



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

SISTEMA DE MEDIDA DE PARÁMETROS ACÚSTICOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS DE FUENTES DE INFRASONIDO Y BAJA FRECUENCIA.

AUTOR

CHRISTOPHER JHON GUAMÁN OLIVAREZ

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

SISTEMA DE MEDIDA DE PARÁMETROS ACÚSTICOS, MECÁNICOS Y
ELÉCTRICOS DE FUENTES DE INFRASONIDO Y BAJA FRECUENCIA

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero en Sonido y Acústica.

Profesor guía

M.Sc. Juan Sebastián Vizuite Déley

Autor

Christopher John Guamán Olivarez

Año

2020

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

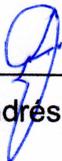
“Declaro haber dirigido este trabajo, Sistema de medida de parámetros acústicos, mecánicos y eléctricos de fuentes de infrasonido y baja frecuencia, a través de reuniones periódicas con el estudiante Christopher John Guamán Olivarez, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los trabajos de titulación”



Juan Sebastián Vizúete
Master universitario en Acústica
C.I. 0604086769

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Sistema de medida de parámetros acústicos, mecánicos y eléctricos de fuentes de infrasonido y baja frecuencia, del estudiante Christopher John Guamán Olivarez, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los trabajos de titulación”



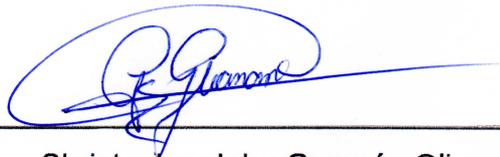
Carlos Andrés Jurado Orellana

Doctor en Acústica

C.I. 1757027915

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. J. Guaman', is written over a horizontal line.

Christopher John Guamán Olivarez

C.I. 1722689328

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre por sus cuidados y su entrega, a mi padre por el apoyo incondicional y especialmente a mis hermanas por ser mi luz y fuerza.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres, Franklin y Jeny, por enseñarme que la dedicación y el trabajo duro siempre tienen su recompensa.

A mi hermana, por demostrarme que la pasión por tu trabajo te ayuda a superar cualquier adversidad.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo el diseño e implementación de una fuente de infrasonido y baja frecuencia, además de un sistema de medida de parámetros acústicos, mecánicos y eléctricos, con la finalidad de corroborar por medio de mediciones de impedancia y respuesta en frecuencia el diseño teórico con la implementación práctica. Para esto se utilizó un driver con características capaces de reproducir muy bajas frecuencias.

Para la aplicación del sistema de medición se procedió a un análisis de funcionamiento de equipos que cumplen operaciones similares y replicarlo dentro de un algoritmo en Matlab. Sumado a esto se realizó una placa de conexiones capaz de interconectar la salida de un amplificador a la entrada de una tarjeta de audio y a las terminales de un driver acústico. El algoritmo fue capaz de reproducir tonos con un rango de frecuencia entre 1[Hz] y 20[kHz], además de emitir la señal que pasa por el amplificador y llega al driver, procesa las grabaciones de la tarjeta de audio y nos entrega a curva de impedancia en modulo y fase de la fuente de infrasonido y baja frecuencia.

La fuente de infrasonido fue diseñada con base en estudios previos sobre la impedancia en tubos y en líneas de transmisión, también se tomó como referencia simulaciones de un pistón rígido adaptado a un tubo. La fuente fue adaptada a una caja acústica capaz con volumen ideal para simular un comportamiento al aire libre, además de una línea de transmisión de 8 metros con variaciones de dimensión transversal, que cumplen la función de adaptaciones para poder ser insertada en el oído humano. La fuente cumplió con los requisitos y fue capaz de reproducir bajas frecuencias a un nivel de 140 [dB] con atenuaciones de 10 [dB] en frecuencias impares. A su vez la distorsión armónica de la fuente es aceptable por lo que no genera alteraciones frecuenciales en los tonos emitidos.

ABSTRACT

This research aims to design and implement a source of infrasound and low frequency, in addition to a system of measurement of acoustic, mechanical and electrical parameters, to corroborate employing impedance measurements and frequency response design theoretical with practical implementation. For this, a driver with characteristics capable of reproducing very low frequencies was used.

For the application of the measurement system, an analysis of the operation of equipment that performed similar operations was carried out and replicated within an algorithm in Matlab. In addition to this, a connection plate was made capable of interconnecting the output of an amplifier to the input of an audio card and the terminals of an acoustic driver. The algorithm was able to reproduce tones with a frequency range between 1 [Hz] and 20 [kHz], in addition to emitting the signal that passes through the amplifier and reaches the driver, processes the audio card recordings and delivers us to Impedance curve in module and phase of the infrasound source and low frequency.

The infrasound source was designed based on previous studies on the impedance in tubes and transmission lines, simulations of a rigid piston adapted to a tube were also taken as reference. The source was adapted to an acoustic box capable of ideal volume to simulate outdoor behavior, in addition to an 8-meter transmission line with transverse dimension variations, which fulfill the function of adaptations to be inserted into the human ear. The source met the requirements and was able to reproduce low frequencies at a level of 140 [dB] with attenuations of 10 [dB] at odd frequencies. In turn, the harmonic distortion of the source is acceptable, so it does not generate frequency alterations in the emitted tones.

ÍNDICE

1. Capítulo I. Introducción	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación	4
1.3 Marco referencial	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
2. Capítulo II. Marco teórico	7
2.1. Caracterización de ondas acústicas.....	7
2.1.1 Longitud de onda	7
2.1.2 Período	8
2.1.3 Frecuencia	8
2.1.4 Fase.....	9
2.2 Amplificadores de audio.....	9
2.2.1 Ganancia	9
2.2.2 Potencia máxima	10
2.2.3 Sensibilidad	11
2.2.4 Relación señal –ruido	11
2.2.5 Respuesta de frecuencia	11
2.2.6 Impedancia de entrada	12
2.2.7 Factor de amortiguamiento del amplificador	13
2.3 Caracterización de altavoces	13
2.3.1 Impedancia de altavoces	13
2.3.2 Sensibilidad	14
2.4 Parámetros Thiele –Small.....	14
2.4.1 Fs:.....	14
2.4.2 Qt (total):.....	15
2.4.3 Cms:	16
2.4.5 Mms:.....	16
2.4.6 Rms:	16

2.4.7 Vas:.....	17
2.4.8 Re:	17
2.4.9 Impedancia:	17
2.4.10 Le.....	17
2.4.11 Sd:	17
2.5 Líneas de Transmisión Acústica (LTX)	18
2.6 Baja frecuencia e infrasonido.....	18
2.6.1 Propagación de bajas frecuencias e infrasonidos.....	19
2.6.2 Fuentes naturales y no naturales de infrasonido	20
2.6.3 Características de fuentes artificiales.	20
2.7 Percepción en baja frecuencia e infrasonido.....	21
2.7.1 Umbrales de audición	22
2.7.2 Curvas isofónicas de audición	22
2.7.3 ISO226-2003	23
2.7.4 Niveles audibles de infrasonido	24
3. Capítulo III. Metodología	26
3.1. Implementación de la interface del set automático de medida	27
3.1.2. Circuito de interconexión	29
3.1.3 Algoritmo del sistema.....	31
3.1.4 Calibración	34
3.1.4.1 Ajustes de nivel	34
3.1.4.2 Parámetros de medición.....	35
3.1.4.3 Ajustes de magnitud de impedancia	36
3.1.5 Medición de impedancia del driver con masa añadida	39
3.1.6 Calculo de parámetros Thiele Small	41
3.2 Simulación e implementación de la fuente de infrasonido y baja frecuencia	41
3.2.1 Fuente de infrasonido y baja frecuencia	41
3.2.2 Características del driver	42
3.2.3 Modelo teórico de una línea de transmisión (LTX)	45
3.2.4 Simulación e implementación del driver adaptado a la línea de Transmisión.	48

3.3 Nivel de presión sonora de la fuente de infrasonido y baja frecuencia	51
3.3.1 Calibración	52
4. Capítulo IV. Resultados	52
4.1 Parámetros Thiele Small medidos vs otorgados por el fabricante	52
4.2 Curva de impedancia en módulo y fase del driver al aire libre	53
4.3 Impedancia del driver con masa añadida	54
4.4 Medición de la curva de impedancia en módulo y fase del driver con la adaptación del LTX	55
4.5 Medición de respuesta en frecuencia y distorsión armónica del <i>driver</i> con la adaptación del LTX	57
5. Capítulo V. Optimizaciones	59
5.1 Alcance	59
5.2 Líneas futuras	59
6. Conclusiones y Recomendaciones	60
6.1. Conclusiones	60
6.2 Recomendaciones	61
REFERENCIAS	63
ANEXOS	65

1. Capítulo I. Introducción

1.1 Antecedentes

En la última década el desarrollo y crecimiento potencial de la tecnología referente al diseño y creación de *drivers* acústicos o altavoces han surgido varios estudios e investigaciones para resolver los problemas de diseño y potencializar las funciones y aplicaciones de estos. "... el altavoz representa un problema técnicamente rico que es bien entendido por la comunidad científica. En general, la construcción de altavoces comerciales hace que sea difícil observar el funcionamiento interno".(Klippel et al., 2014) Por ende, el caculo y evaluación de los parámetros mecánicos, acústicos y eléctricos que contribuyen a un óptimo funcionamiento del *driver*. Los parámetros Thiele Small son esenciales para caracterizar un *driver* ya que recopilan todas las funciones de los altavoces para entregarnos variables con las cuales trabajar y fabricar cajas acústicas para potencializar el altavoz o corregir ineficiencias, también se puede usar de manera inversa, partiendo de valores requeridos de los parámetros para así diseñar altavoces. "Los parámetros introducidos por el Sr. Neville Thiele y el Dr. Richard H. Small se han convertido en un estándar de la industria en el análisis y el diseño de cajas de altavoces con puertos cerrados y cerrados. Desde la primera publicación del trabajo del Dr. Small, la sofisticación de los equipos de medición electrónicos ha avanzado enormemente, sobre todo con la introducción del FFT." (Struck, Christopher.J, 1987) De acuerdo con lo mencionado anteriormente, vemos la gran importancia de los parámetros Thiele Small y las constantes mejoras que se les da con el avance de la tecnología.

En la actualidad existen un sin número de herramientas que aporten al desarrollo de la evaluación de los parámetros Thiele Small. Con ello tenemos, por ejemplo, a disposición algunos software, dispositivos y tecnologías que poco a poco van facilitando la evaluación y precisión de las características de los altavoces. El gran desarrollo en el tema electrónico específicamente en el campo de materiales de instrumentación para laboratorios como son fuente de señales,

analizadores de frecuencias y osciloscopios han permitido aminorar el trabajo que requiere caracterizar un *driver* acústico “La tecnología de microprocesador digital ha aumentado la velocidad y la precisión de las mediciones de laboratorio y ha permitido al usuario de este equipo realizar una variedad de tareas que no era posible hace quince años.” (Struck, Christopher.J, 1987).

Conforme avanza la tecnología correspondiente a equipos electrónicos se desarrollaron varios modelos de evaluación de parámetros Thiele Small, esto se debe a una necesidad por establecer una conexión directa y precisa a los parámetros encontrados con el funcionamiento de los *drivers* acústicos. Uno de los métodos presentados en la AES(Audio Engineering Society) muestra el método de análisis de la FFT a dos canales en la cual podemos observar que los tiempos de análisis al igual que los resultados son más efectivos en comparación a métodos posteriores con todo esto los modeladores de este método afirman que : El análisis FFT de dos canales proporciona un método rápido de medición dos medidas se toman, uno con el conductor libre y segundo con el conductor en un recinto de prueba, suficiente información se puede obtener para calcular los parámetros Thiele - Small. La velocidad de esta técnica se puede aumentar utilizando una computadora en conjunción con el analizador para automatizar la medida y realizar los cálculos. (Struck, Christopher.J, 1987).

El desarrollo de los diversos métodos de medida y su efectividad han dado paso a nuevas investigaciones en las que se puede diferenciar los materiales de fabricación de altavoces y cómo influyen estos en los parámetros Thiele Small, cómo cambian su comportamiento físico mecánico y eléctrico todos esto se pueden diferenciar con tan solo cambiar una variable de diseño o de material lo que implica una mayor investigación que podría alcanzar a diseñar materiales exclusivos para la fabricación de *drivers* acústicos.

La aplicación de los altavoces ha llegado a todos los ámbitos y sirven tanto como elementos de investigación como para complacer placeres comunes como escuchar música o comunicar un mensaje, en el ámbito investigativo y científico se pueden ver aplicados en fuentes omnidireccionales para mediciones de respuesta al impulso y mediciones de tiempo de reverberación entre otras, también se utilizan para obtener el porcentaje de absorción de diversos materiales, esto en conjunto con un tubo de Kundt y micrófonos de medición implican un sistema de laboratorio. Todas estas aplicaciones investigativas muestran lo necesario que es el estudio de los altavoces y su funcionamiento ya que nos ayudan a desarrollar tecnologías y estudios que aportan al crecimiento científico.

Uno de los ámbitos en los que ha sido poco estudiado el uso de altavoces es el infrasonido, esto se debe a que “El ser humano es capaz de escuchar sonidos con frecuencias que van desde 20 [Hz] hasta 20 [kHz] aproximadamente. Este rango acotado se debe a las limitaciones que presenta su sistema auditivo. Sin embargo, los sonidos cuyas frecuencias son superiores o inferiores a estos límites están presentes en la naturaleza e interactúan con ésta de una manera para muchos desconocidos. Para frecuencias superiores a 20 [kHz], éstos reciben el nombre de ultrasonidos, y para frecuencias inferiores a 20 [Hz] son llamados infrasonidos.” (Poo, Barrera.2002), por lo que no se le ha dado importancia a reproducir dichas frecuencias ya que no se encuentran dentro del rango audible, pero estas frecuencias pueden ser perceptibles por el cuerpo es decir que no se pueden escuchar, pero sí sentir, esto se puede corroborar por medio de hechos históricos, uno de ellos “... fue la explosión del volcán Krakatoa en Indonesia en el año 1883. Esta fue de tal magnitud, que se escuchó a unos 5000 kilómetros de distancia, en las islas Rodrigo, mientras que los infrasonidos dieron la vuelta al mundo más de una vez. Esto fue comprobado posteriormente con las anotaciones provenientes de los barómetros existentes en ese tiempo alrededor del mundo, los cuales mostraron fluctuaciones periódicas de presión considerables.” (Poo, Barrera.2002).

La reproducción de infrasonidos casi no posee datos relevantes ya que la mayoría de las frecuencias infrasónicas al momento de salir a la atmósfera estas se despliegan en todas las direcciones, pero no son perceptibles y para que puedan ser medidas se necesitan de mucha energía potencial. Los infrasonidos se propagan a grandes distancias por dos razones fundamentales: Primero, la baja absorción del aire en estas frecuencias, y segundo, los canales de propagación que se forman en la atmósfera. Una razón secundaria es que el suelo actúa como un perfecto reflector para los infrasonidos. Durante la propagación, los rayos sonoros no son rectos, ya que van cambiando su trayectoria debido a que la atmósfera es un medio estratificado.” (Poo, Barrera.2002). Ya que el infrasonido por sí solo es un tema que abarca una gran investigación es difícil controlar la reproducción de dichas frecuencias y cómo se comportan los altavoces al momento de reproducirlas es un tema que encapsula muchas variables las cuales se pretende despejar

1.2 Justificación

En la Universidad de las Américas no existen instrumentos de medición automática de impedancia para altavoces, ni software que calculen o estimen los parámetros acústicos, mecánicos y eléctricos de los mismos. A pesar de que es esencial para comprobar el funcionamiento óptimo de varios equipos y servirá de mucha ayuda en el estudio de asignaturas como es el caso de Diseño de cajas acústicas y los diversos niveles de electroacústica las cuales pertenecen a la malla curricular de la carrera de Ingeniería en Sonido y acústica.

Consecuentemente la implementación de este proyecto traerá consigo varios beneficios a la Universidad de las Américas y en específico a la carrera de Ingeniería en Sonido y Acústica ya que aportará mayor facilidad al momento de estudiar los diferentes casos en los que los altavoces influyen como una variable

dentro de los temas a tratar en clases, además de ser un ahorro significativo para la Universidad puesto que equipos que cumplen las mismas funciones suelen estar evaluados en precios muy altos, también representa un ahorro de tiempo debido a la automatización del proceso de medición.

1.3 Marco referencial

El Ecuador en los últimos años se han realizado varios avances tecnológicos en torno a la electrónica, gracias a todas las políticas de desarrollo educativo e investigativo que se han implementado y consigo distintos proyectos que han sido muestra de este notable cambio que ha traído varios beneficios a las personas dedicadas al estudio de temas referentes. Sin embargo, todos estos hechos se han visto reflejados en varios aspectos. No se han visto cambios significativos con lo que respecta a la creación y desarrollo de sistemas sonoros, creación de *drivers* o si quiera laboratorios de medición o calibración que desarrollen el ámbito investigativo en el campo electroacústico, ni mucho menos que se base en el desarrollo de *drivers* acústicos. Aunque, beneficiosamente el panorama es favorecedor debido a que da paso a desarrollar varios proyectos investigativos en torno a estos temas y con ello abrir una brecha para más casos investigativos que aporten al crecimiento y desarrollo de la electroacústica.

Lamentablemente, no existen iniciativas investigativas que traten o analicen la creación de *drivers* acústicos y mucho menos el estudio de estos, lo que ha provocado que el país esté muy retrasado en este ámbito en comparación con países. Colombia y Brasil son países en los cuales este campo ha avanzado a tal punto de crear industrias que aportan grandes cantidades de dinero al igual que muchas fuentes de empleo.

La visión de este proyecto repercute en el desarrollo de tecnología propia y que logre compararse con la existente en el mercado, en este caso referente al campo electroacústico y en concreto a las tarjetas de medición y análisis de audio que sirven para la evaluación y medida de las características propias de un driver, toda esta tecnología referente al estudio de los *drivers* suele tener costos muy elevados. Con el desarrollo de tecnologías similares se puede alcanzar la misma eficiencia.

El estudio de las tarjetas de medida también conlleva al desarrollo de diferente software para controlar las variables encontradas con ello se impulsa el continuo estudio de lenguajes de programación los cuales son esenciales para alcanzar un mayor nivel de desarrollo tecnológico ya que nos encontramos en un mundo en el cual cada vez más dependemos de programas que solucionen problemas con el mínimo de recursos disponibles. Es por ello por lo que este proyecto pretende desarrollar un software que junto a una tarjeta de sonido comercial puede medir y evaluar cada *driver*.

La aplicación de este proyecto se puede dar tanto en la creación de cajas acústicas para el *driver* evaluado o para la fabricación de estos lo que implicaría un mayor avance investigativo y aportaría un desarrollo en la tecnología de altavoces. Al construir el banco de medida automático se lograría reducir el tiempo en que se puede caracterizar un *driver* acústico, ya que gracias a Matlab y sus librerías los datos recolectados por la tarjeta de sonido y manipulados por el algoritmo, se lograría obtener los parámetros Thiele Small, los cuales nos indican los valores mecánicos, acústicos y eléctricos del *driver*.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de medida automático para la evaluación de parámetros acústicos, mecánicos y eléctricos de un *driver*, a través de un algoritmo creado en Matlab en conjunto con una tarjeta de audio y un amplificador comercial para evaluar una fuente de baja frecuencia e infrasonido basada en líneas de transmisión.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar un algoritmo en Matlab para calcular la curva de impedancia en módulo y fase de cualquier altavoz.
- Fabricar un circuito para la conexión entre una tarjeta de sonido y el *driver* a evaluar.
- Simular e implementar una fuente de baja frecuencia e infrasonido fundamentada en un modelo teórico de líneas de transmisión LTX.
- Comparar los resultados de mediciones reales con el modelo teórico.

2. Capítulo II. Marco teórico

2.1. Caracterización de ondas acústicas

2.1.1 Longitud de onda

Los sonidos periódicos se repiten a través del tiempo, en dicho tiempo poseen perturbaciones las cuales se desplazan una cierta distancia a la cual se llama longitud de onda.

Podemos definir una longitud de onda como:

$$\lambda = c.T = \frac{c}{f} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

F: frecuencia (Hz)

C: velocidad del sonido m/s

2.1.2 Período

Se llama período al tiempo que tarda una onda en alcanzar un ciclo completo, su medida se expresa en segundos. Está definido como:

$$T = \frac{1}{f} [s] \quad (\text{Ecuación 2})$$

2.1.3 Frecuencia

Se define como el número de ciclos que realiza la onda en un segundo, esto quiere decir que la frecuencia es inversa al periodo como lo define la siguiente ecuación.

$$f = \frac{1}{T} [Hz] \quad (\text{Ecuación 3})$$

La frecuencia es medida en ciclos por segundo lo que se denomina Hz.

2.1.4 Fase

La fase es descrita como la posición de una onda respecto a otra, esta característica es expresada en grados por lo que el ciclo de onda es equivalente a 360°.

2.2 Amplificadores de audio

La función de un amplificador es aumentar el nivel de una señal hasta alcanzar un nivel óptimo requerido además de ser el primer bloque procesador de señal eléctrico.

En otros términos, un amplificador de audio es un circuito eléctrico que se encarga de incrementar el voltaje o potencia de una señal que se aplica a la etapa de entrada.

2.2.1 Ganancia

Es el parámetro primordial de un amplificador y se define como el cociente entre voltaje de salida y el de entrada.

$$G = V \text{ salida} / V \text{ entrada} \quad (\text{Ecuación 4})$$

La ganancia también se expresa en decibeles [dB]

$$G = 20 \log 10G \text{ [dB];}$$

(Ecuación 5)

G: voltaje de salida / voltaje de entrada

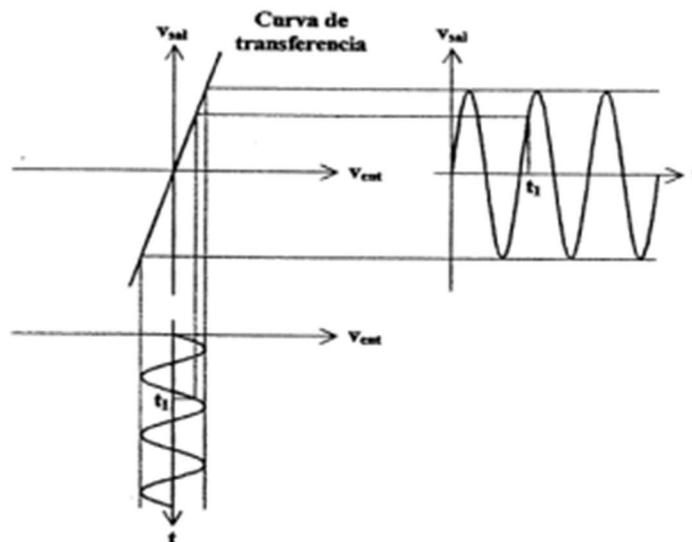


Figura 1. Curva de transferencia del amplificador

Tomado de (Miyara, 1999)

Como se observa en la figura 1 se muestra el proceso de amplificación en donde la curva de transferencia es la representación gráfica de una variable de un sistema complejo que es dependiente de un parámetro real.

2.2.2 Potencia máxima

La potencia máxima está relacionada con la impedancia de carga la cual suele tener valores típicos de 4 u 8 ohmios, y su ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$Pot = \frac{V^2}{Z}$$

Ecuación 6

Dónde:

V: voltaje [voltios]

Z: Impedancia de carga [Homs]

2.2.3 Sensibilidad

La sensibilidad se define como el valor necesario de voltaje de entrada para obtener la máxima potencia de un altavoz. Además, cabe destacar que se encuentra ligada a la ganancia, esto se puede ver reflejado en su fórmula que se describe a continuación:

$$V_{salida} = \sqrt{Z \cdot Pot} [dBv] \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:

Z : Impedancia [Ω]

2.2.4 Relación señal –ruido

Esta especificación del amplificador se obtiene realizando un cociente entre el voltaje de entrada y el voltaje de ruido característico del altavoz. Se lo puede calcular ocupando la siguiente expresión:

$$S/R = 20 \log_{10} \frac{S}{R} [dB] \quad \text{Ecuación 8}$$

En donde:

S: Voltaje de entrada [*v*]

R: Voltaje de ruido [*v*]

2.2.5 Respuesta de frecuencia

Esta especificación determina cual es el rango de frecuencias en el que trabaja fielmente el equipo. O, dicho de otra manera, es la variación de ganancia que presenta ante cada frecuencia.

Los altavoces pueden llegar a cubrir un rango de frecuencias de 20 Hz a 20 kHz e incluso pueden superarlo llegando a reproducir frecuencias más bajas de las que están en el rango audible de ser humano.

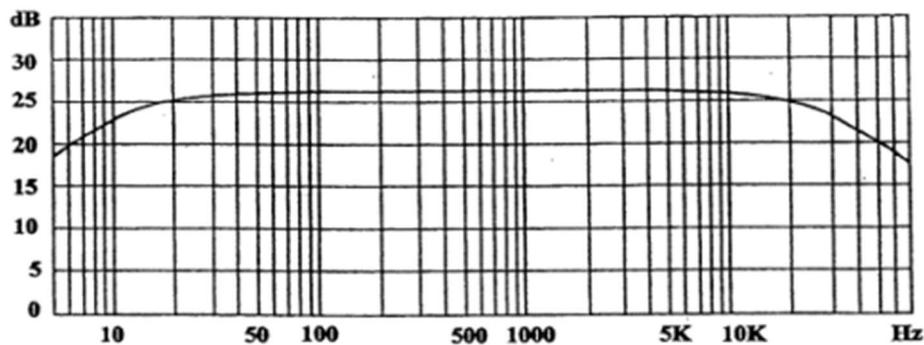


Figura 2 Respuesta en frecuencia.

Tomado de (Miyara, 1999).

Esta característica se muestra mediante una gráfica en la que se relaciona la frecuencia vs dB como el que se muestra en la figura 2. Por lo general, se busca que esta respuesta sea lo más lineal posible, es decir que presente el mismo nivel de presión sonora en el rango de las frecuencias a las que fue diseñado el altavoz.

2.2.6 Impedancia de entrada

Se la obtiene midiendo en los puntos de entrada del amplificador. Se encuentra estrechamente relacionada a un divisor de voltaje, relacionando la señal de entrada y la impedancia de entrada para obtener el voltaje real del amplificador.

Los valores más comunes que se obtienen están en el rango de 10 kΩ a 50kΩ y entre mayor sea su valor es más conveniente.

$$V_{amp} = \frac{Z_{entrada}}{Z_{señal} + Z_{entrada}} \cdot V_{señal} \quad \text{Ecuación 9}$$

2.2.7 Factor de amortiguamiento del amplificador

También conocido como *damping factor*, no es más que la relación que existe entre la resistencia del altavoz y la resistencia propia del amplificador. O, también se puede decir que es la relación entre la impedancia nominal de carga y la impedancia real de salida. Se lo calcula aplicando la fórmula que se describe a continuación:

$$FA = \frac{Z_{salida}}{Z_{entrada}} \quad \text{Ecuación 10}$$

2.3 Caracterización de altavoces

Un altavoz como ya se mencionó anteriormente no es más que un transductor el cual transforma la energía eléctrica en acústica. Esta conversión la realiza en dos fases, la primera es cuando la señal eléctrica produce movimiento en el diafragma del *driver*. La segunda se produce cuando dicho movimiento produce ondas de presión por lo que la cantidad de aire que se desplaza depende directamente del nivel de potencia que se desea obtener. Las características que definen como se dará esta conversión se exponen a continuación.

2.3.1 Impedancia de altavoces

Es la oposición que presenta el altavoz al paso de corriente eléctrica alterna. Por lo tanto, se obtendrá una impedancia distinta para cada una de las frecuencias. Esta información se muestra mediante una gráfica en donde principalmente se

expone al usuario la impedancia nominal del altavoz, la impedancia en la resonancia, la impedancia máxima y mínima.

2.3.2 Sensibilidad

Se lo define como el nivel de presión sonora que existe a un metro cuando al altavoz se le aplica una potencia eléctrica de 1 w. Esta característica es una de las más importantes del altavoz para determinar el nivel de presión sonora que tiene el altavoz como se lo puede ver en la ecuación 11, con esta se puede encontrar el nivel de presión sonora a cualquier potencia.

$$\Delta NPS = S + 10 \log_{10} \frac{P}{1w} \quad \text{Ecuación 11}$$

En donde:

P: potencia del altavoz [w]

2.4 Parámetros Thiele –Small

Estos parámetros se encargan de describir el comportamiento de un altavoz sin caja acústica y al aire libre. Al momento de elegir un altavoz para una aplicación en específico estos parámetros son los más importantes ya que lo caracterizan. Entre los parámetros Thiele-Small más destacables están:

2.4.1 Fs.: Se la denomina frecuencia de resonancia mecánica del *driver* y es la frecuencia a la que la membrana del altavoz se excita fácilmente.

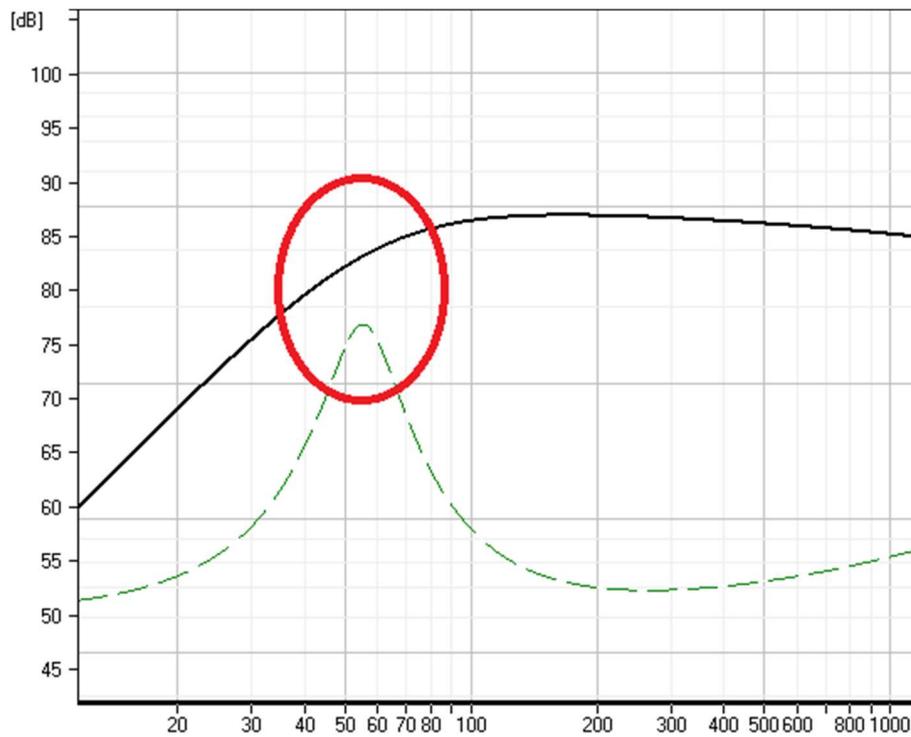


Figura 3. Frecuencia de resonancia.

Tomado de (*Parámetros Thiele-Small – Equaphon University, s.f.*).

2.4.2 Q_t (total): Es el factor de amortiguamiento o factor de calidad. Este determina el control que tiene el altavoz sobre la frecuencia de resonancia. Depende del resultado obtenido entre Q_m y Q_e . (mecánica y eléctrico)

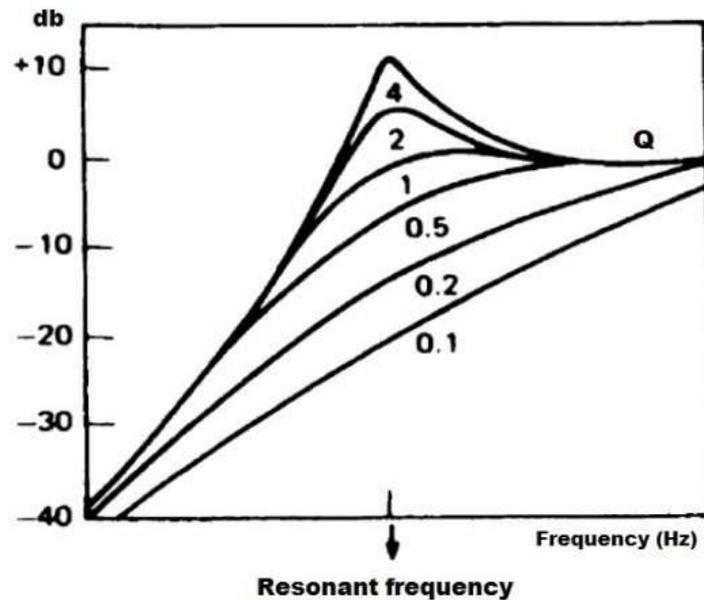


Figura 4. Factor de Amortiguamiento.

Tomado de (*Parámetros Thiele-Small – Equaphon University, s.f.*)

2.4.3 Cms: Es la compliancia de suspensión. O, se puede entender como el inverso de la rigidez. Este parámetro nos indica que tan rígida es la suspensión del *driver*.

2.4.5 Mms: O también llamado resistencia mecánica de la suspensión. Es la suma de la masa del diafragma, la suspensión y la bobina, es decir, la masa total del conjunto mecánico.

2.4.6 Rms: La resistencia mecánica de la suspensión es el parámetro que nos indica las pérdidas por calor que tenemos en la suspensión por causa de la fricción.

2.4.7 Vas: Se lo denomina volumen equivalente de la compliancia de la suspensión y lo que nos muestra este parámetro es la compliancia de la suspensión, pero expresado como volumen de aire.

2.4.8 Re: Es la resistencia eléctrica de la bobina la cual en la mayoría de los casos es menor a la impedancia nominal.

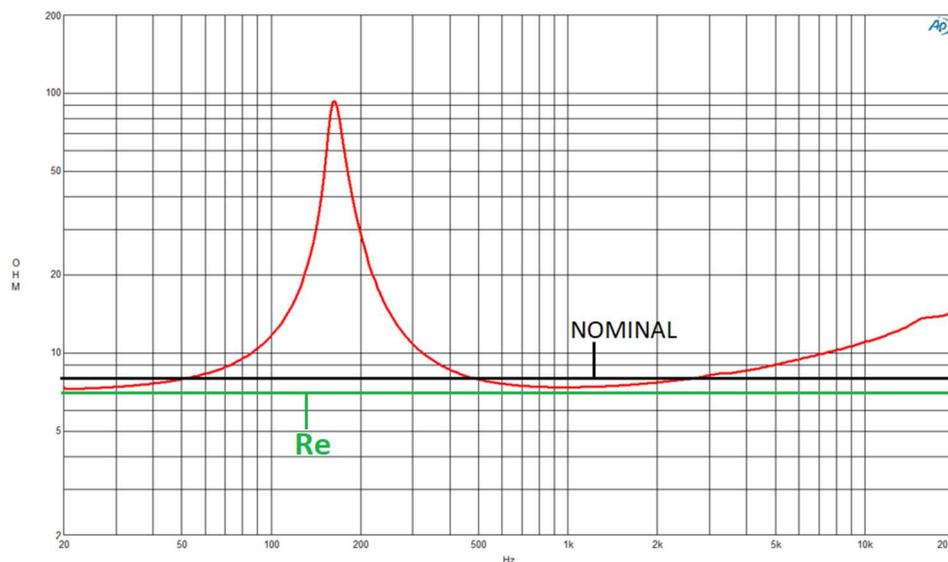


Figura 5. Resistencia eléctrica.

Tomado de (*Parámetros Thiele-Small – Equaphon University, s.f.*)

2.4.9 Impedancia: Esta no es más que la oposición al paso de corriente eléctrica. Se obtiene mayor impedancia para la frecuencia de resonancia.

2.4.10 Le: Denominada inductancia eléctrica de la bobina, a altas frecuencias afecta a la respuesta del altavoz.

2.4.11 Sd: Es el área efectiva del pistón. En otras palabras, representa al conjunto de la suspensión y el cono los cuales se encargan de generar la presión sonora.

2.5 Líneas de Transmisión Acústica (LTX)

Son un tipo de caja acústica abierta, en la cual la onda de presión generada por el diafragma viaja a través de un tubo de material absorbente. En una LTX se reproduce una extensión en la respuesta de baja frecuencia de hasta un tercio de octava esto se debe a la radiación extra que hay al final del tubo. En comparación con las cajas acústicas convencionales esta no posee un modelo satisfactorio.

La longitud de la LTX se fija en un cuarto de onda de la frecuencia de ajuste, la cual coincide con la frecuencia de resonancia del *driver*, de tal manera que la radiación acústica, al final del tubo se combina con la generada por el altavoz, incrementando el nivel en la zona de baja frecuencia.

2.6 Baja frecuencia e infrasonido

La percepción tonal en el oído humano se pierde entre los 18 Hz y 16 Hz. Estudios realizados por Moller y Pedersen (2004), demuestran que estas frecuencias a niveles altos de emisión no pueden ser escuchados, pero sí percibidos.

El estudio de este rango frecuencial aún está dando sus primeros pasos, sus campos de investigación han sido poco estudiados. El infrasonido es dividido por algunos especialistas en tres partes:

Tabla 1.

Infrasonidos

Zonas del infrasonido	Rango frecuencial
-----------------------	-------------------

Infrasonidos cercanos	$1 \text{ Hz} \geq f \leq 10 \text{ Hz}$
Infrasonidos	$0,01 \text{ Hz} \geq f \leq 1 \text{ Hz}$
Ondas acústicas de gravedad	$f \leq 0,01 \text{ Hz}$

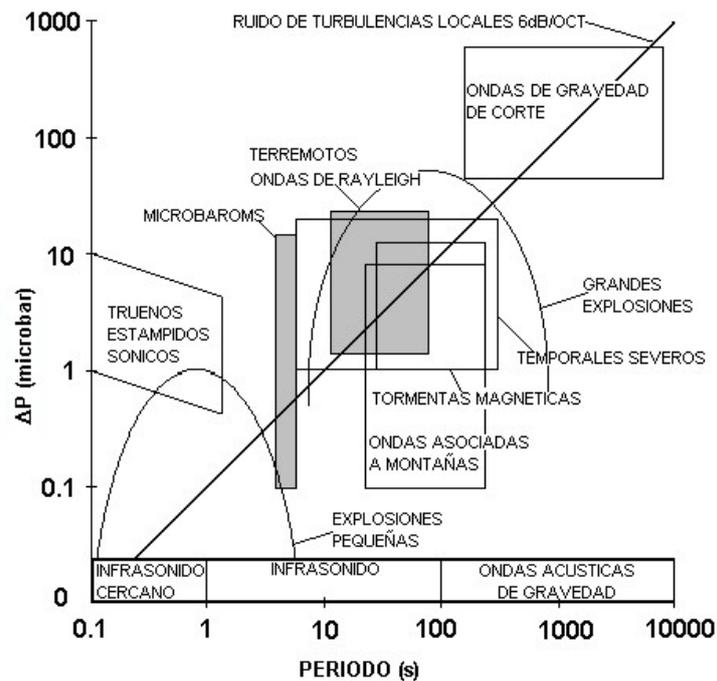


Figura 6. Esquema de infrasonidos.

Tomado de (Poo Barrera, 2002).

2.6.1 Propagación de bajas frecuencias e infrasonidos

Cada vez que la distancia que recorre el sonido se duplica, la propagación del sonido en el aire se reduce 6 dB. Esto se debe a que la propagación del sonido se determina por la ley del inverso al cuadrado que explica cómo se atenúa el sonido debido a la distancia.

En el medio de propagación que es el aire existen diferentes factores atenuantes, como la absorción provocada por las superficies, por el rozamiento del aire y por

la producida por barreras naturales. En las frecuencias bajas, la considerable longitud de onda que estas tienen hace que todas las atenuaciones mencionadas sean despreciables. (Leventhall, Pelmeier y Benton, 2003, p. 8).

2.6.2 Fuentes naturales y no naturales de infrasonido

El infrasonido puede ser emitido por fuentes naturales que tienen como principal característica que es provocado por causas ajenas a procesos realizados por el hombre, también poseen grandes dimensiones y potencia, por lo que su absorción en la atmósfera es mínima. Las características físicas que poseen estas fuentes hacen que la detección, monitoreo y obtención de datos cuando eventos sonoros de baja frecuencia suceden, puedan realizarse a grandes distancias entre foco y fuente, tal y como sucede con los sismos o erupciones volcánicas.

Las fuentes artificiales se deben a procesos y eventos producidos por maquinaria creada y manejada por el ser humano. Existen maquinarias que tienen como objetivo generar frecuencias bajas para realizar sondeos o ser usadas como radares. Pero, en su mayoría las maquinarias que producen los infrasonidos no son construidas con el objetivo de generarlas, sino que resultan del movimiento mecánico o estructural de las mismas.

2.6.3 Características de fuentes artificiales.

Una de las principales características de propagación de fuentes artificiales es la emisión sonora de una amplitud modulada, por ejemplo, la emisión generada en las turbinas de viento, que se origina por el movimiento de las hélices. La amplitud modulada de la emisión es un factor que determina las respuestas subjetivas de la percepción del sonido.

La sensibilidad del oído humano a ruidos de banda ancha que tiene amplitud modulada es superior para frecuencias de modulación que están entre 2 Hz y 10 Hz con un valor *peak* en 4 Hz; esto se debe a las tasas de modulación usuales en el habla humana.

Estudios hechos en turbinas de viento de grandes dimensiones reflejan que el rango frecuencial que modula la amplitud de las emisiones está entre 0.5 Hz y 1.5 Hz, por lo que el estudio de la sensibilidad humana a la amplitud modulada en el rango de los infrasonidos es necesario (Perkins, Lotinga, Derry, Grimwood y Sa

Los estudios realizados en turbinas de viento de gran escala reflejan que el rango de frecuencias que modulan la amplitud de sus emisiones está comprendido entre 0.5 y 1.5 [Hz], por lo que es necesario el estudio de la sensibilidad humana a la amplitud modulada en el rango de infrasonidos (Perkins, Lotinga, Berry, Grimwood y Stansfeld, 2016, p. 7).

Además, las turbinas de viento tienen 2 tipos de modulación de amplitud, una generada por el silbido de las hélices y otra por el golpe que se da entre hélices y viento, resultando de estas dos, la modulación por golpe la más influyente. Por esta razón, el ruido de las turbinas provoca más molestia que otros ruidos ambientales que se encuentran en el mismo nivel de emisión. La cizalladura del viento muestra la modulación por golpe (efecto Van den Berg), y la diferencia que hay entre el máximo y el mínimo del nivel ponderado A medido en la fuente es el que caracteriza a este tipo de modulación (Makarewicz y Gołębiowski, 2018, p. 1).

2.7 Percepción en baja frecuencia e infrasonido

2.7.1 Umbrales de audición

El umbral de audición se refiere a l valor mínimo de presión sonora que cualquier sonido debe tener para que una persona pueda escucharlo. Claramente, esto también depende de algunos factores, siendo estos; frecuencia, sensibilidad del sujeto, nivel de cansancio auditivo del mismo y duración del estímulo sonoro. Para el estudio de la respuesta frecuencial que tiene el oído humano a estas frecuencias de manera general, se deben citar las curvas propuestas en 1993 por Fletcher y Munson.

2.7.2 Curvas isofónicas de audición

Las curvas isofónicas, calculan la relación que hay entre frecuencia e intensidad medida en dB, de dos tonos puros, con el objetivo de que estos sean percibidos igual de fuertes por el oído humano (Hernández, Fernández, Cueto, Lubián, & Alonso, 2012, p. 2).

En el año 1993, los científicos Fletcher y Munson proporcionan las primeras curvas isofónicas. Estos científicos pusieron varios participantes a comparar la intensidad constante de una frecuencia fija, variando la intensidad de una respecto al resto de frecuencias audibles.

Para hacer posible realizar una gráfica de las curvas, se iba aumentando de 10 dB en 10 dB la intensidad del tono constante, en el caso de estas curvas 1 kHz, desde 0 dB hasta 120 dB. De esta manera se obtuvieron 13 curvas que representaban al mismo nivel de sonoridad las frecuencias respecto y dependiendo de la intensidad de la frecuencia de referencia. Las curvas isofónicas son presentadas en la siguiente gráfica:

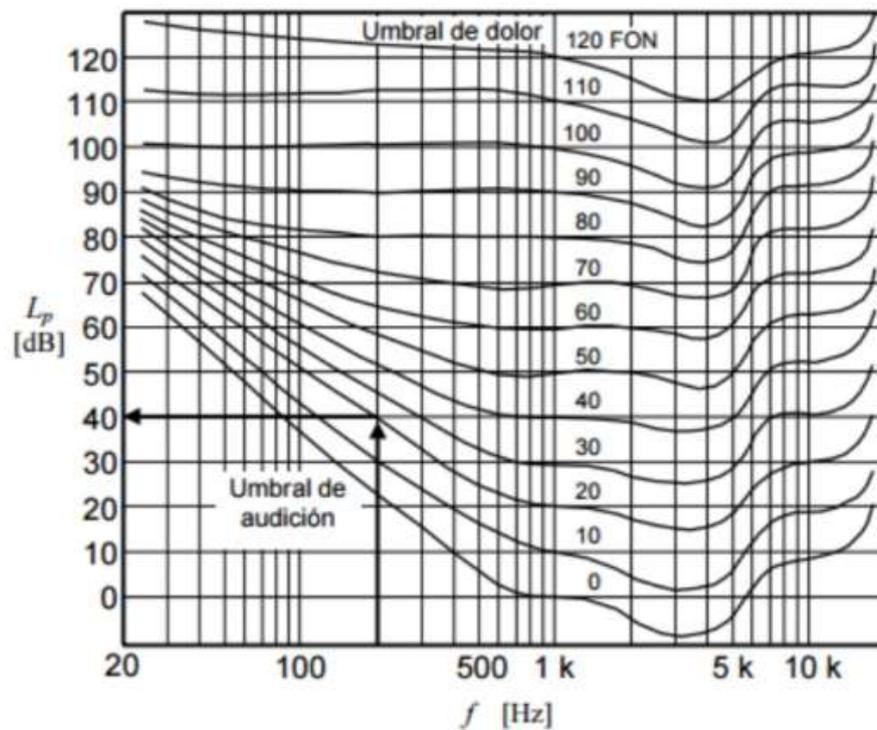


Figura 7. Curvas isofónicas.

Tomado de (Miyara, 2007).

2.7.3 ISO226-2003

La primera normativa internacional que definió un acuerdo acerca de los umbrales de audición humana; esta fue la ISO R224:1961. Los datos se basaron en los estudios hechos por Robinson y Dadson en 1956, mostrando los umbrales de audición y las curvas de igual sonoridad; pero, aun sin llegar a niveles inferiores a 20 [Hz]. Posteriormente se realizaron revisiones y se fueron modificando las normas, pasando por la a ISO 226:1987 e ISO 389-7:1996 para terminar en la ISO 226:2003.

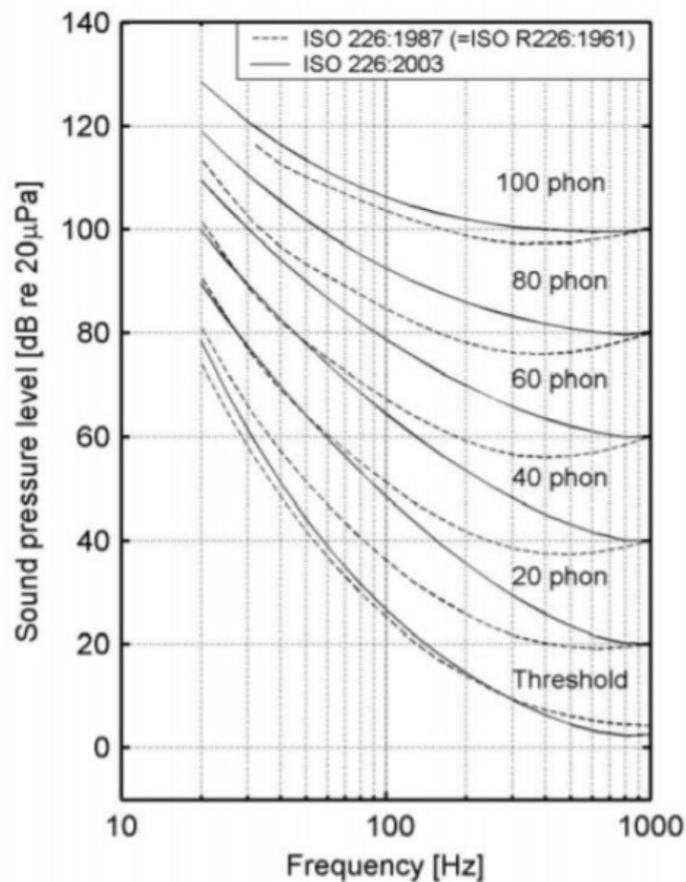


Figura 8. ISO 226:1987 vs ISO 226:2003.

Tomado de (Moller y Pedersen, 2004).

2.7.4 Niveles audibles de infrasonido

El sistema auditivo del ser humano posee una muy deficiente respuesta a las bajas frecuencias, ocurre lo mismo con los infrasonidos. Existen estudios que mencionan mediciones de umbral en tonos y sonidos por debajo de los 10 [Hz] (Moller y Pedersen, 2004; Watanabe y Moller, 1990); con lo cual se ha implantado ciertas metodologías de medición.

La percepción auditiva humana fuera del rango audible es más susceptible a factores externos. Para poder obtener una medición de umbral, se deben considerar las condiciones de medición. Si se realizaron de manera monoaural o binaural, el tipo de fuente sonora utilizada e incluso, la manera en que arriba el estímulo al oyente.

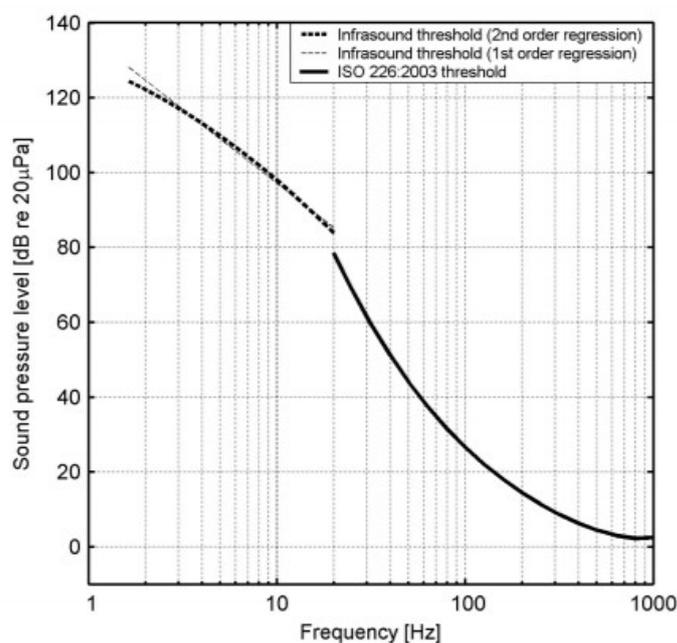


Figura 9. Umbrales de audición propuestos para frecuencias bajo 20 [Hz] y umbral de audición estándar de la ISO 226:2003 sobre 20 [Hz].

Tomado de (Moller y Pedersen, 2004).

En la Figura 9, se puede observar que el ser humano necesita niveles de presión sonora sumamente altos para percibir los infrasonidos. Este comportamiento se debe a que todo el sistema integrado que conforma el aparato auditivo, incluyendo oído externo, medio e interno; tiene una pobre transmisión de energía para este rango frecuencial.

3. Capítulo III. Metodología

Para la aplicación del sistema automático de medida de parámetros Thiele Small se utilizó una cadena electroacústica dispuesta de la siguiente forma. Se conectó el computador con la interface Avid Mbox Mini (Anexo 2) por medio de un cable USB, la computadora se comunica con la interfaz por medio del programa MATLAB R2017b. La interface en cuestión enviaba su salida Monitor Output L hacia la entrada Ch1 del amplificador Crown XTi 2000 (Anexo 1) y su salida Dual Ch1 conectada hacia el circuito de interconexión. Por otro lado, los canales de entrada Line 1 y Line 2 están conectadas a las salidas del circuito de interconexión 1 y 2 respectiva y finalmente la salida 3 del circuito de interconexión está conectada a los terminales del controlador o la fuente de baja frecuencia e infrasonido a medir.

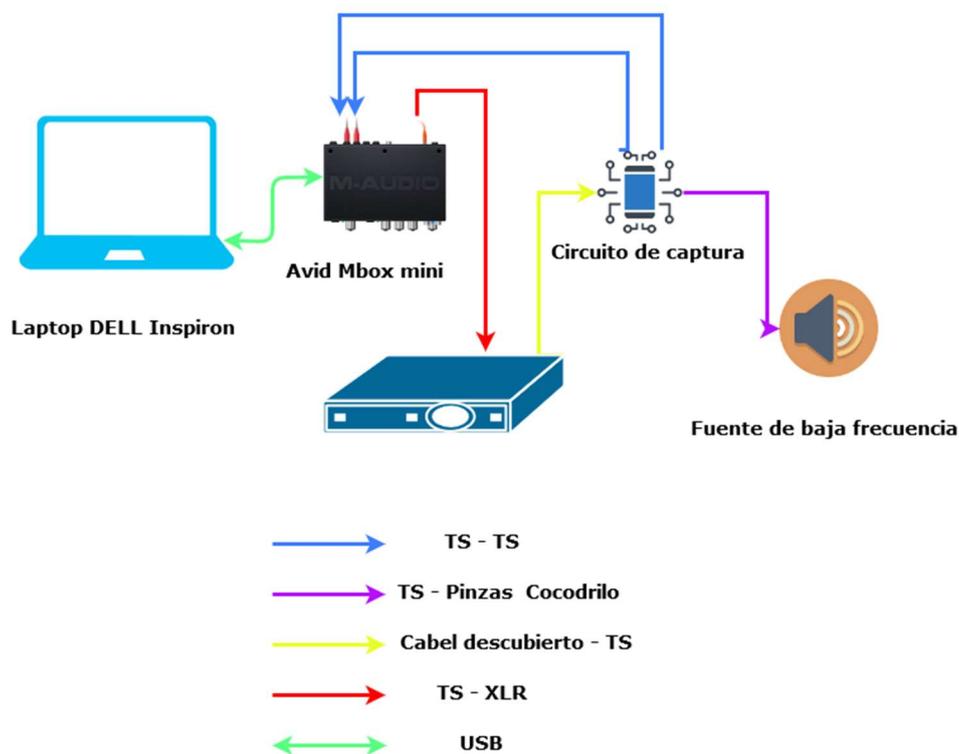


Figura 10. Cadena electroacústica del sistema de medida

3.1. Implementación de la interface del set automático de medida

La implementación de los procesos de captura de datos se realiza por medio de la tarjeta de sonido y el cálculo de FFT (Transformada rápida de Fourier) para conocer el voltaje ingresado se realizó mediante algoritmos en Matlab los cuales simulan investigaciones previas en las que se utiliza un modelo similar que captura datos por medio de un analizador de FFT de dos canales que implica la medición de la entrada y salida de un sistema lineal para determinar su respuesta de frecuencia o función de transferencia.

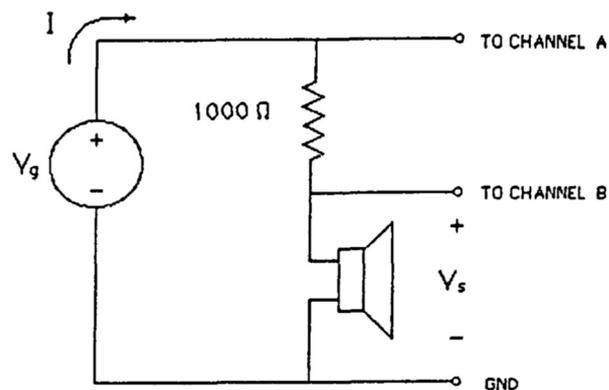


Figura 11. Circuito de medición.

Tomado de.(Struck, 1987).

Nuestro sistema de medida requiere una etapa de amplificación ya que al querer reproducir bajas frecuencias e infrasonidos se necesita de un nivel de potencia alto para que el *driver* pueda emitir dichas frecuencias es por ello que se adaptó un modelo establecido por (Temme & Tatarunis, s.f) en el cual añaden un amplificador al circuito y además los datos son grabados por una tarjeta de audio.

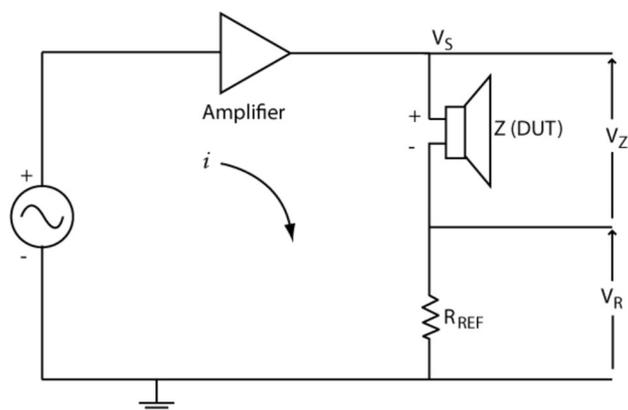


Figura 12. Circuito de medición con etapa de amplificador.

Tomado de (Temme & Tatarunis, s.f).

La impedancia es calculada por la ecuación.

$$i = \frac{v_Z}{Z} = \frac{v_R}{R_{ref}} \Rightarrow Z = \frac{v_Z}{v_R} R_{ref}$$

Ecuación 12

Dónde:

V_s : Voltaje de salida.

V_z : Voltaje que cruza por el altavoz.

V_R : Voltaje que cruza por la resistencia.

R_{ref} : Resistencia de referencia.

Z : Impedancia.

La razón por la que esta configuración es tan precisa es que no se hacen otras suposiciones que la tarjeta de sonido está calibrada y los cables y conectores de entrada tienen una resistencia baja, no es necesario calibrar el amplificador ya que el voltaje se mide a través del altavoz y resistencia de referencia

simultáneamente, por lo que las características del amplificador no afectan la medición.(Temme & Tatarunis, s.f).

3.1.2. Circuito de interconexión

Para facilitar la conexión entre los elementos de la cadena electroacústica se fabricó un circuito en el cual se conectan todos los elementos de la cadena replicando la cadena electroacústica propuesta por Temme & Tatarunis que se puede observar en la Figura 13 a continuación

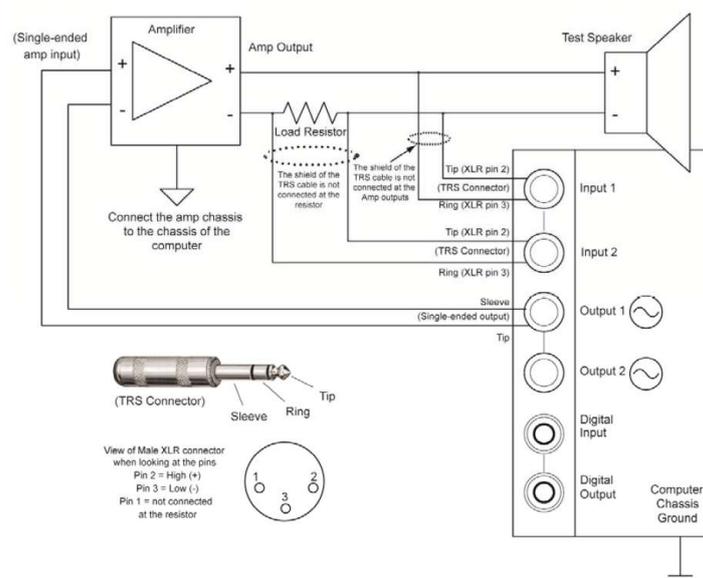


Figura 13. Circuito de medición sistema soudCheck.

Tomado de (Temme & Tatarunis, s.f).

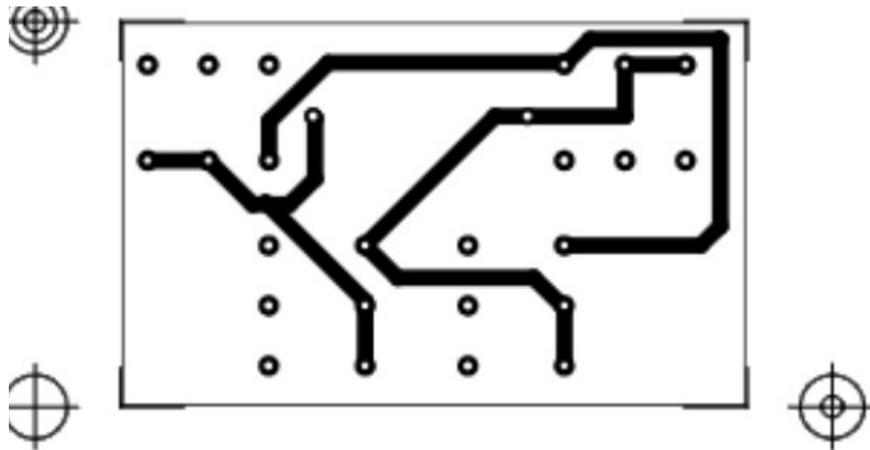


Figura 14. Placa del circuito impreso.



Figura 15. Placa de conexión.

El circuito fue diseñado para ocupar el menor espacio posible con ello disminuir las variaciones de impedancia producida por los cables de conexión que comprenden la cadena electroacústica y que cierran el circuito eléctrico del sistema de medición. El circuito este compuesto por una resistencia de 10 ohmios de alto voltaje, se utilizó este tipo de resistencias ya que estamos trabajando a nivel de potencia, también consta de 4 jacks de entrada de $\frac{1}{4}$ que corresponden a 3 salidas y 1 entrada del circuito. Podemos observar la conexión

interna del circuito en la Figura 14 y los voltajes que cruzan por el circuito en la Figura 15.

3.1.3 Algoritmo del sistema

El algoritmo empleado en el sistema de medición consta de un medidor de Curva de impedancia en módulo y fase que esta tomado del trabajo realizado por (Zhivomirov & LLiev, 2015) en el cual emplea un sistema de adquisición de datos NI USB-6211 conectado mediante el proceso de adquisición de datos Toolbox de Matlab, el proceso se encuentra detallado en un diagrama de bloques expuesto en la Figura 16.

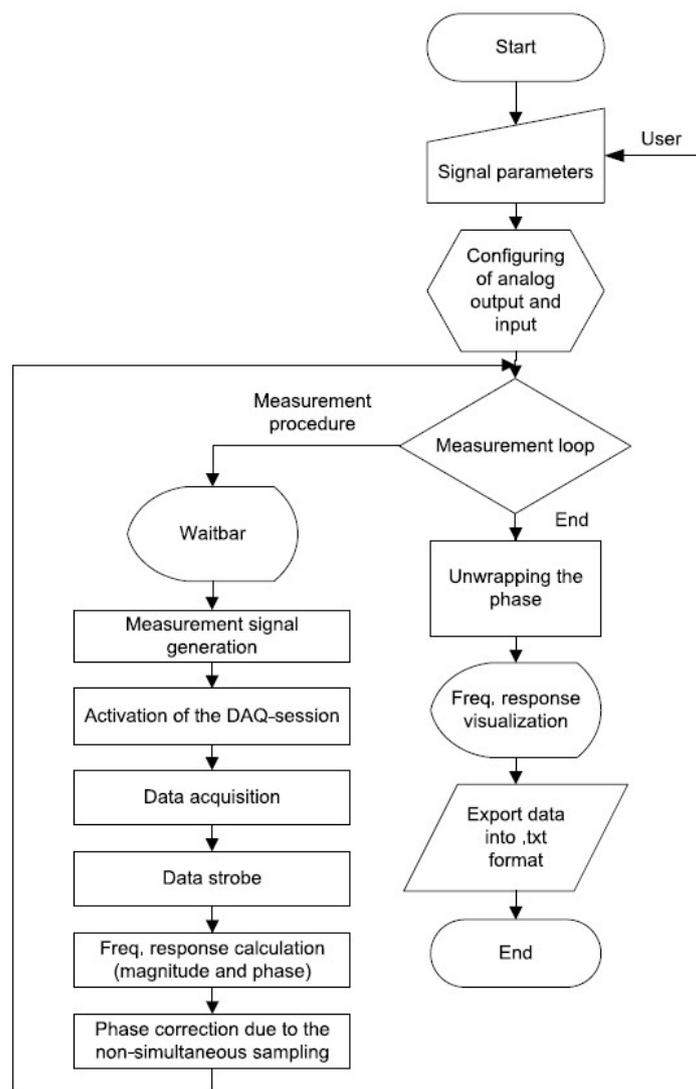


Figura 16. Algoritmo del sistema.

Tomado de (Zhivomirov, H., & LLiev, LI, 2015).

Se modificó el algoritmo (Anexo 4) para poder utilizar una tarjeta de sonido comercial en este caso la interface Avid Mbox mini para adquisición de datos, se diseñó una interfaz GUI en Matlab para que cualquier usuario pueda manipularla dentro de ella se permite modificar los parámetros de medición como el rango de frecuencias y los saltos o puntos a medir.

Parámetros de medición

Freq Inicial: 1

Freq final: 100

Puntos de medición: 1

Los puntos de medición son logarítmicos

Figura 17. Parametros de medición

El sistema completo muestra un apartado para visualizar la magnitud de la impedancia y la fase medidos además de un apartado donde se muestran los parámetros Thiele y Small calculados y por último una sección dedicada a la calibración del sistema el cual está dentro de un rango determinado de frecuencias.

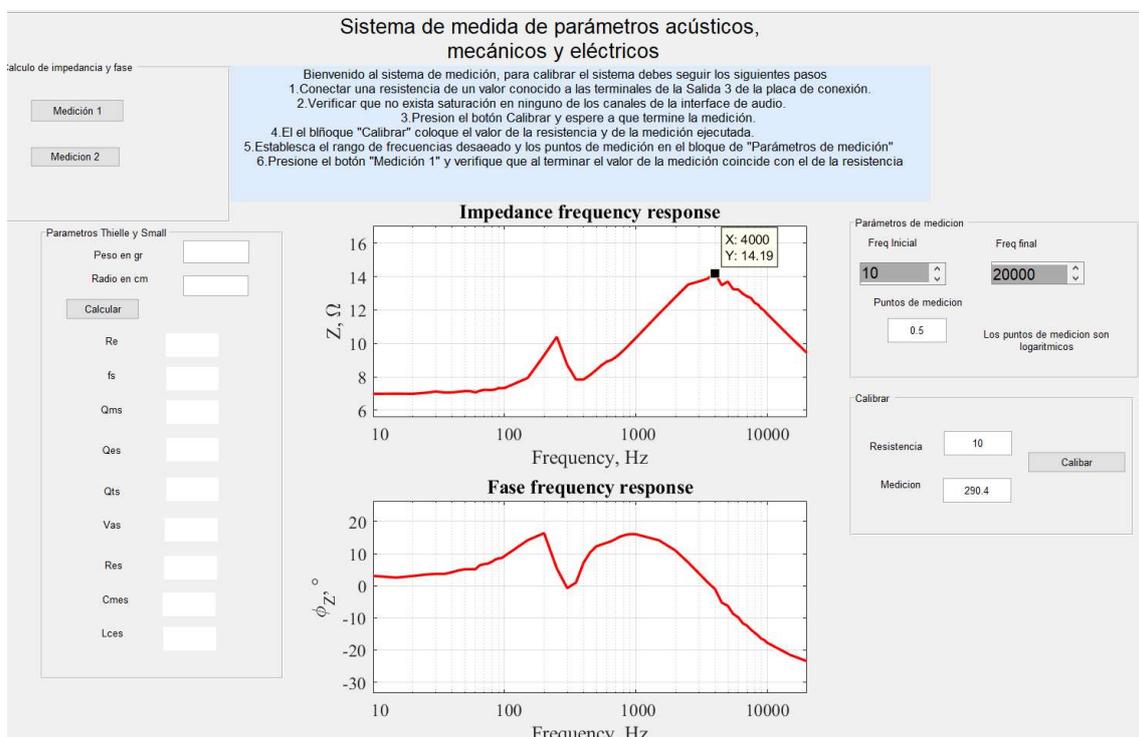


Figura 18. Interfaz de usuario del sistema

3.1.4 Calibración

Al momento de aplicar la adaptación del algoritmo se produjeron varios inconvenientes con respecto a la etapa de captura y procesamiento de los datos, como se había mencionado todo el proceso y ajuste de niveles recae en la tarjeta de audio. La interface al no ser un instrumento de precisión para adquisición de datos carece de características y funciones manipulables por el usuario las cuales son requeridas por el algoritmo por ende fue necesario realizar ajustes de nivel para que esta pudiera realizar las conversiones necesarias y procesar y limpiar los datos. Además, se añadió líneas de código y funciones que cumplan los procesos de los cuales carecía la interface de audio, todos estos son detallados a continuación

3.1.4.1 Ajustes de nivel

Los equipos utilizados en la cadena electroacústica son de uso comercial, al no ser instrumentos de precisión se dificulta la exactitud de niveles otorgados por estos, en nuestro caso todo el ajuste recae en la interface de audio. Se procedió a ajustar los niveles de entrada Line 1 y 2 de la interface en los cuales no cause saturación, en Line 1 se aplicó una atenuación de 0,1 voltios ya que este canal se encarga de recopilar los datos del voltaje amplificado que cruza por el *driver*.



Figura 19. Interface Avid Mbox mini.

Para el amplificador se ajustó la perilla de ganancia en nivel medio, pero este a la vez depende de la ganancia de salida de la interfaz.



Figura 20. Amplificador Crown XTi.

3.1.4.2 Parámetros de medición

La medición de impedancia en modulo y fase requiere de una señal que estimule el altavoz, para ello se procedió a enviar tonos frecuenciales de 0.5 segundos de duración. Para determinar el rango frecuencial de los tonos se creó un módulo de “Parámetros de medición”, en este se puede establecer la frecuencia inicial y la frecuencia final de la medición al igual que los saltos entre tonos Figura 21. Los puntos de medición son saltos en década esto se puede observar en la función *decade.m* en el Anexo 4.

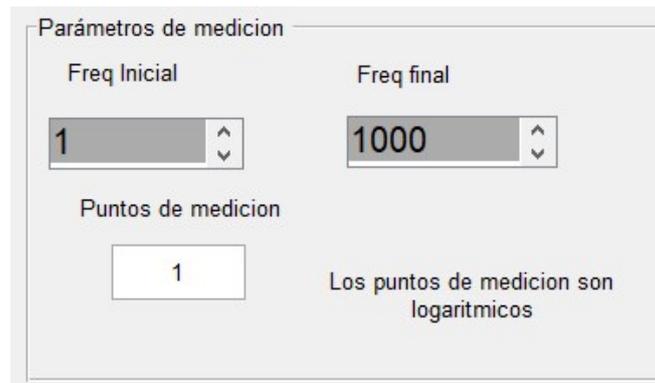


Figura 21. Parámetros de medición

3.1.4.3 Ajustes de magnitud de impedancia

Para corroborar una medición exacta de impedancia se precedió a conectar una resistencia de magnitud conocida a los terminales dedicados al *driver*, en nuestro caso se midió una resistencia de 10 ohmios.



Figura 22. Resistencia de calibración.

Al dar clic el botón calibrar en la interfaz de usuario de nuestro sistema de medida se ejecuta la función de calibración detallada en el Anexo 6. Como nos muestra

la Figura 23 la fase es correcta pero la magnitud de impedancia no corresponde a la resistencia de 10 ohmios medida.

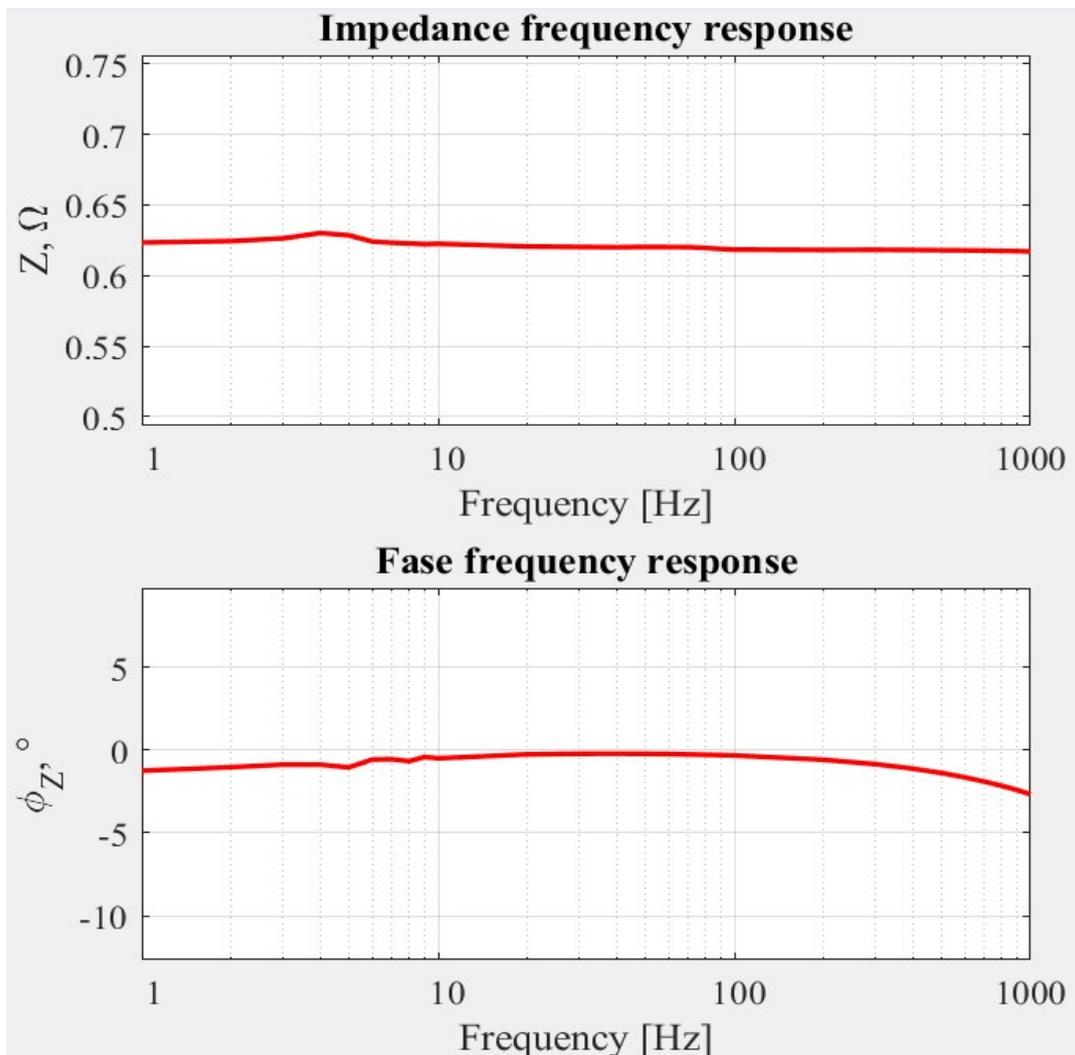


Figura 23. Medición de la resistencia.

Para la corrección de magnitud se creó el módulo de calibración en el cual establece los valores de la resistencia conectada y la magnitud de la impedancia de que nos entregó el sistema

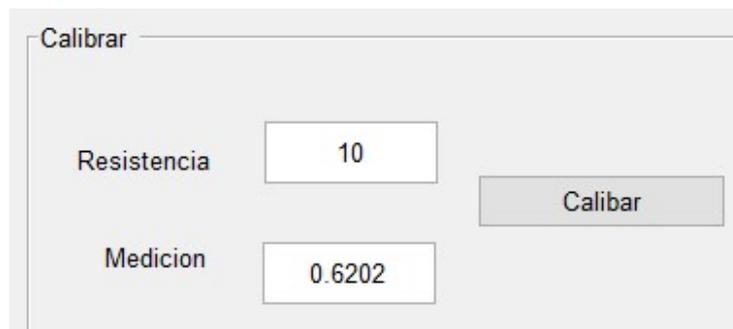


Figura 24. Módulo de calibración.

Una vez insertados los valores requeridos por el módulo de calibración se establecieron el rango de frecuencias y los saltos de medición, luego ejecutó la primera medición que nos muestra la magnitud correspondiente a la resistencia conectada.

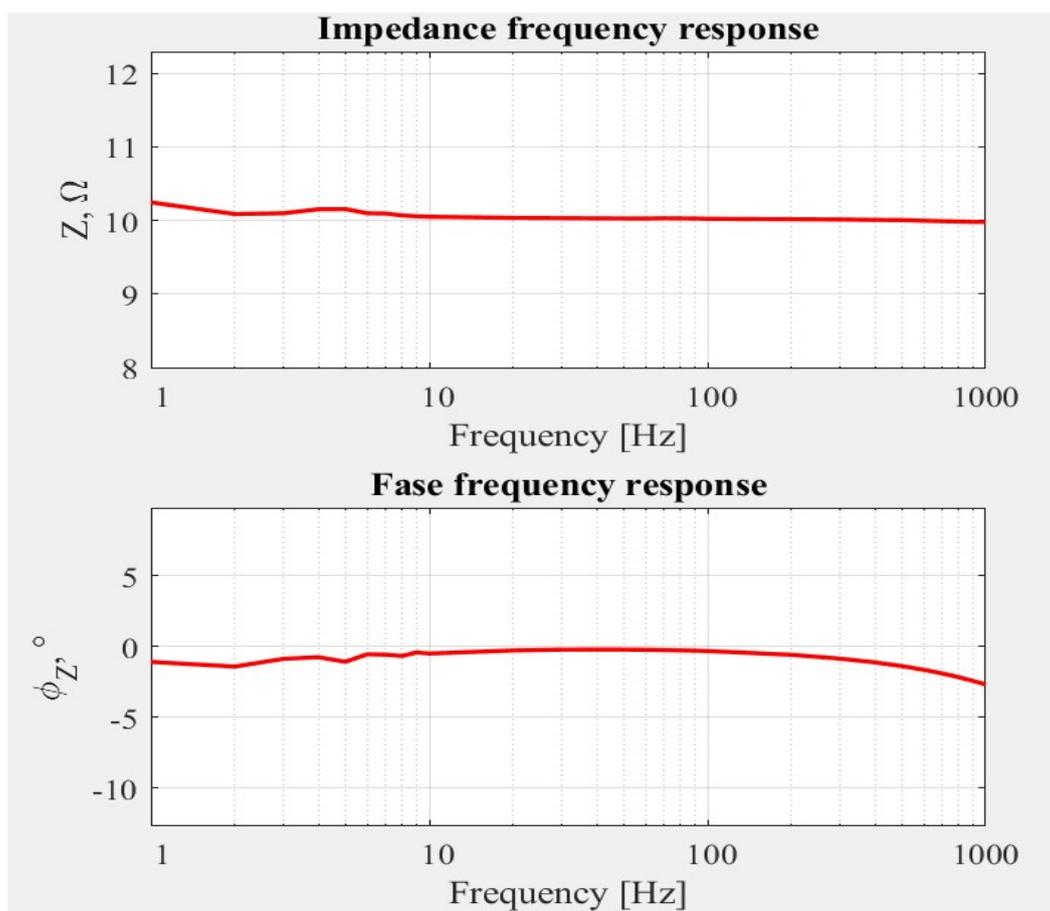


Figura 25. Sistema calibrado.

3.1.5 Medición de impedancia del driver con masa añadida

La función que cumple la masa añadida al cono del *driver* acústico es disminuir la frecuencia de resonancia, esta reducción debe de ser cercana a un 25 % para que el cálculo de los parámetros Thiele Small sea preciso.

Para añadir masa al cono se procedió a utilizar plastilina, se escogió este material por sus propiedades elásticas y su fácil modelamiento, esto ayuda a adoptar la forma del cono y que el peso se distribuya uniformemente en él. Es ideal que la masa añadida esta fija al cono para evitar vibraciones al momento en el que este se mueve para reproducir frecuencias.

Las masas añadidas fueron previamente pesadas, luego modeladas y adaptadas a la superficie del cono. Se formaron masas de 10, 50 y 100 gramos las cuales fueron pesadas en una balanza digital como muestra la figura 26



Figura 26. Masas de plastilina pesadas.

Para adaptar la masa al cono del *driver* se moldearon aros similares a la superficie del cono y se volvieron a pesar para comprobar la no existencia de pérdidas de masa al momento de ser moldeada.



Figura 27. Plastilina moldeada al cono.

Se acoplo con sumo cuidado la masa al cono sin corromperlo logrando que la distribución de la masa en el cono sea uniforme.



Figura 28. Masa añadida al cono.

3.1.6 Calculo de parámetros Thiele Small

Para calcular los parámetros mecánicos, eléctricos y acústicos de la fuente se utilizó la función ITA Thiele Small de Loud speaker Tools (Anexo 5) la cual requiere de la magnitud de impedancia del *driver* al aire libre (medición 1), la magnitud de impedancia del *driver* con una masa de valor conocido añadida al cono (medición 2), el radio del *driver* acústico y el peso de la masa añadida en gramos.

The image shows a software interface titled "Parametros Thiele y Small". It contains the following elements:

- Input field: "Peso en gr" (Weight in grams)
- Input field: "Radio en cm" (Radius in cm)
- Button: "Calcular" (Calculate)
- Output fields: "Re", "fs", "Qms", "Qes", "Qts", "Vas", "Res", "Cmes", and "Lces".

Figura 29. Módulo de parámetros Thiele Small.

3.2 Simulación e implementación de la fuente de infrasonido y baja frecuencia

3.2.1 Fuente de infrasonido y baja frecuencia

Hay estudios en los que se toma a las bajas frecuencias e infrasonidos como estímulos perceptibles y detallan como responde el oído humano a estos estímulos, esto ha dejado abierto un campo de investigación en la que las fuentes de infrasonido y bajas frecuencias son protagonistas. Es por ello por lo que el modelo e implementación de esta fuente pretende funcionar como un emisor de estímulos de baja frecuencia, que mediante una guía de onda acústica transfiera las bajas frecuencias e infrasonidos sin demasiada atenuación y llegue con un nivel óptimo al oído interno.

3.2.2 Características del driver

Para las mediciones del sistema se utilizó como fuente de baja frecuencia e infrasonido el *driver* acústico H1209-08 L26RFX / P de la marca SEAS PRESTIGE. Este *driver* posee un cono de aluminio de gran rigidez el cual lo provee de una mayor precisión al momento de reproducir frecuencias graves además posee una bobina móvil de alta temperatura de 5 cm de diámetro conformada de bobina de aluminio anodizado negro proporciona un manejo de alta potencia y una compresión de potencia reducida.

En las Figuras 30 y 31 observamos la forma y las dimensiones del *driver*. Las características que presentó el *driver* son las óptimas para la implementación de la fuente sus dimensiones lo proveen de una gran capacidad de reproducción de frecuencias bajas



Figura 30. Driver SEAS PRESTIGE H1209-08 L26RFX.

Tomado de (Seas Prestige, s.f).

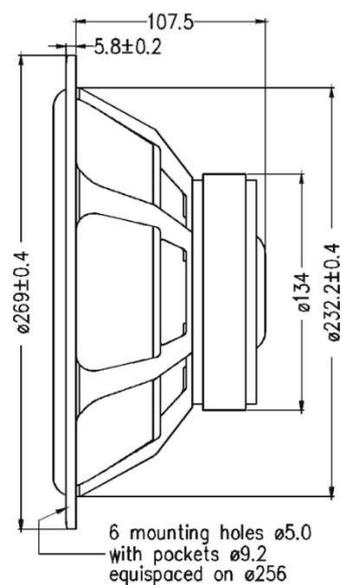


Figura 31. Dimensiones del driver

Tomado de (Seas Prestige, s.f)

En la Figura 32 se nos presenta los valores de los parámetros Thiele Small, el volumen de aire equivalente a la compliancia de la suspensión (V_{as}) nos permite ver el comportamiento del *driver* como un resorte capaz, el poseer un Q_{ts} de valor bajo nos permite modificar la frecuencia de resonancia la cual está situada en los 20 [Hz].

Nominal Impedance	8 Ohms	Voice Coil Resistance	6.3 Ohms
Recommended Frequency Range	20 - 1000 Hz	Voice Coil Inductance	1.83 mH
Short Term Power Handling *	300 W	Force Factor	10.7 N/A
Long Term Power Handling *	125 W	Free Air Resonance	20 Hz
Characteristic Sensitivity (2,83V, 1m)	88 dB	Moving Mass	53.0 g
Voice Coil Diameter	51 mm	Air Load Mass In IEC Baffle	3.48 g
Voice Coil Height	20 mm	Suspension Compliance	1.2 mm/N
Air Gap Height	6 mm	Suspension Mechanical Resistance	3.3 Ns/m
Linear Coil Travel (p-p)	14 mm	Effective Piston Area	330 cm ²
Maximum Coil Travel (p-p)	35 mm	VAS	171 Litres
Magnetic Gap Flux Density	1.23 T	QMS	2.15
Magnet Weight	1.30 kg	QES	0.39
Total Weight	4.05 kg	QTS	0.33

Figura 32. Parámetros Thiele Small del *driver*.

Tomado de (*Seas Prestige*, s.f).

Como se observa en la Figura 33 la curva de impedancia del *driver* (curva roja), nos refleja en rango efectivo de frecuencias en el cual podemos trabajar, como el presente trabajo pretende medir una fuente de baja frecuencia e infrasonido fue de suma importancia desplazar y disminuir la frecuencia de resonancia para la correcta aplicación de nuestros objetivos

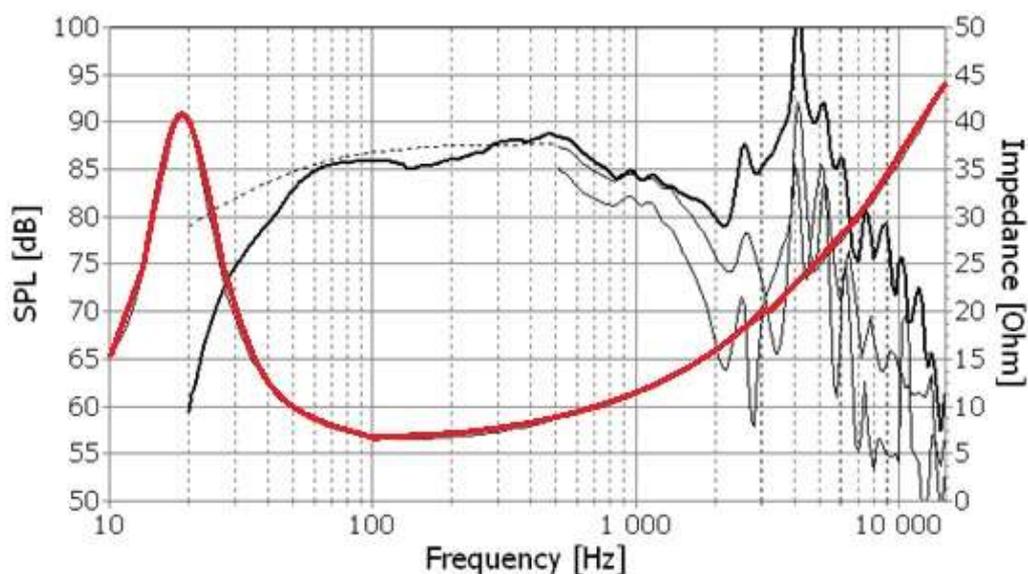


Figura 33. Curva de impedancia y respuesta en frecuencia del *driver*

Tomado de (*Seas Prestige*, s.f).

3.2.3 Modelo teórico de una línea de transmisión (LTX)

Para obtener una fuente capaz de reproducir baja frecuencia e infrasonido se implementó un modelo teórico que utiliza la aproximación de la función Struve H1 que ocurre en los cálculos de impedancia (Aarts & Janssen, 2003), con esta función se establece los parámetros para modelar un altavoz en un rango de frecuencias ya que lo interpreta como un pistón rígido y la función genera una aproximación efectiva que valida todas las impedancias conocidas.

Ya que la fuente requiere una guía de onda acústica se optó por el modelo de líneas de transmisión ya que estudios como el de Faculty y Robinson en los cuales detallan el funcionamiento de una LTX mediante un análisis electroacústico y como las líneas de transmisión disminuyen la frecuencia de resonancia de un *driver* todo esto con modelos teóricos medidos y comprobados (Faculty & Robinson, 2007).

Se diseñó un modelo de la respuesta de la impedancia en un tubo, tal que esta sea capaz de disminuir la frecuencia de resonancia del *driver* y ampliar el rango de bajas frecuencias con lo cual sea idóneo para investigaciones en ese rango de frecuencias. La figura 34 muestra los parámetros empleados para la simulación.

```

%% LTX
L=10;           % longitud de la linea de transmision en metros
al=0.02 ;      % radio de la linea tx en metros
S1=pi*al^2;    % seccion trasversal de la linea tx
c0=343;        % velocidad de propagacion del sonido en el aire.
d0=1.29 ;      % densidad del aire kg/m3
k=w./c0;       % numero de onda
%impedancia de radiacion tubo abierto
[R,X]=fun_zRadBS(f,al);
Zl=d0*c0*S1.*(R+1i.*X);
%impedancia intrinseca que ve el pistón al inicio del tubo SIN RELLENO (More)
Zc=(d0*c0)/S1;

%impedancia de entrada que se ve en la linea de transmision
Num_ZinLtx= Zl+j.*Zc.*tan(k.*L);
Den_ZinLtx= Zc+j.*Zl.*tan(k.*L);
ZinLtx=Zc.*(Num_ZinLtx./Den_ZinLtx);

```

Figura 34. Valores de simulación de la LTX.

En la Figura 35 observamos los resultados de la simulación del modelo teórico de líneas de transmisión con ello podemos estimar el comportamiento de la impedancia del tubo o LTX que será adaptado a nuestro *driver*.

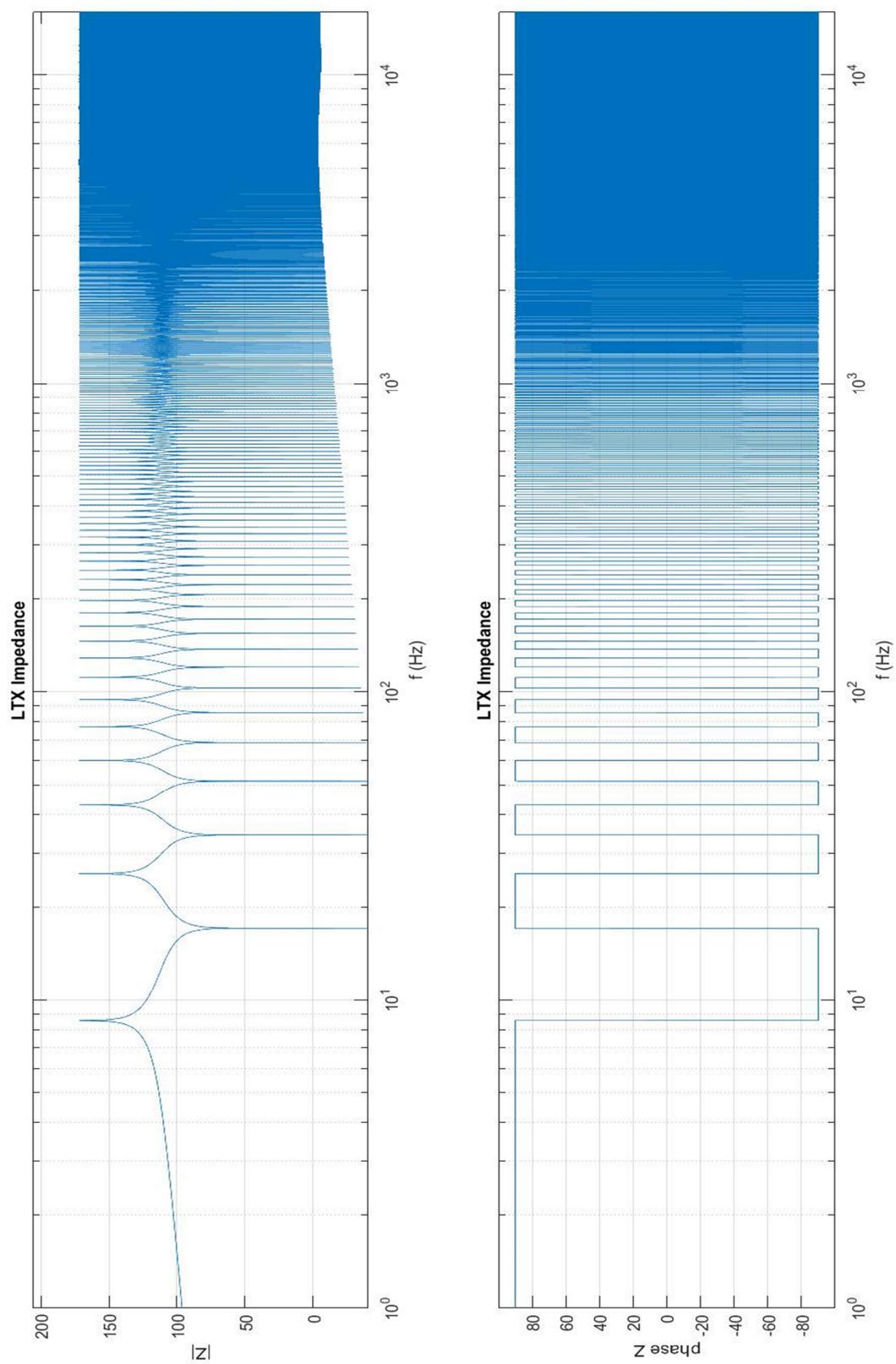


Figura 35. Impedancia de la LTX.

3.2.4 Simulación e implementación del driver adaptado a la línea de Transmisión.

Para la implementación de una fuente de baja frecuencia e infrasonido es necesario que el *driver* que la compone tenga el rango idóneo, en nuestro caso el *driver* establece una frecuencia de resonancia de 20 [Hz] y la línea de transmisión pretende disminuir dicha de frecuencia para optimizar la fuente en rangos de baja frecuencia.

Como se observa en la figura 36 la simulación pretende que la fuente tenga un trabajo óptimo a partir de la frecuencia de resonancia establecida en 1.4 [Hz] este modelo no contempla la absorción producida por la línea de transmisión, tampoco el cambio de impedancia para el acoplamiento de la línea de transmisión hacia el oído medio el cual requiere una adaptación extremadamente pequeña.

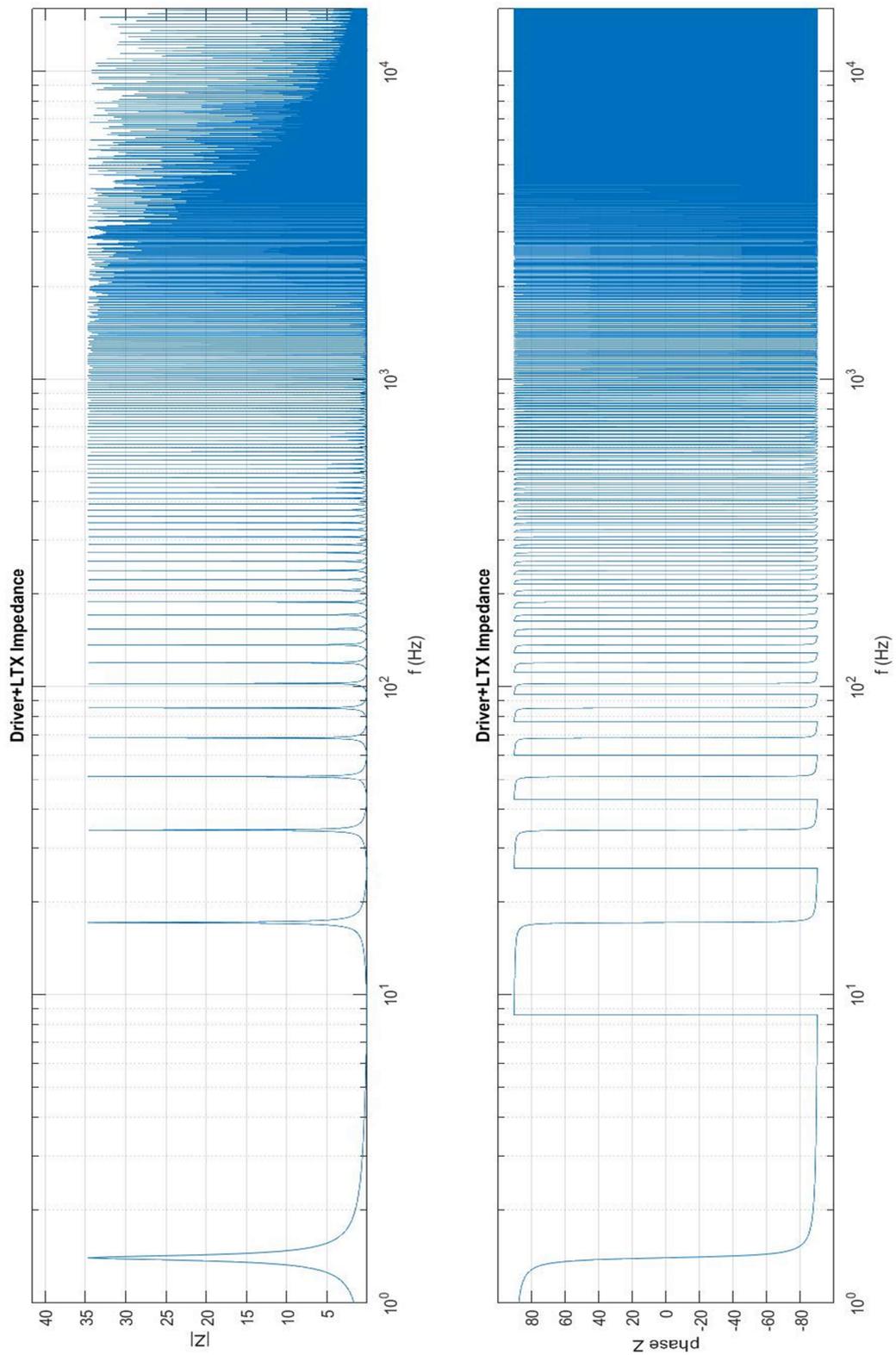


Figura 36. Impedancia del *driver* con la adaptación de la LTX.



Figura 37. Adaptación de la LTX al driver.

El sistema simulado no contempla la variación de impedancia producida por las adaptaciones de los tubos es por ello por lo que se verán las variaciones de impedancia reflejadas al momento de medirla con el sistema de medida.



Figura 38. Reducción de la LTX.



Figura 39. Segunda reducción del espesor de la LTX.



Figura 40. Reducción final de la LTX.

3.3 Nivel de presión sonora de la fuente de infrasonido y baja frecuencia

Para el proceso de medición del nivel de presión sonora de la fuente de infrasonido se utilizó los procesos de calibración y medición del proyecto de investigación EARs II dirigido por el PhD Carlos Jurado, quien con su proyecto

pretende detallar los efectos de los estímulos de baja frecuencia e infrasonido en los seres humanos.

3.3.1 Calibración

Este proceso se realizó con el algoritmo de calibración disponible en MATLAB y con la ayuda de un calibrador CESVA CB006 y un micrófono de medición G.R.A.S 46AZ.



Figura 41. Adaptación de jeringa al micrófono de medición conectado a la interface FireFace.

Tomado de (Cevallos & Velasco, 2019).

4. Capítulo IV. Resultados

En el presente capítulo se expondrán los resultados obtenidos en las mediciones realizadas por el sistema además se realizará una comparación entre la impedancia del *driver* medida y simulada.

4.1 Parámetros Thiele Small medidos vs otorgados por el fabricante

Los parámetros Thiele Small son una aplicación de las mediciones de impedancia y nos definen el rendimiento de baja frecuencia especificado por el driver, el cálculo de estos parámetros se efectúa con los datos comprendidos por la frecuencia de resonancia y las frecuencias por debajo de esta.

Tabla 2.

Parámetros Thiele Small.

Parámetros Thiele Small		
Dato	Valor referencia	Valor medido
Re (ohms)	8	7,7
Fs (Hz)	20	23
Qms	2,15	2,71
Qes	0,39	0,37
Qts	0,33	0,36
Vas(lt)	171	162
Res(ohms)	6,3	6,17
Cmes	1,2	1,4
Lces(mH)	1,83	1,53

La tabla 1 nos muestra los valores de los parámetros Thiele Small obtenidos a través de la medición y los que el fabricante del *driver* nos proporciona. Uno de los valores a discutir es el de la frecuencia de resonancia que se establece en 23 [Hz] y puede deberse a que la medición se realiza con un amplificador lo cual no es un método común y que las empresas que fabrican altavoces no lo usan. El resto de los valores no reciben cambios significativos pero que nos ayudan a precisar la simulación de cajas acústicas y líneas de transmisión para crear fuentes de baja frecuencia.

4.2 Curva de impedancia en módulo y fase del driver al aire libre

Para complementar las mediciones de impedancia se procedió a medir el comportamiento del *driver* al ejecutar frecuencias de infrasonido y se estableció

los parámetros de medición en un rango de frecuencias entre 1[Hz] y 20[kHz] con saltos logarítmicos de 1 [Hz].

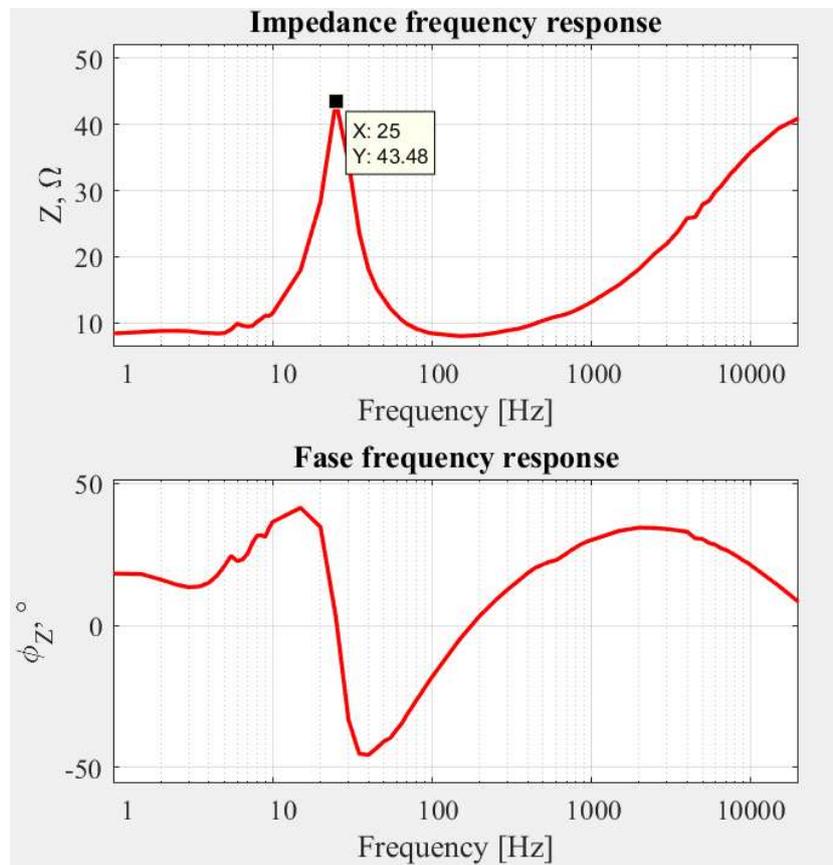


Figura 42. Impedancia y fase medidos 1Hz a 1 kHz.

La Figura 42 posee una curva de impedancia similar a la entregada por el fabricante, pero en nuestro caso la frecuencia de resonancia se encuentra en 25 [Hz] con una impedancia con módulo de 43.48 ohmios, en cambio el manual del *driver* en la Figura 33 establece una frecuencia de resonancia en 20 [Hz] con un módulo de 40 ohmios.

4.3 Impedancia del driver con masa añadida

Conforme con los pasos para el cálculo de los parámetros Thiele Small se procedió a medir la impedancia con una masa añadida al cono. Se añadió masas de diferente peso para poder obtener la reducción necesaria en la frecuencia de resonancia, en este caso la masa que logró la reducción ideal fue de 50 gramos, esto se debe a que el *driver* está diseñado para operar en bajas frecuencias y la proporción entre la masa añadida y la masa del cono.

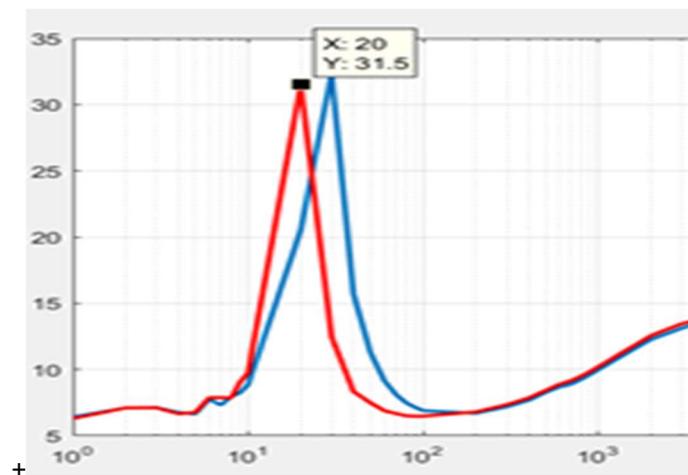


Figura 43. Frecuencia de resonancia del *driver* al aire libre y con masa añadida.

La figura 43 muestra la impedancia del *driver* al aire libre (señal azul) y la impedancia con masa añadida (señal roja) con una frecuencia de resonancia en 20 Hz lo que cumple con la reducción de un 25% a la frecuencia de resonancia al aire libre que fue de 25 [Hz]. Esto se debe a que la frecuencia de resonancia depende de la elasticidad de suspensión y la masa móvil.

4.4 Medición de la curva de impedancia en módulo y fase del driver con la adaptación del LTX.

Para analizar el funcionamiento de línea de transmisión y verificar que la simulación cumpla con la reducción de la frecuencia de resonancia y la magnitud

de esta. Las mediciones se realizaron con un rango de frecuencias entre 1 [Hz] y 20 [kHz].

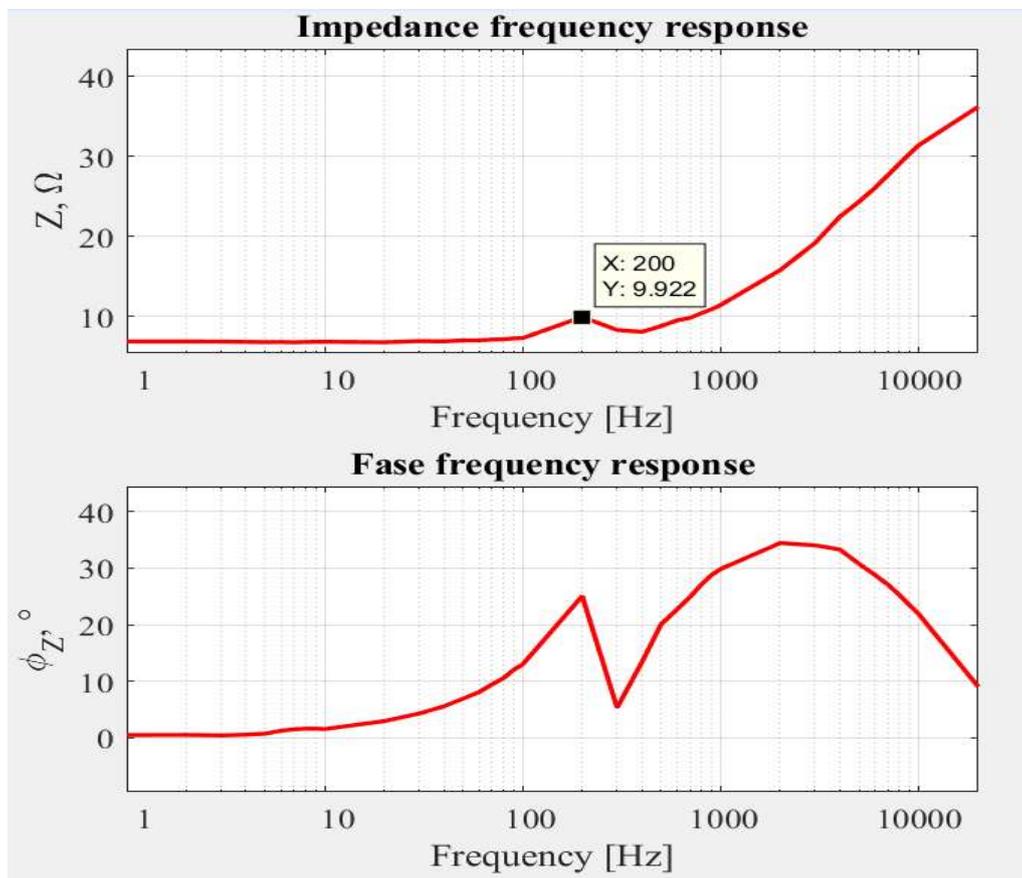


Figura 44. Impedancia y fase del *driver* adaptado a la LTX

En la Figura 44 se determina que la magnitud de la impedancia se redujo a su valor nominal de 8 ohmios en un rango de 1[Hz] a 100 [Hz]. Este rango es el requerido por la fuente, pero se distancia bastante de los datos entregados por la simulación Figura 36, esto se debe a que lo simulado no contempla varios parámetros como la absorción del material de la línea de transmisión, las impedancias de acoplamiento y la estructura del cono.

4.5 Medición de respuesta en frecuencia y distorsión armónica del *driver* con la adaptación del LTX.

Para comprobar el funcionamiento de la fuente de infrasonido y baja frecuencia se midió su respuesta en frecuencia y su distorsión armónica. En la Figura 45 se puede observar que el nivel de presión sonora llega a alcanzar los 140 [dB], encontramos que las caídas de nivel se establecen en frecuencias pares: 20 [Hz], 40 [Hz], 60 [Hz], 80 [Hz] y 100[Hz]. La caída de nivel no supera los 10 [dB] por lo que es aceptable para estimular el oído interno sin demasiada atenuación.

La Figura 45 también nos muestra que la distorsión armónica es idónea en casi todo el rango de bajas frecuencias, con lo que aseguramos que la señal llegue sin alteraciones frecuenciales que puedan confundir al receptor.

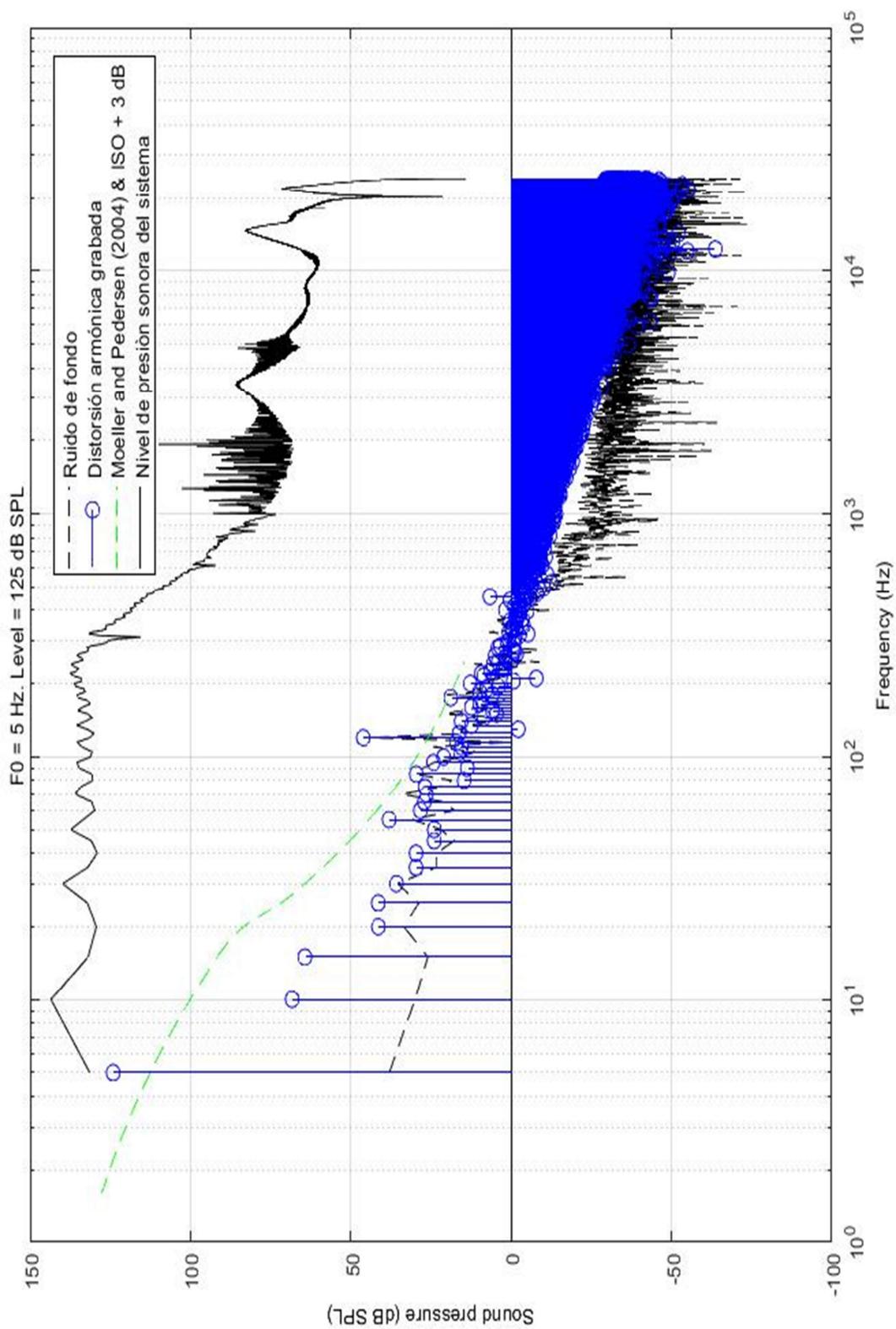


Figura 45. Medición del nivel de presión sonora de la fuente de infrasonido y baja frecuencia.

5. Capítulo V. Optimizaciones

5.1 Alcance

La presente investigación se cimenta en la creación de una fuente de baja frecuencia e infrasonido y un sistema de evaluación automático de parámetros Thiele – Small en el laboratorio de electroacústica de la Universidad de las Américas. El sistema es capaz de obtener la curva de Impedancia en modulo y fase frecuencial por medio de una tarjeta de sonido y un algoritmo implementado en Matlab. El algoritmo puede obtener los parámetros mecánicos eléctricos y acústicos de un *driver* y la impedancia en modulo y fase de cualquier fuente de infrasonido y baja frecuencia al igual que de diversos *drivers* con cajas acústicas o líneas de transmisión.

5.2 Líneas futuras

Para la optimización del sistema de medición se pretende agilizar los procesos de medición. El tiempo que toma realizar las mediciones depende del rango y saltos frecuenciales, esto tiene un tiempo estimado de 10 a 15 minutos por lo que es un tiempo relativamente alto. Se pretende reducir el tiempo de medición, cambiando la señal que estimula al *driver*.

Una señal *Swept Sine Chirp* es capaz de excitar varias frecuencias a la vez. Una señal de 32k de muestras generada en una tasa de muestreo a 64 [kHz] puede excitar 16.000 frecuencias diferentes en tan solo medio segundo. Esto resulta en tasas de medición mucho más rápidas (Chan, 2010).

Las señales chirp pueden ser aplicadas dentro del sistemas, ya que se pueden usar para realizar mediciones muy rápidas en comparación con el barrido sinusoidal ya usado en el sistema. Además, la *speed chirp* es capaz de generar

un espectro de frecuencia personalizado con un factor de cresta bajo, indispensable para las mediciones de los diversos *drivers*,

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

El sistema de medida de parámetros mecánicos, eléctricos y acústicos de fuentes de infrasonido y baja frecuencia cumple con su propósito y esto se ve demostrado en todas sus etapas. Al calcular la impedancia del *driver* se logra que las curvas entregadas por el sistema sean parecidas a las del fabricante, cabe recalcar que el método de función de transferencia utilizado por el sistema es el método de medición más preciso (Temme & Tatarunis, s.f).

La frecuencia de resonancia del *driver* varía por el uso de una etapa amplificada y nos muestra el verdadero comportamiento del *driver*, al ser utilizado en un sistema de amplificado. Otra de las razones de la variación es que no se tiene información sobre el método de evaluación de la impedancia realizado por el fabricante, esto implica un método de cálculo y señal diferente. Lo cual se debe a que la impedancia máxima disminuye en proporción que el nivel aumenta.

El modelo teórico de diseño de líneas de transmisión no concuerda con las mediciones de impedancia, esto es porque la simulación carece de datos que emulen completamente el sistema; como es el acoplamiento de impedancia en tubos y la influencia de material absorbente, además el cono del *driver* con el que se trabajó no presenta una conexión acústica (de aire) entre la parte frontal y posterior. Para nada similar al modelo de pistón rígido como el que se determina la simulación de impedancias.

Las líneas de transmisión cumplen con los requisitos de diseño el cual es disminuir la frecuencia de resonancia a casi 1 Hz con lo que otorga a la fuente un rango de efectividad en bajas frecuencia e infrasonidos. Gracias a la medición de respuesta en frecuencia y distorsión armónica comprobamos; que la simulación se asemeja a los resultados de medición. Es decir que las frecuencias donde hay mayor impedancia Figura 36 casi concuerdan con las caídas de nivel de presión sonora de la Figura 45.

La fuente de infrasonido y baja frecuencia cumple con todos los parámetros de diseño, su rango de funcionamiento idóneo se encuentra entre 1[Hz] y 100 [Hz]. Esto es comprobable con las mediciones de impedancia y respuesta en frecuencia que se observan en las Figuras 44 y 45. El nivel de presión sonora es óptimo para reproducir bajas frecuencias e infrasonidos, por lo que cumple con la función de llegar al oído interno sin que llegue a atenuarse demasiado.

6.2 Recomendaciones

Al no existir una normativa para la medición de impedancia, se sugiere que las mediciones realizadas por el sistema posean parámetros de medición se establezcan según el uso de la fuente, esto corresponde a los saltos de medición y en específico al rango de frecuencias. Este puede ser establecido entre 1[Hz] a 20 [kHz].

Se recomienda que la masa que va a ser añadida al cono del *driver* para la medición 2 sea: compacta y moldeable ya que es necesario que la distribución del peso en el cono sea uniforme, además esta debe estar pegada al cono para evitar vibraciones no deseadas en él al momento de la medición. Todo lo mencionado crea un ambiente idóneo en el cual las imprecisiones son mínimas.

Al momento de realizar el proceso de medición de impedancia para calcular los parámetros Thiele Small es recomendable ajustar los puntos de medición en el valor de 0.1 ya que con ello se provee a la función ITA_Thielle_small (Anexo 6) de un mayor número de datos para que esta sea más precisa en sus resultados.

Para una mayor eficiencia del sistema se recomienda la adaptación de un amplificador de respuesta plana. Este tipo de amplificadores aportan una mínima variación de nivel con respecto a la frecuencia, por lo que son idóneos para sistemas de medición en donde la precisión es un requerimiento primordial.

REFERENCIAS

- Aarts, R. M., & Janssen, A. J. E. M. (2003). *Approximation of the Struve function H_1 occurring in impedance calculations. The Journal of the Acoustical Society of America*, 113(5), 2635–2637. <https://doi.org/10.1121/1.1564019>
- Cevallos, I., & Velasco, J. (2019). CARACTERIZACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DE INTENSIDAD DEL RUIDO FLUCTUANTE DE BAJA FRECUENCIA. In Universidad de las Americas (pp. 5–10)
- Chan, I. H. (2010). *Swept Sine Chirps for Measuring Impulse Response Abstract | TechOnline. Stanford Research Systems*, 1–6. [http://www.thinksrs.com/downloads/PDFs/Application Notes/SR1_SweptSine.pdf](http://www.thinksrs.com/downloads/PDFs/Application%20Notes/SR1_SweptSine.pdf)
- Faculty, T. A., & Robinson, R. A. (2007). *An electroacoustic analysis of transmission line loudspeakers. Mechanical Engineering*, May
- Klippel, W., Schlechter, J., Thorborg, K., Futtrup, C., Poo Barrera, C. A., Fernandez, N., Antônio, A., Alves, H., Pereira, P., Temme, S., Tatarunis, S., Struck, C. J., Temme, S., Dobos, V., Thorborg, K., Tinggaard, C., Agerkvist, F., Futtrup, A. C., Audio, A. N., ... Fröhlich, T. (2014). ZFIT: A Matlab Tool for Thiele-Small Parameter Fitting and Optimization. *AES: Journal of the Audio Engineering Society*, 2446(10), 1–6. <https://doi.org/10.17743/jaes.2014.0036>
- Miyara, F. (1999). Control de ruido, Fundación Decibel, Asolofal, Buenos Aires. Argentina

- Miyara, F. (2007). Introducción a la psicoacústica. Recuperado de <https://www.analfatecnicos.net/archivos/04.IntroduccionPsicoacusticaF edericoMiyara.pdf>
- Moller, H., y Pedersen, C. S. (2004). *Hearing at low and infrasonic frequencies. Noise and health*, 6(23), 37. Recuperado de <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2004/6/23/37/31664>
- Parámetros Thiele-Small – Equaphon University. (s.f). Recuperado el 12 de enero de 2020 de <http://www.equaphon-university.net/parametros-thiele-small/>.
- Poo Barrera, C. A. (2002). Infrasonidos y ondas acústicas de gravedad. 98.
- Pueo, Basilio; Romá, Miguel .Electroacústica: altavoces y micrófonos Pretince-Hall ediciones .Madrid ,2003
- Seas Prestige. (s.f). Recuperado el 11 de enero de 2020 de http://www.seas.no/images/stories/prestige/pdfdatasheet/h1209_l26rfx_p_datasheet.pdf
- Struck, C. J. (1987). *Determination of the Thiele - Small Parameters Using Two-Channel FFT Analysis. Engineering*, 1, 1–6. <http://www.bksv.com/doc/bo0202.pdf>
- Temme, S., & Tatarunis, S. (s.f). *Practical Impedance Measurement Using SoundCheck* (pp. 1–12). https://support.listeninc.com/hc/en-us/article_attachments/115004773746/technote_Practical_Impedance_Measurement_Using_SoundCheck.pdf
- Zhivomirov, H., & LLiev, LI. (2015). *IMPEDANCE FREQUENCY RESPONSE MEASUREMENT WITH MATLAB. Journal of the Technical University of Gabrovo*, 52, 61–65.

ANEXOS

Anexo 1. Características del amplificador



XTi Series



XTI SERIES



The XTi Series of Crown® amplifiers are professional tools designed and built for portable PA applications. The series includes four models which are similar except for output power: XTi 1000, 2000, 4000 and 6000. All are rugged and lightweight, and offer unmatched value in their class.

XTi-Series amplifiers feature an LCD screen with speaker presets for crossover frequencies, EQ, limiting, delay, and a subharmonic synthesizer. Other features include a switch-mode universal power supply, useful function indicators, proportional-speed fan-assisted cooling, XLR inputs, Speakon® and binding-post outputs, short-circuit protection and more.

With their powerful, reliable performance, XTi-Series amps easily handle 2-ohm loads and are capable of chest-thumping lows. Plus, your investment in an XTi-Series amplifier is backed by Crown's Three-Year, No-Fault, Fully Transferable Warranty.

For more details about the Crown XTi Series, contact the Crown Technical Support Group at 800-342-6939 or 574-294-8200. Also, visit the Crown Audio website at www.crownaudio.com.

Specifications

Output Power: See power charts below.

Voltage Gain at 1kHz:

XTi 1000:	30.5 dB
XTi 2000:	32.9 dB
XTi 4000:	34.2 dB
XTi 6000:	37.1 dB

Frequency Response: +0/-1 dB from 20 Hz to 20 kHz at 1 watt into 4 ohms.

Load Impedance: Safe with all types of loads. Rated for 2 to 8 ohms in Stereo mode, 4 to 16 ohms in Bridge-Mono mode. The XTi 1000 A1 (100V version) is rated for 4 to 8 ohms Stereo, 8 to 16 ohms Bridge Mono.

Sensitivity: 1.4V

Signal to Noise Ratio (below rated 1 kHz power at 8 ohms): XTi 1K, 2K, 4K: 100 dB (A weighted). XTi 6K: 103 dB (A weighted).

Damping Factor: Better than 500 from 20 Hz to 400 Hz.

Crosstalk: > 70 dB below rated power, 20 Hz to 1 kHz.

Input Stage: Input is electronically balanced and employs precision 1% resistors.

Input Impedance (nominal): 20 k ohms, balanced; 10 k ohms, unbalanced.

Maximum Input Signal: +22 dBu typical.

Features

- Integrated speaker presets with LCD front panel display
- Accurate, uncolored sound with very low distortion for the best in music and voice reproduction
- Advanced protection circuitry guards against shorted outputs, open circuits, DC, mismatched loads, general overheating, high-frequency overloads and internal faults
- Extremely versatile, handling a wide range of speaker impedances and outputs
- Switch-mode universal power supply
- Speaker presets for crossover frequencies, EQ, limiting, and delay
- All products fill 2U rack spaces and weigh under 19 lb (24 lb for XTi 6000); weight sets a new standard in lightweight amps
- Speakon® and binding post outputs, XLR inputs and loop-thrus
- Comprehensive LED status per channel
- Three-Year, No-Fault, Fully Transferable Warranty completely protects your investment and guarantees its specifications

AC Line Voltage and I-frequency Configurations Available: 100V, 120V, 220-240V 50/60 Hz.

AC Line Current (120VAC amplifier playing 1/8 power pink noise into 4 ohms per ch):
XTi 1000: 6.8A, XTi 2000: 8.3A, XTi 4000:
10.5A; at idle draws no more than 38 watts.

XTi 6000: 15.3A; at idle draws no more than 180 watts.

Operating Temperature: 0° C to 40° C at 95% relative humidity (non-condensing).

XTi 4000

	1 kHz Power
2 ohm Stereo (per channel)	1,600W*
4 ohm Stereo (per channel)	1,200W
8 ohm Stereo (per channel)	650W
4 ohm Bridge-Mono	3,200W*
8 ohm Bridge-Mono	2,400W

With 0.5% THD.
*With 1% THD.

XTi 1000

	1 kHz Power
2 ohm Stereo (per channel)	700W*†
4 ohm Stereo (per channel)	500W
8 ohm Stereo (per channel)	275W
4 ohm Bridge-Mono	1,400W*†
8 ohm Bridge-Mono	1,000W

With 0.5% THD.
*With 1% THD.
†Not rated for 100V versions.

XTi 6000

	1 kHz Power
2 ohm Stereo (per channel)	3,000W*
4 ohm Stereo (per channel)	2,100W
8 ohm Stereo (per channel)	1,200W
4 ohm Bridge-Mono	6,000W*
8 ohm Bridge-Mono	4,200W

With 0.5% THD.
*With 1% THD.

XTi 2000

	1 kHz Power
2 ohm Stereo (per channel)	1,000W*
4 ohm Stereo (per channel)	800W
8 ohm Stereo (per channel)	475W
4 ohm Bridge-Mono	2,000W*
8 ohm Bridge-Mono	1,600W

With 0.5% THD.
*With 1% THD.



XTi 1000, 2000, 4000 back panel



XTi 6000 back panel

DSP Section

Input EQ: 6 parametric filters per channel with adjustable Q, ± 15 dB boost/cut. Also adjustable high and low shelving filters. This 8-filter EQ section can be bypassed.

Crossover Filters: Highpass and lowpass per channel. Butterworth 6/12/18/24 dB per octave. Linkwitz-Riley 24/48 dB per octave. Also includes ± 15 dB bandpass gain and polarity control.

Delay: For signal alignment of driver; 50 mS total delay.

Subharmonic Synthesizer: Takes the low-frequency content of the input signal and "synthesizes" a new signal that is the same as the input signal but one octave lower. The new synthesized signal is then mixed with the original signal to create the effect.

Output Limiter: Prevents clipping.

Presets: 20 presets, 19 of which are user-definable.

Front Panel Controls and Indicators

Level: Detented rotary level control, one per channel.

Power Switch: On/off switch applies AC power to the amplifier.

Sel/Prev/Next Buttons: Three buttons near the LCD screen are used to access menu items and front panel lockout.

LCD Screen: Backlit liquid crystal display shows speaker presets.

Signal Indicator: Green LED, one per channel, illuminates when a very low-level signal is present at input. May be used for troubleshooting cable runs.

-10 Indicator: Green LED flashes when output signal exceeds -10 dB below clip.

-20 Indicator: Green LED flashes when output signal level exceeds -20 dB below clip.

Ready Indicator: Green LED, one per channel, illuminates when the amplifier is ready to produce audio.

Clip Indicator: Red LED, one per channel, turns on at the threshold of audible distortion.

Temp Indicator: Red LED, one per channel, illuminates under excessive temperature conditions.

Power Indicator: Blue LED illuminates when the amplifier has been turned on and has power.

Rear Panel Controls and Connectors

AC Line Connector:

XTi 1K, 2K, 4K: NEMA 5-15P (15A).

XTi 6K: NEMA 6-20P (20A)

IEC C20 (20A)

Input Connector: XLR, one per channel.

Link/Out Connector: Loop-thru signal from input connector for linking to another amplifier, one per channel.

Output Connectors: Two Neutrik® Speakon® NL4MP (mates with NL4FC) output connectors. Channel-1 Speakon® is wired with Ch. 1 and Ch. 2 outputs for use with optional single

XTi Series

4-conductor cable. Two binding post outputs (in parallel with Speakon® connectors).

HiNet USB Connector: Type B, connects to a HiNet network.

Protection

XTi-Series amplifiers are protected against shorted, open or mismatched loads; overloaded power supplies; excessive temperature; chain destruction phenomena; excessive output current; input overload damage; and high-frequency blowups. They also protect loudspeakers from input/output DC, large or dangerous DC offsets and turn-on/turn-off transients.

Construction

Chassis: Steel.

Cooling: Proportional speed fan with front-to-rear airflow.

Dimensions: EIA Standard 19-in. rack mount width (EIA RS-310-B), 3.5 in. (8.9 cm) high and 12.25 in. (31.11 cm) deep behind mounting surface. XTi 6000 is 16.2 in. (41.15 cm) deep.

Net Weight:

XTi 1K, 2K, 4K: 18.5 lb (8.4 kg).

XTi 6K: 24.0 lb (10.9 kg).

Shipping Weight:

XTi 1K, 2K, 4K: 21.5 lb (9.8 kg).

XTi 6K: 30.0 lb (13.6 kg).

Optional Accessory:

Rear rack-ear support for XTi 6000.



crown
by HARMAN

Crown International
1718 W. Mishawaka Rd.
Elkhart, IN 46517-9439
TEL: 574-294-8200
FAX: 574-294-8FAX
www.crownaudio.com

Specifications subject to change without prior notice. Latest information available at www.crownaudio.com.

Crown and Crown Audio are registered trademarks of Crown International. Other trademarks are the property of their respective owners. ©2008 Crown Audio, Inc. Printed in U.S.A.

©2003 Crown Audio, Inc.

3/09

139472-3

Crown's Three-Year, No-Fault, Fully Transferable Warranty

Crown offers a Three-Year, No-Fault, Fully Transferable Warranty for every new Crown amplifier—an unsurpassed industry standard. With this unprecedented No-Fault protection, your new Crown amplifier is warranted to meet or exceed original specifications for the first three years of ownership. During this time, if your amplifier fails, or does not perform to original specifications, it will be repaired or replaced at our expense. About the only things not covered by this warranty are those losses normally covered by insurance and those caused by intentional abuse. And the coverage is transferable, should you sell your amplifier.

See your authorized Crown dealer for full warranty disclosure and details. For customers outside of the USA, please contact your authorized Crown distributor for warranty information or call 574-294-8200.

Anexo 2. Características de la interfaz

capítulo 2

Descripción general del hardware Mbox Mini

Características del panel frontal de Mbox Mini

En la Figura 1 se identifican los controles, los indicadores y los puertos de entrada y salida del panel frontal de Mbox Mini.



Figura 1. Panel frontal de Mbox Mini

Diales de Gain/Pad -20 dB 1

Esta rueda ajusta el nivel de ganancia de las entradas Input 1 (Mic/Line o DI), según qué entrada esté activada mediante el botón Combo/DI del panel posterior. Gira la rueda en el sentido de las agujas del reloj para aumentar la ganancia y en sentido

contrario para reducirla. Si la señal de entrada es demasiado alta a pesar de que la rueda Gain esté colocada en un valor bajo, tira de la rueda Gain para activar un “pad” que atenúe la señal a -20dB.

Diales de Gain/Pad -20 dB 2

Esta rueda ajusta el nivel de ganancia de entrada de Input 2 (Line/DI), según qué entrada esté activada mediante el botón Line/DI del panel posterior. Gira la rueda en el sentido de las agujas del reloj para aumentar la ganancia y en sentido contrario para reducirla. Si la señal de entrada es demasiado alta a pesar de que la rueda Gain esté colocada en un valor bajo, tira de la rueda Gain para activar un "pad" que atenúe la señal a -20dB.

LEDs de recorte/señal

Estos LEDs se iluminan de color verde si hay presencia de señal de audio y, por lo contrario, se iluminan de color rojo si la señal de entrada ha *recortado* (sobrecargado) la entrada de Mbox. Recortar la entrada puede producir distorsión audible.

LED de alimentación phantom (48V)

Cuando se enciende, el LED de alimentación phantom 48V indica que la alimentación phantom está activada. El botón de la alimentación phantom se encuentra en la parte posterior del dispositivo. Consulta "Botón de alimentación phantom (48V)" en la página 8.

Mix (Ratio)

Mbox Mini ofrece la posibilidad de monitorizar las señales de entrada analógica mientras se graba, sin los retardos típicos de los convertidores de analógico a digital y de digital a analógico ni del procesamiento basado en host.

Esta monitorización de latencia cero analógica se controla mediante la rueda Mix, que se usa para fusionar y ajustar la proporción de monitor entre las entradas analógicas de Mbox y la reproducción de la aplicación de audio.

Para escuchar solo la señal de la entrada fuente, gira la rueda Mix completamente a la izquierda, hasta Input. Para escuchar solo la salida de la aplicación de audio, gira la rueda totalmente hacia la derecha.

La salida del control Mix se encamina directamente a las salidas de monitor y se refleja en la salida de auriculares.

Esta posibilidad de fusionar y controlar los niveles relativos a la reproducción de la DAW y de las entradas analógicas en directo sin latencia puede resultar especialmente útil al grabar pista a pista.

Botón Speaker/Mute

Este botón silencia las salidas de monitor, sin silenciar la salida de auriculares. Este botón no afecta a la grabación.

Rueda de monitor principal

La rueda de monitor principal controla los niveles de la salida de monitor y de la salida de auriculares.



En Pro Tools, es la señal que se encamina a las salidas 1-2. Para obtener más información sobre el encaminamiento de señales en Pro Tools, consulta la introducción de la Guía de Pro Tools o de la Guía de referencia de Pro Tools.

Salida de auriculares

Utiliza la salida de auriculares para conectar auriculares estéreo a un conector estéreo de 1/4". Las salidas de auriculares reflejan la señal enviada a las salidas de monitor.

LED Power

Este LED indica que Mbox Mini ha recibido alimentación de su conexión USB. Una vez se ha iluminado el LED, el audio puede entrar y salir del sistema.

Características del panel posterior de Mbox Mini

El panel posterior de Mbox Mini contiene las características siguientes:

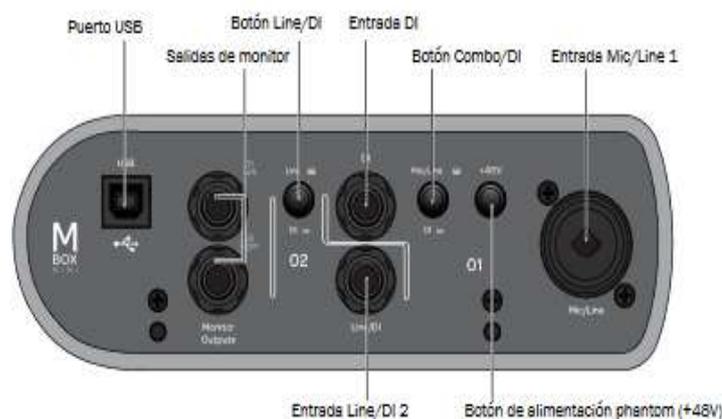


Figura 2. Panel posterior de Mbox Mini

Mic/Line (entrada 1)

La entrada Mic/Line de canal 1 en el panel posterior proporciona entradas Mic (XLR) y Line (TRS de 1/4") en un jack combo. Cambia entre Mic/Line de canal 1 y DI de canal 1 con el botón Combo/DI del panel posterior.

DI (entrada 1)

La entrada DI acepta conexiones TS de 1/4" de nivel de instrumento.

En el panel frontal, la señal de entrada se ajusta con el control Gain de entrada 1. La fuente (Mic/Line o DI) se elige con el botón Combo/DI del panel posterior.

Botón Combo/DI

Este botón selecciona la entrada Mic/Line para el canal 1 o la entrada DI para el canal 1. Si está pulsado, se selecciona la entrada DI del canal 1. Si no está pulsado, se selecciona el conector de jack combo del canal 1.

Line/DI (entrada 2)

La entrada Line/DI acepta señales de nivel de línea, instrumentos y otras conexiones TRS o TS de 1/4".

En el panel frontal, la señal de entrada se ajusta con el control Gain de entrada 2. La fuente (Line o DI) se elige con el botón Line/DI del panel posterior.

Botón Line/DI

Este botón selecciona la entrada de nivel de línea o la entrada de nivel de instrumento para el canal 2. Cuando está pulsado, se activa la entrada de nivel de instrumento (DI). Si no está pulsado, se activa la entrada de nivel de línea.

Salidas de monitor

Estas salidas admiten conexiones TRS simétricas o TS asimétricas de 1/4". Para monitorizar la mezcla, estas salidas pueden conectarse a una mesa de mezclas, directamente a un sistema de monitorización como altavoces alimentados, un amplificador alimentado u otro destino.

 *En Pro Tools, estas salidas reciben la señal que se encamina a las salidas 1-2. Para obtener más información sobre el encaminamiento de señales en Pro Tools, consulta la introducción de la Guía de Pro Tools o de la Guía de referencia de Pro Tools.*

Botón de alimentación phantom (48V)

Si está pulsado, se activa la alimentación phantom de 48V en la entrada Mic XLR. Algunos micrófonos necesitan alimentación phantom para funcionar.

Acerca de la alimentación phantom

Los micrófonos *dinámicos* (como el modelo Shure SM57 o M-Audio Aries) no necesitan alimentación phantom para funcionar, pero tampoco les afecta negativamente. La mayoría de los micrófonos *condensadores* (como el modelo M-Audio Solaris) *necesitan* alimentación phantom para funcionar.

 *Aunque puede usarse sin problemas con la mayoría de los micrófonos, la alimentación phantom puede dañar algunos micrófonos de cinta. Apaga siempre la alimentación phantom, y espera al menos diez segundos antes de conectar o desconectar un micrófono de cinta.*

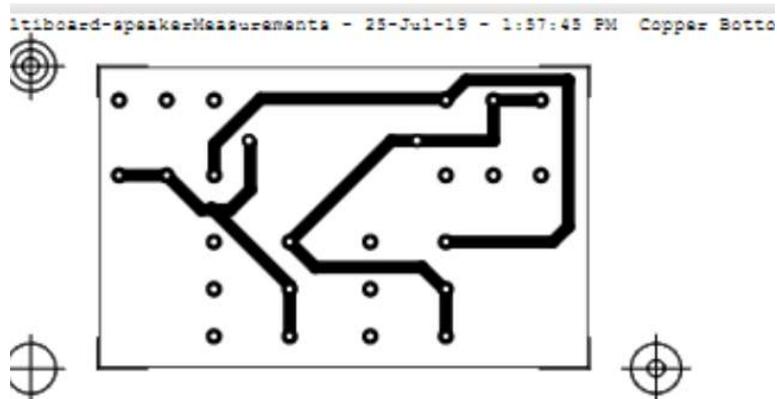
Si tienes dudas sobre los requisitos de alimentación phantom del micrófono, consulta la documentación del micrófono o ponte en contacto con el fabricante.

 *Al usar alimentación phantom, la corriente máxima de Mbox Mini por micrófono es 4 mA.*

Puerto USB

Este conector USB estándar se utiliza para conectar el ordenador a Mbox Mini. El sistema incluye un cable USB estándar.

Anexo 3. Placa del circuito de interconexión



Anexo 4. Programación Decade

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%                               Decade Vector Generation
%
%                               with MATLAB Implementation
%
%
% Author: M.Sc. Eng. Hristo Zhivomirov           11/30/14
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

```

```
function x = decade(m, n, s)
```

```

% function: x = decade(m, n, s)
% m - start value (10^m)
% n - end value (10^n)
% s - step size into one decade
% (s = 0.1, step = 0.1*first term of every decade)
% (s = 1, step = first term of every decade, etc.)
% x - row decade vector

```

```
% initialization
```

```
c = 0;
x = zeros(9/s, n-m);
```

```
% decades generation
```

```
for p = m:(n-1)
```

```

    c = c + 1;
    x(:, c) = ((1:s:10-s).*10^p)';
end

% decade vector generation
x = x(:)';
x = [x 10^n];

end

```

Anexo 5. Programación Freqresmeasurement

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%                               Frequency Response Measurement
%
%                               with MATLAB Implementation
%
%
%
% Author: M.Sc. Eng. Hristo Zhivomirov           11/15/14
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
function [Amp, Ph] = freqrespmeasure(x, y)
% function: [Amp, Ph] = freqrespmeasure(x, y)
% x - first signal in the time domain
% y - second signal in the time domain
% Amp - freq response amplitude
% Ph - freq response phase, rad
% represent x as column-vector if it is not
if size(x, 2) > 1
    x = x';
end
% represent y as column-vector if it is not
if size(y, 2) > 1
    y = y';
end
% remove the DC component
x = x - mean(x);
y = y - mean(y);
% signals length
N = length(x);
% window preparation
win = rectwin(N);
% define the coherent amplification of the window

```

```

K = sum(win)/N;
% fft of the first signal
X = fft(x.*win);
% fft of the second signal
Y = fft(y.*win);
% spectral peaks detection
[~, indx] = max(abs(X));
[~, indy] = max(abs(Y));
% frequency response amplitude
Xamp = abs(X(indx))/N/K;
Yamp = abs(Y(indy))/N/K;
Amp = Yamp/Xamp;
% frequency response phase
Ph = angle(Y(indy)) - angle(X(indx));
end

```

Anexo 6. Programación Botón Calibrar

```

function calibration_Callback(hObject, eventdata,
    handles)
clear ALL
clc
daqreset
fs = 48000;
s = daq.createSession('directsound');%Crear la session
de audio con nuestra tarjeta
ao=addAudioOutputChannel(s,'Audio4',1:1 );%Crear un
canal de salida en este caso Audio 5 es la salida de
monitores de nuestra tarjeta AVID
ai=addAudioInputChannel(s,'Audio1', 1:2);
%set(s, 'TriggerType', 'Immediate')
s.Rate=fs;

%% Frequency vector
% frequency decade vector generation: 1-20e3
2801points
% function: x = decade(m, n, s)
% m - start value (10^m)
% n - end value (10^n)
% s - step size into one decade
% (s = 0.1, step = 0.1*first term of every decade)
% (s = 1, step = first term of every decade, etc.)
% x - row decade vector
Freqvec = decade(2,3,1); %(1,4 ,0.05);

```

```

Freqvec(Freqvec>20000) = [];
freqveclen = length(Freqvec);

%% Time vector
duration=0.5;
xlen = round(duration*fs);
t = (0:xlen-1)/fs;

% initialization
h = waitbar(1, 'Please wait...');
ModZvec = zeros(1, freqveclen);
PhZvec = zeros(1, freqveclen);

% measurement procedure
for c = 1:freqveclen

    % generation of the signal
    f = Freqvec(1, c);
    outdata =1*sin(2*pi*f.*t)';

    % activate the DAQ session

    queueOutputData(s,outdata);% Salida

    indata=startForeground(s);

    %wait(VS, 1.1*duration+0.5)

Tim=timer('TimerFcn',@(~,~)disp('Fired.'),'StartDelay',1);
    start(Tim)
    wait(Tim)
    %indata = getdata(ai);
    %indata = detrend(indata);

    %stop the DAQ session
    stop(s)
    %flushdata(s)
    %putsample(ao, 0)

    % strobe the data
    u = indata(0.1*end:0.9*end, 1)*1;
    i = indata(0.1*end:0.9*end, 2)*1;

    % calculate the impedance frequency response

```

```

[ModZ, PhZ] = freqrespmeasure(i, u);

% correction of the phase error due to non-
simultaneous sampling
% %      phi = 2*pi*f*chskew;
    PhZ = PhZ;
%
% save the data into frequency response vectors
ModZvec(1, c) = ModZ;
PhZvec(1, c) = PhZ;
%
%      % waitbar
    waitbar(c/freqveclen, h, ['Measurement at '
num2str(f) ' Hz'])

end

% close waitbar
close(h)
% stop & delete the analog output and input
stop(s)

% unwrap the phase and convert it to degrees
PhZvec = unwrap(PhZvec);
PhZvec = rad2deg(PhZvec);
PhZvec = PhZvec-180 ;
%Funcion grafica
axes(handles.Impedance);
semilogx(Freqvec, ModZvec, 'r', 'LineWidth', 2)
grid on
xlim([min(Freqvec) max(Freqvec)])
ylim([0.8*min(ModZvec) 1.2*max(ModZvec)])
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize',
14)
set(gca, 'XTickLabel', num2str(get(gca, 'XTick').'))
xlabel('Frequency, Hz')
ylabel('Z, \Omega')
title('Impedance frequency response')
axes(handles.fase);
semilogx(Freqvec, PhZvec, 'r', 'LineWidth', 2)
grid on
xlim([min(Freqvec) max(Freqvec)])
ylim([min(PhZvec)-10 max(PhZvec)+10])
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize',
14)

```

```

set(gca, 'XTickLabel', num2str(get(gca, 'XTick').'))
xlabel('Frequency, Hz')
ylabel('\phi_Z, \circ')
title('Fase frequency response')

```

Anexo 7. Programación en Matlab botón Mediciones

```

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
clear ALL
clc
daqreset
fs = 48000;
s = daq.createSession('directsound');%Crear la session
de audio con nuestra tarjeta
ao=addAudioOutputChannel(s,'Audio4',1:1 );%Crear un
canal de salida en este caso Audio 5 es la salida de
monitores de nuestra tarjeta AVID
ai=addAudioInputChannel(s,'Audio1', 1:2);
%set(s, 'TriggerType', 'Immediate')
s.Rate=fs;

%% Frequency vector
% frequency decade vector generation: 1-20e3
2801points
% function: x = decade(m, n, s)
% m - start value (10^m)
% n - end value (10^n)
% s - step size into one decade
% (s = 0.1, step = 0.1*first term of every decade)
% (s = 1, step = first term of every decade, etc.)
% x - row decade vector
steps=str2double(get(handles.edit3,'String'));
fo=get(handles.listbox3,'Value');
fo=fo-1;
%fo=log10(fo)
ff=get(handles.listbox4,'Value');

```

```

%%ff=log10(ff)
Freqvec = decade(fo,ff,steps); %(1,4 ,0.05);
Freqvec(Freqvec>22000) = [];
freqveclen = length(Freqvec);

%% Time vector
duration=0.5;
xlen = round(duration*fs);
t = (0:xlen-1)/fs;

% initialization
h = waitbar(1, 'Please wait...');
ModZvec = zeros(1, freqveclen);
PhZvec = zeros(1, freqveclen);

% measurement procedure
for c = 1:freqveclen

    % generation of the signal
    f = Freqvec(1, c);
    outdata =1*sin(2*pi*f.*t)';

    % activate the DAQ session

    queueOutputData(s,outdata);% Salida

    indata=startForeground(s);

    %wait(VS, 1.1*duration+0.5)

Tim=timer('TimerFcn',@(~,~)disp('Fired.'),'StartDelay'
,1);
    start(Tim)
    wait(Tim)
    %indata = getdata(ai);
    %indata = detrend(indata);

    %stop the DAQ session
    stop(s)
    %flushdata(s)
    %putsample(ao, 0)

    % strobe the data

resis=str2double(get(handles.resistencia,'String'));

```

```

medi=str2double(get(handles.medicion, 'String'));
coeficiente=resis/medi;
u = indata(0.1*end:0.9*end, 1)*1;
i = indata(0.1*end:0.9*end, 2)*1/coeficiente;

% calculate the impedance frequency response
[ModZ, PhZ] = freqrespmeasure(i, u);

% correction of the phase error due to non-
simultaneous sampling
% %      phi = 2*pi*f*chskew;
% %      PhZ = PhZ + phi;
%
% save the data into frequency response vectors
ModZvec(1, c) = ModZ;
PhZvec(1, c) = PhZ;
%      % waitbar
waitbar(c/freqveclen, h, ['Measurement at '
num2str(f) ' Hz'])

end

% close waitbar
close(h)
% stop & delete the analog output and input
stop(s)

% unwrap the phase and convert it to degrees
PhZvec = unwrap(PhZvec);
PhZvec = rad2deg(PhZvec);
PhZvec = PhZvec-180;
% %update handles
handles.ModZvec=ModZvec;
handles.PhZvec= PhZvec;
%Funcion grafica
axes(handles.Impedance);
semilogx(Freqvec, ModZvec, 'r', 'LineWidth', 2)
grid on
xlim([min(Freqvec) max(Freqvec)])
ylim([0.8*min(ModZvec) 1.2*max(ModZvec)])
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize',
14)
set(gca, 'XTickLabel', num2str(get(gca, 'XTick').'))
xlabel('Frequency, Hz')
ylabel('Z, \Omega')
title('Impedance frequency response')

```

```

axes(handles.fase);
semilogx(Freqvec, PhZvec, 'r', 'LineWidth', 2)
grid on
xlim([min(Freqvec) max(Freqvec)])
ylim([min(PhZvec)-10 max(PhZvec)+10])
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize',
14)
set(gca, 'XTickLabel', num2str(get(gca, 'XTick').'))
xlabel('Frequency, Hz')
ylabel('\phi_Z, \circ')
title('Fase frequency response')
guidata(hObject, handles);

```

Anexo 8. Programación Thiele Small

```

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

%Thiele Small parameters
freqVecTS=handles.frecVec;
%Whitout mass
ModZvec=handles.ModZvec;
PhZvec=handles.PhZvec;

%Mass added
ModZvecMass=handles.ModZvecMass;
PhZvecMass=handles.PhZvecMass;
ObjZ=itaAudio;
ObjZ.freqData=ModZvec;
ObjZ.freq=freqVecTS;
ObjZmass=itaAudio;
ObjZmass.freqData=ModZvecMass;
ObjZmass.freq=freqVecTS;
mass=str2double(get(handles.edit2, 'String'));
radio=str2double(get(handles.edit15, 'String'));
delta_m=mass/1000;
r=radio;
d=pi*r^2;
sArgs =
struct('pos1_Z', 'itaAudioFrequency', 'pos2_Zm', 'itaAudi

```

```

oFrequency',
'pos3_m', 'itaValue', 'pos4_d', 'itaValue', 'frequency_lim
its', [20 7000], 'L_e', true);
    [Z, Z_m, delta_m, d, sArgs] =
ita_parse_arguments(sArgs, {ObjZ, ObjZmass, delta_m,
d});

Z_o = Z.freqData;
Z_m = ObjZmass.freqData;

%DC resistance
R_e = itaValue((ModZvec(1)), 'Ohm');

% search resonance through change of phase sign from +
to -
index1 = find(gradient(sign(PhZvec)) < 0, 1, 'first');
index2 = find(gradient(sign(PhZvecMass)) <
0, 1, 'first');

Z_max1 = ModZvec(index1);

%parallel resistance
R_p = itaValue(Z_max1, 'Ohm') - R_e;

%resonance frequencies
f_0 = itaValue(freqVecTS(index1), 'Hz');
f_0m = itaValue(freqVecTS(index2), 'Hz');

%membrane mass
m = delta_m / ((f_0/f_0m)^2-1);
n = 1/(m*(2*pi*f_0)^2);

Zstrich = ModZvec - double(R_e);

index_df_low =
find(abs(Zstrich(1:index1))>double(R_p)/sqrt(2), 1, 'fir
st');
index_df_high = round(index1 + 1.2*(index1 -
index_df_low));
index_df_high =
find(abs(Zstrich(1:index_df_high))>double(R_p)/sqrt(2)
, 1, 'last');

low_bin=20;

```

```

index_df_low = index_df_low + low_bin-1;
index_df_high = index_df_high + low_bin-1;
df_low = freqVecTS(index_df_low);
df_high = freqVecTS(index_df_high);

delta_f = itaValue((df_high-df_low)/2, 'Hz');

Q_m = f_0 / (2 * delta_f);
w = f_0 * 2 * pi * m / Q_m;

TS = itaThieleSmall();

S_d = pi*d^2/4;
M = sqrt(R_p * w);
TS.R_e = R_e;
TS.w = w;
TS.n = n;
TS.m = m;
TS.M = M;
TS.S_d = S_d; % effective piston area

%TS =
ita_inductance_fit(Z,TS,'L2','fmin',20,'fmax',7000);
%[TE, audioObjZ] = ita_inductance_fit(8, TS, 'L2',
'fmax', 4000, 'fmin', 50)
TS.show
ITARe=TS.R_e.value;
ITARe=num2str(set(handles.edit6,'String'));
ITAFs=TS.f_s.value;
ITAFs=num2str(set(handles.edit7,'String'));
ITAQms=TS.Q_m.value;
ITAQms=num2str(set(handles.edit8,'String'));
ITAQts=TS.Q_tot.value;
ITAQts=num2str(set(handles.edit10,'String'));
ITAVas=TS.V_equi.value;
ITAVas=num2str(set(handles.edit11,'String'));
ITARes=TS.R_es.value;
ITARes=num2str(set(handles.edit12,'String'));
ITACmes=TS.C_mes.value;
ITACmes=num2str(set(handles.edit13,'String'));
ITALces=TS.L_ces.value;
ITALces=num2str(set(handles.edit14,'String'));
ITAQes=TS.Q_e.value;
ITAQes=num2str(set(handles.edit9,'String'));

```

Anexo 9. Características del driver SEAS PRESTIGE



L26RFX/P H1209

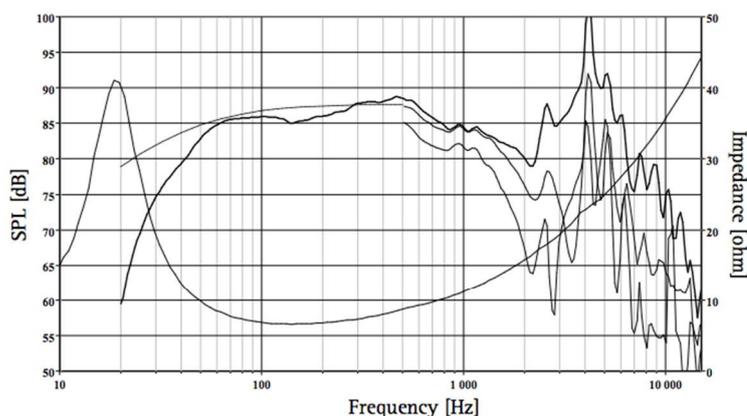
Extremely stiff aluminium cone gives tremendous bass precision. The cone and the low loss rubber surround show no sign of the familiar cone edge resonance and distortion associated with soft cones.

2" diameter high temperature voice coil with black anodized aluminum coil former gives high power handling and reduced power compression.

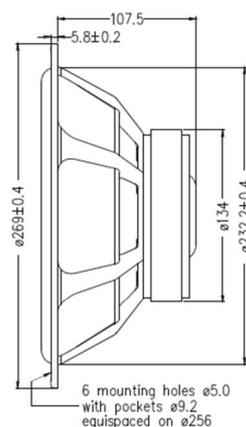
Large magnet system gives good sensitivity and transient response.

Phase plug reduces compression due to temperature variations in the voice coil, eliminates resonances that would occur in the volume between the dust cap and the pole piece and increases the power handling capacity.

Extremely stiff and stable injection moulded metal basket keeps the critical components in perfect alignment. Large windows in the basket both above and below the spider reduce sound reflection, air flow noise and cavity resonance to a minimum.



The frequency responses above show measured free field sound pressure in 0, 30, and 60 degrees angle using a 2BL closed box. Input 2.83 Vrms, microphone distance 0.5m, normalized to SPL 1m. The dotted line is a calculated response in infinite baffle based on the parameters given for this specific driver. The impedance is measured in free air without baffle using a 2V sine signal.



Nominal Impedance	8 Ohms	Voice Coil Resistance	6.3 Ohms
Recommended Frequency Range	20 - 1000 Hz	Voice Coil Inductance	1.83 mH
Short Term Power Handling *	300 W	Force Factor	10.7 N/A
Long Term Power Handling *	125 W	Free Air Resonance	20 Hz
Characteristic Sensitivity (2,83V, 1m)	88 dB	Moving Mass	53.0 g
Voice Coil Diameter	51 mm	Air Load Mass In IEC Baffle	3.48 g
Voice Coil Height	20 mm	Suspension Compliance	1.2 mm/N
Air Gap Height	6 mm	Suspension Mechanical Resistance	3.3 Ns/m
Linear Coil Travel (p-p)	14 mm	Effective Piston Area	330 cm ²
Maximum Coil Travel (p-p)	35 mm	VAS	171 Litres
Magnetic Gap Flux Density	1.23 T	QMS	2.15
Magnet Weight	1.30 kg	QES	0.39
Total Weight	4.05 kg	QTS	0.33

Anexo 10. Set de medida



