquirir mis conocimientos y destrezas en el ámbito profesional dentro de la Carrera de Mantenimiento Industrial, a mis docentes los cuales me acompañaron en todo el trayecto de la formación académica, en especial al Ing. Edison Calderón e Ing. Pablo Montalvo, quienes son los que están debidamente comprometidos con la realización de este trabajo como director y asesor respectivamente, una mención especial a los Ing., Marco Ordoñez, Coordinador de la Carrera de Mantenimiento Industrial y Ing. Marco Santillán quienes me brindaron todo su apoyo, para poder continuar con el avance de mis estudios y posteriormente proyecto, finalmente agradecer a toda mi familia que siempre han estado al tanto de mi persona.

Jimmy

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación.....	3
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2. <i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3. <i>Justificación práctica</i>	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Referencias teóricas	7
2.2.1. <i>Materiales compuestos</i>	7
2.2.1.1. <i>Componentes de los materiales compuestos</i>	7
2.2.2. <i>Materiales aislantes acústicos</i>	8
2.2.3. <i>Clasificación de materiales acústicos</i>	9
2.3. Acústica.....	12
2.3.1. <i>Impedancia acústica</i>	13
2.3.2. <i>Admitancia acústica</i>	13
2.3.3. <i>El sonido</i>	13

2.3.3.1.	<i>Propiedades del sonido</i>	13
2.3.3.2.	<i>Generación y propagación del sonido</i>	14
2.3.3.3.	<i>Velocidad de propagación del sonido</i>	15
2.3.3.4.	<i>Ecuación para la velocidad del sonido</i>	16
2.3.3.5.	<i>Generadores de señal</i>	16
2.3.4.	<i>El ruido</i>	16
2.3.5.	<i>Tipos de ruido por su forma de transmisión</i>	17
2.3.5.1.	<i>Tipo de ruido por caracterización en frecuencia</i>	17
2.3.5.2.	<i>Reflexión</i> 18	
2.3.5.3.	<i>Reflexión regular</i>	19
2.3.5.4.	<i>Reflexión irregular</i>	19
2.3.5.5.	<i>Onda mecánica</i>	19
2.3.5.6.	<i>Onda transversal</i>	19
2.3.5.7.	<i>Onda longitudinal</i>	19
2.3.6.	<i>Longitud de onda</i>	19
2.4.	<i>Tubo de impedancia</i>	20
2.4.1.	<i>Componentes principales del tubo de impedancia</i>	20
2.4.2.	<i>Micrófonos</i>	21
2.4.2.1.	<i>Posición de los micrófonos</i>	22
2.4.3.	<i>Porta muestras</i>	22
2.4.4.	<i>Altavoz</i>	22
2.4.5.	<i>Generador de Señal</i>	23
2.4.6.	<i>Instrumentación utilizada para el procesado de las señales</i>	23
2.5.	<i>Función de transferencia</i>	23

CAPÍTULO III

3.	<i>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TUBO DE IMPEDANCIA</i>	25
3.1.	<i>Diagrama de etapas del proyecto</i>	25
3.2.	<i>Metodología de investigación a realizar</i>	26
3.2.1.	<i>Cronograma de actividades</i>	26
3.2.2.	<i>Fase de diseño</i>	27
3.2.2.1.	<i>Especificaciones del diseño</i>	27
3.2.2.2.	<i>Diseño conceptual</i>	27
3.2.2.3.	<i>Diseño de ingeniería</i>	27
3.2.2.4.	<i>Diseño de detalle</i>	27
3.2.3.	<i>Proceso de diseño</i>	28

3.2.3.1.	<i>Elementos del tubo de impedancia</i>	28
3.2.3.2.	<i>El tubo de impedancia</i>	28
3.2.3.3.	<i>Micrófonos</i>	29
3.2.3.4.	<i>Altavoz</i> 29	
3.2.3.5.	<i>Tarjeta de Adquisición de datos</i>	30
3.3.	Construcción del tubo de impedancia	31
3.3.1.	<i>Componentes del tubo de impedancia</i>	33
3.3.2.	<i>Ecuación de determinación de rango de frecuencia</i>	36
3.3.3.	<i>Ensamble del tubo de impedancia</i>	37
3.4.	Diseño de programación	39

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	42
4.1.	Condiciones de ensayo	42
4.2.	Procedimientos de ensayo	42
4.2.1.	<i>Propiedades de las probetas de ensayo</i>	43
4.3.	Análisis de ensayo	47
4.3.1	<i>Resultado de las pruebas.</i>	50
4.4.	Mantenimiento del equipo	53
4.4.1.	<i>Tabla AMEF del tubo de impedancia</i>	56
4.4.1.1.	<i>Severidad</i> 56	
4.4.1.2.	<i>Ocurrencia</i>	57
4.4.1.3.	<i>Detección</i> 57	
4.4.1.4.	<i>Nivel de prioridad de riesgo (NPR)</i>	58
4.4.2.	<i>Plan de Mantenimiento</i>	61

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1.	Conclusiones	64
5.2.	Recomendaciones	65

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Velocidad del sonido por diferentes medios	14
Tabla 3-1:	Elementos principales del tubo de impedancia	28
Tabla 3-2:	Componentes del tubo de impedancia	34
Tabla 3-3:	Clases de absorción acústica	36
Tabla 4-1:	Valores de densidad del EPS	45
Tabla 4-2:	Actividades de Mantenimiento Anual para el tubo de Impedancia	55
Tabla 4-3:	Tabla de análisis de severidad.....	56
Tabla 4-4:	Tabla de probabilidad de ocurrencia.....	57
Tabla 4-5:	Tabla de Probabilidad de detección	58
Tabla 4-6:	Tabla AMEF	59
Tabla 4-7:	Plan de mantenimiento para el tubo de impedancia.....	61
Tabla 4-8:	Costos de realización del tubo de impedancia	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Configuración básica de un material compuesto	8
Ilustración 2-2:	Lana de vidrio aislante acústico.....	8
Ilustración 2-3:	Tipos de materiales acústicos	9
Ilustración 2-4:	Materiales porosos	10
Ilustración 2-5:	Panel rígido de lana de roca aglomerado con resina.....	10
Ilustración 2-6:	Tratamiento acústico de un techo a base de baffles rectangulares absorbentes	11
Ilustración 2-7:	Ejemplo de resonador de membrana.....	11
Ilustración 2-8:	Esquema básico de un resonador de membrana o diafragmático	12
Ilustración 2-9:	Zonas de compresión y dilatación propagación de una onda	15
Ilustración 2-10:	Velocidad del sonido	15
Ilustración 2-11:	Ejemplo de ruido aéreo.....	17
Ilustración 2-12:	Ejemplo de ruido de impacto	17
Ilustración 2-13:	Reflexión de la onda respecto de la Superficie.....	18
Ilustración 2-14:	Equipos que conforman el tubo de impedancia	21
Ilustración 2-15:	Posición de los micrófonos A y B en el tubo de impedancia	22
Ilustración 3-1:	Diagrama de flujo del proyecto	25
Ilustración 3-2:	Cronograma de actividades para el diseño y construcción del tubo de impedancia.....	26
Ilustración 3-3:	Actividades de la fase de diseño.....	27
Ilustración 3-4:	Tubo de impedancia.....	29
Ilustración 3-5:	Micrófonos para instalar en el tubo de impedancia	29
Ilustración 3-6:	Driver para instalar en el tubo de impedancia	30
Ilustración 3-7:	Tarjeta de adquisición de datos NI 9234	30
Ilustración 3-8:	Entenalla de Banco	31
Ilustración 3-9:	Tronzadora de corte	31
Ilustración 3-10:	Taladro eléctrico	32
Ilustración 3-11:	Soldadora TIG	32
Ilustración 3-12:	Flexómetro.....	33
Ilustración 3-13:	Amoladora	33
Ilustración 3-14:	Ubicación de los micrófonos en el tubo de impedancia	35
Ilustración 3-15:	Visión de los micrófonos en el tubo de impedancia	35
Ilustración 3-16:	Ensamble tubo de impedancia	38
Ilustración 3-17:	Montaje de micrófonos para receptor la presión de sonido	38

Ilustración 3-18:	Acople de conectores en entradas analógicas de la NI 9234	39
Ilustración 3-19:	Interfaz Block Diagram, Ingreso a la instrucción DAQ ASISTANT	39
Ilustración 3-20:	Ventana de trabajo, selección tipo analógica, presión de sonido.....	40
Ilustración 3-21:	Creación de canales denominados Sound Pressure y Sound Pressure_0...	40
Ilustración 3-22:	Indicador gráfico de datos de presión de sonido vs. tiempo en While Loop.	41
Ilustración 4-1:	Canales denominados SOUND PRESSURE Y SOUND PRESSURE_0	46
Ilustración 4-2:	While Loop, ejecución del programa, presión de Sonidos, instrucción de toma de datos.	47
Ilustración 4-3:	Datos de presión acústica a 125 Hz en 1 s, espuma de poliuretano.....	47
Ilustración 4-4:	Adquisición de datos con aluminio.....	48
Ilustración 4-5:	Adquisición de datos con aluminio.....	49
Ilustración 4-6:	Adquisición de datos con espuma de poliuretano.....	49
Ilustración 4-7:	Adquisición de datos con cristal	50
Ilustración 4-8:	Datos comparativos entre diferentes materiales a varias frecuencias, de 125 Hz a 20000 Hz con el micrófono 1	51
Ilustración 4-9:	Datos comparativos entre diferentes materiales a varias frecuencias, de 125 Hz a 20000 Hz con el micrófono 2.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** LÍNEAS DE CÓDIGO DE MATLAB PARA VISUALIZACIÓN DE LAS GRÁFICAS
- ANEXO B:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 125 HZ
- ANEXO C:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 250 HZ
- ANEXO D:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 500 HZ
- ANEXO E:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 1000 HZ
- ANEXO F:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 1000 HZ
- ANEXO G:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 125 HZ
- ANEXO H:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 250 HZ
- ANEXO I:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 500 HZ
- ANEXO J:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 1000 HZ
- ANEXO K:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 2000 HZ
- ANEXO L:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 125 HZ
- ANEXO M:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 250 HZ
- ANEXO M:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 500 HZ
- ANEXO O:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 1000 HZ
- ANEXO P:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 2000 HZ
- ANEXO Q:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 120 HZ
- ANEXO R:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 250 HZ
- ANEXO S:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 500 HZ
- ANEXO T:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 1000 HZ
- ANEXO U:** GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 2000 HZ

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue utilizar 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. El desarrollo del trabajo comprendió: el diseño del prototipo, cálculos de dimensiones, selección del tipo de material, montaje y ensamble. Se estudiaron los fundamentos teóricos relacionados con los parámetros de diseño y posteriormente se aplicaron en la construcción del tubo de impedancia, de acuerdo a la norma UNE-EN-ISO 10534-2. Se instaló el tubo de impedancia en un área que compete al laboratorio de materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. En la prueba de funcionamiento se utilizó un generador de señal y para la captación de datos 2 micrófonos de ¼ de condensador, para el análisis del coeficiente de absorción acústica se utilizó una tarjeta de adquisición de datos NI 9234 adaptado al software LabVIEW, se realizó el ensayo con 3 materiales diferentes como: vidrio, aluminio y espuma de poliuretano, para luego ser comparados entre sí con referencia a los datos en vacío, las frecuencias en ensayo variaron desde 125 Hz hasta 2000 Hz, receptando datos de presión de sonido por un tiempo de 10 segundos y luego siendo exportados a MATLAB para el cálculo de impedancia acústica y análisis de sonido absorbido. Desde 1000 Hz a 2000 Hz el aluminio tuvo una mayor impedancia, de alrededor de $0,013 Pa \frac{s}{m}$, a continuación, el cristal con $0,003 Pa \frac{s}{m}$. Y finalmente la espuma de poliuretano que actuó como un amplificador de sonido alrededor de $-0,02 Pa \frac{s}{m}$. Concluyendo que los materiales se volvieron más absorbentes a más altas frecuencias, coincidiendo con bibliografías de investigaciones ya realizadas. Se recomienda a continuar con el trabajo de investigación y análisis para establecer el procedimiento óptimo del uso y aplicación del equipo.

Palabras clave: <TUBO DE IMPEDANCIA>, <MATERIALES ACÚSTICOS>, <IMPEDANCIA ACÚSTICA>, <SONIDO>, <RUIDO>.

1852-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The objective of this study was to use an impedance tube based on the UNE-EN-ISO 10534-2 standard to determine the acoustic absorption coefficient for insulating materials applied in maintenance activities. The development of the work included the design of the prototype, dimensional calculations, selection of the type of material, assembly, and assembly. The theoretical foundations related to the design parameters were studied and subsequently applied in constructing the impedance tube, according to the UNE-EN-ISO 10534-2 standard. The impedance tube was installed in an area that competes with the materials laboratory of the Faculty of Mechanics of ESPOCH. A signal generator was used in the operation test, and two $\frac{1}{4}$ condenser microphones were used to capture data. An NI 9234 data acquisition card adapted to the LabVIEW software was used to analyze the acoustic absorption coefficient. The Test with three different materials, such as glass, aluminum, and polyurethane foam, to then be compared with each other concerning the vacuum data; the test frequencies varied from 125 Hz to 2000 Hz, receiving sound pressure data for a time of 10 seconds and then being exported to MATLAB for the calculation of acoustic impedance and analysis of absorbed sound. From 1000 Hz to 2000 Hz, the aluminum had a higher impedance, around $0,013 Pa \frac{s}{m}$, than the glass with $0,003 Pa \frac{s}{m}$. And finally, the polyurethane foam acted as a sound amplifier at around $-0,02 Pa \frac{s}{m}$. Concluding that the materials became more absorbent at higher frequencies, coinciding with bibliographies of research already carried out. It is recommended to continue with the research and analysis work to establish the optimal procedure for using and applying the equipment.

Keywords: <IMPEDANCE TUBE>, <ACOUSTIC MATERIALS>, <ACOUSTIC IMPEDANCE>, <SOUND>, <NOISE>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I: 0603366113

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo estudiar la precisión de absorción acústica mediante la fabricación del tubo de impedancia según la norma UNE-EN ISO 10534-2 “determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. El presente proyecto se encuentra estructurado en cuatro capítulos, que se evidencian en contexto de la siguiente manera:

Se realizó un diagnóstico del problema que se propuso investigar, en donde, se plantearon los inconvenientes más relevantes que dan origen al tema del proyecto técnico, además, se justificó la ejecución del trabajo y se plantearon los objetivos tanto general como específicos, los cuales permitieron definir las actividades a desarrollar a lo largo de la investigación.

Se definieron los criterios de diferentes autores, lo cual se estableció en el marco teórico, además, se detallan los antecedentes investigativos donde se consideraron trabajos similares tanto a nivel nacional e internacional, los cuales facilitan direccionar el proyecto en base a normativas vigentes además de definir una revisión bibliográfica y documental.

Se describe la metodología del diseño y construcción del prototipo de prueba, donde se establecen los requisitos de los componentes a utilizar, especificaciones del diseño, además se realizaron los cálculos de frecuencias de operación conjuntamente con costos directos e indirectos de los materiales, equipos y herramientas que se utilizaron para la construcción.

Consta de los resultados obtenidos, para los mismo se desarrollaron actividades como las condiciones de ensayos, el procedimiento que se debe seguir, las propiedades que poseen las probetas para las pruebas que se requieran realizar, los resultados obtenidos en el análisis de ensayo y finalmente la guía de mantenimiento.

Se plasmaron las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron una vez realizado el prototipo y como resultado de esta investigación, posteriormente, de haber cumplido todos los objetivos y actividades de investigación.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha venido aportando con investigaciones de alto impacto gracias a sus equipos para caracterizar acústicamente un material y módulos industriales prácticos, en donde, se han podido realizar experimentos y análisis para la obtención de resultados en los diferentes campos de prueba, la puesta en marcha de activos y la operación de acuerdo a las normativas de calidad vigentes.

El avance de la tecnología y la implementación de nuevos equipos en la industria han dado paso a nuevas formas de maquinaria de: producción, así como de servicios de mantenimiento y monitoreo. También se ha visto la necesidad de obtener productos de calidad que puedan ser aporte de nuevos proyectos y formen parte esencial del área de materiales, que se dedica a la investigación y realización de análisis y diagnóstico.

La participación de los estudiantes egresados de la escuela de Mantenimiento ha cumplido un rol muy importante en el crecimiento del estudio a priori y en profundidad, al contribuir con conocimientos y con investigaciones, módulos para ensayo y trabajos de titulación que se desarrollan en la misma institución para repotenciar ciertos equipos con desperfectos o con capacidades limitadas.

1.2. Planteamiento del problema

En la investigación sobre el sonido en sus diferentes aplicaciones se han considerado como algo nuevo y que carece de mucha información para el desarrollo de aplicaciones en el país y la industria. En la investigación propuesta se buscó establecer la forma para determinar el coeficiente acústica en un tubo de impedancia, se ha considerado como un campo nuevo de estudio en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se pretende diseñar y construir un módulo de tubo de impedancia de acuerdo a la normativa UNE-EN ISO 10534-2, referente a la determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia, para los estudios e investigaciones subsiguientes

que tengan que ver con el Área de materiales del laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica, generando además una alternativa para caracterizar el material para otros tipos de análisis y así lograr comparar estudios a fines como el análisis de vibraciones desde la asignatura de Materiales porque es conveniente como estudiantes de la Carrera de Mantenimiento Industrial de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH y así reforzar los conocimientos basados en vibraciones, como la definición del movimiento como tal y en la definición característica que tienen algunos fenómenos físicos; es decir que se puedan integrar en un módulo didáctico la utilización de conceptos de dinámica, mecánica de los materiales y análisis de las vibraciones, todos estos, estudiados en diferentes asignaturas que podrán ser puestos en práctica en este módulo.

La ESPOCH como institución reconocida en el marco de la investigación, gracias a los laboratorios que cuentan con equipos de avance tecnológicos y científicos, ha dejado una buena imagen por sus aportes y resultados positivos, que han tenido mucho que ver con la vinculación con la sociedad, prácticas, artículos científicos y trabajos de titulación. Conocido aquello, en este proyecto se da énfasis al aporte tecnológico que tiene que ver con el área de materiales para el estudio, investigación y ensayo en el laboratorio de materiales perteneciente a la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

Un tubo de impedancia es un sistema electromecánico que permite estudiar el comportamiento de la acústica en materiales que se determina en función de las ondas que inciden de forma normal en el material, para el presente estudio se consideraron investigaciones anteriores que permiten construir mediante datos correctos que en función de ecuaciones y gráficas se puede determinar el comportamiento de las ondas sonoras en un material a analizar. Estos datos ya obtenidos con anterioridad en investigaciones previas permitieron comparar entre 2 materiales distintos para así evidenciar la resistencia que se opone a la propagación de estas ondas, estos experimentos se realizan mediante la utilización de la norma UNE-EN ISO 10534-2 “determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”.

1.3.2. Justificación metodológica

Se hizo uso de la investigación bibliográfica y documental, además de la modalidad de investigación cualitativa y cuantitativa que permite evaluar en un entorno general para ir

deduciendo partes específicas con mayor detalle, además se utiliza los principios de construcción establecidos en la norma UNE-EN ISO 10534-2 “determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”, para la construcción se utilizó un tubo para ensayos de impedancia luego se monta la muestra de prueba y se especifica el plano de referencia en este caso es $(x=0)$.

1.3.3. Justificación práctica

El periodo de formación académica ha permitido adquirir destrezas y actitudes como estudiantes, lo cual facilita dar cumplimiento con la metodología que describe el procedimiento para determinar el coeficiente de absorción de sonido. Fue de suma importancia comprobar si los materiales son fácil adquisición en el mercado, además de evaluar la absorción al ruido y evaluar si se pueden usar como materiales aislantes o absorben el sonido y a que frecuencias son más eficientes, por lo tanto, se diseña y fabrica el tubo de impedancia para realizar estos ensayos en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Utilizar un tubo de impedancia basado en la norma UNE-ISO 10534-2 para la determinación del coeficiente de absorción acústica para materiales aislantes, aplicados en actividades de mantenimiento.

1.4.2. Objetivos específicos

Revisar el estado del arte mediante la recopilación de información técnica disponible que permita obtener un diseño previo para la construcción del tubo de impedancia acústica.

Establecer una metodología de diseño para la construcción de un tubo de impedancia acústica.

Construir el tubo de impedancia acústica según los parámetros de diseño especificados en la norma.

Determinar el coeficiente de absorción acústica de un material aislante.

Elaborar un manual de operación y mantenimiento del tubo de impedancia.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Se realizó una búsqueda bibliográfica y documental de proyectos e investigaciones relacionadas con el diseño y construcción de un tubo de impedancia acústica para el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por lo que se ha considerado como referentes teóricos y metodológicos que aporten en la solución del problema a resolver.

Criado Pallares y Franco Castillejo, en el año 2019. Realizan el estudio bajo el tema “Diseño y construcción de un tubo de impedancia basado en la norma ISO 10534-2:2001 para la determinación de coeficiente de absorción acústica para materiales aislantes”, planteado como objetivo principal construir y diseñar el tubo de impedancia según normativa ya indicada y concluyen que después de realizar pruebas de funcionamiento del tubo, se determinó el comportamiento de los materiales aplicando la función de transferencia y así evaluar el coeficiente de absorción acústica obteniendo gráficas que relacionan la frecuencia vs. el coeficiente de absorción acústica lo que sirve para comparar con otros estudios realizados en otras universidades, comprobando de esta manera que el tubo de impedancia cumple con el objetivo planteado en esta investigación (Criado, et al., 2019).

Héctor Arnay Sarabia en el año 2014 realizan la investigación bajo el “Tema estudio de la precisión en la determinación del coeficiente de absorción acústica en tubo de impedancia”. Tomando como objetivo principal verificar la precisión del coeficiente de absorción acústica en tubos de impedancia mediante el método de la función de transferencia descritos en la norma UNE-EN ISO 10534-2. Obteniendo como resultado que el método del tubo de impedancia se puede considerar como un método preciso, ya que las mediciones se realizan en condiciones definidas y controladas, de esta manera se obtienen resultados repetibles; además es muy útil para estudios de investigación y desarrollo de nuevos materiales para su posterior uso en obra, puesto que es un método rápido de ejecutar y solo se necesitan pequeñas muestras del material (Arnay, 2014).

Navas Reascos y Santander Guerrero en el año 2011, elaboraron el tema de “Diseño y construcción de un tubo de impedancia, para la evaluación de la absorción sonora de materiales

utilizados en la construcción”. Teniendo como objetivo principal la construcción del tubo de impedancia acústica y mediante software evaluar la efectividad del tubo de impedancia en materiales que cuenten con especificaciones técnicas para de esta manera validar los resultados obtenidos y mediante la aplicación de un proceso de medición que permitió obtener características técnicas como absorción, reflexión, impedancia y admitancia acústica entre otros, por lo tanto, la investigación cumple con su principal objetivo siendo un aporte para fabricantes y diseñadores en el país.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. *Materiales compuestos*

Los materiales compuestos desde un punto de vista general son una serie de posibles combinaciones de materiales monofásicos de naturalezas diferentes. De esta forma, un material compuesto es un material multifásico que adopta las propiedades de sus fases constituyentes, de tal manera que presenta mejores características y propiedades. Con respecto a esto, es preciso mencionar la sinergia de las propiedades, es decir, las propiedades finales obtenidas no son iguales a una suma simple de las propiedades de cada componente, sino que más bien dependerán de diferentes parámetros (Dávila et al., 2011).

En la década anterior se desarrollan varias técnicas avanzadas para la manufactura con compuestos. Es así que varias industrias se han capitalizado sobre la base de la comercialización de los composites. Por otra parte, estos materiales tienen el potencial de reemplazar a materiales ampliamente usados como el acero y el aluminio y en muchas ocasiones con mejor rendimiento. Además, muchas de las tecnologías modernas necesitan de materiales con una gama poco usual de propiedades, las mismas que no pueden ser cubiertas por los materiales monolíticos como los metales, cerámicos o polímeros (Dávila et al., 2011).

2.2.1.1. *Componentes de los materiales compuestos*

Un material compuesto es básicamente un sistema de materiales formado por dos o más fases distintas, cuya combinación proporciona propiedades que son diferentes y mejores a las de sus constituyentes. En la Figura 2.1 se puede observar la configuración básica de un material compuesto reforzado con fibras (Dávila et al., 2011). De manera general se considera a un material compuesto como un material multifásico, lo que refleja la importancia de cada una de las fases constituyentes. Es decir, la combinación de propiedades debe ser adecuada, para que el resultado obtenido sea un material con propiedades mejoradas (Dávila et al., 2011).

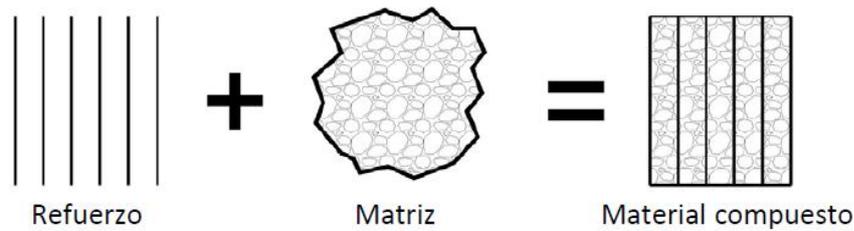


Ilustración 2-1: Configuración básica de un material compuesto

Fuente: (Dávila et al., 2011)

2.2.2. *Materiales aislantes acústicos*

En general se puede decir que existen dos formas de evitar la propagación de la onda acústica, la primera es la absorción mediante la cual se usan materiales que reducen la energía de las reflexiones haciéndoles menos dañinas, el segundo es la difusión y trata de romper las ondas para que reflejen en distintas direcciones y así evitar focalizaciones del sonido. Cada material acústico resuelve problemas específicos y generalmente son usados en combinación para lograr un campo sonoro homogéneo.

Los materiales de acondicionamiento acústico son aquellos que cuentan con propiedades de absorción. Para reflejar el sonido no necesitamos características muy particulares en los materiales, ya que, por lo tanto, los materiales de construcción son primordialmente reflectantes. Normalmente, tales materiales están formados por sustancias fibrosas o granulares a las que se les confiere un grado suficiente de compacidad a través de un proceso de prensa o de tejeduría. Los materiales absorbentes comerciales de este tipo se manufacturan básicamente a partir de, lana de vidrio, lana mineral, espuma a base de resina de melanina, espuma de poliuretano, etc. (Veloz, 2018).

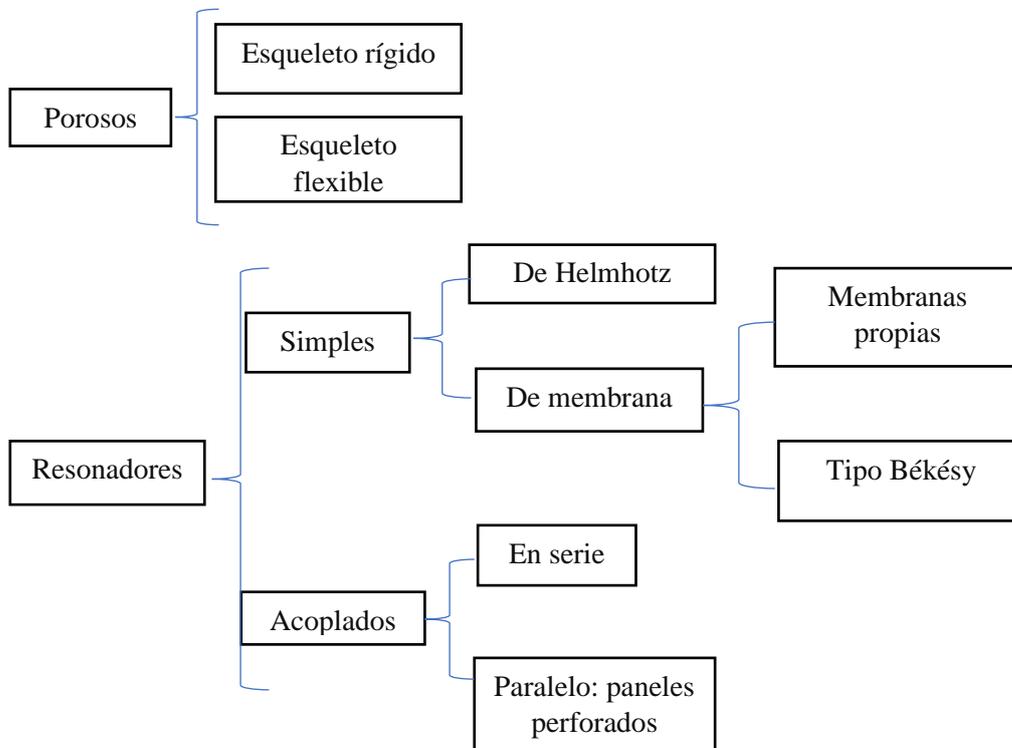


Ilustración 2-2: Lana de vidrio aislante acústico

Fuente: (Veloz, 2018)

2.2.3. Clasificación de materiales acústicos

Los principales materiales acústicos están en armonía con los métodos y mecanismos de degradación de la energía acústica y estos se clasifican según el siguiente esquema.



Mixtos: combinación de los anteriores, constituyen la mayor de los materiales comerciales.

Anecoico: De variación gradual de las características pro-variación real o por configuración geométrica.

Ilustración 2-3: Tipos de materiales acústicos

Fuente: (Veloz, 2018)

Realizado por: Aguinda J., 2023

Materiales porosos: Este material está compuesto por un medio sólido que es similar a un esqueleto formado por cavidades algo porosas situadas con el exterior del material, un ejemplo de este tipo de material acústico es la lana de roca y la fibra de vidrio, sin embargo, existe una amplia gama de materiales compuestos (Veloz, 2018).

Los materiales porosos pueden absorber la humedad. Algunos adhesivos funcionan bien en materiales porosos y otros no. Verifique la etiqueta, ya que puede afectar la fuerza de unión final del adhesivo. Se puede usar una imprimación para mejorar la adhesión sobre sustratos porosos.

Los ejemplos de materiales porosos incluyen: paneles de yeso, madera no tratada, hormigón y ladrillo, papel, cartón, cemento, etc.



Ilustración 2-4: Materiales porosos

Fuente: (Veloz, 2018)

Sistemas de paneles rígidos: Es el hecho de que una onda acústica es parcialmente absorbida cuando halla cuerpos preparados para vibrar a su mismo compás. Si el cuerpo que se encuentra tiene vibraciones discretas, este absorbe unas cuantas frecuencias de sonido y por ende esa absorción se denomina selectiva (Veloz, 2018).



Ilustración 2-5: Panel rígido de lana de roca aglomerado con resina

Fuente: (Veloz, 2018)

Absorbentes suspendidos: Materiales y estructuras acústicas que están suspendidas del techo del recinto se agrupan como mecanismos particulares. Habitualmente, obtienen la forma pantallas de material absorbente, estas están colgadas verticalmente en hileras continuas suspendidas en el techo. Véase la Ilustración 6-2.



Ilustración 2-6: Tratamiento acústico de un techo a base de baffles rectangulares absorbentes

Fuente: (Diseño, 1998)

Resonadores: Su nombre mismo lo muestra, la absorción se produce por un proceso de resonancia. El movimiento resonante de una parte del régimen extrae energía del campo acústico, de forma selectiva e influye en una banda de frecuencias establecidas, Los paneles perforados o ranurados integrantes de los resonadores múltiples de cavidad suelen ser de madera, cartón-yeso, chapa metálica, ladrillo entre otros.

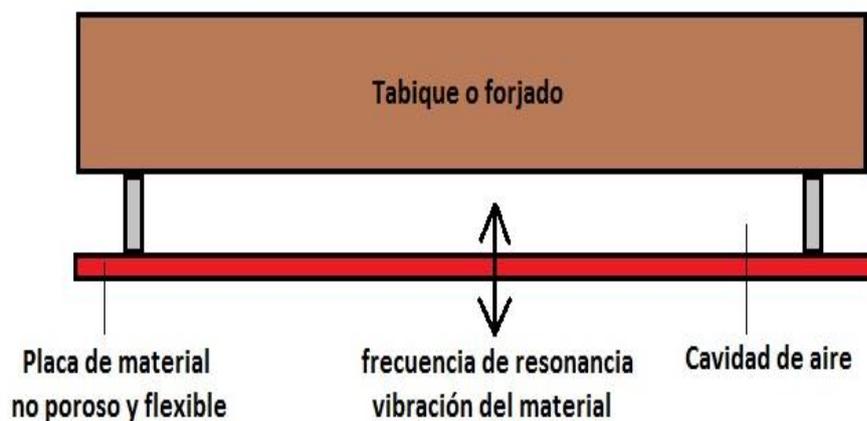


Ilustración 2-7: Ejemplo de resonador de membrana

Fuente: (Corona, 2021)

El fragmento móvil de los resonadores de Helmholtz y paneles perforados, la establece el aire contenido en el cuello, canal que pone en comunicación la cavidad posterior, que funciona como mecanismo elástico o muelle, con el campo acústico del recinto (Veloz, 2018).

Para un resonador de Helmholtz simple se obtiene:

Ecuación:
$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{LV}} \quad (1-2)$$

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

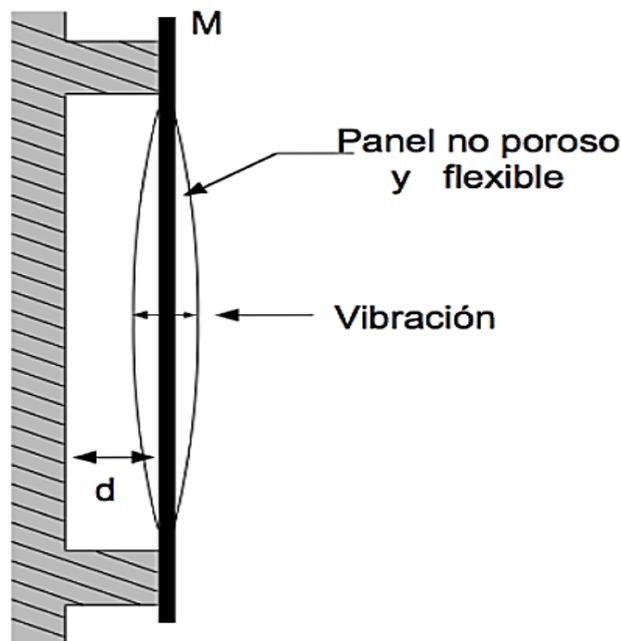


Ilustración 2-8: Esquema básico de un resonador de membrana o diafragmático

Fuente: (Carrión, 2001)

2.3. Acústica

Es la ciencia que se dedica al estudio de todos los aspectos relacionados con el sonido, tal como: La recepción de las ondas sonoras en diversos medios, la generación y propagación a través de la materia, la transmisión, el almacenamiento y sus aplicaciones tecnológicas. Esta ciencia es multidisciplinaria, es decir, requiere la colaboración de diversas y diferentes disciplinas, por lo que requiere la intervención de especialistas.

2.3.1. *Impedancia acústica*

Así como la impedancia eléctrica, la impedancia acústica es una resistencia, en este caso, la resistencia que opone un medio a las ondas que se propagan sobre este, y es definida como la presión sonora sobre la velocidad de las partículas, donde z es la impedancia acústica, p es la presión sonora y v es la velocidad de las partículas (Criado y Franco, 2019).

Ecuación:
$$Z = \frac{p}{v} \quad (2-2)$$

2.3.2. *Admitancia acústica*

Si bien la impedancia acústica es la resistencia que opone un medio a las ondas acústicas, la admitancia facilita el paso a través de ella. La admitancia es la inversa de la impedancia específica (Criado y Franco, 2019).

2.3.3. *El sonido*

El sonido es una sensación auditiva producida por una onda acústica, la misma que es el resultado de una vibración del aire, debido a una serie de expansiones y compresiones. Esta vibración se propaga en un medio elástico produciendo variaciones de presión o vibración de partículas que pueden ser percibidas por el oído humano o detectadas por instrumentos. El sonido es una energía mecánica, sin transporte de material (Soto, 2012).

2.3.3.1. *Propiedades del sonido*

Para que exista en movimiento una onda debe tener dos propiedades:

Inercia: Es la propiedad que permite a un elemento transferir el movimiento a otro elemento, esto relativamente a la masa de un elemento y su densidad.

Elasticidad: Es la propiedad que produce una fuerza sobre un elemento que ha sido desplazado de su posición de equilibrio y tendiendo a volver a la misma posición (Lancerio, 2015).

El elemento más común que posee estas dos propiedades y fácilmente adquirido para transmitir las ondas sonoras es el aire, teniendo este una masa con una determinada densidad y elasticidad, pudiéndose comprimir y volver a su estado normal. El sonido tiene una velocidad de acuerdo con

las propiedades de medio que lo transmita en la siguiente tabla se presenta la velocidad del sonido para diferentes medios de propagación (Lancerio, 2015).

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: Aguinda J., 2023

2.3.3.2. *Generación y propagación del sonido*

El elemento generador del sonido se denomina fuente sonora (tambor, cuerda de un violín, cuerdas vocales, etc.). La generación del sonido tiene lugar cuando dicha fuente entra en vibración. Dicha vibración es transmitida a las partículas de aire adyacentes a la misma que, a su vez, la transmiten a nuevas partículas contiguas.

Las partículas no se desplazan con la perturbación, sino que simplemente oscilan alrededor de su posición de equilibrio. La manera en que la perturbación se traslada de un lugar a otro se denomina propagación de la onda sonora (Carrión, 2001).

Si se considera como fuente sonora, por ejemplo, un tambor, un golpe sobre su membrana provoca una oscilación. Cuando la membrana se desplaza hacia fuera, las partículas de aire próximas a su superficie se acumulan creándose una zona de compresión, mientras que, en el caso contrario, dichas partículas se separan, lo cual da lugar a una zona de enrarecimiento o dilatación. La

oscilación de las partículas tiene lugar en la misma dirección que la de propagación de la onda (Carrión, 2001).

En este caso se habla de ondas sonoras longitudinales, en contraposición a las ondas electromagnéticas que son transversales (oscilación de la señal generadora perpendicular a la dirección de propagación de la onda). La manera más habitual de expresar cuantitativamente la magnitud de un campo sonoro es mediante la presión sonora, o fuerza que ejercen las partículas de aire por unidad de superficie (Carrión, 2001).

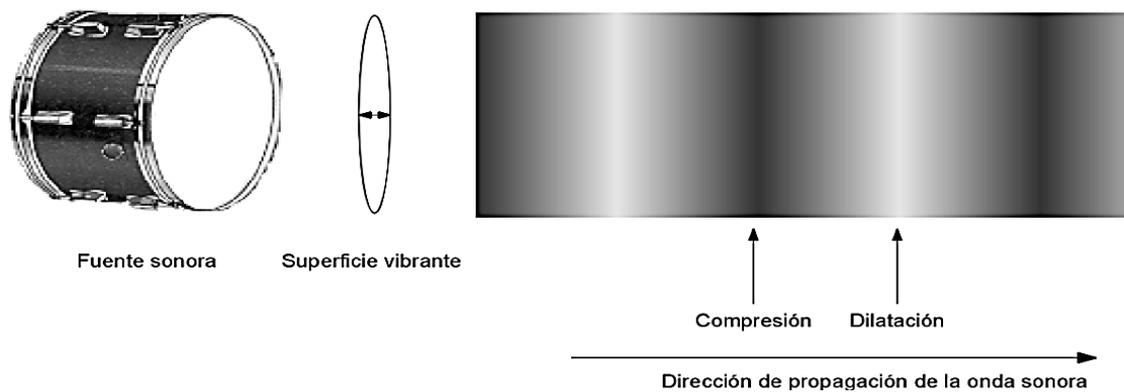


Ilustración 2-9: Zonas de compresión y dilatación propagación de una onda

Fuente: (Carrión, 2001)

2.3.3.3. Velocidad de propagación del sonido

La velocidad de propagación del sonido (c) es función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Debido a que, en el aire, ambas magnitudes dependen de la presión atmosférica estática P_0 y de la temperatura, resulta que, considerando las condiciones normales de 1 atmósfera de presión y 22 °C de temperatura, la velocidad de propagación del sonido es de, aproximadamente, 345 m/s (Carrión, 2001).

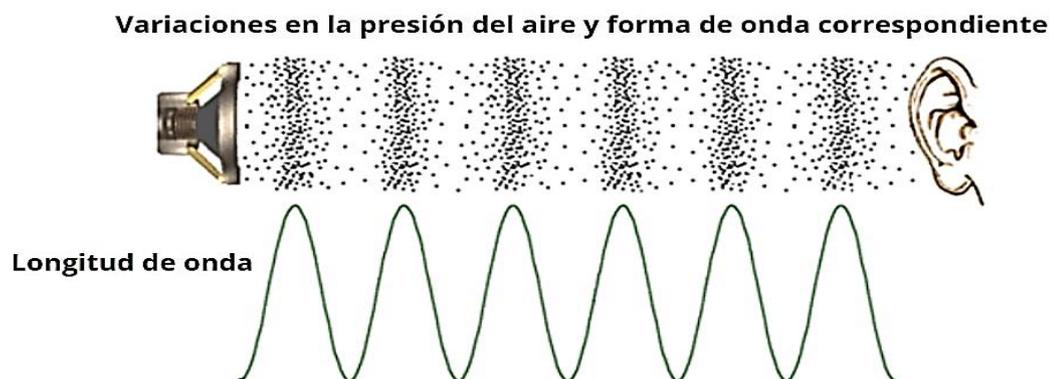


Ilustración 2-10: Velocidad del sonido

Fuente: (Zapata, 2020)

Si bien el aire constituye el medio habitual de propagación de las ondas sonoras, conviene tener presente que el sonido puede propagarse a través de cualquier otro medio elástico y denso. Cuanto más denso y menos elástico sea el medio, mayor será la velocidad del sonido a su través. Por ejemplo, la velocidad de propagación del sonido generado por un tren a través de los raíles es mucho mayor que a través del aire, por lo que la vibración del raíl se percibirá mucho antes que el sonido aéreo debido a dicho tren.

2.3.3.4. Ecuación para la velocidad del sonido

En general, el sonido se propaga en un medio con una velocidad dada por:

$$v = \sqrt{\frac{\text{propiedad elástica}}{\text{propiedad inercial}}}$$

Donde la propiedad elástica es el módulo de compresibilidad B y la propiedad y la densidad ρ :

Ecuación:
$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (3-2)$$

Finalmente, la temperatura es otro factor importante cuando el sonido se propaga a través de un gas como el aire, que es el medio a través del cual se propaga la mayor parte de las ondas sonoras. Cuando se considera el modelo de gas ideal, el cociente B/ρ depende únicamente de la temperatura T del mismo (Zapata, 2020).

2.3.3.5. Generadores de señal

Existen varios tipos de señales que permiten realizar medidas y comprobaciones de sistemas sin tener que dejarse la voz en ellos. Estas señales permiten reproducir la gran mayoría de señales de audio, como tonos puros, ondas cuadradas o triangulares, permitiendo modificar tanto su amplitud como su frecuencia. Dentro de los principales tipos de ruidos sobresalen el ruido blanco, el rosa y el marrón.

2.3.4. El ruido

El ruido es un sonido cuyos armónicos no siguen una ley específica de frecuencia. Es un sonido compuesto por muchos armónicos secundarios y son desagradables.

2.3.5. Tipos de ruido por su forma de transmisión

Ruido aéreo: Es aquel que se genera por la perturbación del aire que rodea a las fuentes sonoras. Las ondas generadas chocan contra otras superficies, provocando que estas entren en vibración y perturban el aire que las rodea, y creando un nuevo sonido

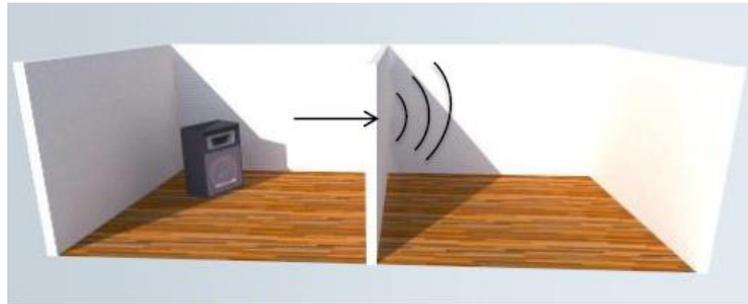


Ilustración 2-11: Ejemplo de ruido aéreo

Fuente: (Lancerio, 2015)

Ruido impacto: El ruido de impacto es el que se genera por golpes producidos en una superficie, generalmente un moldeo. Al golpear una superficie, esta entra en vibración y se genera una emisión sonora. La vibración dependiendo del tipo de material puede ser transmitida a otras superficies.

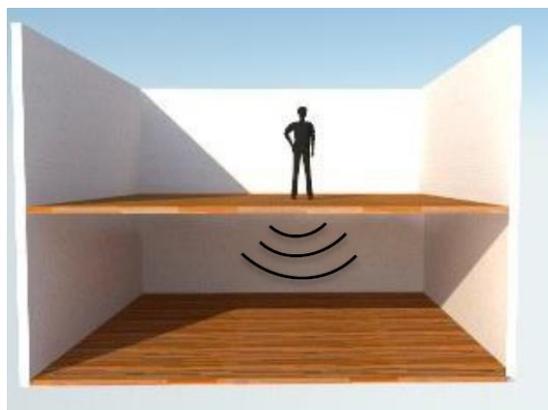


Ilustración 2-12: Ejemplo de ruido de impacto

Fuente: (Lancerio, 2015)

2.3.5.1. Tipo de ruido por caracterización en frecuencia

Ruido Blanco: posee en todas las frecuencias la misma energía, por lo que es un tipo de ruido con visión plana.

Ruido Rosa: la energía de la onda sonora recae 3 decibeles por cada octava. Se utiliza con una referencia para las mediciones acústicas en la que se debe descomponer la señal en octavas o fracción, sirve para medición de la absorción acústica.

Ruido Tonal: la energía de la onda sonora en al menos uno de sus tonos es mayor a 5 decibeles. Mayormente, los ventiladores o máquinas con motores presentan este tipo de ruido.

2.3.5.2. Reflexión

La reflexión ocurre cuando las ondas sonoras se propagan en la separación de otro medio. La dirección en la que se propaga la onda para que vuelva al medio original. Se refleja una superficie plana, por lo que Cohesión Frío si el tamaño de la superficie reflectante es lo suficientemente grande, el sonido se reflejará relativamente después de ser absorbido, se transformará en otros dos tipos de energía: Disipar en el medio y esparcir por el material. Medio en la superficie Cuando las ondas sonoras golpean; Sin embargo, si la superficie se considera rugosa en comparación con la longitud. La onda de la onda incidente, la onda se refleja y se dispersa en todas las direcciones. Energía de las olas en lugar de reflejar el sonido de manera coherente. Además, está relacionado con la longitud de onda de la onda incidente. Sin embargo, si la superficie Relativo a la longitud de onda del sonido que lo rodea Fenómeno de difracción (Armay, 2014).

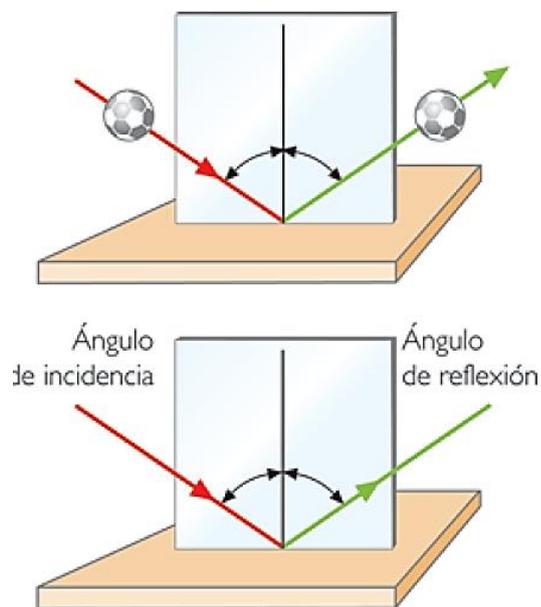


Ilustración 2-13: Reflexión de la onda respecto de la Superficie

Fuente: (Soto, 2012)

2.3.5.3. Reflexión regular

Esto sucede cuando la onda incidente golpea una superficie lisa y la onda incidente se refleja de manera paralela.

2.3.5.4. Reflexión irregular

La reflexión irregular o difusa es la reflexión que se produce cuando una onda incidente cae sobre una superficie con rugosidad, por lo que la onda se refleja, no paralela a la onda incidente, sino reflejada en diferentes direcciones.

2.3.5.5. Onda mecánica

Una onda mecánica es una perturbación que viaja por un material o una sustancia que es el medio de la onda. Al viajar la onda por el medio, las partículas que constituyen el medio sufren desplazamientos de varios tipos, dependiendo de la naturaleza de la onda.

2.3.5.6. Onda transversal

Secciones sucesivas de la cuerda repiten el movimiento en un extremo y en instantes posteriores sucesivos. Puesto que los desplazamientos del medio son perpendiculares o transversales a la dirección en que la onda viaja por el medio, decimos que se trata de una onda transversal (Dershowitz, 2013).

2.3.5.7. Onda longitudinal

El desplazamiento y las fluctuaciones de presión viajarán a lo largo del medio. En esta ocasión, los movimientos de las partículas del medio son hacia adelante y hacia atrás en la misma línea en que viaja la onda (Dershowitz, 2013).

2.3.6. Longitud de onda

La longitud de onda es la distancia existente entre dos puntos consecutivos de la onda que poseen la misma fase. Por ejemplo, la distancia entre dos máximos o mínimos consecutivos de la onda. La longitud de onda se representa por la letra griega “lambda” (λ), se mide en metros y se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación:
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4-2)$$

Donde:

c: es la velocidad de onda

f: la frecuencia de la onda

La ecuación indica que la longitud de onda y la frecuencia son dos magnitudes inversamente proporcionales, es decir, cuanto mayor es una, tanto menor es la otra. La longitud de onda de las ondas de sonido, en el rango en que los seres humanos pueden escuchar, oscila entre menos de 2 cm hasta aproximadamente 17 m (Arnay, 2014).

2.4. Tubo de impedancia

El tubo de impedancia debe ser rectilíneo, de sección recta constante y con paredes rígidas, lisas y no porosas, sin agujeros ni fisuras en la sección de ensayo. Las paredes deben ser suficientemente pesadas y macizas para que no entre en vibración por acción de las señales acústicas y no presente resonancia de vibración en el intervalo de frecuencia útil del tubo. En el caso de paredes metálicas, es recomendable que su espesor sea aproximadamente el 5% del diámetro para tubos circulares. El tubo debe ser suficientemente largo para permitir el desarrollo de ondas planas entre la fuente y la muestra. Se recomienda que la sección transversal del tubo sea circular o rectangular. Es importante que el tubo se encuentre aislado de ruido y vibraciones externas.

El portamuestras puede formar parte integrante del tubo de impedancia o ser un elemento separado que se fije fuertemente al tubo durante las mediciones. En el caso de ser un elemento separado, su forma interior y sus dimensiones deben adaptarse a las del tubo de impedancia, dando lugar a un montaje hermético. La placa posterior del portamuestras debe ser rígida y fijada fuerte y herméticamente al tubo porque ella sirve de extremidad rígida para numerosas mediciones.

2.4.1. Componentes principales del tubo de impedancia

Los componentes necesarios que implementa el tubo de impedancia según la norma son:

El tubo de impedancia.

- Micrófonos
- Porta muestras
- Altavoz

- Equipo de procesamiento de señal
- Generador de señal

El equipo de prueba se ensamblará, normalmente como se muestra en la figura

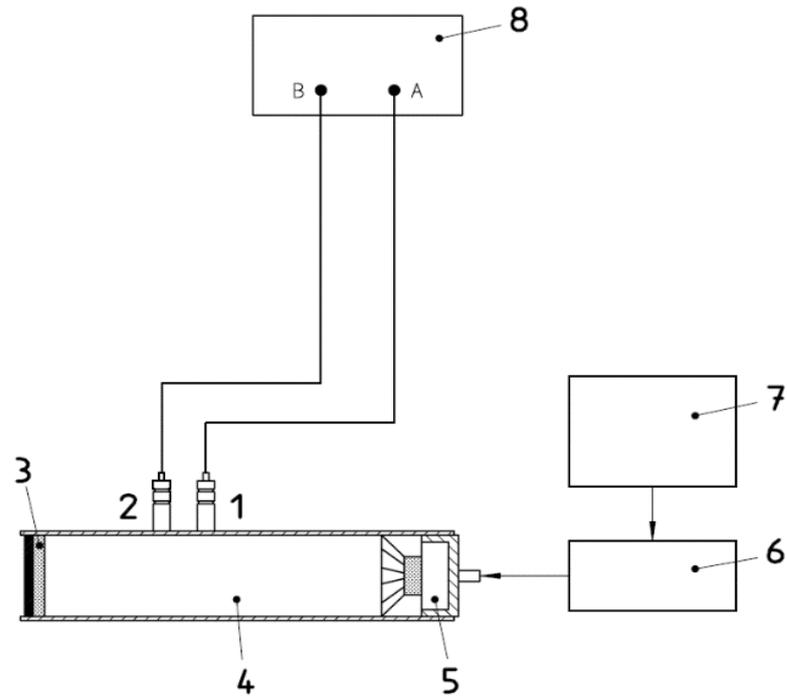


Ilustración 2-14: Equipos que conforman el tubo de impedancia

Fuente: (Standard, 1998)

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

2.4.2. *Micrófonos*

Se deben utilizar micrófonos idénticos en cada ubicación. Para montajes en las paredes, se recomienda usar micrófonos de presión con un diámetro pequeño comparado con la relación C_0/f_u también, se recomienda que los diámetros de los micrófonos sean inferiores al 20% del espacio entre ellos (Arnay, 2014)

2.4.2.1. Posición de los micrófonos.

Cuando se usan micrófonos de pared lateral, cada micrófono debe estar a ras con la superficie del interior del tubo. El orificio debe ser pequeño y debe ser identfico para ambos montajes de micrófono. La ubicación de los micrófonos debe cumplir con las especificaciones descritas en la norma ISO 0534-2:2001 para su correcta precisión en los cálculos. Los micrófonos se deben situar en el campo de ondas planas (Criado, et al, 2019).

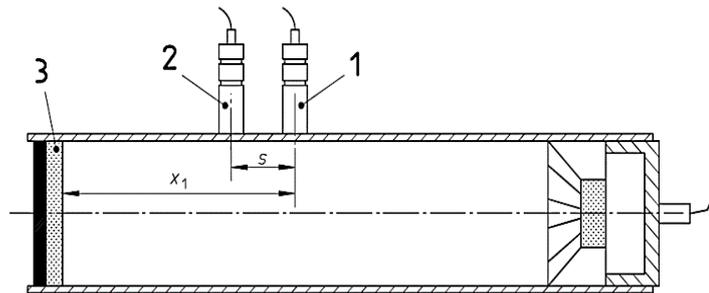


Ilustración 2-15: Posición de los micrófonos A y B en el tubo de impedancia

Fuente: (Standard, 1998)

2.4.3. Porta muestras

El soporte de muestras puede ser una parte integrada del tubo de impedancia o una unidad separada, pero que está firmemente sujeta al tubo. Si el portamuestras es una unidad separada, su tolerancia debe ser del $\pm 0,2\%$ respecto al tubo. Para tubos circulares, el portamuestras debe estar fuertemente sujeto al tubo sin juntas elásticas (se recomienda vaselina para el sellado). La placa posterior del portamuestras debe ser rígida y debe fijarse muy bien al tubo, de tal manera que la montura quede hermético al tubo, ya que sirve como terminación rígida para muchas mediciones.

2.4.4. Altavoz

El altavoz de membrana debe montarse en la terminación del tubo de impedancia del lado opuesto al porta muestras. La superficie de la membrana del altavoz debe cubrir, como mínimo, $2/3$ partes del área de la sección transversal del tubo de impedancia. Puede situarse coaxial con el eje del tubo, o inclinado, o conectado al tubo por un codo. Tiene que estar aislado de la tal forma que se eviten transmisiones por vía aérea por los flancos a los micrófonos. En la unión entre tubo y montaje del altavoz debe aplicarse un aislamiento vibratorio mediante un material elástico, con el fin de evitar la excitación acústica del tubo por vía sólida. La parte interior del tubo cerca del

altavoz tiene que estar revestida con un material acústico absorbente eficaz para suprimir resonancias del tubo provocadas por la columna de aire.

2.4.5. *Generador de Señal*

El generador de señal debe poder generar una señal estacionaria con una densidad espectral plana en el rango de frecuencia de interés. La señal de excitación del generador puede ser aleatoria, pseudo-aleatoria o pseudo-aleatoria periódicas, o excitación de chirridos, según sea necesario.

2.4.6. *Instrumentación utilizada para el procesado de las señales*

La instrumentación utilizada para procesar las señales debe estar formada por un generador de señal, un amplificador de espectro de doble canal que opere aplicando la transformada rápida de Fourier (FFT) se requiere que el sistema mida la presión acústica en dos posiciones de micrófono y calcule la función de transferencia H_{12} entre ellas. El margen dinámico del analizador debería ser superior a 65 db.

2.5. *Función de transferencia*

La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero (Ogata, 2013).

Estas operaciones matemáticas no necesitan un cálculo extenso de ecuaciones diferenciales, sino que se obtiene en una sola operación matemática. Esta ecuación diferencial convierte una ecuación diferencial en una ecuación algebraica, la cual hace más sencillo el cálculo porque estas son manipuladas con reglas básicas de Álgebra (Ogata, 2013).

1. La función de transferencia de un sistema es un modelo matemático porque es un método operacional para expresar la ecuación diferencial que relaciona la variable de salida con la variable de entrada.
2. La función de transferencia es una propiedad de un sistema, independiente de la magnitud y naturaleza de la entrada o función de excitación.
3. La función de transferencia incluye las unidades necesarias para relacionar la entrada con la salida; sin embargo, no proporciona información acerca de la estructura física del

sistema. (Las funciones de transferencia de muchos sistemas físicamente diferentes pueden ser idénticas.)

4. Si se conoce la función de transferencia de un sistema, se estudia la salida o respuesta para varias formas de entrada, con la intención de comprender la naturaleza del sistema.
5. Si se desconoce la función de transferencia de un sistema, puede establecerse experimentalmente introduciendo entradas conocidas y estudiando la salida del sistema. Una vez establecida una función de transferencia, proporciona una descripción completa de las características dinámicas del sistema, a diferencia de su descripción física (Ogata, 2013).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TUBO DE IMPEDANCIA

3.1. Diagrama de etapas del proyecto

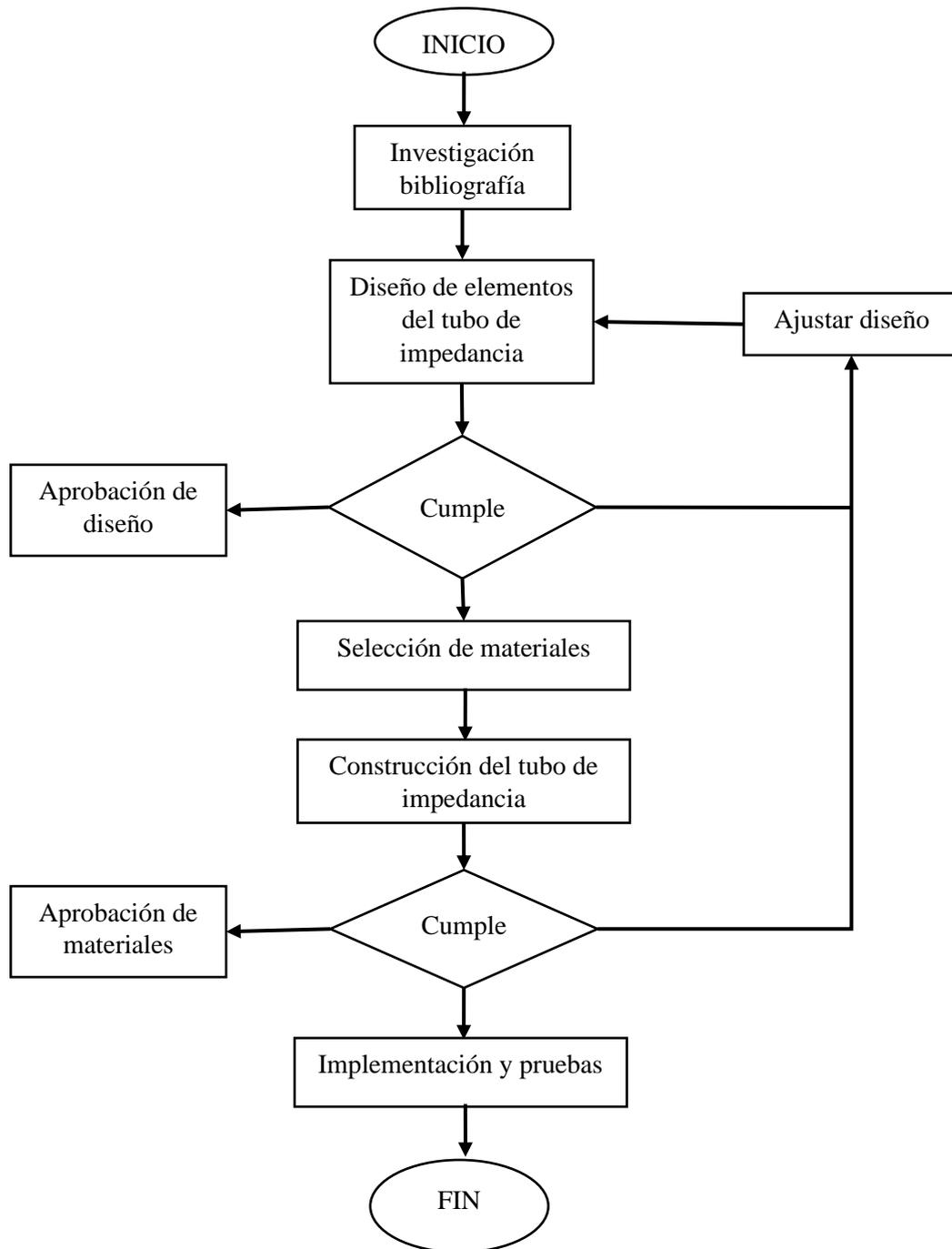


Ilustración 3-1: Diagrama de flujo del proyecto

Realizado por: Aguinda J., 2023

3.2. Metodología de investigación a realizar

3.2.1. Cronograma de actividades

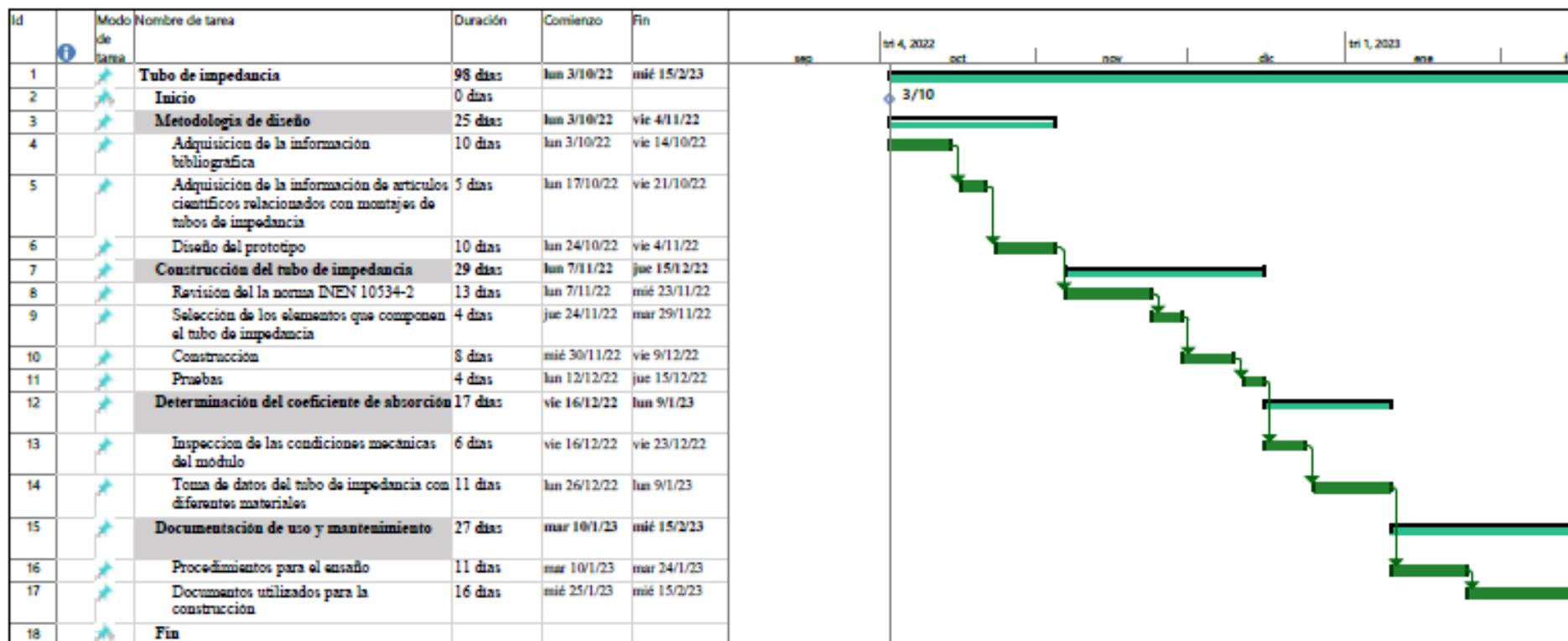


Ilustración 3-2: Cronograma de actividades para el diseño y construcción del tubo de impedancia.

Realizado por: Aguínd J., 2023

3.2.2. Fase de diseño

A continuación, se establecen las etapas que componen las fases del diseño:



Ilustración 3-3: Actividades de la fase de diseño

Realizado por: Aguinda J., 2023

3.2.2.1. Especificaciones del diseño

En esta fase se recoge toda la información acerca del diseño y construcción del dispositivo para medir las características acústicas de los materiales, se basó en las normas EN ISO 10534-2:2001 donde se describen los métodos de ensayo a utilizar para una correcta medición.

3.2.2.2. Diseño conceptual

En esta fase se evalúa el proceso de diseño y se analiza el problema para de esta manera aplicar soluciones amplias en forma de concepto y esquemas de solución acústica en materiales compuestos.

3.2.2.3. Diseño de ingeniería

En esta etapa se define el proceso para el diseño y construcción del tubo de impedancia, para ello es importante definir los parámetros indicados en la normativa donde define con mayor detalle el ensamble de los elementos del tubo de impedancias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema para así desarrollar un acople de acuerdo a las especificaciones técnicas, económicas por lo que se genera planos del conjunto armado que explican todo el proceso del ensamble del acople.

3.2.2.4. Diseño de detalle

Para este proceso de diseño y construcción se parte de la definición de los planos de conjunto

armado del tubo de impedancia, donde el diseñador detalla mediante un plano los objetivos y pasos que se debe seguir en el proceso de fabricación de los componentes del tubo de impedancia.

3.2.3. *Proceso de diseño*

Para el diseño y construcción del tubo de impedancia que sirve para medir las características acústicas de los materiales compuestos, se tomó como base principal la norma UNE EN ISO 10534-2 donde se describen los métodos de ensayo a utilizar para una correcta medición.

3.2.3.1. *Elementos del tubo de impedancia*

En la siguiente tabla se muestran todos elementos que conforman el tubo de impedancia que sirven para el ensamble de todo el equipo.

Tabla 3-1: Elementos principales del tubo de impedancia

Elemento	Marca	Característica
Tubo de acero inoxidable		AISI-304
Tarjeta de adquisición de datos	National Instruments	Ni USB-9234
Micrófonos	PCB Piezotronics	¼ Condenser microphones type 130F20
Altavoz	EM3	ESM6

Realizado por: Aguinda J., 2023.

3.2.3.2. *El tubo de impedancia*

El elemento cilíndrico considerado para la construcción del tubo de impedancia es de acero recto, rígido, sin hendiduras y completamente liso, de longitud de 1 metro, con diámetro exterior de 50,8 mm y diámetro interior de 48,8 mm, Con un espesor de 2mm.



Ilustración 3-4: Tubo de impedancia

Realizado por: Aguinda J., 2023

3.2.3.3. *Micrófonos*

Son idénticos y van montados a lo largo del tubo cerca de la muestra, con una respuesta de trabajo de 0 kHz hasta 10 kHz, van ubicados en la parte superior del tubo, se utilizan dos micrófonos que son los encargados de la recepción de la señal de onda para el registro de datos, está cerca del portamuestras donde se localiza el material del ensayo, véase en la ilustración 3-3.



Ilustración 3-5: Micrófonos para instalar en el tubo de impedancia

Realizado por: Aguinda J., 2023.

3.2.3.4. *Altavoz*

El altavoz es un dispositivo que tiene una potencia de 700 W, con un rango de frecuencia de 1,5 kHz hasta 22 kHz y una sensibilidad de 99 ± 2 dB.



Ilustración 3-6: Driver para instalar en el tubo de impedancia

Realizado por: Aguinda J., 2023.

3.2.3.5. Tarjeta de Adquisición de datos

El NI-9234 ofrece un amplio rango dinámico combinado con acoplamiento AC/DC seleccionable por software y acondicionamiento de señal IEPE. Los canales de entrada miden la señal simultáneamente. Cada canal también tiene un filtro anti-aliasing incorporado que ajusta automáticamente la frecuencia de muestreo. Cuando se usa con el software de NI, este módulo proporciona funciones de procesamiento de monitoreo de condición, como análisis de frecuencia y seguimiento de pedidos. La tarjeta de adquisición de datos es de NI (National Instrument) sirve para aplicaciones de adquisición y análisis de vibración y ruido en frecuencias de hasta de 25,6 kHz, con un rango dinámico de hasta 102 dB, con convertidores A/Ds de 24 Bits, van conectados a los micrófonos mediante una conexión de cable BNC.



Ilustración 3-7: Tarjeta de adquisición de datos NI 9234

Realizado por: Aguinda J., 2023.

3.3. Construcción del tubo de impedancia

La construcción del tubo de impedancia se realiza basándose en la norma UNE EN-ISO 10534-2, de tal manera, que se evita fallas o errores involuntarios en el diseño del modelo, además se asegura obtener buenos resultados en las pruebas de funcionamiento a realizar.

En la construcción del tubo de impedancia se emplea los siguientes materiales y herramientas.

- Entenalla de Banco: Ideal para instalación en talleres de automoción o industriales, su estructura de acero forjado a alta temperatura garantiza la máxima resistencia y durabilidad, véase en la ilustración 6-3.



Ilustración 3-8: Entenalla de Banco

Realizado por: Aguinda J., 2023

- Tronzadora de corte: Es una herramienta que consiste en un disco para cortar materiales metálicos. El tipo más común corta por abrasión, aunque también tiene estructuras similares a las sierras ingletadoras y los discos de Widia.



Ilustración 3-9: Tronzadora de corte

Realizado por: Aguinda, J., 2023

- Taladro: Un taladro es una máquina que nos permite realizar agujeros mediante el movimiento de rotación (a veces combinado con percusión) que adquiere la broca sujeta en el cabezal. Existen infinidad de taladros, pero los más comunes son los taladros eléctricos con cable, véase en la Ilustración 8-3.



Ilustración 3-10: Taladro eléctrico

Realizado por: Aguinda J., 2023

- Soldadura TIG: La soldadura por arco en un gas inerte con un electrodo de tungsteno que no se funde (gas inerte de tungsteno) es un procedimiento en el que el calor necesario para realizar la soldadura lo proporciona un arco eléctrico que se mantiene entre el electrodo no consumible y la pieza de trabajo. Los electrodos utilizados para conducir la corriente son electrodos de tungsteno o aleación de tungsteno. El área de soldadura, el metal fundido y los electrodos no consumibles están protegidos de los elementos atmosféricos por el gas inerte entregado por la antorcha de soldadura (TELWIN, 2022).

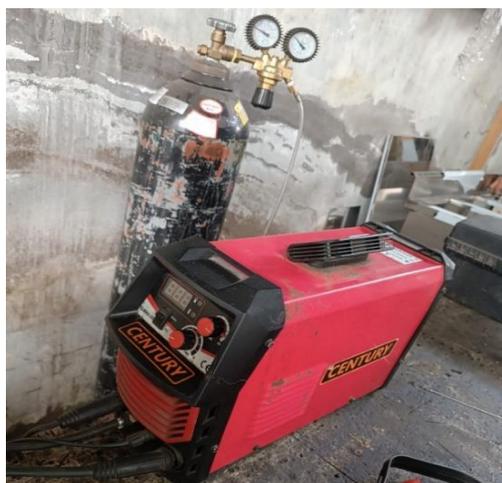


Ilustración 3-11: Soldadora TIG

Realizado por: Aguinda J., 2023

- Flexómetro: Un flexómetro es un instrumento que se utiliza para medir la longitud de una línea recta o una superficie curva. Fue inventado en 1868 por Alvin Fellows. Cuando lo patentó, lo describió como una cinta métrica de metal de cuerda automática que se comprime en un estuche portátil. (PAVCO, 2022).



Ilustración 3-12: Flexómetro

Realizado por: Aguinda J., 2023.

- Amoladora: la amoladora eléctrica sirve para lijar, abrillantar, pulir, desbastar y cortar determinados materiales ya sean blandos o duros, en este caso se utiliza para cortar varios materiales para el ensamble del tubo de impedancia.



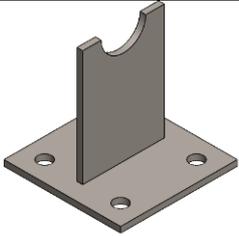
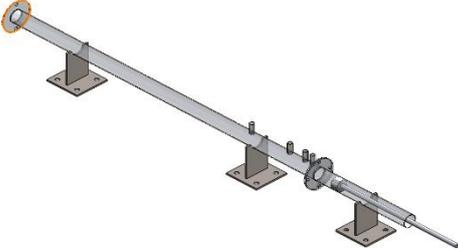
Ilustración 3-13: Amoladora

Realizado por: Aguinda J., 2023.

3.3.1. Componentes del tubo de impedancia

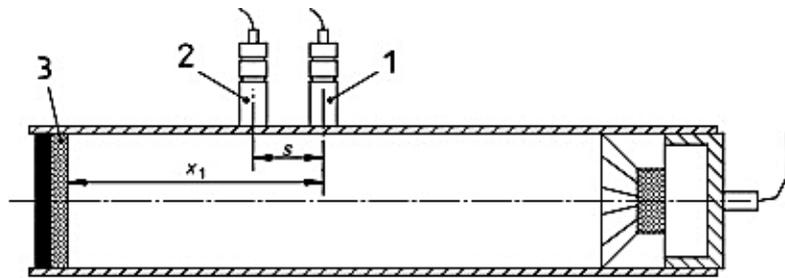
La construcción del tubo de impedancia se divide en partes que son ensambladas con la finalidad de facilitar su construcción y mantenimiento, por lo tanto, en la siguiente tabla se especifica los componentes del tubo de impedancia, véase en la tabla 2-3.

Tabla 3-2: Componentes del tubo de impedancia

Tubo de impedancia	Esquema	Construcción
Tubo principal		
Porta muestras		
Pistón		
Base de soporte		
Ensamble de elementos		

Realizado por: Aguinda J., 2023

A continuación, se contemplaron los parámetros de diseño según la norma ISO 10534-2, con lo cual es necesario para calcular la absorción acústica.



Llave
 1 micrófono A
 2 Micrófono B
 3 Muestra de prueba

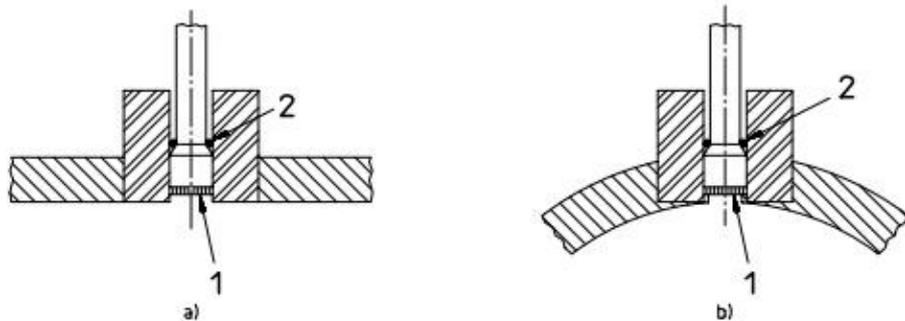
Ilustración 3-14: Ubicación de los micrófonos en el tubo de impedancia

Realizado por: Aguinda J., 2023.

Ecuación:
$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2 \quad (1-3)$$

r_r es el componente real

r_i es el componente imaginario



Llave
 1 micrófono
 2 Sellado

Ilustración 3-15: Visión de los micrófonos en el tubo de impedancia

Realizado por: Aguinda J., 2023.

Se puede mencionar que en los elementos que constituyen (micrófonos y pernos de sujeción) el módulo de impedancia para la adquisición de datos se encuentra sellados, por lo que no existe resonancia y para determinar se debería implementar un analizador de vibraciones.

Para encontrar la frecuencia natural y la frecuencia generada se realiza un modelo dinámico del sistema (rígido si hay fricción C, resorte o amortiguador-K y de Masa total M) en las variables que intervienen.

Midiendo, con un analizador de vibraciones UTP, se coloca el acelerómetro y se le da un golpe con un mazo de goma, y se registra con un software la frecuencia. La frecuencia generada de igual forma se la mide con un UTP. A continuación, se describen las clases de absorción acústica.

Tabla 3-3: Clases de absorción acústica

Coeficiente ponderado de absorción acústica $\propto w$	Clase de absorción acústica	Ponderación
≥ 0.90	A	Absorción máxima
0.80 / 0.85	B	Absorción mayor
0.60 / 0.75	C	Absorción alta
0.30 / 0.55	D	Absorción normal
0.15 / 0.25	E	Absorción baja
\leq	F (No clasificado)	Reflexión

Fuente: Norma ISO 11654

Realizado por: Aguinda J., 2023.

3.3.2. Ecuación de determinación de rango de frecuencia

Es necesario para el cálculo del rango de frecuencia, considerar una temperatura de 22° C, determinando la velocidad del sonido:

Ecuación:
$$C_0 = \sqrt{\frac{295.15}{293}} \quad (2-3)$$

$$C_0 = 344.557 \text{ m/s}$$

f_u es la frecuencia de trabajo más alta, se necesita para evitar la ocurrencia de ondas no planas en el interior del tubo, relacionada a su vez con el diámetro del tubo y la velocidad del sonido.

Ecuación:
$$f_u * d < 0,58 C_0 \quad (3-3)$$

$$f_u < \frac{0,58 C_0}{d}$$

$$f_u < \frac{0.58 * 344.557}{0.0482} = 4146.122 \text{ Hz}$$

Este valor garantiza, la no generación de ondas no planas.

En otro punto la ecuación anterior está relacionada también con la distancia entre los micrófonos, la cual queda de la siguiente manera:

Ecuación: $f_u * s < 0,45 C_0$ (4-3)

$$f_u < \frac{0.45 * 344.557}{0.041} = 3781.723 \text{ Hz}$$

Este valor es el límite de frecuencia superior 3781 Hz

Para el límite de frecuencia más baja, está limitada, por la exactitud del sistema, involucrando la distancia entre los micrófonos, con un valor del 5% mayor de las distancias de los micrófonos:

Ecuación: $s > \frac{5}{100} \lambda_1$ (5-3)

Ya que $\lambda_1 = \frac{C_0}{f_1}$, con los valores anteriormente obtenidos:

$$s > \frac{5}{100} * \frac{C_0}{f_1}$$

Despejando f_1

$$f_1 > \frac{5}{100} * \frac{C_0}{S}$$

$$f_1 > \frac{5}{100} * \frac{344.557}{0.041} = 429.191 \text{ Hz}$$

Ponderando que la temperatura es de 22° C, los intervalos de frecuencia de trabajo para nuestras especificaciones del tubo dadas serán de 420 Hz y hasta 3700 Hz

3.3.3. *Ensamble del tubo de impedancia*

El ensamble del tubo de impedancia comprende los elementos principales, como el tubo de acero inoxidable, la tarjeta de adquisición de datos, micrófonos, altavoz y los componentes del tubo que facilitan su armado y mantenimiento.



Ilustración 3-16: Ensamble tubo de impedancia

Realizado por: Aguinda J., 2023.

Para el montaje de los micrófonos A y B se ubican en las posiciones de la configuración estándar, estos micrófonos van conectados a la tarjeta de adquisición de datos NI (National Instrument). Esta tarjeta está conectada al computador que es operado por el software, en este estudio se utiliza LabView, que permite obtener lecturas de las presiones acústicas de cada micrófono. Para encontrar la función de transferencia y el coeficiente de absorción.



Ilustración 3-17: Montaje de micrófonos para recibir la presión de sonido

Realizado por: Aguinda J., 2023.

Los acoples de conectores se posicionan en las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos a0 y a1 de la NI 9234.



Ilustración 3-18: Acople de conectores en entradas analógicas de la NI 9234

Realizado por: Aguinda J., 2023.

3.4. Diseño de programación

Al poner en funcionamiento el tubo de impedancia se considera los parámetros descritos en la norma EN ISO 10534-2 como: rango de frecuencia, ruido de señal mayor a 10 dB, dando paso al uso y ejecución del programa LabVIEW, para adquirir los datos de las presiones acústicas receptados por los micrófonos, de ese modo, facilitar la obtención del coeficiente de absorción acústica.

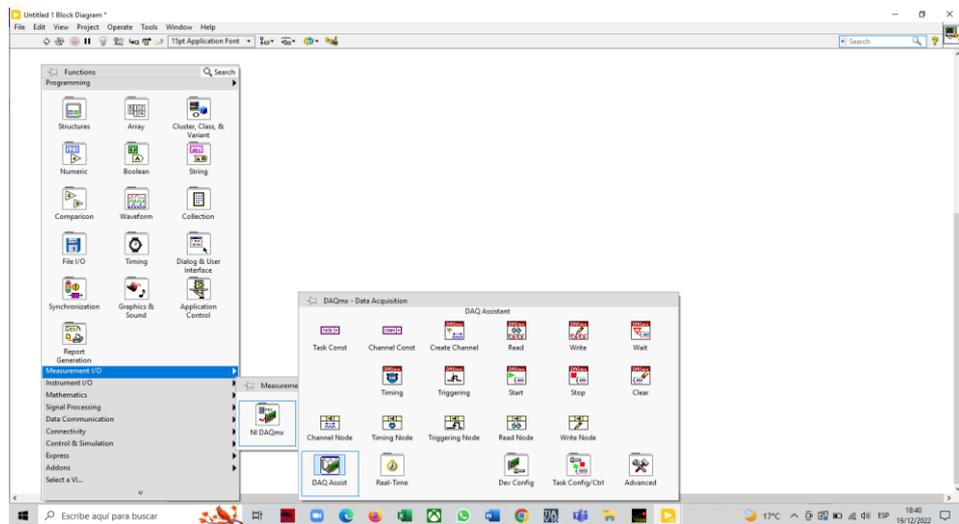


Ilustración 3-19: Interfaz Block Diagram, Ingreso a la instrucción DAQ ASISTANT

Realizado por: Aguinda J., 2023.

Para poder obtener datos de presión de sonido, el programa LabVIEW nos otorga un cuadro de comandos que facilitan el trabajo y obtención de la misma.

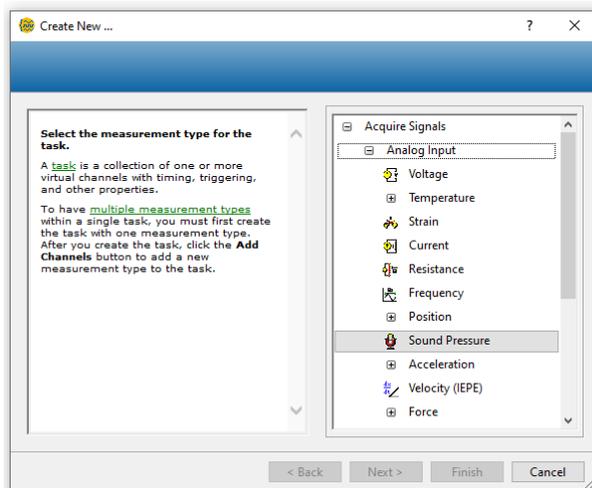


Ilustración 3-20: Ventana de trabajo, selección tipo analógica, presión de sonido

Realizado por: Aguinda J., 2023.

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.

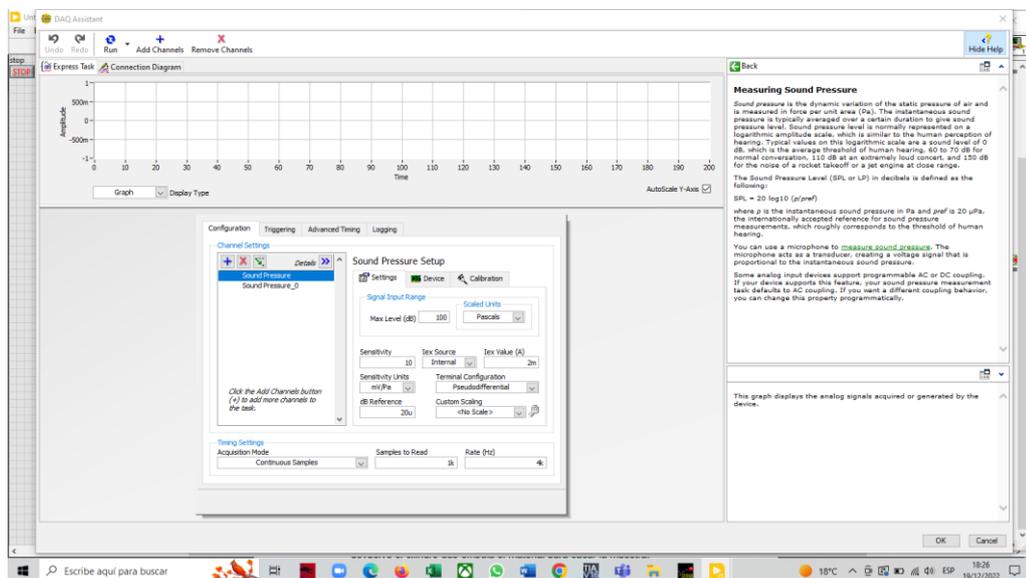


Ilustración 3-21: Creación de canales denominados Sound Pressure y Sound Pressure_0

Realizado por: Aguinda J., 2023.

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, dando como resultado así la adquisición de datos de presión vs. tiempo.

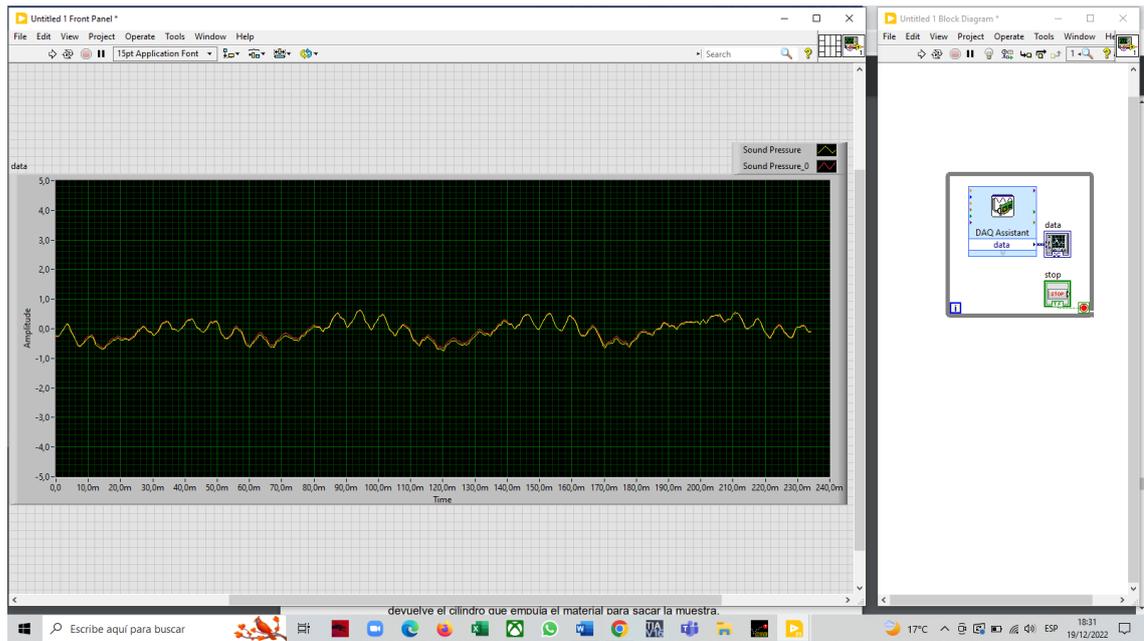


Ilustración 3-22: Indicador gráfico de datos de presión de sonido vs. tiempo en While Loop.

Realizado por: Aguínd J., 2023.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo, se da lugar a los análisis después del diseño y construcción del tubo de impedancia y los resultados que se logran adquirir al usar diferentes muestras para su prueba, al finalizar se logrará comparar con datos reportados en bibliografías.

4.1. Condiciones de ensayo

Una vez ya construido el tubo de impedancia en referencia a la norma EN ISO 10534-2, se procede a hacer uso del módulo, para hallar los coeficientes de absorción acústica de incidencia normal. Considerando que entre los elementos que conforman el tubo de impedancia se encuentra el altavoz y esta opera en un rango de frecuencia de 1500 Hz hasta 22000 Hz. El rango de frecuencia del tubo de acuerdo a los parámetros de diseño se encuentra entre 420 Hz y 3700 Hz. Por tal situación se estima la limitación que se tiene por el altavoz y se toma en cuenta el rango de frecuencia del tubo, para estas mediciones se toma un rango de frecuencia de operación de 1500 Hz hasta 3700 Hz.

Para amplificar la señal generando un ruido blanco la norma hace referencia al uso de un amplificador, para este procedimiento se usa un dispositivo telefónico que genera ruido blanco para las tomas de medición de la muestra.

Se hace uso de 2 micrófonos PCB de $\frac{1}{4}$ de condensador y para la adquisición de señal mediante estos micrófonos, se utiliza una tarjeta de adquisición de datos de National Instrument y así obtener datos de las presiones acústicas, siendo estos datos exportados a Excel y para su estudio llevados al software Matlab, con el propósito de determinar la gráfica frecuencia vs. coeficiente de absorción.

4.2. Procedimientos de ensayo

Al poner en operación el tubo de impedancia, para determinar la absorción acústica, se toma en cuenta los parámetros descritos en la norma UNE EN ISO 10534-2, los cuales son: rango de frecuencia, señal de fondo mayor a 10 dB, todos los rangos de interés en las ubicaciones de los micrófonos. Los materiales seleccionados para realizar el ensayo son: aluminio, vidrio y espuma de poliuretano.

4.2.1. Propiedades de las probetas de ensayo

A continuación, se realizaron los cálculos en las probetas de ensayo del material aluminio fundido para determinar: el coeficiente de rigidez, el módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, coeficiente de amortiguamiento, densidad, volumen y masa.

Coeficiente de rigidez (E): Aluminio fundido
71 (Gpa)

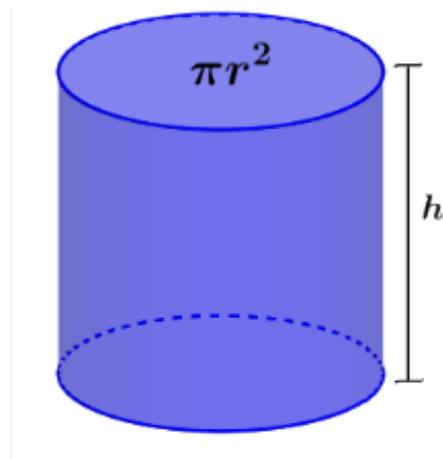
Módulo de elasticidad (G): 26.2 G(Gpa)

Relación de Poisson: 0.334

Coeficiente amortiguamiento: $\sim 0.5 \cdot 10^{-4}$ por debajo de aproximadamente
20° C

Densidad ρ : 2.70 g/cm³

Volumen: $v = \pi r^2 \cdot h$
 $v = [\pi (24.4)^2 \cdot 0.7] \text{mm}^3$
 $v = 1309.26 \text{mm}^3$
 $v = 1.309 \text{cm}^3$



Masa Total: $m = v \cdot \rho$
 $m = 1.309 \text{cm}^3 \cdot 2.70 \text{g/cm}^3$
 $m = 3.535 \text{g}$

En esta sección se procedió a realizar los cálculos en las probetas de ensayo del material: vidrio con el cual se determinó: el coeficiente de rigidez, el módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, coeficiente de amortiguamiento, densidad, volumen y masa.

Coefficiente de rigidez (E): 3.44 (Gpa)

Módulo de elasticidad (G): 70 (Gpa)

Relación de Poisson: 0.20

Coefficiente amortiguamiento: 0.045 por debajo de aproximadamente 20° C

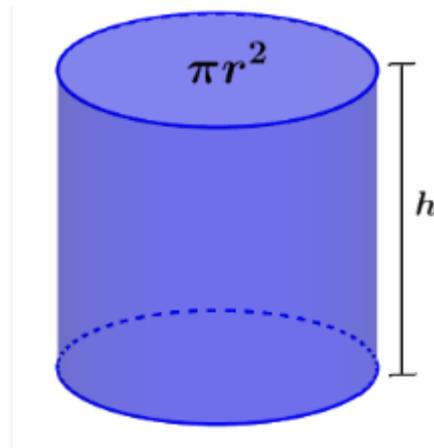
Densidad ρ : 2.500 kg/m³

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

$$v = [\pi (24.4)^2 * 0.7] \text{mm}^3$$

$$v = 1309.26 \text{mm}^3$$

$$v = 1.309 \times 10^{-6} \text{m}^3$$



Masa Total: $m = v * \rho$

$$m = 1.309 \times 10^{-6} \text{m}^3 * 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1000 \text{g}}{1 \text{kg}}$$

$$m = 3.27 \text{g}$$

A continuación, se realizaron los cálculos en las probetas de ensayo del material poliestireno expandido para determinar: el coeficiente de rigidez, el módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, coeficiente de amortiguamiento, densidad, volumen y masa.

ESPUMA DE POLIURETANO (XI)

Coefficiente de rigidez (E): 7 (Mpa) a 2.1 (GPa)

Módulo de elasticidad (G): 2.28 – 3.28 (Gpa)

Relación de Poisson: 0.33r

Coefficiente amortiguamiento: 1×10^{16} aproximadamente 105°C

Densidad ρ : 12 kg/m³ y 48 kg/m³ (ASTM D578-14a)

Tabla 4-1: Valores de densidad del EPS

Clasificación	TIPO													
	XI	I	VIII	II	IX	XIV	XV	XII	X	XIII	IV	VI	VII	V
Densidad, min, (kg/m ³)	12	15	18	22	29	38	48	19	21	26	23	29	35	48

Fuente: (Harper, 2000)

Realizado por: Aguinda J., 2023

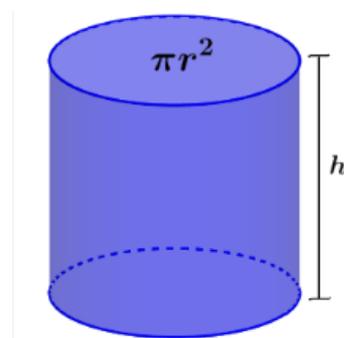
Volumen:

$$v = \pi r^2 \cdot h$$

$$v = [\pi (24.4)^2 \cdot 0.7] \text{mm}^3$$

$$v = 1309.26 \text{mm}^3$$

$$v = 1.309 \times 10^{-6} \text{m}^3$$



Masa Total:

$$m = v \cdot \rho$$

$$m = 1.309 \times 10^{-6} \text{m}^3 \cdot 12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 1.5708 \times 10^{-5} \text{kg}$$

Una vez en posición todos los elementos y parámetros para la operación, para empezar la práctica se coloca la muestra de material o probeta a analizar en el plano de referencia ($x=0$), se realiza con ayuda del pistón del portamuestras, colocando aislante viscoso para que se genere un sello completo.

Se enciende el dispositivo telefónico para generar la señal de ruido blanco con ayuda de un amplificador y así estabilizar las propiedades dentro del tubo durante un intervalo de tiempo.

Se procede a captar la señal de presión de sonido, mediante los micrófonos y la tarjeta de adquisición de datos que van conectados a la PC, para proceder a ejecutar el software LabVIEW, en la interfaz denominada BLOCK DIAGRAM se ingresa la instrucción DAQ ASISTANT, para que luego se presente una ventana en la que se selecciona adquirir señal luego de tipo analógica y finalmente presión de sonido

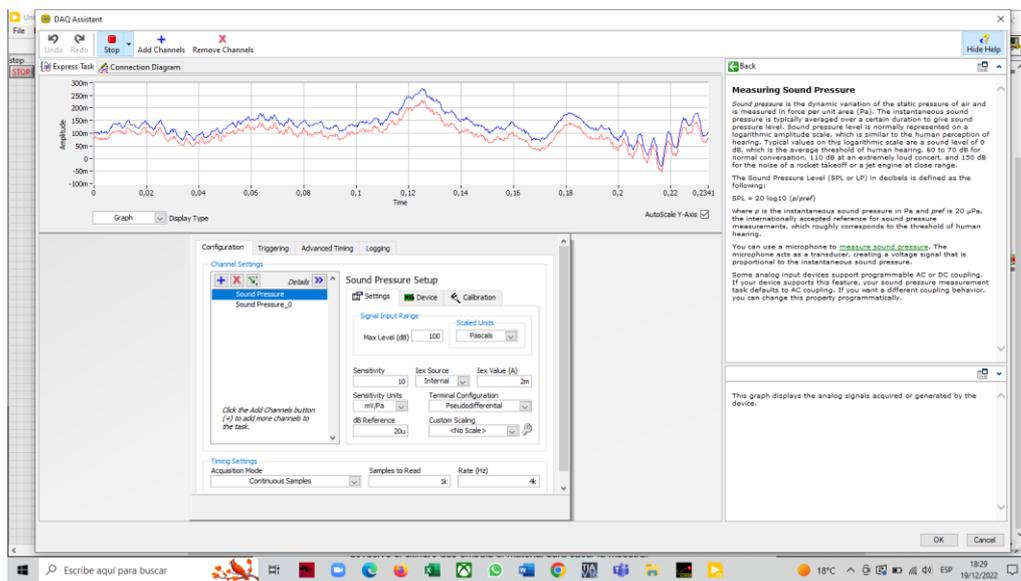


Ilustración 4-1: Canales denominados SOUND PRESSURE Y SOUND PRESSURE_0

Realizado por: Aguinda J., 2023.

Posteriormente, se selecciona dos canales como el sound pressure y sound pressure _0, mediante la selección continuous sample para adquirir datos sin interrupción de las mediciones en las muestras. De acuerdo con las ecuaciones del capítulo anterior se trabajó con valor cercano a 1K en sample to read y en rate HZ con valor de 4k, además, se trabaja con temperatura ambiente a 22 °C, dentro del intervalo de frecuencia de trabajo para las especificaciones del tubo que es de 420 Hz hasta llegar a 3700 Hz.

Con estos parámetros definidos se verifica la gráfica de la adquisición de datos para proceder a crear la TASK para la instrucción de toma de datos, por lo que es necesario crear un indicador gráfico que va encerrado en un while Loop. Finalmente, se ejecuta el programa para comprobar los datos de presión de sonido vs. tiempo.

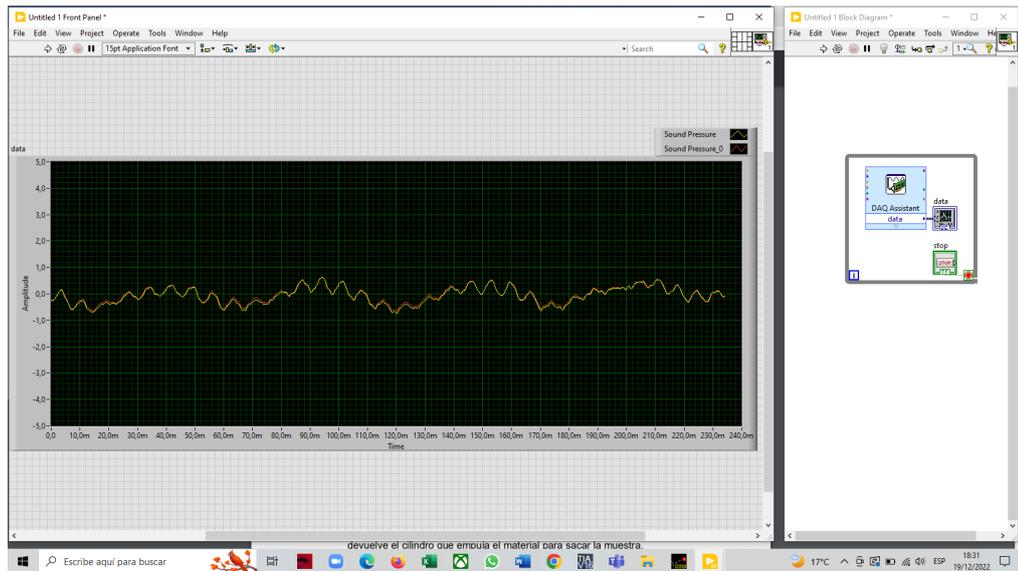


Ilustración 4-2: While Loop, ejecución del programa, presión de Sonidos, instrucción de toma de datos.

Realizado por: Aguinda J., 2023.

4.3. Análisis de ensayo

Para obtener los datos de las presiones acústicas, se toman los diferentes valores en el intervalo de 1 s, dichos datos son captados por LabVIEW en un número aproximado de 330 valores diferentes para cada micrófono en cada ensayo.

	A	B	C	D
1	Time	Sound Press	Sound Pressure_0	
2	06,311	15,371228	-0,101864	
3	06,311	-25,377501	-18,065014	
4	06,311	-35,689476	-45,020291	
5	06,312	-54,085059	-45,140524	
6	06,312	-69,848755	-55,942362	
7	06,312	-82,214572	-85,451499	
8	06,312	-86,039945	-88,484703	
9	06,312	-83,117997	-69,531328	
10	06,313	-52,88584	-62,232338	
11	06,313	-37,025519	-23,945857	
12	06,576	-85,585793	-74,583841	
13	06,577	-58,496712	-65,588663	
14	06,577	-38,40158	-28,878382	
15	06,577	-17,037871	-6,018149	
16	06,577	-28,853094	-8,952165	
17	06,578	-58,829656	-53,895481	
18	06,578	-78,732757	-93,189085	
19	06,578	-107,486006	-84,238804	
20	06,578	-87,470845	-102,968916	
21	06,578	-69,142607	-66,963804	
22	06,874	-14,416719	-6,193282	
23	06,874	-39,355331	-16,158983	
24	06,874	-62,926544	-70,233813	
25	06,874	-87,263747	-91,024411	
26	06,875	-106,839273	-86,199491	
27	06,875	-80,7586	-102,606693	
28	06,875	-64,462061	-51,609659	
29	06,875	-20,272998	-12,790946	
30	06,875	16,578682	12,520604	
31	06,876	53,183857	45,904634	

Ilustración 4-3: Datos de presión acústica a 125 Hz en 1 s, espuma de poliuretano

Realizado por: Aguinda J., 2023.

Después de este procedimiento, los datos son llamados desde el software MATLAB para hallar la gráfica frecuencia vs. absorción acústica.

Adquisición de datos de presión de sonido

Material: Aluminio

Frecuencia 125 HZ, 250HZ, 500HZ, 1000HZ Y 2000HZ

Tiempo para toma de muestras 10 SEG.

NOTA: Se coloca aislante viscoso en la probeta para que se genere un sello completo

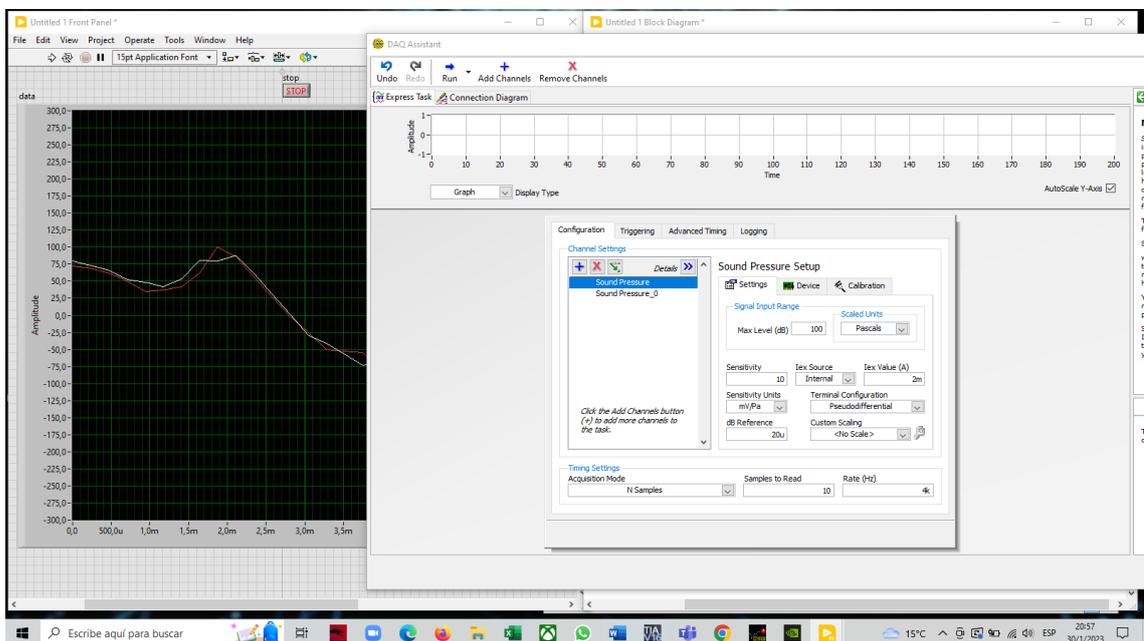


Ilustración 4-4: Adquisición de datos con aluminio

Realizado por: Aguinda J., 2023.

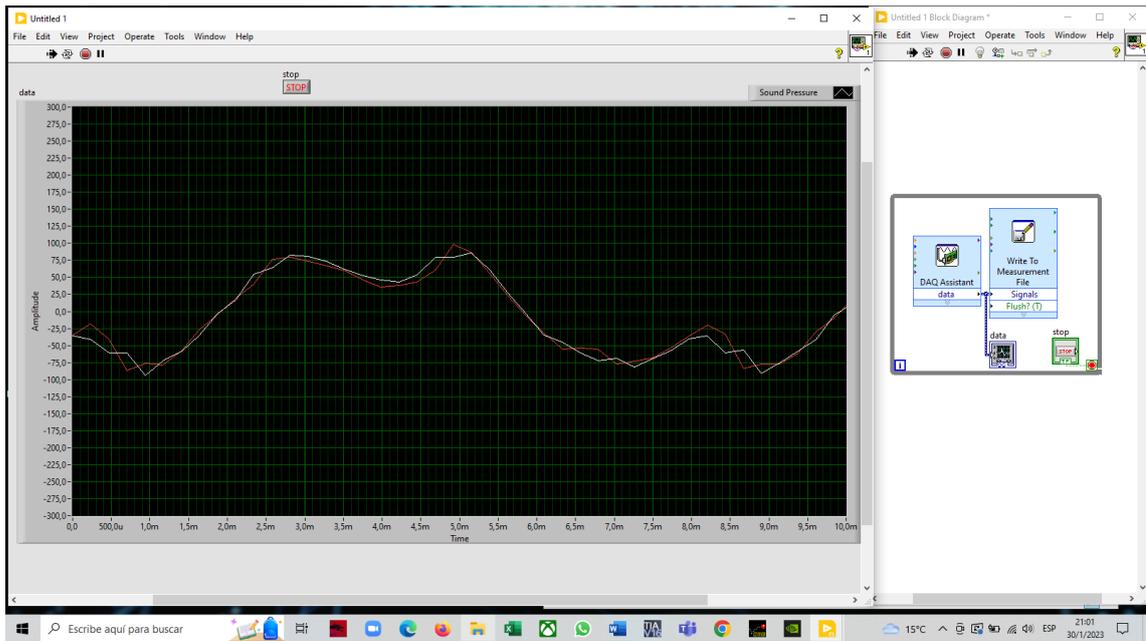


Ilustración 4-5: Adquisición de datos con aluminio

Realizado por: Aguida J., 2023.

Material: Espumaflex

Frecuencia 125 HZ, 250HZ, 500HZ, 1000HZ Y 2000HZ

Tiempo para toma de muestras 10 SEG.

Nota: se coloca aislante viscoso en la probeta para que se genere un sello completo

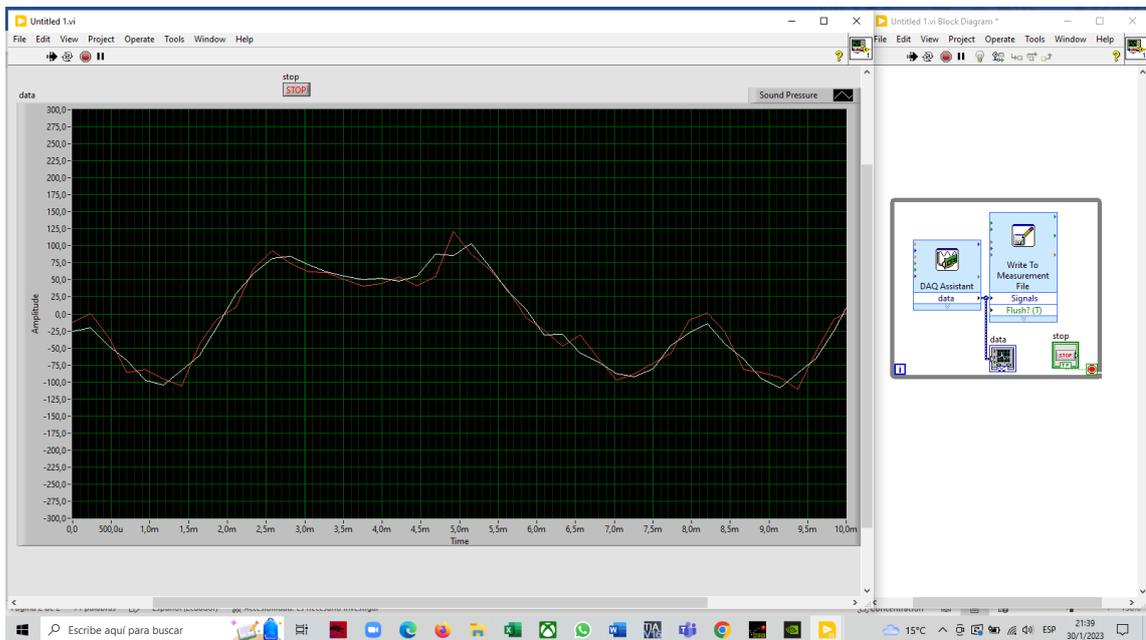


Ilustración 4-6: Adquisición de datos con espuma de poliuretano

Realizado por: Aguida J., 2023.

Material: Cristal

Frecuencia 125 HZ, 250HZ, 500HZ, 1000HZ Y 2000HZ

Tiempo para toma de muestras 10 SEG.

Nota: Se coloca aislante viscoso en la probeta para que se genere un sello completo

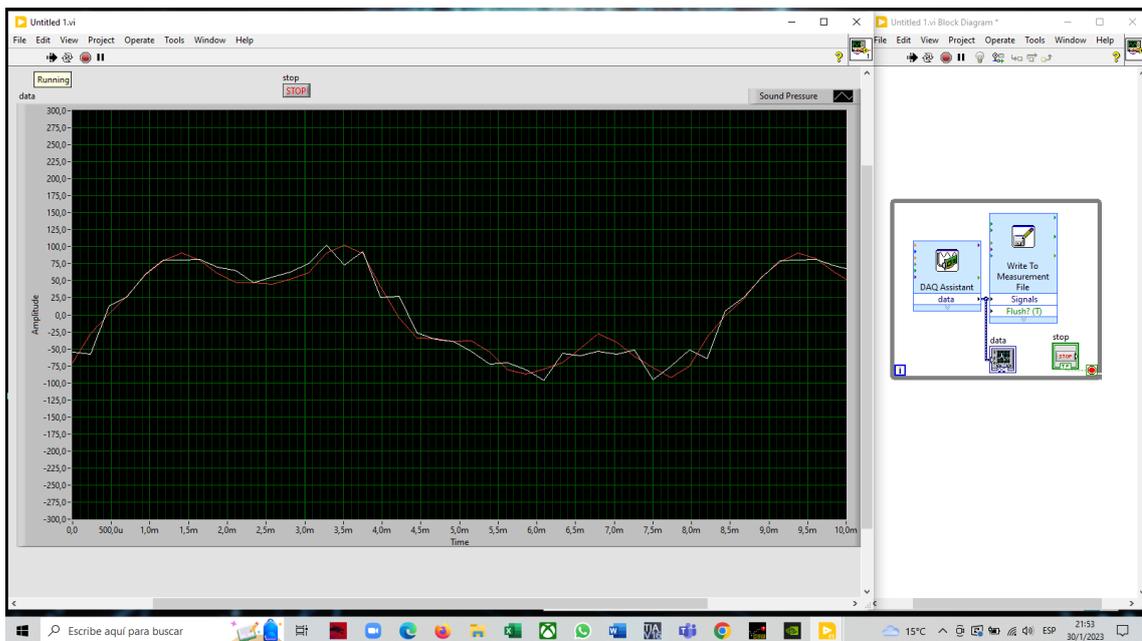


Ilustración 4-7: Adquisición de datos con cristal

Realizado por: Aguinda J., 2023.

4.3.1 *Resultado de las pruebas.*

A continuación, se describe la relación que existen entre la comparación de las impedancias acústicas obtenidas con los materiales de: vidrio, espuma de poliuretano (espumaflex) y aluminio (metal).

El procedimiento general consta de los siguientes pasos secuenciales para realizar la prueba y toma de datos:

- 1.- Colocar vaselina en la probeta para que no genere interferencia con otros materiales del tubo de impedancia y el ruido no tienda a filtrarse.
- 2.- Ubicar la probeta en el portamuestra en el plano de referencia establecido en el tubo de impedancia.

- 3.- Se procede a ajustar los acoples del tubo de impedancia para que quede sellado.
- 4.- Se genera una señal de ruido blanco sobre los 10 dB por un lapso de tiempo de 10 segundos para atenuar el ruido producido por el ambiente interno del tubo.
- 5.- Se genera frecuencias de sonido a partir de los 125 Hz hasta los 2000 Hz.
- 6.- Se toma muestras de los sonidos por medio de los micrófonos ubicados en el tubo de impedancia a una distancia de 5 cm de uno con el otro y mediante el uso del software LabVIEW.
- 7.- El comportamiento de los datos obtenidos se puede observar en una gráfica de las presiones acústicas receptada de 270 muestras dentro de 10 segundos.
- 8.- Se exportaron los datos de presiones acústicas a Excel para posteriormente procesar en el software MATLAB.
- 9.- Finalmente, se obtuvieron gráficas de la impedancia acústica que se genera en cada uno de los materiales colocados en el portamuestras a diferentes frecuencias.

Como resultado del micrófono 1 se puede observar a continuación en la siguiente:

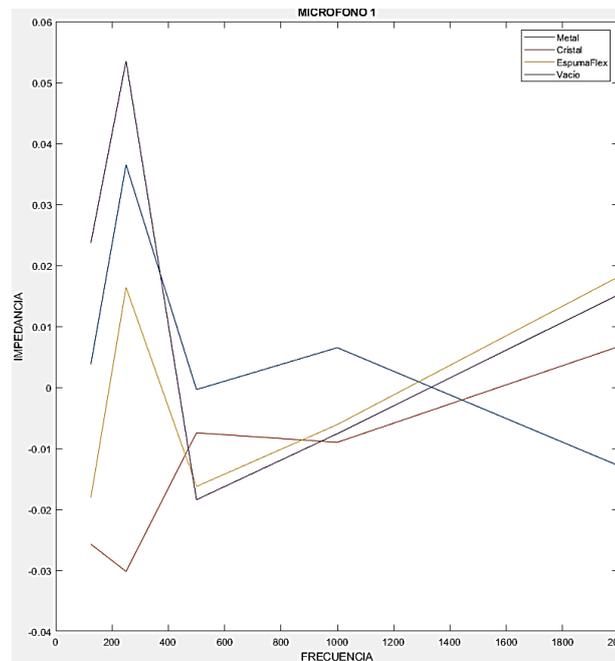


Ilustración 4-8: Datos comparativos entre diferentes materiales a varias frecuencias, de 125 Hz a 20000 Hz con el micrófono 1

Realizado por: Aguinda J., 2023.

Análisis: Se puede observar que a una frecuencia de 125 Hz el comportamiento de los materiales considerados para la prueba de sonido en vacío se produce una impedancia de entre $0,025 Pa \frac{s}{m}$, seguido del metal con una impedancia de alrededor de $0,005 Pa \frac{s}{m}$; posteriormente se consideró la espuma de poliuretano y el cristal los cuales tiene una respuesta de impedancia bajo $-0,01 Pa \frac{s}{m}$. Con la frecuencia de 250 Hz se tiene que en los 2 materiales y en vacío, espumaflex y metal poseen un incremento de $0,02 Pa \frac{s}{m}$, sin embargo, el cristal tiene una reducción de $0,03 Pa \frac{s}{m}$. A frecuencias de 500 Hz; se tiene una reducción de $0,03 Pa \frac{s}{m}$ más cercano a 0 en el metal, sin embargo, en los otros materiales se reduce en el rango de 0,07; para el lapso de 500 Hz hasta los 2000 Hz, se observa en la prueba en vacío de la espuma de poliuretano y vidrio un incremento porcentual de $0,04 Pa \frac{s}{m}$; sin embargo en el metal a los 2000 Hz tiene una disminución de $0,02 Pa \frac{s}{m}$, en otras palabras se puede mencionar que, el material más absorbente a frecuencias sobre los 1000 Hz es el metal, seguidamente de la espuma de poliuretano se hace menos absorbente, finalmente el cristal es considerado como un material menos absorbente a frecuencias de superiores a 500 Hz.

En los resultados obtenidos en el micrófono 2 el cual se encuentra a una distancia de 5 cm del micrófono 1, se tienen los siguientes valores:

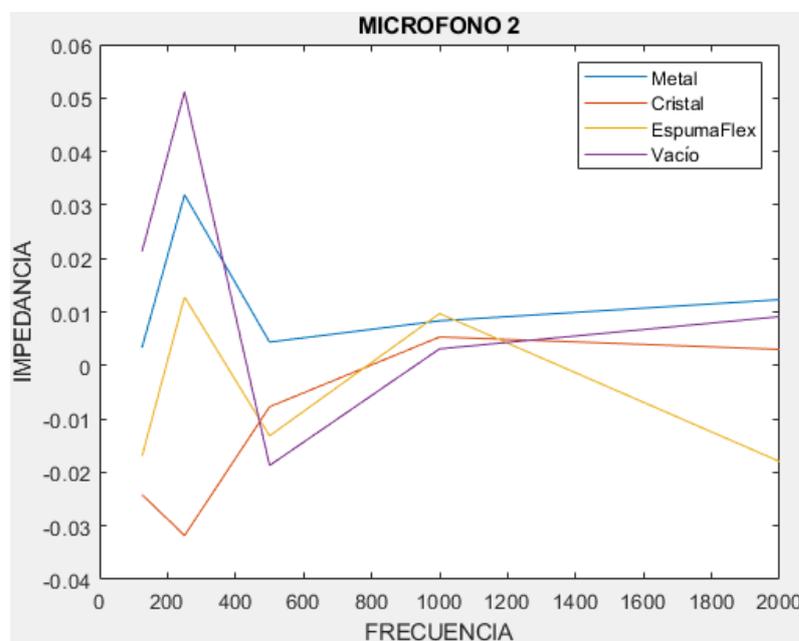


Ilustración 4-9: Datos comparativos entre diferentes materiales a varias frecuencias, de 125 Hz a 20000 Hz con el micrófono 2

Realizado por: Aguinda J., 2023.

La impedancia que se obtiene con los materiales de: el aluminio, espuma de poliuretano y cristal que fueron expuestos a un rango de frecuencias que van a partir de los 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz. Obteniendo la prueba de: espuma de poliuretano, metal y vacío tienen un comportamiento similar con un rango de diferencia de $0,015 Pa \frac{s}{m}$ a los 125 Hz con un incremento porcentual hasta los 250 Hz, sin embargo, el cristal actúa de forma diferente amplificando el sonido es decir tiene una disminución de $-0,023 Pa \frac{s}{m}$ hasta los $-0,033 Pa \frac{s}{m}$.

A partir de los 500 Hz hasta los 1000 Hz, se tiene un incremento de la impedancia de 0,01 con tendencia a 0 en el vacío, la espuma de poliuretano y cristal; sin embargo, el comportamiento del metal es más estable a altas frecuencias, en el rango de 1000 Hz a 2000 Hz, se tiene que el metal tiene una mayor impedancia de alrededor de $0,013 Pa \frac{s}{m}$, seguido del vacío con alrededor de $0,008 Pa \frac{s}{m}$, a continuación, el cristal con $0,003 Pa \frac{s}{m}$. Y finalmente la espuma de poliuretano que actúa como un amplificador de sonido alrededor de $-0,02 Pa \frac{s}{m}$.

4.4. Mantenimiento del equipo

Como todos los equipos, el tubo de impedancia necesita un estricto cuidado y mantenimiento para que llegue a cumplir una vida útil estimada, se procede a establecer las siguientes actividades de mantenimiento preventivo anual.

- Como parte del mantenimiento que se le puede dar a este módulo, está el Inspeccionar si existe la presencia de humedad o polvo en el interior del tubo y el portamuestras, debido a que la presencia sola de estos, puede provocar como consecuencia que los elementos electrónicos, presenten un desajuste en su función, el fallo al momento del ensayo y deterioro de los contactos.
- Se debe realizar una limpieza por el exterior e interior del tubo y porta muestra debido a que está expuesto al medio y siempre existe proporción de polvo, para este caso se utiliza una franela.
- Realizar una limpieza del pistón con el fin de que las condiciones de movilidad del mismo puedan ser de fácil desplazamiento y no se quede atrapada la muestra en el interior.

- Inspeccionar los puntos de unión de acople entre el tubo y portamuestras, porque puede existir un cierto desgaste por el apriete en cada ensayo, verificando que los elementos de apriete no se encuentren desgastados.
- Inspeccionar el punto de acople entre la bocina y el tubo, verificando que la parte roscable se encuentre libre de limallas que puedan provocar un picado en los hilos, impidiendo el correcto acoplamiento de la bocina.
- Realizar una limpieza de la bocina y los micrófonos, previniendo que el polvo o humedad puedan ingresar en los orificios de estos dispositivos dañando sus circuitos electrónicos y como consecuencia no llegar a la amplificación de prueba deseada.
- Realizar una limpieza de los cables y dispositivos electrónicos, revisando que no exista presencia de corrosión en los puntos de conexión, con un multímetro se puede comprobar si existe continuidad, el no tener en consideración este factor podría el amplificador no recibir la señal generada.
- Chequear el estado funcional de los micrófonos y calibración en el software LabVIEW, el cual permite ver la captación existente de sonido y funcionamiento, notar presencia de golpes, porque son muy sensibles y el mal cuidado puede proceder a la captación errónea de sonido.
- Chequear el estado funcional del amplificador, limpiando el dispositivo y realizando pruebas de encendido y apagado, al no proceder aquello se tiene como consecuencia el no poder activar la bocina para generar la señal, debido a que se necesita de 20 watts de potencia para operar.
- Chequear el estado funcional de los contactos BNC de los cables, inspeccionando la tonalidad del cable para prevenir corrosiones. Para evaluar el correcto funcionamiento de usar un tester en la función continuidad, para comprobar que el cable se encuentra en condiciones apropiadas.
- Limpiar la tarjeta de adquisición de Datos y bornes con una franela seca y comprobar su funcionamiento con el reconocimiento en el software LabView, al no proceder como efecto se puede tener el no funcionamiento del equipo.

Tabla 4-2: Actividades de Mantenimiento Anual para el tubo de Impedancia

Equipo	Tubo de impedancia			
ACTIVIDAD	RESPONSABLE	MATERIALES	FRECUENCIA	OBSERVACIONES
Inspeccionar si existe la presencia de humedad o polvo en el interior del tubo y el portamuestras.	Practicante		1 semana	
Limpieza por el exterior e interior del tubo y portamuestra	Practicante	Franela	3 semanas	
Realizar una limpieza del pistón	Practicante	Franela	3 semanas	
Inspeccionar los puntos de unión de acople entre el tubo y portamuestras.	Practicante	Llave de mano	3 semanas	
Inspeccionar el punto de acople entre la bocina y el tubo que esté en buen estado.	Practicante		4 semanas	
Realizar una limpieza de la bocina y los micrófonos	Practicante	Franela	4 semanas	
Realizar una limpieza de los cables y dispositivos electrónicos.	Practicante	Franela	1 semana	
Chequear el estado funcional de los micrófonos y calibración en el software labview	Practicante	Software Labview	52 semanas	
Chequear el estado funcional del amplificador y bocina.	Practicante		4 semanas	
Chequear el estado funcional de los contactos BNC de los cables.	Practicante		12 semanas	
Limpieza de la tarjeta de adquisición de Datos.	Practicante	Franela	1 semana	

Realizado por: Aguinda J., 2023.

4.4.1. Tabla AMEF del tubo de impedancia

Para estimar la criticidad de cada uno de los elementos electrónicos del tubo de impedancia se considera utilizar una tabla AMEF (Análisis de modo y efecto de la falla), con esta metodología se asegura el funcionamiento que se requiere y a la vez se documenta el análisis de modo de falla y efecto de los dispositivos electrónicos que componen el tubo de impedancia, evitando el impacto negativo del proceso, ayudándonos a determinar los rangos de severidad, ocurrencia y detección.

4.4.1.1. Severidad

Es un valor asociado con el más serio efecto de un modo de falla. Para tener en consideración que tan severo va a ser el modo de falla, desde la práctica que se quiera realizar para obtener los resultados.

Tabla 4-3: Tabla de análisis de severidad

Severidad	Efecto	Calificación	Escala de color
Puede dañar la máquina o al operador sin que se advierta	Falla en el cumplimiento con requerimientos de seguridad	10	
Puede dañar la máquina o al operador CON advertencia		9	
Puede que el 100% del producto se deseche / Paro de línea	Interrupción mayor	8	
Puede que una proporción de la corrida de producción se deseche /disminución velocidad maquina o aumento en mano de obra	Interrupción significativa	7	
Puede ser que el 100% de la corrida de producción tenga que retrabajarse fuera de la línea	Interrupción importante	6	
Puede ser que una proporción de la corrida de producción tenga que retrabajarse fuera de la línea		5	
Puede ser que el 100% de la corrida de producción tenga que retrabajarse EN LA ESTACIÓN, antes de procesarse	Interrupción moderada	4	
Puede ser que una proporción de la corrida de producción tenga que retrabajarse EN LA ESTACIÓN, antes de procesarse	Interrupción menor	3	
Leve o ligera inconveniencia al proceso, operación o al operador		2	
Sin efecto	Sin efecto	1	

Realizado por: Aguinda J., 2023.

4.4.1.2. Ocurrencia

El siguiente paso es la ocurrencia, que es básicamente determinar la probabilidad de que alguna causa específica o alguna causa potencial de la falla suceda. Asignando una ponderación del 1 a; 10, se determina que tan probable es que la falla potencial al momento de la práctica ocurra, véase en la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Tabla de probabilidad de ocurrencia

Probabilidad de ocurrencia	Incidentes por práctica	Calificación	Escala de color
Muy Alta	1 en 20	10	
Alta	1 en 20	9	
	1 en 50	8	
	1 en 100	7	
Moderada	1 en 500	6	
	1 en 2000	5	
	1 en 10,000	4	
Baja	1 en 100,000	3	
	1 en 1,000,000	2	
Muy Baja	La falla es eliminada a través de controles preventivos	1	

Realizado por: Aguinda J., 2023.

4.4.1.3. Detección

En este paso se deben determinar cuáles son los controles actuales que se tiene cuando se realice el ensayo o la práctica, básicamente esos controles son para prevenir o detectar algún modo de falla, se tienen controles de prevención y de detección. Los controles de prevención son para eliminar las causas de las fallas o el modo en el que puedan suceder; los controles de detección ayudan a detectar las causas de la falla o el modo de falla.

La detección es el rango asociado con el mejor control de detección. Para asignar la ponderación de detección, se asume que la falla ya ha ocurrido y entonces se evalúa que tan capaz sea el control de detección para avisar de que la falla está sucediendo. Si la causa sucede que tan probable es que se pueda detectar el modo de falla, para ello se maneja la siguiente tabla 5-4.

Una vez que ya se determina la severidad, la ocurrencia y la detección de cada modo de falla, lo que viene a continuación es como priorizar las fallas.

Tabla 4-5: Tabla de Probabilidad de detección

	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	

Realizado por: Aguinda J., 2023.

El siguiente paso es la evaluación o la ponderación de categoría, severidad, ocurrencia y detección, con base a estos 3 elementos se determina el análisis para reconocer cuál falla tiene mayor probabilidad de severidad, ocurrencia y detección.

4.4.1.4. Nivel de prioridad de riesgo (NPR)

Es básicamente multiplicar la severidad, la ocurrencia y la detección, estos valores van de 0 a 1000, se dice que los ítems que tienen NPR mayor son los que deben tener mayor prioridad y tomar una decisión obligatoria.

Ecuación:
$$NPR=SEV \times OCUR * DET \quad (7-5)$$

Tabla 4-6: Tabla AMEF

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF)																	
Nombre del equipo		Tubo de impedancia		Preparado por:		Tesisista				N de AMEF:							
Equipo central		Tutor y practicantes		Fecha Clave:				Fecha AMEF:									
Función del proceso/ Pasos del proceso	Requerimiento	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causas potenciales de la falla	O C U	¿Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	¿Controles actuales de detección?	NP R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
													Acciones Tomadas	S E V	O C U	D E T	NPR
Generación de Señal	10 dB mayor al ruido de fondo	El cable pelado no sirva correctamente y no establezca el contacto	Conductividad intermitente/reducción de sonido/no establecerá las condiciones de generación de señal y no se realiza el ensayo	7	Desajuste en los contactos	6	Ajuste de contactos antes de inicio de cada práctica o cada 15 días	5	Medición de amplitud y frecuencia de sonido en Lab View	210	Revisar los contactos y el cable antes y después de cada ensayo	Practicante	Revisar que los contactos y el cable se encuentren debidamente instalados	2	3	2	12
		No funcione la bocina	No se cuenta con el dispositivo para generar las frecuencias, no se realiza el ensayo	8	La bocina no recibe una potencia mayor a 20 watts/ la bobina está quemada	4	Calibrar la amplitud de salida en el amplificador	5	Medición de amplitud y frecuencia de sonido en Lab View	160	Establecer un nivel de medida en el amplificador para no exceder la capacidad de potencia de la bocina	Practicante	Establecer un nivel de operación en el amplificador	2	2	3	12

Toma de Datos	Los sensores(micrófonos) deben captar la señal, arrojar respuestas de frecuencia	El micrófono no sirva correctamente	Envía señales a la PC con error/ no envía información	5	Presencia de humedad y polvo en los contactos y circuitos del micrófono/ pieza dañada por uso o golpes	4	Limpieza del lugar y contactos con una franela seca cada 15 días o antes de la práctica/ manipulación cuidadosa del dispositivo,	4	Medición de amplitud y frecuencia de sonido en Lab View	80	Limpiar cada 15 días los lugares donde van a ubicarse los micrófonos, los contactos	practicante	Inspeccionar presencia de humedad y polvo, manipulación del dispositivo cuidadoso	2	2	2	8
	La DAQ debe medir la presión de sonido	El Software no reconozca la tarjeta	No se puede programar, no se pueden recibir los datos de medición de presión de sonido	5	Versión de software no compatible/ los contactos están sucios/ el cable BNC internamente partido	4	Buscar una versión de software compatible/ limpieza de los contactos	4	Medición de continuidad en el cable y contactos mediante un tester	80	Instalar una versión compatible con la DAQ. Cada 30 días realizar una limpieza de los contactos y chequear continuidad con el tester	practicante	Instalar una versión de software 2017 de 32 bits compatible con la DAQ, testeo de continuidad en cables BNC y contactos	1	3	2	6

Realizado por: Aguinda J., 2023.

Costos de la implementación y construcción del tubo de Impedancia

En esta sección se han considerado todos los materiales y equipos necesarios para la construcción y muestreo de los resultados de un tubo de impedancia y evaluar mediante datos obtenidos por medio del software LabVIEW y MATLAB.

Tabla 4-8: Costos de realización del tubo de impedancia

Costos de realización del tubo de impedancia				
ITEM	CANTIDAD	MATERIALES	COSTOS U	COSTO TOTAL
1	1	Tubo	\$ 64,00	\$ 64,00
2	2	Bocines	\$ 1,50	\$ 3,00
3	1	Bridas	\$ 1,00	\$ 1,00
4	1	Bocin con rosca	\$ 6,00	\$ 6,00
5	1	Amplificador	\$ 120,00	\$ 120,00
6	1	Cable pelado	\$ 1,00	\$ 1,00
7	1	Driver altavoz	\$ 75,00	\$ 75,00
8	2	Micrófonos pcb 130 f20	\$ 740,00	\$ 1.480,00
9	2	Software programación	\$ 225,00	\$ 450,00
10	1	Mano de obra	\$ 150,00	\$ 150,00
COSTO TOTAL				\$ 2.350,00

Realizado por: Aguinda J., 2023.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se realizó una investigación bibliográfica y documental de diferentes investigaciones a nivel nacional e internacional que se encuentran relacionados con la construcción de un tubo de impedancia y que están alineados con los parámetros técnicos que establece la norma ISO-10524-2 necesaria para la determinación del coeficiente de absorción acústica, con lo cual se estableció los parámetros necesarios para el diseño y las características de los materiales.

Se establecieron 4 fases para el diseño del tubo de impedancia que constan de: especificaciones del diseño, diseño conceptual, diseño de ingeniería, diseño de detalle; para continuar con proceso de diseño en donde se seleccionó los elementos del prototipo, entre los que se destacan las tarjetas de adquisición de datos, micrófonos y altavoz. Fase de diseño para lo que fue necesario calcular el rango de frecuencias y proceder con el ensamble.

Se determinó que la impedancia acústica de los materiales utilizados en la investigación como son el vidrio, el metal, la espuma de poliuretano a bajas frecuencias actúan como un amplificador de la vibración, lo cual se podría asumir que es por la oscilación de los materiales dado que se observó en los resultados que a mayor frecuencia se vuelven más estables siendo el metal uno de los que generan mayor impedancia y el de menor impedancia es el vidrio.

Se elaboró un manual de operación y mantenimiento del tubo de impedancia, en el cual constan las actividades secuenciales que se deben desarrollar para mantener en buen estado el equipo, mediante el análisis de modo y efecto de la falla, se asegura el funcionamiento que se requiere y a la vez se documenta el análisis de modo de falla y efecto de los dispositivos electrónicos que componen el tubo de impedancia, evitando el impacto negativo del proceso y desarrollo de las prácticas.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a continuar con el trabajo de investigación para establecer el procedimiento óptimo del uso y aplicación de equipo en función de los materiales que se desean analizar con relación a la impedancia acústica.

Se recomienda utilizar elementos de acoplamiento en el portamuestras y los materiales a ser analizados para evitar el ruido producido por la vibración o el ruido de rebote que se da por la señal.

Establecer un lugar de investigación para el tubo de impedancia que se encuentre con las condiciones físicas y ambientales apropiadas, es decir no se encuentre expuesto al polvo o al agua, además de un lugar fijo para que no sufran desperfectos los componentes y los datos no se alteren.

Se recomienda realizar estudios relacionados con la impedancia acústica para determinar el nivel de absorción de los diferentes materiales que se utilizan en aplicaciones industriales y domésticas de aislamiento acústico.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARNAY, H.** *Estudio de la precisión en la determinación del coeficiente de absorción acústica en tubo de impedancia.* [en línea] (Tesis Ingeniería). Universidad Politécnica de Madrid.2014 [Consulta: 15 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://oa.upm.es/view/institution/ETSIS=5FTelecomunicacion/>
2. **BAUR, E., OSSWALD, T. A., & RUDOLPH, N.** *Plastics Handbook* [en línea] vol. 1. 2019, pp. 61-69. [Consulta: 15 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9781569905593/plastics-handbook>
3. **CARRIÓN, A.** *Diseño acústico de espacios arquitectónicos.* [en línea], vol. 1, pp. 100-195. [Consulta: 20 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://arqlemus.files.wordpress.com/2014/04/disec3b1o-acc3bastico-de-espacios-arquitectc3b3nicos.pdf>
4. **CORONA, J.** *ABSORBENTES ACÚSTICOS: RESONADORES.* [en línea], [Consulta: 16 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://www.ingenieriaacusticafacil.com/ingenieria-acustica-los-resonadores-como-absorbentes-acusticos/>
5. **CRIADO, ARMENDÁRIS J., & FRANCO DÍAZ, W.** *Diseño y construcción de un tubo de impedancia basado en la norma ISO 10534-2:2001 para la determinación del coeficiente de absorción acústica para materiales aislantes.* [en línea], (Plan de Investigación) In *Angewandte Chemie International Edition*, Universidad Pontificia Bolivariana: 2019, pp 951–952 [Consulta: 16 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/6777>
6. **DÁVILA, GALEAS, S., GUERRERO PONTÓN, P., & SOTOMAYOR VALDIVIESO, C.** (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales.* [en línea], vol. 1800, 2012, pp. 15-16. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>
7. **DERSHOWITZ, A. M.** In *How can You Represent those People?* [en línea] Física Universitaria. 2013, pp. 1-100. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: https://doi.org/10.1057/9781137311955_5

8. **DISEÑO, A.** *Materiales y elementos utilizados en el acondicionamiento acústico de recintos.* [en línea], vol. 1, 1998, pp. 7-12. Disponible en: <https://aistec.com/materiales-factores-acondicionamiento-acustico/>
9. **HARPER, C. A.** *Modern plastics handbook.* McGraw-Hill. [en línea], vol. 1, 2000, pp. 12. Disponible en: <https://mmsallaboutmetallurgy.com/wp-content/uploads/2019/08/Modern-Plastics-Handbook.pdf>
10. **LANCERIO, K.** *Manual De Materiales Acústicos En La Arquitectura.* [en línea] (Tesis Ingeniería) Universidad San Carlos de Guatemala. 2015 pp. 1-284. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUSAC6621/Details>
11. **OGATA, K.** *Ingeniería de Control Moderna.* [en línea], vol. 1, 2013, pp. 1-17. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: https://www.academia.edu/9814191/Ingenieria_de_Control_Moderna_Ogata_5ed
12. **OLAYA, L., & PARRA, D.** *Banco didáctico de ensayos a torsión.* [en línea], vol. 5, 2020, pp. 1-7. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2426/1/2020LuherJehinsOlayaMoreno.pdf>
13. **PAVCO.** *¿Qué es el Flexómetro y Cómo Utilizarlo? - Pavco Wavin.* [en línea], vol. 6, 2022, pp. 1-7. Disponible en: <https://pavcowavin.com.co/blog/el-flexometro-que-es-y-como-utilizarlo>
14. **PEREIRA, VENET, M., & TONNESEN RODRIGUES, J.** *Development of equipment for non-destructive characterization of elastic moduli of ceramic materials.* Retrieved January [en línea] 2023, pp. 24. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://www.scielo.br/j/ce/a/LNhnP99hM6XgyFzLhmP8xsn/?format=pdf&lang=pt>
15. **PÉREZ GARNICA, P., PÉREZ JUÁREZ, R., & CASTRO, F.** *Evaluación de las propiedades mecánicas del poliestireno expandido.* [en línea], vol. 63, 2016, pp. 397-407. [Consulta: 12 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt476.pdf>
16. **SOTO, M.** *Materiales Aislantes Acústicos Para Muros.* [en línea] (Trabajo de Integración Curricular) Universidad Técnica Particular de Loja. 2012, pp. 11-30. [Consulta: 21 de

octubre de 2022.] Disponible en: <https://www.raipintores.com/blog/materiales-aislantes-acusticos/>

17. **STANDARD, I.** *Determinación del coeficiente de absorción acústica y la impedancia en tubos de impedancia.* [en línea], 1998, pp. 1-4. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: https://oa.upm.es/32511/1/tesis_master_hector_arnay_sarabia.pdf
18. **TELWIN.** *Soldadura TIG / Telwin.* [en línea], vol. 8, 2022, pp. 14-54. [Consulta: 19 de diciembre de 2022.] Disponible en: <https://www.telwin.com/es/telwin-academy/saldadura/tig-welding/>
19. **VELOZ, V.** *Confort auditivo en la empresa artesanal de calzado “NEB CALZA” en la ciudad de Ambato.* [en línea] (Trabajo de Integración) Universidad Técnica de Ambato. 2018 pp. 11-30. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://uta.edu.ec/v4.0/index.php/servicios-web>
20. **ZAPATA, F.** *Propagación del sonido: velocidad, medios, experimentos.* [en línea], vol. 1, 2020, pp. 1-3. Disponible en: <https://www.lifeder.com/propagacion-del-sonido/>

ANEXOS

ANEXO A: LÍNEAS DE CÓDIGO DE MATLAB PARA VISUALIZACIÓN DE LAS GRÁFICAS

```
clc;
clear;
%%MEDICIONES Y RESULTADOS

%Se ensayo con metal, cristal, espumaflex y en vacío
%Se utilizaron los micrófonos 1 y 2
%Se ejecutó la medición a 125hz, 250hz, 500hz, 1000hz y 2000hz

%% METAL
%% METAL 125HZ
%%
%PRESION DE SONIDO
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonido2A= xlsread ('125HZm.xlsx','C2:C271');
presionsonido1A= xlsread ('125HZm.xlsx','B2:B271');
xA=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (1)
plot(xA,presionsonido2A,'b',xA,presionsonido1A);
ylabel('Presión de sonido metal 125hz');
legend('Micrófono 2A',' Micrófono 1A');

%IMPEDANCIA METAL 125HZ
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedancia2A=presionsonido2A/velocidad;
impedancia1A=presionsonido1A/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_metal_2_125hz=(sum(impedancia2A)/270);
prom_metal_1_125hz=(sum(impedancia1A)/270);

%% METAL 250HZ
%%
%PRESION DE SONIDO METAL
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonido2B= xlsread ('250HZm.xlsx','C2:C271');
presionsonido1B= xlsread ('250HZm.xlsx','B2:B271');
xB=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (2)
plot(xB,presionsonido2B,'b',xB,presionsonido1B);
ylabel('Presión de sonido metal 250hz');
legend('Micrófono 2B',' Micrófono 1B');

%IMPEDANCIA METAL
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedancia2B=presionsonido2B/velocidad;
impedancia1B=presionsonido1B/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_metal_2_250hz=(sum(impedancia2B)/270);
prom_metal_1_250hz=(sum(impedancia1B)/270);
%% METAL 500HZ
```

```

%%
%PRESION DE SONIDO METAL
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonido2C= xlsread ('500HZm.xlsx', 'C2:C271');
presionsonido1C= xlsread ('500HZm.xlsx', 'B2:B271');
xC=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (3)
plot(xC,presionsonido2C,'b',xC,presionsonido1C);
ylabel('Presión de sonido metal 500hz');
legend('Micrófono 2C',' Micrófono 1C');

```

```

%IMPEDANCIA METAL
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedancia2C=presionsonido2C/velocidad;
impedancia1C=presionsonido1C/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_metal_2_500hz=(sum(impedancia2C)/270);
prom_metal_1_500hz=(sum(impedancia1C)/270);
%% METAL 1000HZ

```

```

%%
%PRESION DE SONIDO METAL
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonido2D= xlsread ('1000HZm.xlsx', 'C2:C271');
presionsonido1D= xlsread ('1000HZm.xlsx', 'B2:B271');
xD=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (4)
plot(xD,presionsonido2D,'b',xD,presionsonido1D);
ylabel('Presión de sonido metal 1000hz');
legend('Micrófono 2D',' Micrófono 1D');

```

```

%IMPEDANCIA METAL
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedancia2D=presionsonido2D/velocidad;
impedancia1D=presionsonido1D/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_metal_2_1000hz=(sum(impedancia2D)/270);
prom_metal_1_1000hz=(sum(impedancia1D)/270);
%% METAL 2000HZ

```

```

%%
%%
%PRESION DE SONIDO METAL
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonido2E= xlsread ('2000HZm.xlsx', 'C2:C271');
presionsonido1E= xlsread ('2000HZm.xlsx', 'B2:B271');
xE=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (5)
plot(xE,presionsonido2E,'b',xE,presionsonido1E);
ylabel('Presión de sonido metal 2000hz');
legend('Micrófono 2E',' Micrófono 1E');

```

```

%IMPEDANCIA METAL

```

```

%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedancia2E=presionsonido2E/velocidad;
impedancia1E=presionsonido1E/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_metal_2_2000hz=(sum(impedancia2E)/270);
prom_metal_1_2000hz=(sum(impedancia1E)/270);
%%
%%
%% CRISTAL
%% CRISTAL 125HZ
%%
%PRESION DE SONIDO CRISTAL
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoCR2A= xlsread ('125HZcr.xlsx','C2:C271');
presionsonidoCR1A= xlsread ('125HZcr.xlsx','B2:B271');
xAcr=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (6)
plot(xAcr,presionsonidoCR2A,'b',xAcr,presionsonidoCR1A);
ylabel('Presión de sonido cristal 125hz');
legend('Micrófono 2A',' Micrófono 1A');

%IMPEDANCIA CRISTAL 125HZ
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaCR2A=presionsonidoCR2A/velocidad;
impedanciaCR1A=presionsonidoCR1A/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_cristal_2_125hz=(sum(impedanciaCR2A)/270);
prom_cristal_1_125hz=(sum(impedanciaCR1A)/270);

%% CRISTAL 250HZ
%%
%PRESION DE SONIDO CRISTAL
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoCR2B= xlsread ('250HZcr.xlsx','C2:C271');
presionsonidoCR1B= xlsread ('250HZcr.xlsx','B2:B271');
xBcr=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (7)
plot(xBcr,presionsonidoCR2B,'b',xBcr,presionsonidoCR1B);
ylabel('Presión de sonido cristal 250hz');
legend('Micrófono 2B',' Micrófono 1B');

%IMPEDANCIA CRISTAL
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaCR2B=presionsonidoCR2B/velocidad;
impedanciaCR1B=presionsonidoCR1B/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_cristal_2_250hz=(sum(impedanciaCR2B)/270);
prom_cristal_1_250hz=(sum(impedanciaCR1B)/270);

%% CRISTAL 500HZ
%%
%PRESION DE SONIDO CRISTAL
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoCR2C= xlsread ('500HZcr.xlsx','C2:C271');
presionsonidoCR1C= xlsread ('500HZcr.xlsx','B2:B271');

```

```

xCcr=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (8)
plot(xCcr,presionsonidoCR2C,'b',xCcr,presionsonidoCR1C);
ylabel('Presión de sonido cristal 500hz');
legend('Micrófono 2C',' Micrófono 1C');

%IMPEDANCIA CRISTAL
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaCR2C=presionsonidoCR2C/velocidad;
impedanciaCR1C=presionsonidoCR1C/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_cristal_2_500hz=(sum(impedanciaCR2C)/270);
prom_cristal_1_500hz=(sum(impedanciaCR1C)/270);
%% CRISTAL 1000HZ
%%
%PRESION DE SONIDO CRISTAL
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoCR2D= xlsread ('1000HZcr.xlsx','C2:C271');
presionsonidoCR1D= xlsread ('1000HZcr.xlsx','B2:B271');
xDcr=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (9)
plot(xDcr,presionsonidoCR2D,'b',xDcr,presionsonidoCR1D);
ylabel('Presión de sonido cristal 1000hz');
legend('Micrófono 2D',' Micrófono 1D');

%IMPEDANCIA METAL
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaCR2D=presionsonidoCR2D/velocidad;
impedanciaCR1D=presionsonidoCR1D/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_cristal_2_1000hz=(sum(impedanciaCR2D)/270);
prom_cristal_1_1000hz=(sum(impedanciaCR1D)/270);
%% CRISTAL 2000HZ
%%
%%
%PRESION DE SONIDO CRISTAL
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoCR2E= xlsread ('2000HZcr.xlsx','C2:C271');
presionsonidoCR1E= xlsread ('2000HZcr.xlsx','B2:B271');
xEcr=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (10)
plot(xEcr,presionsonidoCR2E,'b',xEcr,presionsonidoCR1E);
ylabel('Presión de sonido cristal 2000hz');
legend('Micrófono 2E',' Micrófono 1E');

%IMPEDANCIA CRISTAL
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaCR2E=presionsonidoCR2E/velocidad;
impedanciaCR1E=presionsonidoCR1E/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_cristal_2_2000hz=(sum(impedanciaCR2E)/270);
prom_cristal_1_2000hz=(sum(impedanciaCR1E)/270);
%%
%%

```

```

%% ESPUMA FLEX
%% ESPUMA FLEX 125HZ
%%
%PRESION DE SONIDO ESPUMA FLEX
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoEF2A= xlsread ('125HZef.xlsx', 'C2:C271');
presionsonidoEF1A= xlsread ('125HZef.xlsx', 'B2:B271');
xAef=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (11)
plot(xAef,presionsonidoEF2A,'b',xAef,presionsonidoEF1A);
ylabel('Presión de sonido espumaflex 125hz');
legend('Micrófono 2A', ' Micrófono 1A');

%IMPEDANCIA ESPUMA FLEX 125HZ
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaEF2A=presionsonidoEF2A/velocidad;
impedanciaEF1A=presionsonidoEF1A/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_EF_2_125hz=(sum(impedanciaEF2A)/270);
prom_EF_1_125hz=(sum(impedanciaEF1A)/270);

%% ESPUMA FLEX 250HZ
%%
%PRESION DE SONIDO ESPUMAFLEX
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoEF2B= xlsread ('250HZef.xlsx', 'C2:C271');
presionsonidoEF1B= xlsread ('250HZef.xlsx', 'B2:B271');
xBef=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (12)
plot(xBef,presionsonidoEF2B,'b',xBef,presionsonidoEF1B);
ylabel('Presión de sonido espumaflex 250hz');
legend('Micrófono 2B', ' Micrófono 1B');

%IMPEDANCIA ESPUMAFLEX
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaEF2B=presionsonidoEF2B/velocidad;
impedanciaEF1B=presionsonidoEF1B/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_EF_2_250hz=(sum(impedanciaEF2B)/270);
prom_EF_1_250hz=(sum(impedanciaEF1B)/270);

%% ESPUMA FLEX 500HZ
%%
%PRESION DE SONIDO ESPUMAFLEX
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoEF2C= xlsread ('500HZef.xlsx', 'C2:C271');
presionsonidoEF1C= xlsread ('500HZef.xlsx', 'B2:B271');
xCef=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (13)
plot(xCef,presionsonidoEF2C,'b',xCef,presionsonidoEF1C);
ylabel('Presión de sonido espumaflex 500hz');
legend('Micrófono 2C', ' Micrófono 1C');

```

```

%IMPEDANCIA ESPUMAFLEX
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaEF2C=presionsonidoEF2C/velocidad;
impedanciaEF1C=presionsonidoEF1C/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_EF_2_500hz=(sum(impedanciaEF2C)/270);
prom_EF_1_500hz=(sum(impedanciaEF1C)/270);
%% ESPUMAFLEX 1000HZ
%%
%PRESION DE SONIDO ESPUMAFLEX
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoEF2D= xlsread ('1000HZef.xlsx','C2:C271');
presionsonidoEF1D= xlsread ('1000HZef.xlsx','B2:B271');
xDef=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (14)
plot(xDef,presionsonidoEF2D,'b',xDef,presionsonidoEF1D);
ylabel('Presión de sonido espumaflex 1000hz');
legend('Micrófono 2D',' Micrófono 1D');

%IMPEDANCIA ESPUMAFLEX
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaEF2D=presionsonidoEF2D/velocidad;
impedanciaEF1D=presionsonidoEF1D/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_EF_2_1000hz=(sum(impedanciaEF2D)/270);
prom_EF_1_1000hz=(sum(impedanciaEF1D)/270);
%% ESPUMAFLEX 2000HZ
%%
%%
%PRESION DE SONIDO ESPUMAFLEX
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoEF2E= xlsread ('2000HZef.xlsx','C2:C271');
presionsonidoEF1E= xlsread ('2000HZef.xlsx','B2:B271');
xEef=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (15)
plot(xEef,presionsonidoEF2E,'b',xEef,presionsonidoEF1E);
ylabel('Presión de sonido espumaflex 2000hz');
legend('Micrófono 2E',' Micrófono 1E');

%IMPEDANCIA ESPUMAFLEX
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaEF2E=presionsonidoEF2E/velocidad;
impedanciaEF1E=presionsonidoEF1E/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_EF_2_2000hz=(sum(impedanciaEF2E)/270);
prom_EF_1_2000hz=(sum(impedanciaEF1E)/270);
%%
%%
%%
%% VACIO O SIN PROBETA
%% VACIO O SIN PROBETA 125HZ
%%
%PRESION DE SONIDO VACIO O SIN PROBETA
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoV2A= xlsread ('125HZv.xlsx','C2:C271');
presionsonidoV1A= xlsread ('125HZv.xlsx','B2:B271');

```

```

xAv=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (16)
plot(xAv,presionsonidoV2A,'b',xAv,presionsonidoV1A);
ylabel('Presión de sonido vacio 125hz');
legend('Micrófono 2A',' Micrófono 1A');

%IMPEDANCIA VACIO O SIN PROBETA 125HZ
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaV2A=presionsonidoV2A/velocidad;
impedanciaV1A=presionsonidoV1A/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_vacio_2_125hz=(sum(impedanciaV2A)/270);
prom_vacio_1_125hz=(sum(impedanciaV1A)/270);

%% VACIO O SIN PROBETA 250HZ
%%
%PRESION DE SONIDO VACIO O SIN PROBETA
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoV2B= xlsread ('250HZv.xlsx','C2:C271');
presionsonidoV1B= xlsread ('250HZv.xlsx','B2:B271');
xBv=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (17)
plot(xBv,presionsonidoV2B,'b',xBv,presionsonidoV1B);
ylabel('Presión de sonido vacio 250hz');
legend('Micrófono 2B',' Micrófono 1B');

%IMPEDANCIA VACIO O SIN PROBETA
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaV2B=presionsonidoV2B/velocidad;
impedanciaV1B=presionsonidoV1B/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_vacio_2_250hz=(sum(impedanciaV2B)/270);
prom_vacio_1_250hz=(sum(impedanciaV1B)/270);

%% VACIO O SIN PROBETA 500HZ
%%
%PRESION DE SONIDO VACIO O SIN PROBETA
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoV2C= xlsread ('500HZv.xlsx','C2:C271');
presionsonidoV1C= xlsread ('500HZv.xlsx','B2:B271');
xCv=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (18)
plot(xCv,presionsonidoV2C,'b',xCv,presionsonidoV1C);
ylabel('Presión de sonido vacio 500hz');
legend('Micrófono 2C',' Micrófono 1C');

%IMPEDANCIA VACIO O SIN PROBETA
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaV2C=presionsonidoV2C/velocidad;
impedanciaV1C=presionsonidoV1C/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_vacio_2_500hz=(sum(impedanciaV2C)/270);
prom_vacio_1_500hz=(sum(impedanciaV1C)/270);
%% VACIO O SIN PROBETA 1000HZ

```

```

%%
%PRESION DE SONIDO VACIO O SIN PROBETA
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoV2D= xlsread ('1000HZv.xlsx', 'C2:C271');
presionsonidoV1D= xlsread ('1000HZv.xlsx', 'B2:B271');
xDv=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (19)
plot(xDv,presionsonidoV2D,'b',xDv,presionsonidoV1D);
ylabel('Presión de sonido vacio 1000hz');
legend('Micrófono 2D',' Micrófono 1D');

%IMPEDANCIA VACIO O SIN PROBETA
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaV2D=presionsonidoV2D/velocidad;
impedanciaV1D=presionsonidoV1D/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_vacio_2_1000hz=(sum(impedanciaV2D)/270);
prom_vacio_1_1000hz=(sum(impedanciaV1D)/270);
%% VACIO O SIN PROBETA 2000HZ
%%
%%
%PRESION DE SONIDO VACIO O SIN PROBETA
%permite extraer datos de excel q fueron medidos en labview
presionsonidoV2E= xlsread ('2000HZv.xlsx', 'C2:C271');
presionsonidoV1E= xlsread ('2000HZv.xlsx', 'B2:B271');
xEv=1:1:270;
%Gráfica de presión de sonido del micrófono 1 y 2
figure (20)
plot(xEv,presionsonidoV2E,'b',xEv,presionsonidoV1E);
ylabel('Presión de sonido vacio 2000hz');
legend('Micrófono 2E',' Micrófono 1E');

%IMPEDANCIA VACIO O SIN PROBETA
%impedancia = presión /velocidad      pa.s/m
velocidad=342;
impedanciaV2E=presionsonidoV2E/velocidad;
impedanciaV1E=presionsonidoV1E/velocidad;
%Se determina la media de la impedancia
prom_vacio_2_2000hz=(sum(impedanciaV2E)/270);
prom_vacio_1_2000hz=(sum(impedanciaV1E)/270);
%%
%%
%%
%% FRECUENCIAS DE TRABAJO
%matriz de valores de frecuencia de trabajo
X=[125;250;500;1000;2000];

%%
%% MICROFONO 2

%Matriz de impedancia de metal a diferentes valores de frecuencia

M2=[prom_metal_2_125hz;prom_metal_2_250hz;prom_metal_2_500hz;prom_metal_2_1000hz;prom_metal_2_2000hz];
CR2=[prom_cristal_2_125hz;prom_cristal_2_250hz;prom_cristal_2_500hz;prom_cristal_2_1000hz;prom_cristal_2_2000hz];
EF2=[prom_EF_2_125hz;prom_EF_2_250hz;prom_EF_2_500hz;prom_EF_2_1000hz;prom_EF_2_2000hz];

```

```
V2=[prom_vacio_2_125hz;prom_vacio_2_250hz;prom_vacio_2_500hz;prom_vacio_2_1000hz;prom_vacio_2_2000hz];
```

```
figure(21)
plot(X,M2,X,CR2,X,EF2,X,V2)
xlabel('FRECUENCIA');
ylabel('IMPEDANCIA');
legend('Metal','Cristal','EspumaFlex','Vacío');
title('MICROFONO 2')
```

```
%% MICROFONO 1
%%Matriz de impedancia de metal a diferentes valores de frecuencia
```

```
M1=[prom_metal_1_125hz;prom_metal_1_250hz;prom_metal_1_500hz;prom_metal_1_1000hz;prom_metal_1_2000hz];
CR1=[prom_cristal_1_125hz;prom_cristal_1_250hz;prom_cristal_1_500hz;prom_cristal_1_1000hz;prom_cristal_1_2000hz];
EF1=[prom_EF_1_125hz;prom_EF_1_250hz;prom_EF_1_500hz;prom_EF_1_1000hz;prom_EF_1_2000hz];
V1=[prom_vacio_1_125hz;prom_vacio_1_250hz;prom_vacio_1_500hz;prom_vacio_1_1000hz;prom_vacio_1_2000hz];
```

```
figure(22)
plot(X,M1,X,CR1,X,EF1,X,V1)
xlabel('FRECUENCIA');
ylabel('IMPEDANCIA');
legend('Metal','Cristal','EspumaFlex','Vacío');
title('MICROFONO 1')
```

```
%%
%%
%%
% IMPEDANCIA 125 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferentes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_2_125=[prom_metal_2_125hz;prom_cristal_2_125hz;prom_EF_2_125hz;prom_vacio_2_125hz];
% IMPEDANCIA 250 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferentes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_2_250HZ=[prom_metal_2_250hz;prom_cristal_2_250hz;prom_EF_2_250hz;prom_vacio_2_250hz];
% IMPEDANCIA 500 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferentes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_2_500HZ=[prom_metal_2_500hz;prom_cristal_2_500hz;prom_EF_2_500hz;prom_vacio_2_500hz];

% IMPEDANCIA 1000 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferentes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_2_1000HZ=[prom_metal_2_1000hz;prom_cristal_2_1000hz;prom_EF_2_1000hz;prom_vacio_2_1000hz];

% IMPEDANCIA 2000 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferentes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_2_2000HZ=[prom_metal_2_2000hz;prom_cristal_2_2000hz;prom_EF_2_2000hz;prom_vacio_2_2000hz];
```

```
%%
%% MICROFONO 1
```

```
% IMPEDANCIA 125 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferntes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_1_125HZ=[prom_metal_1_125hz;prom_cristal_1_125hz;prom_EF_1_125hz;prom_vacio_1_125hz];

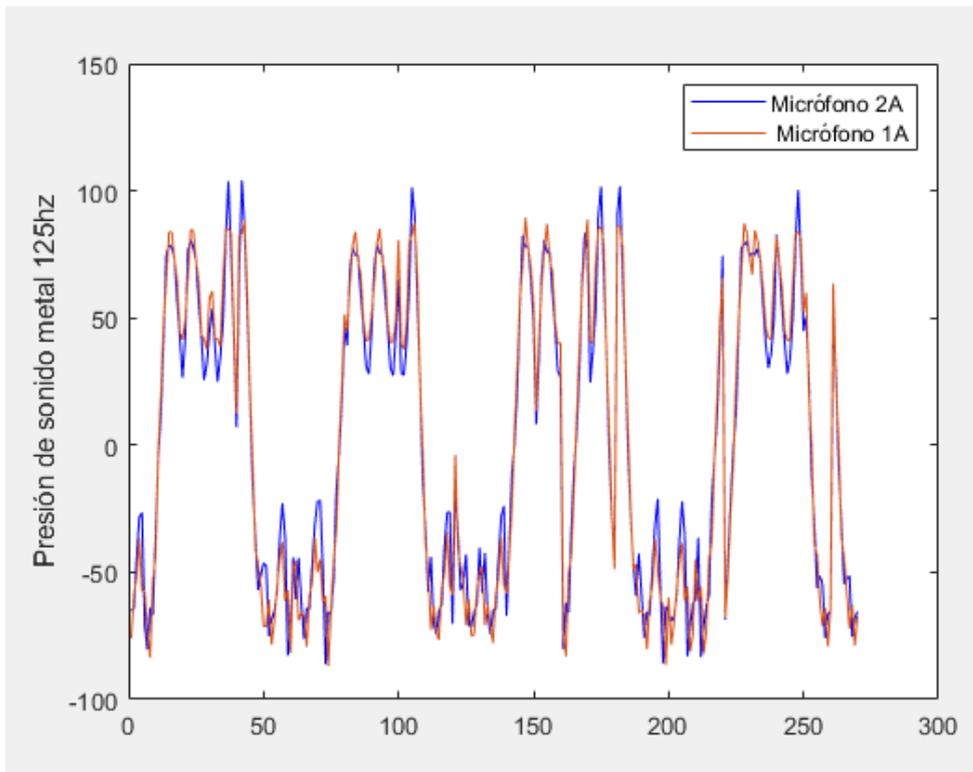
% IMPEDANCIA 250 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferntes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_1_250HZ=[prom_metal_1_250hz;prom_cristal_1_250hz;prom_EF_1_250hz;prom_vacio_1_250hz];

% IMPEDANCIA 500 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferntes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_1_500HZ=[prom_metal_1_500hz;prom_cristal_1_500hz;prom_EF_1_500hz;prom_vacio_1_500hz];

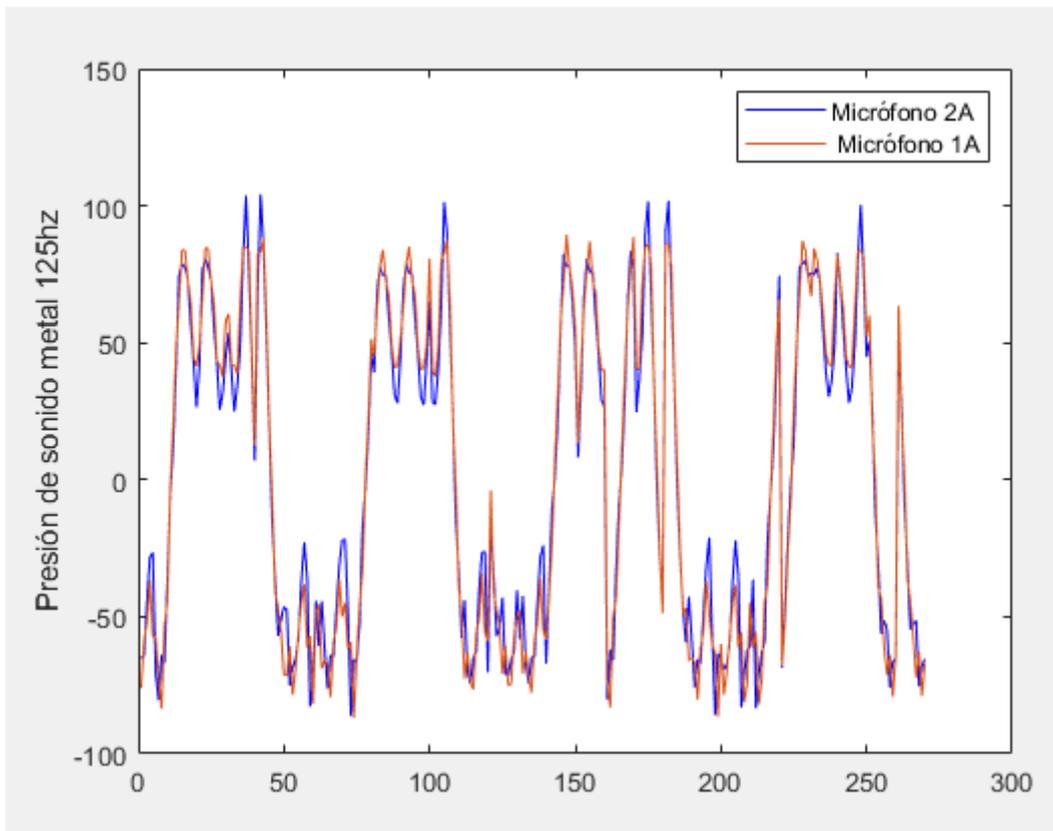
% IMPEDANCIA 1000 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferntes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_1_1000HZ=[prom_metal_1_1000hz;prom_cristal_1_1000hz;prom_EF_1_1000hz;prom_vacio_1_1000hz];

% IMPEDANCIA 2000 HZ
% matriz de valores de impedancia de diferntes materiales
%IMPEDANCIA_MICRO_1_2000HZ=[prom_metal_1_2000hz;prom_cristal_1_2000hz;prom_EF_1_2000hz;prom_vacio_1_2000hz];
```

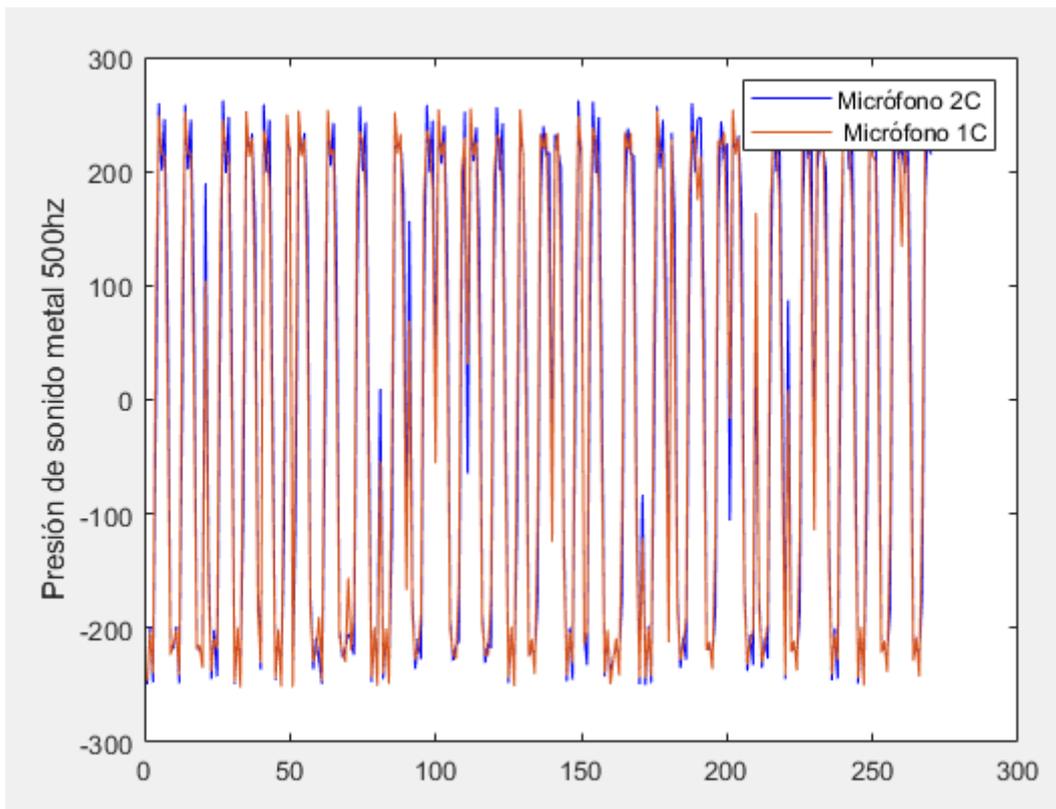
ANEXO B: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 125 HZ



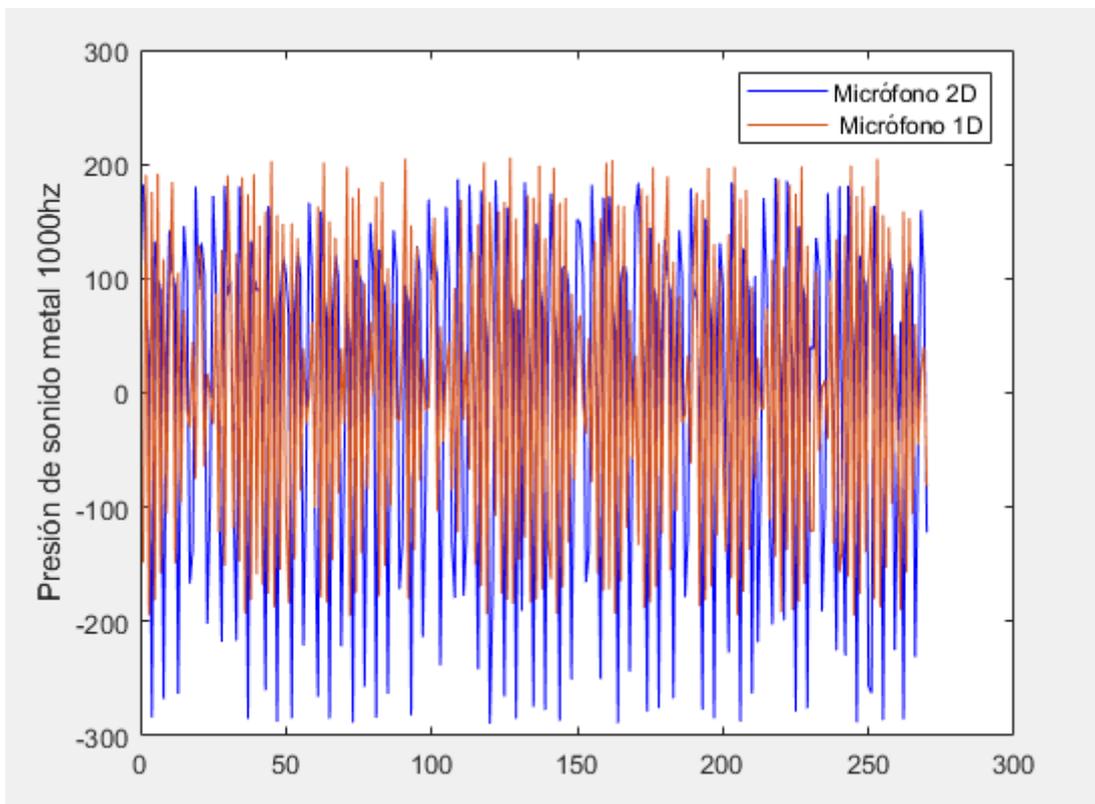
ANEXO C: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 250 HZ



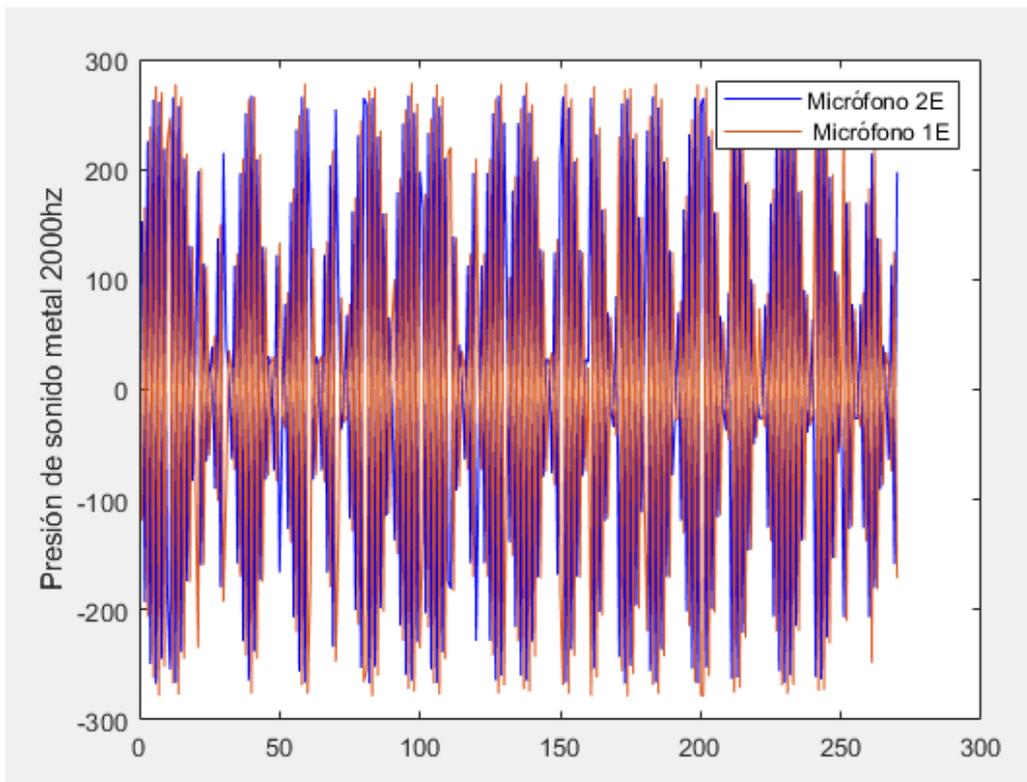
ANEXO D: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 500 hz



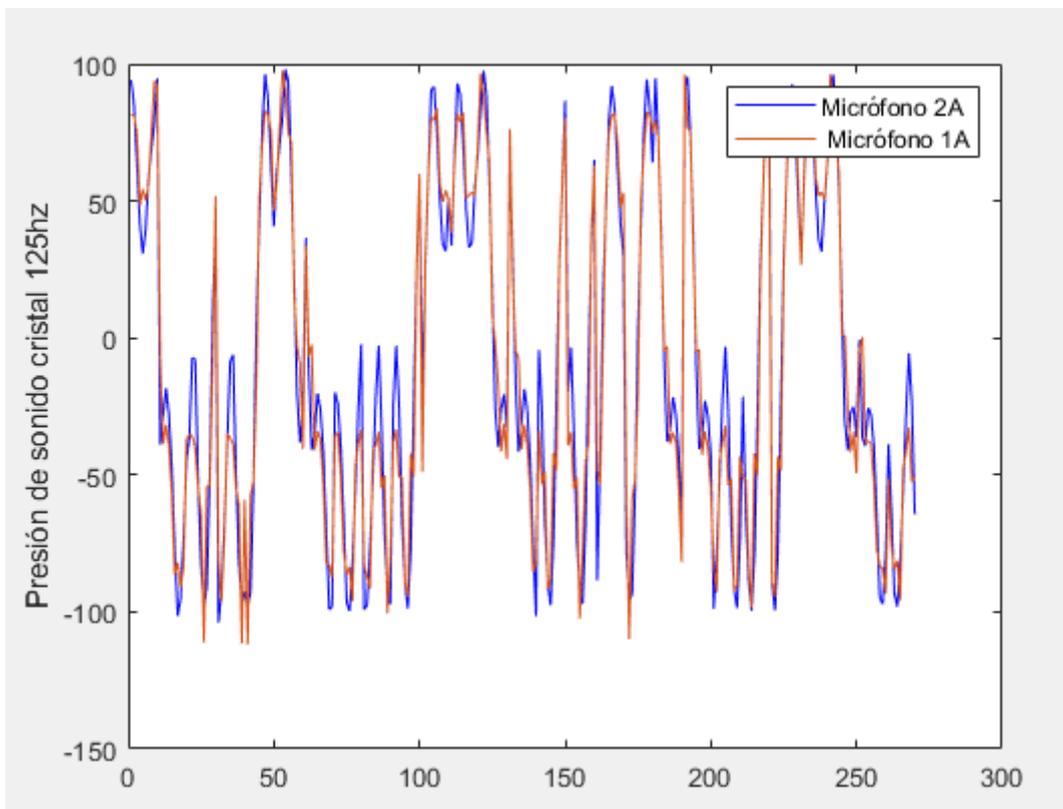
ANEXO E: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 1000 hz



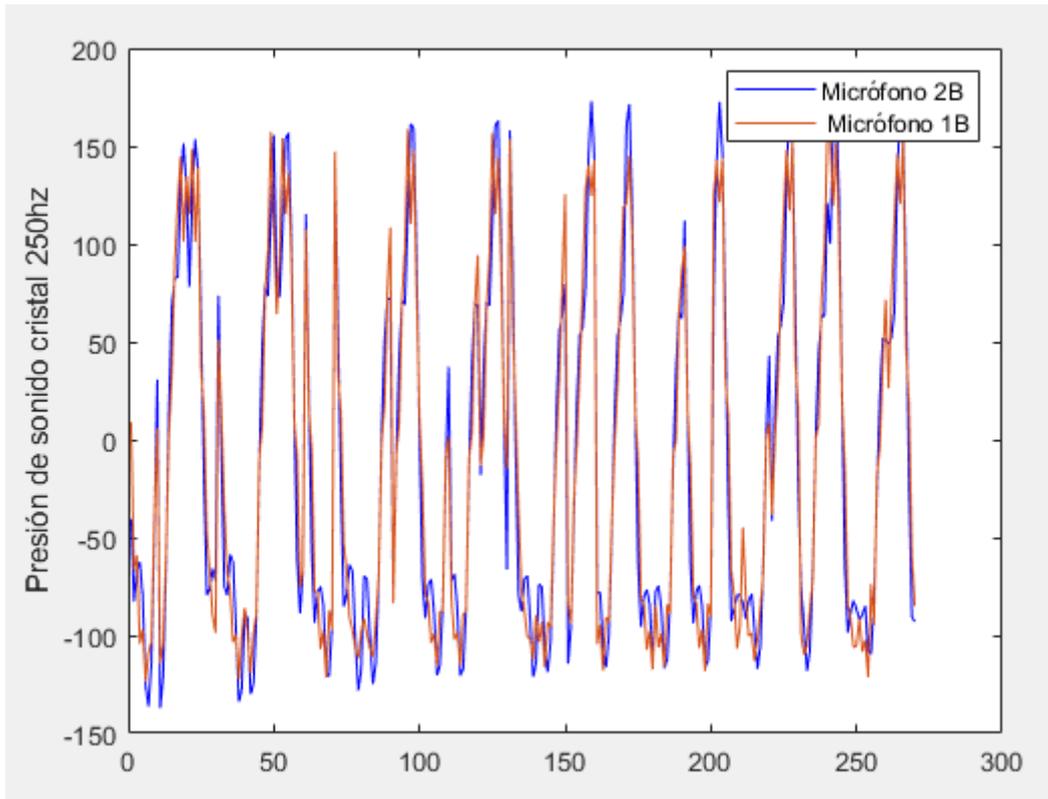
ANEXO F: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO A FRECUENCIAS DE 1000 hz



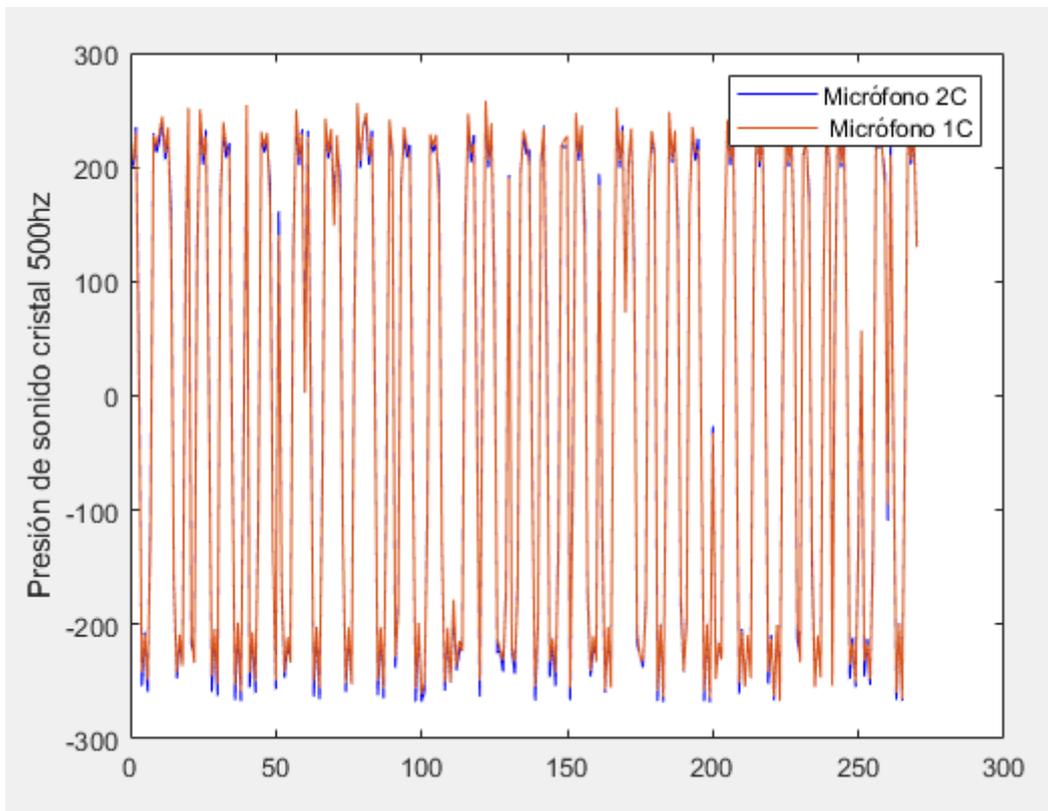
Anexo G: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 125 hz



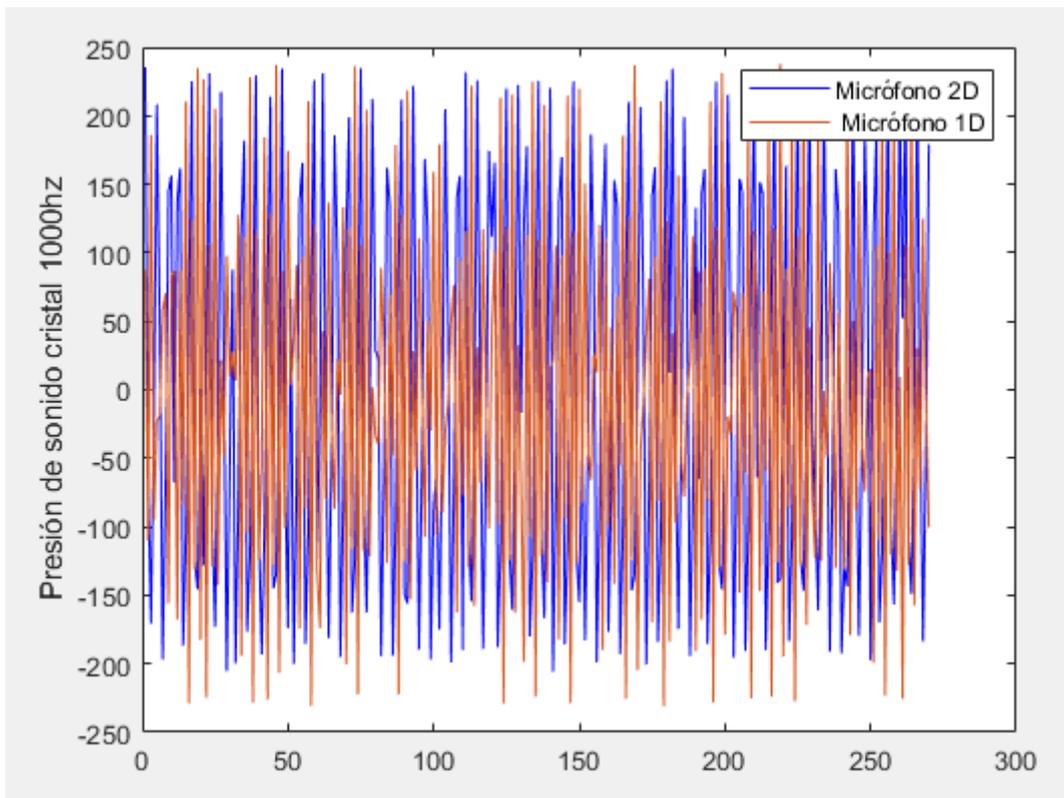
Anexo H: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 250 hz



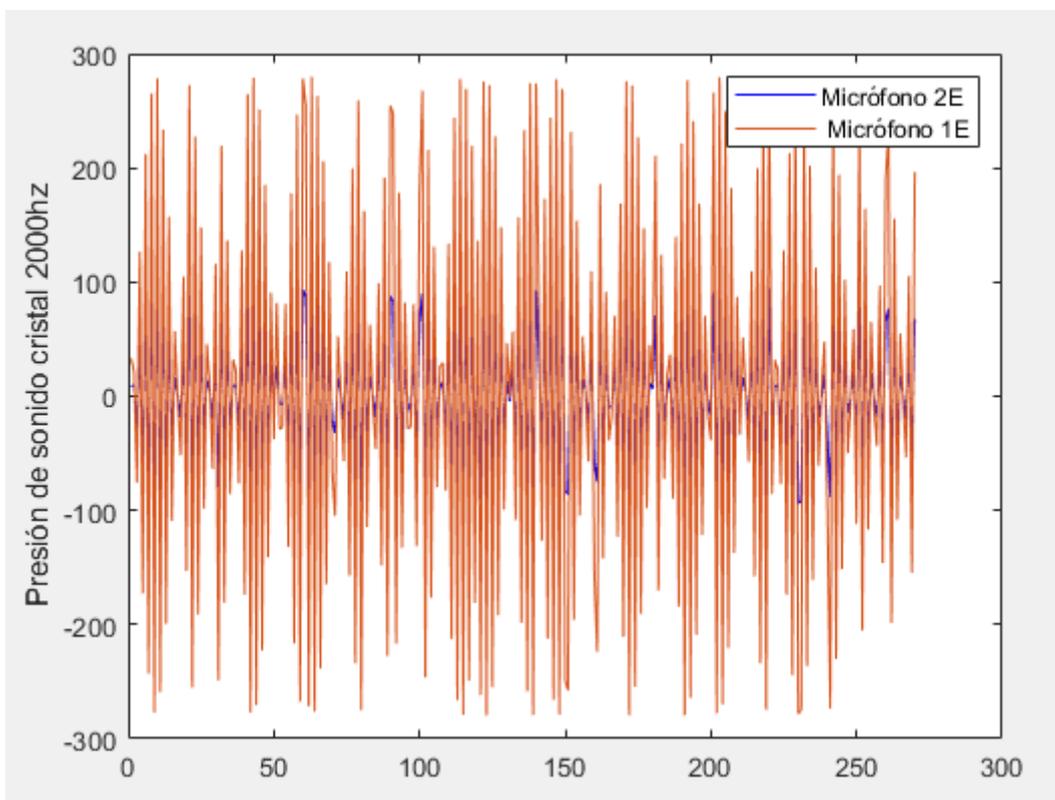
Anexo I: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 500 hz



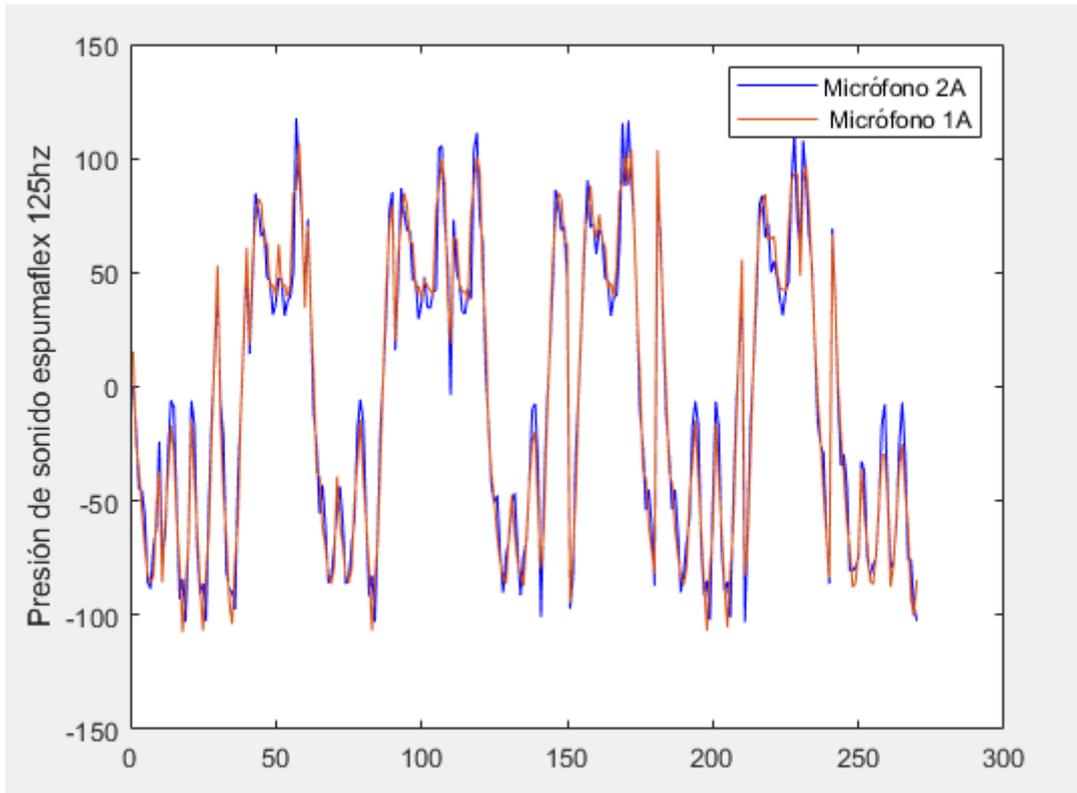
Anexo J: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 1000 hz



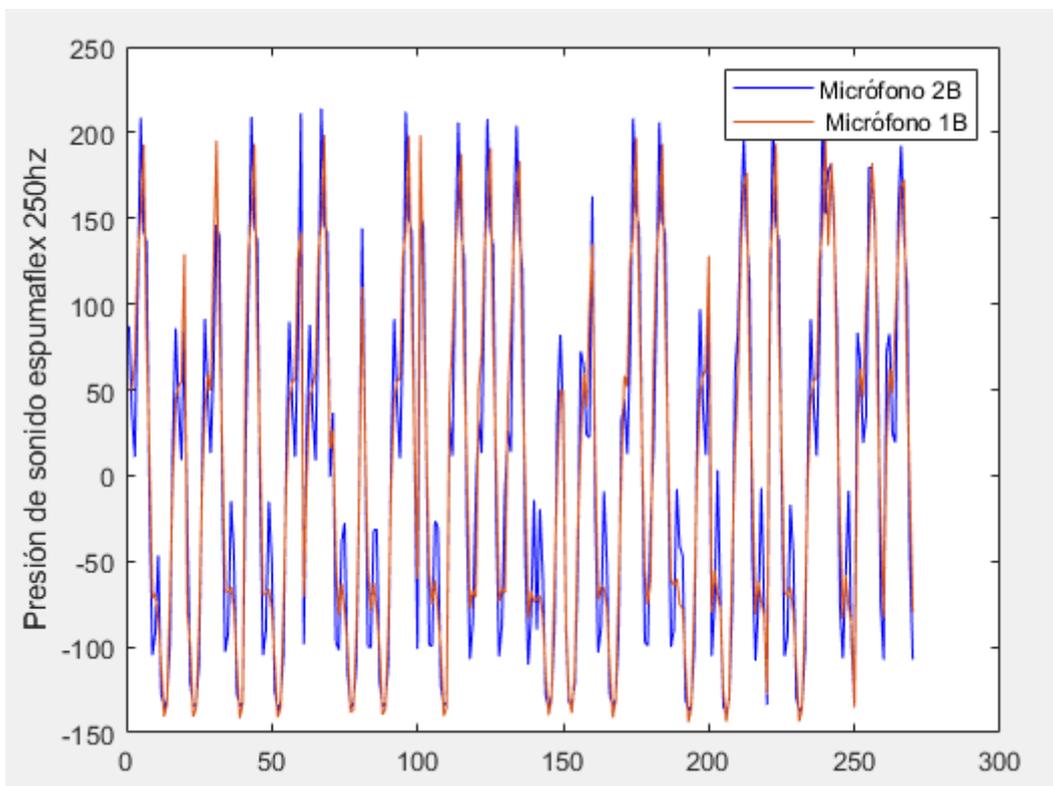
ANEXO K: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO VIDRIO 2000 hz



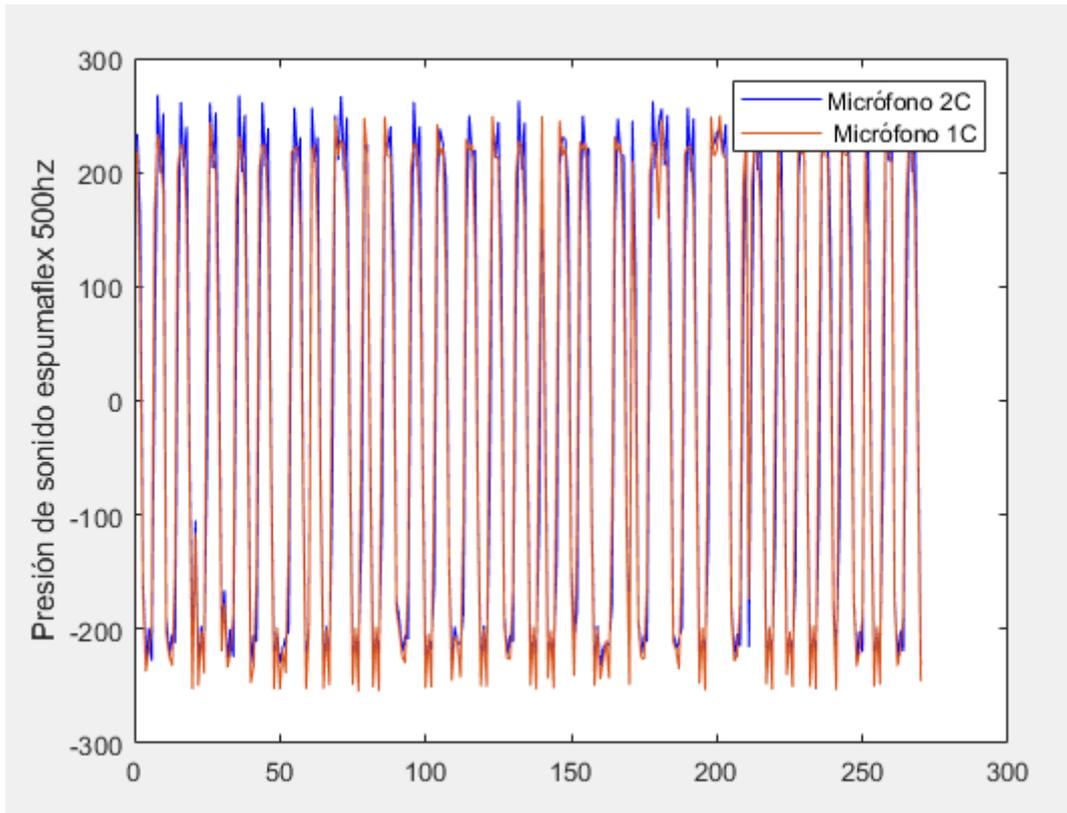
ANEXO L: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 125 hz



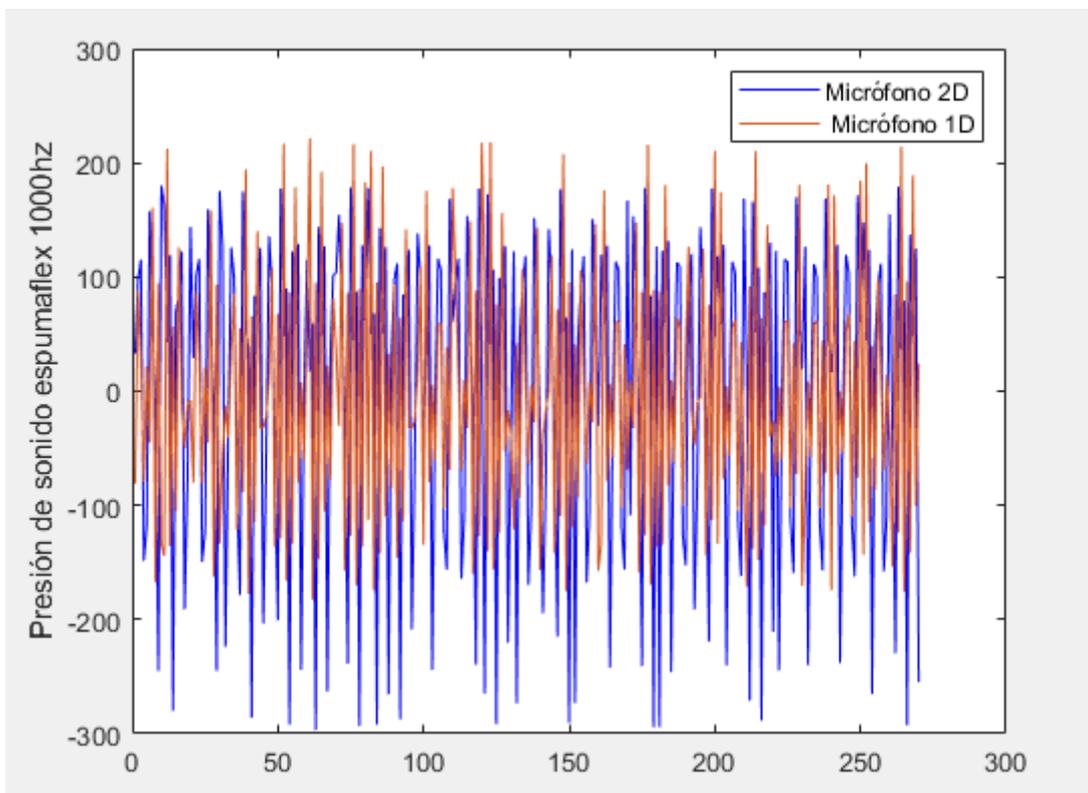
ANEXO M: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 250 hz



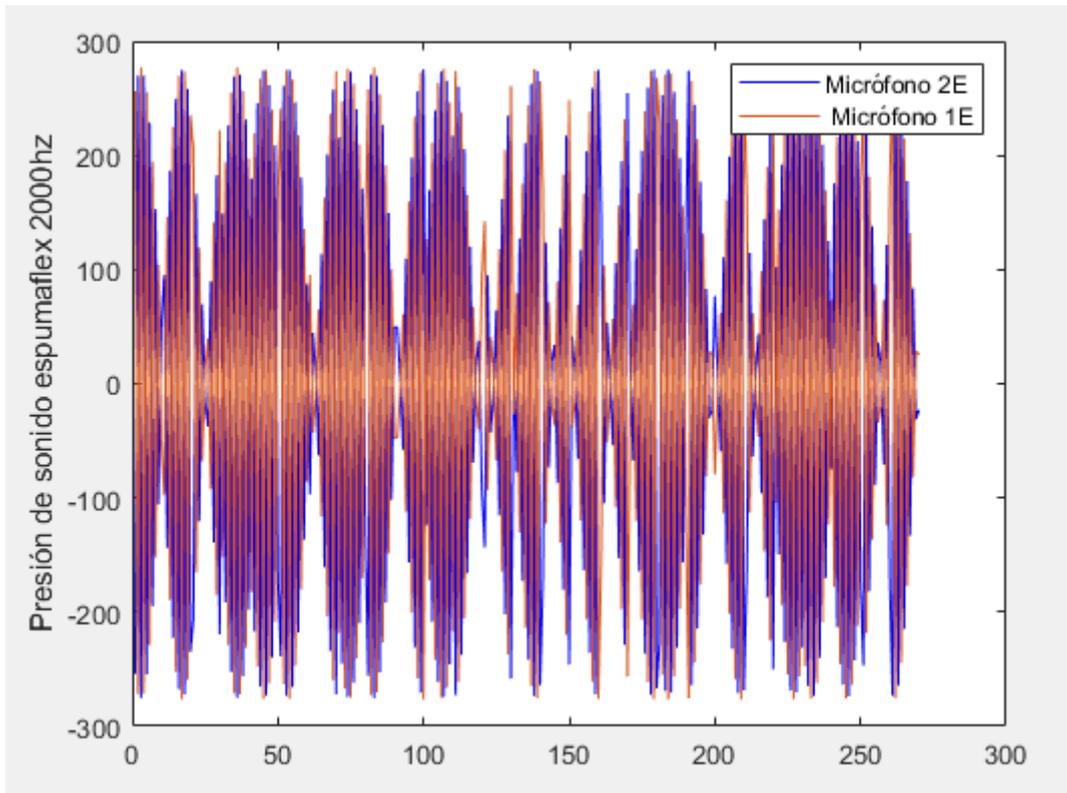
ANEXO N: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 500 hz



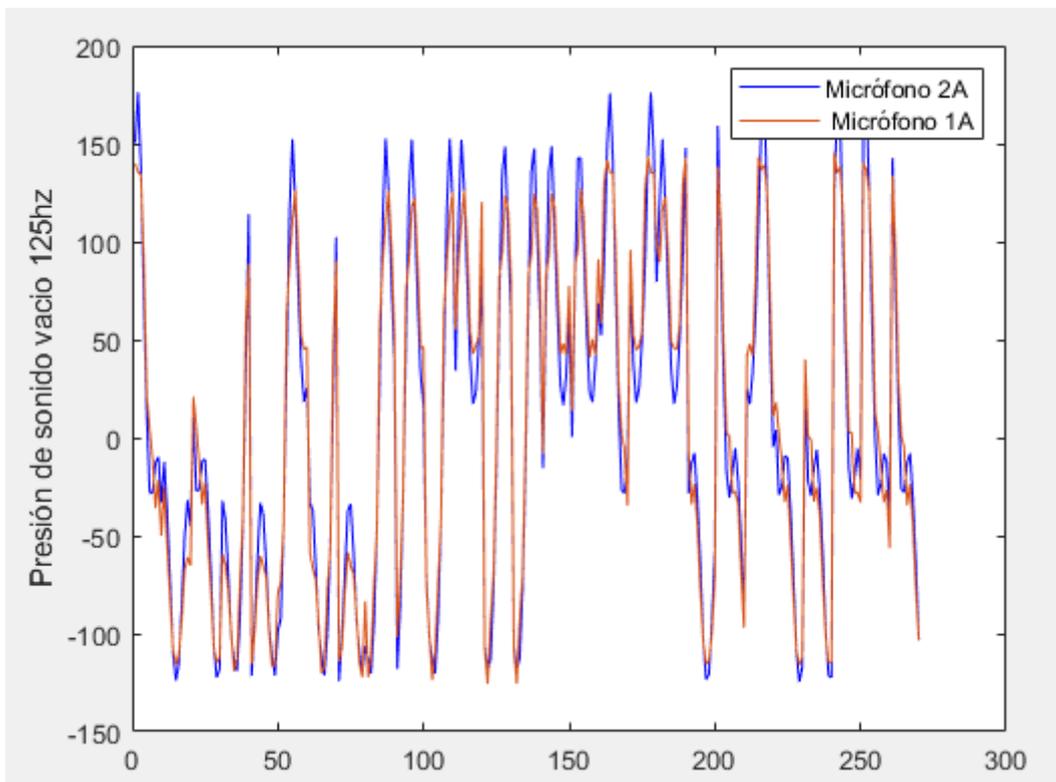
ANEXO O: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 1000 hz



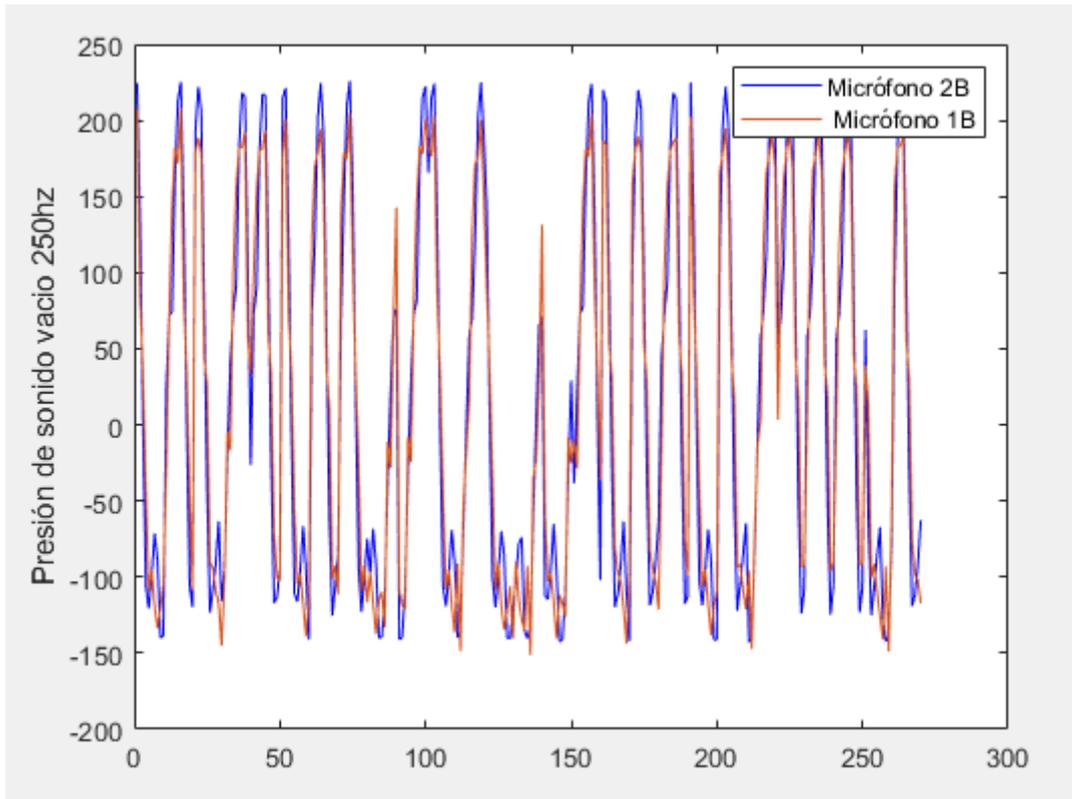
ANEXO P: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO ESPUMAFLEX 2000 *hz*



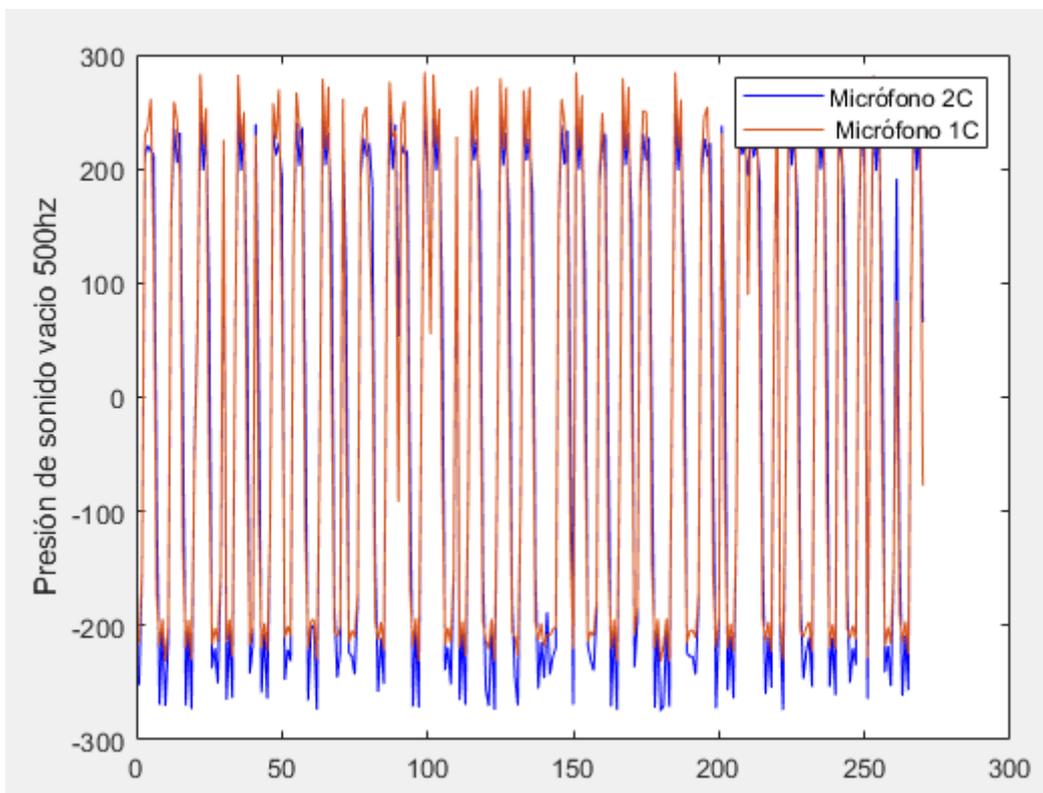
ANEXO Q: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 120 *hz*



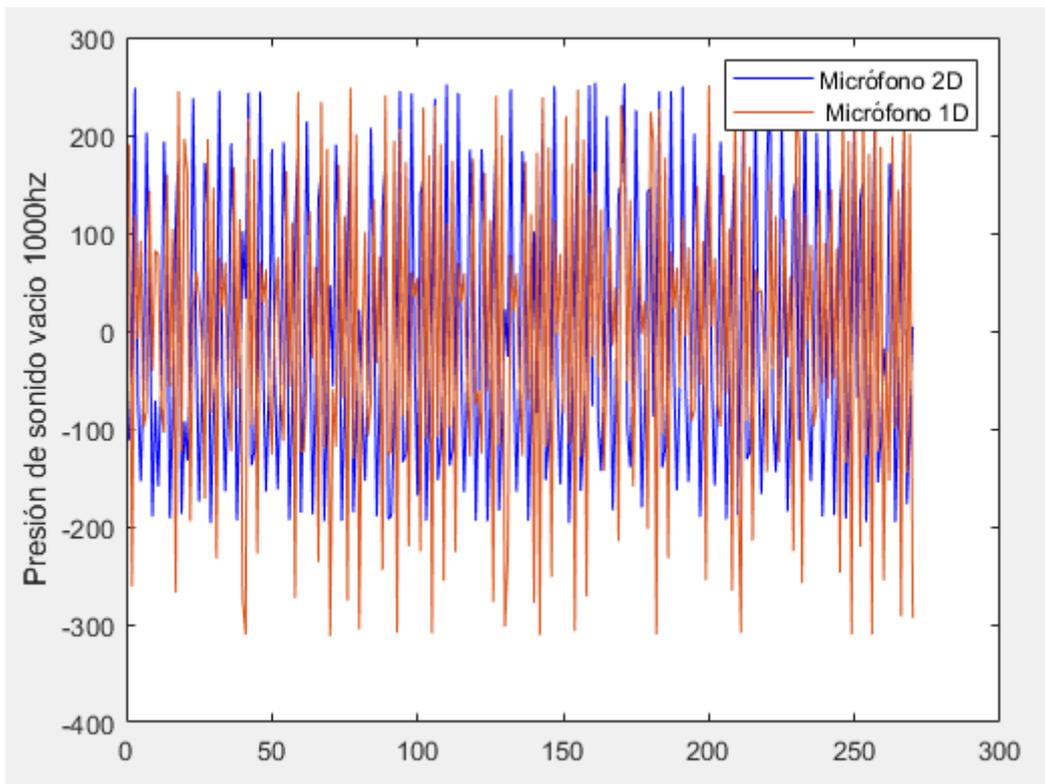
ANEXO R: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 250 *hz*



ANEXO S: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 500 *hz*



ANEXO T: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 1000 *hz*



Anexo U: GRÁFICO DE LA PRESIÓN DEL SONIDO DE VACIO 2000 *hz*

