

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO
2. **TÍTULO:** SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA CON ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS VÍA WIFI, CONTROLADO POR APLICACIÓN MÓVIL PARA SISTEMA OPERATIVO ANDROID
3. **AUTORES:** De la Roche Fajardo, Sergio Andrés; Méndez Díaz, Danny Stefan
4. **LUGAR:** Bogotá D.C.
5. **FECHA:** Diciembre 2016
6. **PALABRAS CLAVE:** Señal acústica, preamplificación, sonómetro, conversión, A/D, tarjeta de adquisición, sistema embebido Raspberry Pi, Arduino, comunicación Wi-fi.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El presente trabajo presenta el desarrollo de un sistema de medición inalámbrica que tiene como función la adquisición y procesamiento de señales acústicas. Una vez analizado los sistemas de medición y su acondicionamiento necesario de la señal para la conversión análoga digital, se inicia la etapa de construcción de la tarjeta de adquisición de señales acústicas propio, para finalmente ser comparada con sistemas de medición profesionales (SVANTEK - RION) y observar su correcto funcionamiento en cuanto adquisición de la señal acústica y la transmisión inalámbrica de los datos.
8. **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Línea de investigación de la USB: Tecnologías actuales y sociedad. sub-línea de facultad de ingeniería: análisis y procesamiento de señales: Núcleo problemático: acústica.
9. **METODOLOGÍA:** es de naturaleza documental y de carácter empírico analítico, debido a la incorporación de conocimientos ingenieriles y tecnológicos; y hacer uso de tecnologías para la adquisición de señales acústicas y transmisión no convencional de las mismas.
10. **CONCLUSIONES:** El sistema propio de medición funciona como sistema de medición de presión acústica. trabajando a 12 bits en resolución análoga digital a una frecuencia de muestreo por segundo por encima de 44100Hz.

SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA CON ENVÍO
Y RECEPCIÓN DE DATOS VÍA WIFI, CONTROLADO POR APLICACIÓN
MÓVIL PARA SISTEMA OPERATIVO ANDROID

*Sergio Andrés de la Roche Fajardo,
Danny Stefan Díaz Méndez.*

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ D.C.

2017

SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA CON ENVÍO
Y RECEPCIÓN DE DATOS VÍA WIFI, CONTROLADO POR APLICACIÓN
MÓVIL PARA SISTEMA OPERATIVO ANDROID

Autores:

*Sergio Andrés de la Roche Fajardo,
Danny Stefan Díaz Méndez.*

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero de Sonido

Director:

Ing. Manuel Fernando Torres Cifuentes

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SONIDO

BOGOTÁ D.C.

2017

Nota De Aceptación:

Firma Del Presidente Del Jurado

Firma Del Jurado

Firma De Estudiantes

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 ANTECEDENTES (ESTADO DEL ARTE)	13
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3 JUSTIFICACIÓN.	20
1.4 OBJETIVOS.	20
1.4.1 Objetivo General:	20
1.4.2 Objetivos Específicos:	20
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.	21
1.5.1 ALCANCES	21
1.5.2 LIMITACIONES	21
2. MARCO DE REFERENCIA	22
2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL	22
2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO	29
2.2.1 Definiciones	33
2.2.2. ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO	35
3. METODOLOGÍA	37
3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	37
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	37
3.3 HIPÓTESIS	37
3.4 VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES	37
3.4.1 VARIABLES DEPENDIENTES	37
3.4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES	38
4. DESARROLLO INGENIERIL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
4.1 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN ANÁLOGA	39
4.1.1 Diseño De Preamplificador	39
4.1.2 Alimentación DC Para Preamplificador	41
4.1.3 Especificaciones De Phantom Power	43
4.1.4 Caracterización Del Micrófono	46
4.2 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DIGITAL	57
4.2.1 Configuración 1.A: Implementación De Conversor AD Independiente.	57
4.2.2 Configuración 1.B: Interfaz I2s Conversor Uda1361ts	59
4.2.3 Configuración 1.C: Interfaz I2s En Sistema Embebido Raspberry Pi 3	59
4.2.5 Configuración 2.A: Implementación De Micro-Controlador Con Conversor A/D	65
4.2.6 Configuración 2.B: Interfaz Arduino	66
4.2.7 Configuración Final: Adquisición De Datos A Través De Conversor Ad Propio De Arduino Due	68
4.2.8 Calibración Del Sistema	69
4.3 DESARROLLO DEL ALGORITMO DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN DE DATOS	72
4.3.1 Módulo Independiente Wifi Esp8266 Y Arduino Due	74
4.3.2 Conexión Inalámbrica Desde Dispositivos Android Y Cualquier Dispositivo Con Conexión Y Acceso Wi-Fi	77
4.3.2 Plataforma De Control Y Visualización De Datos	80

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
6. CONCLUSIONES	102
7. RECOMENDACIONES	107
8. CRONOGRAMA	108
9. BIBLIOGRAFÍA.	110
APÉNDICE	112
ANEXOS	143

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. CONFIGURACIÓN GENERAL DEL AMPLIFICADOR AD620	24
FIGURA 2. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL PROYECTO.	39
FIGURA 3. SECCIÓN DE PREAMPLIFICACIÓN DENTRO DEL DIAGRAMA GENERAL.	39
FIGURA 4. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL PRE-AMP EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA CON UNA GANANCIA ESTABLECIDA DE 5 VECES LA ENTRADA.	41
FIGURA 5. ESQUEMÁTICO DEL AMPLIFICADOR AD620	42
FIGURA 6. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL PRE-AMP EN FUNCIÓN DE LA AMPLITUD (DB)	43
FIGURA 7. SECCIÓN DE PHANTOM POWER DENTRO DEL DIAGRAMA GENERAL.	43
FIGURA 8. ESQUEMÁTICO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PHANTOM POWER	44
FIGURA 9. ESQUEMÁTICO DEL PHANTOM POWER.	45
FIGURA 10. SECCIÓN DE MICRÓFONO DENTRO DEL DIAGRAMA GENERAL.	46
FIGURA 11. DIRECTIVIDAD (MV) MIC TEF04 VS ECM8000 125HZ (MEDIDO)	48
FIGURA 12. DIRECTIVIDAD (MV) MIC TEF04 VS ECM8000 250HZ (MEDIDO)	49
FIGURA 13. DIRECTIVIDAD (MV) MIC TEF04 VS ECM8000 500HZ (MEDIDO)	49
FIGURA 14. DIRECTIVIDAD (MV) MIC TEF04 VS ECM8000 1KHZ (MEDIDO)	50
FIGURA 15. DIRECTIVIDAD (MV) MIC TEF04 VS ECM8000 2KHZ (MEDIDO)	51
FIGURA 16. DIRECTIVIDAD (MV) MIC TEF04 VS ECM8000 4KHZ (MEDIDO)	51
FIGURA 17. DIRECTIVIDAD (MV) MIC TEF04 VS ECM8000 8KHZ (MEDIDO)	52
FIGURA 18. SECCIÓN DE FILTROS ANÁLOGOS DENTRO DEL DIAGRAMA GENERAL.	52
FIGURA 19. CIRCUITO EQUIVALENTE PASA BANDA RC.	53
FIGURA 20. CIRCUITO EQUIVALENTE PONDERACIÓN A.	54
FIGURA 21 .RESPUESTA EN FRECUENCIA PONDERACIÓN A RESULTANTE.	54
FIGURA 22. CIRCUITO EQUIVALENTE PONDERACIÓN C.	55
FIGURA 23. RESPUESTA EN FRECUENCIA PONDERACIÓN C RESULTANTE.	56
FIGURA 24. SECCIÓN DE TARJETA DE ADQUISICIÓN Y DSP DENTRO DEL DIAGRAMA GENERAL.	57
FIGURA 25. SISTEMA EMBEBIDO RASPBERRY PI 3 MODEL B.	60
FIGURA 26. VENTANA DE CONFIGURACIÓN RASPBERRY PI 3 MODELO B	63
FIGURA 27. VENTANA DE CONFIGURACIÓN RASPBERRY PI 3 MODELO B. ACTIVAR ENTRADAS DE AUDIO	63
FIGURA 28. ARDUINO DUE	65
FIGURA 29. VENTANA DE INSTALACIÓN DE PAQUETES PARA EL RECONOCIMIENTO DEL ARDUINO DUE	67
FIGURA 30. PESTAÑA DE SELECCIÓN DEL ARDUINO DUE QUE PERMITE CARGAR EL PROGRAMA	67
FIGURA 31. FLUJO DE SEÑAL DEL ALGORITMO DE CONTROL.	73
FIGURA 32. SECCIÓN DE COMUNICACIÓN WIFI ENTRE TARJETA DE ADQUISICIÓN E INTERFAZ DE USUARIO.	74
FIGURA 33. ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO WIFI ESP8266	75
FIGURA 34. SECCIÓN DE INTERFAZ DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN DE DATOS DENTRO DEL DIAGRAMA GENERAL.	78
FIGURA 35. SOFTWARE PARA DESARROLLO DE PLATAFORMA DE CONTROL.	79
FIGURA 36. DISEÑO DE PLATAFORMA DE CONTROL.	80
FIGURA 37. ARCHIVO DE VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS (FILE).	81
FIGURA 38. INTERFAZ GRAFICA DEL SISTEMA QUE INDICA LAS OPCIONES DE TIEMPO PREDETERMINADOS DEL SISTEMA.	82

FIGURA 39. ENLACE QUE MUESTRA EL TIEMPO DE 60 SEGUNDOS QUE MEDIRÁ EL SISTEMA.	82
FIGURA 40. ENLACE QUE MUESTRA EL TIEMPO DE 3600 (1 HORA) SEGUNDOS QUE MEDIRÁ EL SISTEMA.	83
FIGURA 41. COMPORTAMIENTO DEL PRE-AMPLIFICADOR DISEÑADO PARA EL SISTEMA DE MEDICIÓN.	84
FIGURA 42. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL PRE-AMP EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA CON UNA GANANCIA. ESTABLECIDA DE 5 VECES LA ENTRADA.	85
FIGURA 43. TABLA DE MÁXIMA DIFERENCIA ABSOLUTA EN EL NIVEL DE SONIDO MOSTRADO EN AL MENOS DOS ÀNGULOS DE INCIDENCIA DE SONIDO DENTRO DE $\pm 30^\circ$ A 150° DE DIRECCIÓN DE REFERENCIA.	86
FIGURA 44. TEF 04 – DIRECTIVIDAD (MV VS HZ).	87
FIGURA 45. SM 8000 – DIRECTIVIDAD (MV VS HZ).	88
FIGURA 46. LINEALIDAD EN FRECUENCIA DEL MIC ECM8000 Y TEF 04 EN MV.	89
FIGURA 47. ESQUEMA DE MEDICIÓN.	91
FIGURA 48. RESPUESTA EN FRECUENCIA PROMEDIO FINAL POR BANDA DE OCTAVA, MIC ECM 8000, PONDERACIÓN TEMPORAL FAST.	91
FIGURA 46. RESPUESTA EN FRECUENCIA PROMEDIO FINAL POR BANDA DE OCTAVA, MIC ECM 8000, PONDERACIÓN TEMPORAL SLOW.	92
FIGURA 47. RESPUESTA EN FRECUENCIA PROMEDIO FINAL POR BANDA DE OCTAVA, MIC TEF 04, PONDERACIÓN TEMPORAL FAST.	92
FIGURA 48. RESPUESTA EN FRECUENCIA PROMEDIO FINAL POR BANDA DE OCTAVA, MIC TEF 04, PONDERACIÓN TEMPORAL SLOW.	95
FIGURA 49. RESPUESTA EN FRECUENCIA COMPARACIÓN MIC TEF 04 VS MIC ECM8000, PONDERACIÓN TEMPORAL FAST.	96
FIGURA 50. RESPUESTA EN FRECUENCIA COMPARACIÓN MIC TEF 04 VS MIC ECM8000, PONDERACIÓN TEMPORAL SLOW.	97
FIGURA 51. COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN P.P. CON EL SONÓMETRO BRUEL.	98

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIÓN TIPOS DE ALIMENTACIÓN	46
TABLA 2. VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN PARA LOS MICRÓFONOS DE MEDICIÓN.	46
TABLA 3. VOLTAJE DE SALIDA DEL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN CON PISTÓFONO.	47
TABLA 4. VOLTAJE DE ENTRADA AL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN CON PISTÓFONO.	47
TABLA 5. VOLTAJE DE ENTRADA Y VOLTAJE DE SALIDA DEL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN CON FUENTE OMNIDIRECCIONAL.	48
TABLA 6. COMPARACIÓN DE CONVERSORES A/D EN EL MERCADO	58
TABLA 7. MUESTRAS DE LOS POSIBLES VALORES DEL RANGO DINÁMICO	69
TABLA 8. VALORES EN EL ADC, MÁXIMO Y MÍNIMO REPRESENTATIVO DE 94dB Y 114dB	70
TABLA 9. VALORES EN EL ADC, MÁXIMO Y MÍNIMO EN ESCALA LOGARÍTMICA.	70
TABLA 10. VALORES DE A Y B, EN LA ECUACIÓN DE LA RECTA.	71
TABLA 11. DATOS REALES EN LA CALIBRACIÓN DEL SONÓMETRO PP, SVANTEK, RION Y BRUEL	72
TABLA 12. DATOS REALES RUIDO DE FONDO SONÓMETRO PP, SVANTEK, RION Y BRUEL	89
TABLA 13. DATOS REALES COMPARACIÓN EN FRECUENCIA. Mic TEF 04 Vs Mic ECM8000. FAST	94
TABLA 14. DIFERENCIA DE NIVELES ENTRE, Mic TEF 04 Vs Mic ECM8000. FAST	94
TABLA 15. DATOS REALES COMPARACIÓN EN FRECUENCIA. Mic TEF 04 Vs Mic ECM8000 SLOW.	95
TABLA 16. DIFERENCIA DE NIVELES ENTRE, Mic TEF 04 Vs Mic ECM8000. FAST	96
TABLA 17. NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA EN LAS PONDERACIÓN A,C Y Z. JUNTO A LOS VALORES DE TOLERANCIA PARA SONÓMETROS CLASE 1 Y 2. Según IEC 61672-1	

LISTA DE ECUACIONES

$E_x = \int_{t_1}^{t_2} x(t) ^2 dt$	(1)
$E_x = \sum_{n=n_1}^{n_2} x[n] ^2$	(2)
$SPL(dB) = 20 \times \log_{10} (W/W_{ref})$	(3)
$G = (R1 + R2)/Rg + 1.$	(4)
$Fs = 2 * Fmax$	(5)
$G = \frac{49.4k\Omega}{Rg} + 1$	(6)
$Rg = 12k \Omega$	(7)
$G = \frac{49.4k\Omega}{12k \Omega} + 1 = 5,11$	(8)
$\frac{Vs}{Ve} = \frac{515,14mV}{100mV} = G$	(9)
$G = \frac{Vs}{Ve} \rightarrow Ve = \frac{Vs}{G}$	(10)
$\frac{V_{out}(S)}{V_{in}(S)} = \frac{\frac{S}{RC}}{S^2 + 2S + \frac{1}{R^2C^2}}$	(11)
$Wc = 2\pi f$	(12)
$Wc = \frac{1}{RC} \rightarrow C = \frac{1}{Wc R} \rightarrow R = \frac{1}{Wc C}$	(13)
$\frac{x-x_a}{x_b-x_a} = \frac{y-y_a}{y_b-y_a}$	(14)

$\frac{x - (2,76)}{(3,34) - (2,76)} = \frac{y - 94}{114 - 94}$	(15)
$\frac{x - (2,76)}{0,58} = \frac{y - 94}{20}$	(16)
$y = \frac{1000}{29}x - \frac{34}{29}$	(17)

INTRODUCCIÓN

La ingeniería de sonido es una de las ramas de la ingeniería que se encarga de estudiar el sonido en todas sus aplicaciones existentes, entre estas la producción musical y audiovisual, diseño de dispositivos de sonido, estudio de la electroacústica, la acústica y procesamiento análogo y digital de señales, pero para el desarrollo de cualquier dispositivo a crear, el ingeniero cuenta con una herramienta propia y prácticamente fundamental, la cual permite reconocer características del sonido, como sus variaciones de nivel, su frecuencia de reproducción, como cambia según el medio, y en general un sin fin de características que le dan vida a un sonido, esta herramienta es su oído.

El oído humano es un transductor muy poderoso, este es capaz de percibir variaciones muy grandes o muy pequeñas de nivel de presión acústica siendo capaz de diferenciar y discriminar estos niveles por bandas de frecuencias, pero, como todo dispositivo electrónico existente, a medida que avanza el tiempo su rendimiento irá disminuyendo, esto debido a agentes externos como lo es la contaminación auditiva generada en el medio variante, por la exposición de altos niveles de presión por tiempo prolongado, es por esta razón que se plantea este proyecto de grado, en búsqueda que los individuos que llevan a cabo mediciones de niveles de presión acústica puedan eludir estos agentes de alta presión controlando el dispositivo de medición y visualizando los datos obtenidos a través de cualquier dispositivo con acceso a internet.

Este documento en su contenido describe el proceso que permite la elaboración de un dispositivo de adquisición y procesamiento digital de señal y el desarrollo software para el control del dispositivo de medición y la visualización de sus datos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES (ESTADO DEL ARTE)

NICOLÁS ANDRÉS ARIAS SABOGAL. Desarrollo de un sistema de adquisición del nivel de presión sonora y variables climáticas utilizando sistemas embebidos. Bogotá 2014. [1]

Este proyecto de grado fue desarrollado en la Universidad de San Buenaventura, el cual tuvo como objetivo desarrollar un medidor de nivel de presión sonora donde adicionalmente van incluidos sensores que detectaban componentes climáticos por medio de un embebido en el que se puede visualizar por medio de un software. Debido a esto, esta tesis aporta en cuanto al proceso digital de la señal y el uso de las características generales de un sonómetro.

JOSUÉ ROBERTO HERNÁNDEZ JUÁRES. Diseño de un sonómetro digital. Tesis profesional. Junio de 2009. [2]

Esta tesis es un software que mide niveles de presión sonora, el cual activa una alarma que indica cuando los niveles que se están generando son perjudiciales para el oído humano. Este proyecto es necesario como guía para el desarrollo general de la tesis en cuanto al diagrama de flujo y al procesamiento digital de la señal, teniendo en cuenta que este proyecto de grado fue desarrollado en LABVIEW.

NELSON FELIPE ROSAS JIMÉNEZ. Diseño e implementación de un sistema embebido para la adquisición y transmisión de señales biomédicas a través de la red celular. Bogotá 2011. [3]

Este documento fue desarrollado con el fin de diseñar mediante un sistema embebido un hardware capaz de capturar y enviar mediante redes de telecomunicaciones señales biomédicas donde se podrá hacer más rápida el

análisis de la información obtenida, es decir, se evita el contacto o la relación entre médico-Paciente. Dado que este proyecto utiliza el envío mediante redes hace esencial el uso de esta información para la orientación y uso de protocolos que permitan la comunicación entre el hardware de adquisición de datos y el software de control (aplicación).

DIEGO TORRES DOMÍNGUEZ. Sonophone: Desarrollo y evaluación de un sonómetro profesional para iOS. Madrid 2013. [4]

Este proyecto es una aplicación que permite la medición de presión acústica por medio de la conexión de un micrófono apropiado para una medición, esta aplicación permite el envío de datos y utiliza ponderaciones A, C y Z de nivel de presión sonora. Por lo tanto este proyecto es importante en cuanto al desarrollo de la aplicación de control para tener en cuenta que funciones cumple y como es su proceso de adquisición de datos y análisis de los mismos.

LUIS FELIPE RODRÍGUEZ CHACÓN. Estudio de los métodos e instrumentos de medición electroacústica para valoración del comportamiento de las ondas sonoras en el contexto de espacios abiertos y cerrados en la ciudad de Cali. Santiago de Cali, 2015. [5]

Esta Tesis fue Realizada en Cali por un Ingeniero Electrónico, el cual hace énfasis a los conceptos básicos de todo lo que implica a la Acústica para poder hacer un análisis de todos los sistemas (Hardware y Software), que implican a esta rama de la física. Gracias a esto se ayudó a reforzar algunos conceptos como: presión sonora, intensidad, potencia, el comportamiento de diferentes transductores y todo lo que implica a la acústica presentada en este documento.

IVAN LOZANO. Captación y análisis del comportamiento y procesamiento de señales de audio a nivel de patrones acústicos y software especializado en el proceso de una producción. Bogotá DC 2013. [6]

Este proyecto fue desarrollado con el fin de analizar en la captura de una señal los componentes acústicos que interfieren a la hora de realizar una producción. Debido a esto se hace uso del archivo para reforzar conceptos de acústica y hacer un cálculo para el tiempo de reverberación.

CHRISTIAN CAMILO MESA VILLANUEVA. Sistema de medición de parámetros acústicos en recintos y compensación espectral. Bogotá DC 2014. [7]

Este documento hace énfasis al desarrollo de un programa acústico aplicando la norma ISO 3382 utilizando los métodos impulsivos y de fuente interrumpida para aplicar una ecualización automática que permita compensar el espectro en frecuencia. Por causa de esto el autor de este documento hace uso de unos métodos matemáticos para hacer el cálculo de tiempo de reverberación el cual va incluido dentro de las características del sonómetro controlado por la aplicación.

DAVID BRABEN, JACK LANG, PETE LOMAS, ALAN MYCROFT, ROBERT MULLINS, EBEN UPTO, Raspberry Pi Foundation. UK 2009. [8]

Básicamente este documento es una guía de uso de la tarjeta, la cual es un ordenador de placa reducida donde se intentó llevar a cabo este proyecto, ya que era el hardware que se utilizaría para hacer el sonómetro (dispositivo de adquisición de datos); pero la raspberry a comparación del arduino, es un sistema nuevo que requiere de librerías que aún no se han implementado para el reconocimiento de diferentes conversores análogo-digitales con comunicación i2s.

NXP SEMICONDUCTORS, UDA1361TS 96KHz sampling-24 bits stereo audio ADC. EE UU 2002. [9]

El semiconductor UDA1361TS fue el que se pretendió en un principio hacer uso

para realizar la etapa de conversión análogo-digital. Este AD permite por medio del protocolo I2S comunicar con otros dispositivos como es el caso de la raspberry para que este pueda trabajar con una señal congruente a su función.

KIHONG SHIN, JOSEPH HAMMOND. Fundamentals of signal processing for sound and vibration engineers. [10]

Como su nombre lo indica, este libro hace énfasis al procesamiento de la señal para el sonido. Su terminología es muy completa ya que toca temas como: señales continuas, discretas, métodos de transformadas de Fourier, etc., muy útiles para el desarrollo de este proyecto.

LEO BERANEK. Acústica. Instituto tecnológico de Massachusetts. Versión en castellano. Universidad de buenos aires-Universidad de La Plata. [11]

Este libro es un material muy importante, ya que presenta conceptos muy completos de la acústica y de todo su comportamiento tanto en espacios abiertos como en espacios cerrados. Además haciendo un estudio de los transductores electroacústicas. Debido a esto, el libro fue un apoyo para realizar diferentes procesos y funciones que debe cumplir un sonómetro.

ALAN OPPENHEIM, ALAN WILLSKY. Señales y Sistemas. Massachusetts Institute of Technology. [12]

Señales y sistemas es un libro esencial en el desarrollo de cualquier dispositivo que implique capturar o reproducir el sonido, o en este caso de medir los niveles de presión sonora; ya que como en este caso se pretende manipular las señales para poder hacer un análisis frecuencial, tanto por banda de octava como por tercio de banda y entre otros procesos que se le deben hacer a la señal a analizar.

CECILIO BLANCO VIEJO. Electrónica Digital. Universidad de Oviedo 2003. [13]

Para poder realizar el proyecto es esencial comprender las diferentes etapas donde la señal analógica es convertida en una señal digital; y este libro pretende dar a conocer estas etapas, que por medio del lenguaje máquina es decodificada y así será más fácil la interpretación por el usuario.

ROBERT F.COUGHLIN. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales. Cuarta edición. [14]

Dado que se utilizó un micrófono de medición es importante realizar una etapa de amplificación lineal la cual garantiza que la ganancia es 5 veces en este caso y que en todas las bandas de octava de 125 Hz a 8KHz este entregando el mismo voltaje. Por lo tanto este libro fue una guía para poder realizar esta etapa que hace parte del sistema analógico del sonómetro.

ANALOG DEVICES AD620. Amplificador de instrumentación. [15]

Este documento es el datasheet del amplificador lineal, el cual da a conocer cada una de las características de uso y de funcionamiento.

JOSÉ MARÍA DRAKE MOYANO. Instrumentación electrónica de comunicaciones. Santander 2005. [16]

Este libro complementa información respecto al uso de los amplificadores de instrumentación ya que estos como anteriormente se nombró son lineales lo que quiere decir que garantiza el mismo voltaje en cada banda de octava.

JOHN R. PIERCE, A. MICHAEL NOLL. Señales: la ciencia de las telecomunicaciones. Bogotá 2002. [17]

La comunicación en este proyecto aparece en el momento en que se desea entrelazar el celular, computador, Tablet, etc., con el sonómetro para que este cumpla su funcionamiento. Por eso este libro hace parte de la guía para poder llevar a cabo el proyecto ya que se deben tener en cuenta protocolos que permitan este tipo de comunicación.

P. MALVINO, ALBERT & P.LEACH, DONALD. Principios y Aplicaciones digitales. Barcelona 1993. [18]

La conversión análoga-digital es una etapa compleja, pero a la vez importante para el trabajo con audio digital. En este caso, para el procesamiento digital de la señal el cual permite hacer un análisis del ruido o de una medición de presión sonora. El libro "*Principios y Aplicaciones digitales*" permite tener conceptos básicos respecto a la conversión y al trabajo que realiza los diferentes conversores internamente para poder manipular los datos que fueron digitalizados.

H. DEITEL, P. DEITEL. Cómo Programar en C/C++ y Java. Cuarta Edición. México 2004. [19]

El procesamiento digital de la señal permite realizar análisis de diferentes sistemas dependiendo de su comportamiento. Para esto se realizan algoritmos que manipulan estas señales; estos algoritmos son construidos como estructuras que llevan a cabo una tarea o varias tareas específicas en base a diferentes lenguajes de programación interpretados y decodificados por la máquina dependiendo de la plataforma en la que se trabaje.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente existen dispositivos de medición que para el ingeniero de sonido son esenciales para el desarrollo de diferentes proyectos, ya sea para el control del ruido, la elaboración de diseños acústicos y electro-acústicos para recintos (Aislamiento, acondicionamiento, refuerzo sonoro) o para la medición de

dispositivos electro acústicos (transductores de salida); estos instrumentos nos permiten realizar un análisis en frecuencia respecto a la presión sonora dependiendo de la función en la que se vaya a implementar el sonómetro en este caso; existen otros dispositivos de medición como los vibrómetros y acelerómetros las cuales cumplen otro tipo de funciones, pero que no serán necesarios estudiarlos en este proyecto.

En la Universidad San Buenaventura, hay tres marcas de instrumentos de medición de presión sonora: el svantek, el Rion y el Bruel los cuales son dispositivos que cuentan con diferentes funciones de calibración, y la posibilidad de diferentes filtros de ponderación frecuencia y de tiempo. El svantek y el Rion para poder analizar sus datos deben ser conectados a un computador por medio de un cable USB para descargar los datos de medición, y adicionalmente se debe contar con el software de este instrumento para hacer el estudio de la medición. El Bruel es un sonómetro que cuenta con un sistema que permite enviar los datos por medio de una aplicación donde su función es subir lo datos a una nube para luego poder ser analizados en un software al igual que los otros dos sonómetros.

En muchas ocasiones se han presentado problemas a la hora de descargar los datos, puede ser porque el cable USB no funcione, el software no reconoce el dispositivo o inclusive cuando cuenta con una memoria externa como una SD, a veces el computador no la reconoce, ya sea por un virus o porque la tarjeta de adaptación de dicha memoria no funciona. Adicional a esto todos los sonómetros son controlados manualmente lo cual en algunas mediciones debe estar presente cierto número de personas, y esto depende de la norma que se esté aplicando.

¿Cómo desarrollar un sonómetro que sea controlado inalámbricamente mediante una plataforma, que evite la exposición a altos niveles de presión sonora y facilite la transmisión y análisis de datos?

1.3 JUSTIFICACIÓN.

Este proyecto plantea implementar un dispositivo de medición de presión acústica el cual será controlado desde una página web, lo cual además de ser útil por su manejo inalámbrico, permitirá hacer una lectura o análisis de los datos, lo que obviara todo tipo de memoria interna (USB, SD, discos duros), ya que los datos serán enviados una vez el sonómetro comience hacer su proceso de medición con sus diferentes parámetros de medición como los filtros de ponderación temporal y ponderación en frecuencia.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo General:

- Desarrollar un sistema de adquisición y procesamiento de niveles de presión acústica en un sistema embebido, controlado por una aplicación para dispositivos móviles Android o multiplataforma, con el fin de que el usuario eluda la exposición a altos niveles de presión acústica en el momento de una medición y, facilitar la extracción de datos.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Diseñar y desarrollar el Hardware que cumpla con las características de un sistema de medición de presión acústica Regido por la norma IEC 61672.
- Desarrollar e implementar una aplicación (Software) que permita el control sobre el sistema (Hardware) que realiza la medición, a través de una plataforma interactiva para facilitar el manejo del dispositivo de medición.
- Determinar el protocolo de transmisión y recepción de datos con la que se logrará la comunicación entre los dos sistemas.

- Comparar los datos obtenidos del sistema propio con los de un sonómetro tipo 1 y tipo 2.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.

1.5.1 ALCANCES

- Los datos obtenidos del sonómetro serán más precisos dependiendo del transductor de entrada utilizado. Para el desarrollo del proyecto se utiliza el micrófono brindado por la institución educativa Universitaria San Buenaventura Bogotá (Mic TEF 04).
- La transmisión de datos, principalmente en su tamaño y velocidad de envío será más precisa conforme al protocolo de envío por red inalámbrica seleccionada.

1.5.2 LIMITACIONES

- El sistema trabajara solo si está conectado a una red inalámbrica.
- El sistema hardware debe ser alimentado por una fuente DC.
- Dado que no se cuenta con los recursos económicos para la obtención de un micrófono de medición se trabajara con el transductor con el que la Universidad disponga.
- El dispositivo realiza la discretización de la señal por medio de filtros análogos.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

El desarrollo del proyecto se encuentra sustentado en su mayoría por la *teoría de señales y sistemas, Probabilidad y estadística, y redes de telecomunicación*, que serán de vital importancia en la comprensión del siguiente documento.

Una señal está definida como una magnitud física variante en el tiempo, las cuales pueden ser continuas o análogas[11], en las cuales la variable independiente es continua por lo que estas señales se definen para una sucesión continua de valores de la variable independiente, y por otro lado, se encuentran las señales discretas o digitales las cuales sólo están definidas en tiempos discretos y, en consecuencia para estas señales la variable independiente toma solamente un conjunto discreto de valores[12]. , la notación en este documento con las que se representarán señales es la siguiente:

$x(t)$: Señal continua de una variable dependiente del tiempo t .

$x[n]$: Señal discreta de una variable independiente n .

En ese caso, la energía total en el intervalo de tiempo $t_1 \leq t \leq t_2$ para una señal continua está definido como:

$$E_x = \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt \quad (1)$$

Y de manera similar la energía total para una señal discreta en un intervalo $n_1 \leq n \leq n_2$ está definida como:

$$E_x = \sum_{n=n_1}^{n_2} |x[n]|^2 \quad (2)$$

Para empezar, una *onda sonora* ocurre cuando un disturbio o perturbación que se propaga por un material elástico causa una variación de presión o un desplazamiento de las partículas generadas por una fuente[11].

$p(t)$: Presión acústica en instantes de tiempo.

Estas variaciones de presión acústica en el tiempo serán capturadas por un *micrófono capacitivo* o *electroestático* que poseen una alta calidad en respuesta en frecuencia frente a la transformación de variaciones de presión acústica en variaciones de potencia eléctrica [5].

$$SPL(dB) = 10 \times \log_{10} (W/W_{ref}) \quad (3)$$

En un micrófono capacitivo, una fina hoja metálica se encuentra situada justamente frente a una placa, formando un *condensador*, un condensador es capaz de almacenar cargas eléctricas, cargas positivas en una de las placas y cargas negativas en la otra [17], que conectada la hoja a un polo de una batería, fuente de alta tensión o fuente fantasma, creado a finales de los años 60' por la compañía Neumann, productora de equipos de sonido, este sistema consiste en una fuente externa de corriente directa o un suministro de batería que es suministrado a equipos o dispositivos de audio para ser alimentados o polarizados, como los son micrófonos capacitivos. Generalmente se suministra entre +9 y +48 voltios [5] y [7]. Y conectando la placa al otro polo de la batería genera que la carga del condensador sea constante en el tiempo, así, cuando la onda sonora golpea la hoja del micrófono, la carga del condensador no cambia, pero si la capacidad y debido a la relación entre la capacidad, la carga y la tensión, demostrando que la tensión varía en consonancia con la intensidad de la vibración de la hoja del micrófono [17].

Lastimosamente estos niveles ya transformados poseen niveles de voltaje pequeños, en orden de mili voltios, siendo necesario realizar una *pre-amplificación* en voltaje de la señal, generando que el voltaje de la señal de entrada aumente a niveles de voltaje de línea 1.23 voltios o +4dBu, esto con el fin de permitir mayor control sobre la misma.[5]. En esta ocasión esta etapa de amplificación se realizó con un *amplificador operacional*, construido en 1948 por George Philbrick quien intervino en el desarrollo del mismo, introduciendo un

nuevo diseño con un solo tubo de vacío, capaces de sumar, restar, multiplicar e incluso resolver ecuaciones diferenciales, permitiendo también mayor facilidad de manejo y control a diferencia de la construcción de un amplificador con transistores, al igual de detalles como su pequeño tamaño y bajo costo, siendo importante mencionar la reducción de trabajo en el diseño de los circuitos. Uno de los primeros amplificadores lanzados al mercado y hasta hoy en día funcional y de mucha utilidad son los amplificadores operacionales 741, el cual en su pequeña pastilla contiene un complejo diseño de tercera generación. Compuesto de 1 capacitor, 11 resistencias y 27 transistores. [13].

El amplificador operacional utilizado para el trabajo de elevación de voltaje de la señal fue el *amplificador de instrumentación ad620*, este sistema no es más que un amplificador diferencial tensión-tensión; el *AD620* es un amplificador de instrumentación monolítico, basado en una modificación con tres amplificadores-operacionales, cuya ganancia puede ser configurada a partir de una resistencia de manera precisa [15] y [16].

A continuación se muestra la configuración general para el amplificador de instrumentación AD620

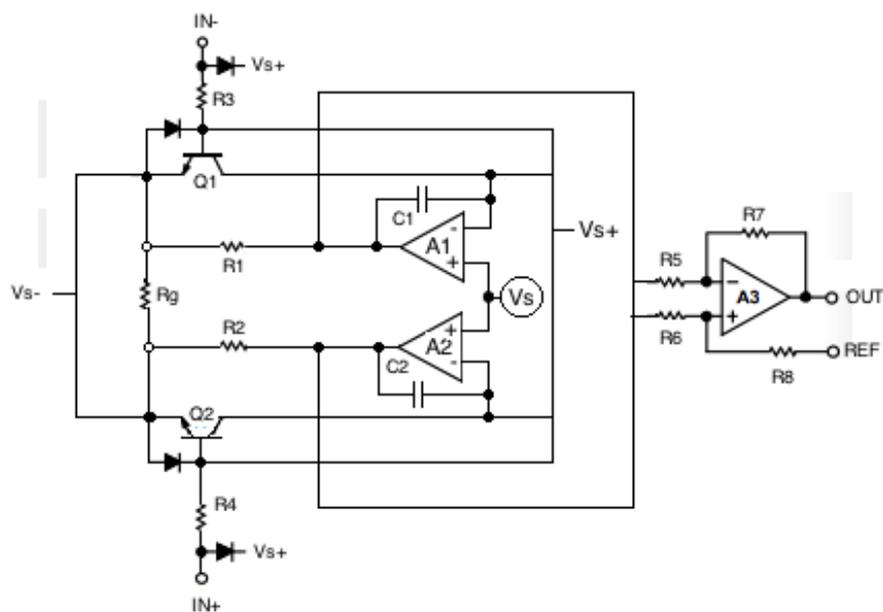


Figura 1. Esquemático Simplificado AD620. Fuente: Data Sheet AD620

Como se mencionó anteriormente, este amplificador de instrumentación ad620 es un sistema preciso y fácil de trabajar, contando también con una respuesta en frecuencia lineal en cuanto a ganancia amplificada. Donde los transistores de entrada Q1 y Q2 proveen una entrada simple diferencial para mayor precisión, ofreciendo multiplicar las bajas corrientes de entrada, generando incremento en la señal de salida. Generando una retroalimentación a través de Q1-A1-R1, Mientras que las retroalimentaciones a través de Q2-A2-R2 mantienen constante la corriente del colector de los sistemas de entrada de Q1 y Q2, donde la configuración de colector común genera también un incremento de la relación señal ruido, permitiendo que la señal de entrada ingrese con el menor ruido inducido posible y generando también que la entrada de voltaje pueda verse configurada por medio de una resistencia de ganancia R_g . Esto crea una ganancia diferencial entre las entradas de A1/A2, donde la salida está expresada en la siguiente ecuación encontrada en el data sheet del AD620:

$$G = (R1 + R2)/Rg + 1. \quad (4)$$

La unidad de ganancia sustractora A3, remueve todo tipo de señal en modo común, produciendo una salida simple en un extremo, referenciado como el pin potencial, REF.

Una vez amplificada la señal acústica y transmitida al conversor análogo digital (ADC), el cual es un dispositivo que ofrece una salida digital a partir de una señal analógica de entrada (temperatura, presión, vibración, etc.). También, realiza las funciones de cuantificación y codificación. Generalmente se les denomina dispositivo codificador ya que se utiliza para codificar señales con el fin de introducirlas en un sistema digital. [20] y [21]

- Muestreo

Indica la acción de tomar muestras en intervalos de tiempo regulares, las cuales son tomadas de una señal continua en el tiempo produciendo una señal discreta. Al número de muestras tomadas en un segundo se le conoce

como frecuencia de muestreo F_s .

- Cuantificación

Consiste en, a los valores de voltaje de entrada obtenidos de cada muestra asignarle un margen de valor con un único valor de salida.

- Codificación

Este proceso consiste en traducir los valores obtenidos en los procesos de cuantificación al código binario.

Al realizar este proceso de conversión A/D ocurre un fenómeno llamado *el efecto aliasing*, el cual ocurre cuando la frecuencia de muestreo F_s es inferior a la frecuencia de Nyquist lo cual genera un solapamiento o superposición entre las muestras adyacentes obtenidas, para evitar este problema es necesario implementar un filtro análogo paso-bajo o *filtro anti aliasing*, esto con el objetivo de limpiar antes de realizar el proceso de conversión analógica-digital, esto genera una atenuación en las frecuencias superiores a la f_{max} [14]. El muestreo se realiza a una frecuencia ligeramente mayor a la frecuencia de Nyquist, lo que produce una banda guarda entre los espectros adyacentes, facilitando el filtrado en el proceso de recuperación de la señal de entrada o señal original [18].

La validez de los procesos de conversión analógica-digital y digital-analógica son directamente dependientes del *Teorema de Nyquist*, el cual indica que se debe tomar muestras a una frecuencia del doble de la máxima frecuencia que tiene la señal a muestrear[17].

$$F_s = 2 * F_{max} \quad (5)$$

Para esta etapa de conversión, se implementaron diferentes *sistemas embebidos* (SE), desarrollados por la empresa IBM (International Business Machines Corp.) a finales de 1980, los sistemas embebidos son microprocesadores diseñados para realizar tareas específicas asignadas por el usuario, con el fin de optimizar los procesos para mejorar su desempeño y

eficiencia, reduciendo tamaño y costos de producción. [15].

Se plantean x métodos para esta etapa, y serán descritos a continuación:

El primer método plantea utilizar el *Conversor Análogo/Digital UDA1361TS* de la compañía *NXP Semiconductors*, el cual es un conversor de alta precisión, con un amplio rango dinámico, el cual es un sistema delta-sigma de 24-bits en resolución capaz de trabajar entre 2.6V a 3.6V de suplemento, es un sistema de conversión análoga digital que trabaja con protocolo de comunicación i2s especial para trabajar audio profesional. [9]. El *protocolo de comunicación I2S o IIS* (Integrated Interchip Sound), es un bus de datos serial usado para interconectar dispositivos de audio y hoy en día utilizado en sistemas profesionales dentro del mercado del audio, incluyendo discos compactos, cintas de audio digitales, procesadores digitales de sonido, y sonido digital para TV. El protocolo I2S consta de tres hilos de conexión: Serial Data, Word Select y Serial Clock. Este protocolo separa el reloj serial o serial clock y la señal que contiene información serial, generando un bajo porcentaje de jitter en comparación en una típica comunicación entre sistemas que requieran recuperar el flujo en el reloj de datos.[16] Y recibir los datos digitales de la señal ya convertida en la tarjeta programable Raspberry Pi 3 Model B, el cual es un ordenador de placa reducida u ordenador de placa simple de bajo costo desarrollado en el reino unido por la fundación Raspberry Pi. Estos dispositivos funcionan con un sistema operativo almacenados en memorias internas de la misma placa. Fue diseñada con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas debido a su eficiencia y confiabilidad, teniendo la posibilidad de reducir el tamaño y costo de producción. La Raspberry pi 3 modelo B está construida con el nuevo procesador de arquitectura ARM, de 64 bits con 1,2 GHz de velocidad, este sistema consta también de conectividad Wifi y Bluetooth de bajo consumo [15].

El segundo método propone utilizar un sistema embebido o micro controlador que contenga su propio módulo de conversión, tanto A/D como D/A. En este

caso se cuenta con un Arduino DUE, el cual es una tarjeta programable o microcontrolador basada en el procesador ARM core de 32 bits, el cual cuenta con un módulo de conversión análoga digital de 12 bits, capaz de operar a un voltaje de 3.3 V. Cuenta también con 2 puertos de conversión y 54 pines digitales configurables entre entradas y salidas.

Una vez transmitidos los datos a la plataforma o tarjeta programable, se procede a desarrollar el algoritmo correspondiente a la normativa IEC 61672 (Comisión Electrotécnica Internacional) que establece parámetros que debe seguir el fabricante de sonómetros. Para los fines de esta norma, los términos y definiciones dadas en la Norma IEC 60050-801, el vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología, la guía para la expresión de la incertidumbre en la medida, y la Norma IEC 61000-6-2, son aplicables así como los que siguen. Todas las magnitudes están expresadas en unidades del Sistema Internacional (SI). [19]

Por consiguiente se realizaron dos algoritmos. Para comenzar un algoritmo es una estructura lógica que cumple una o varias funciones que son escritos dependiendo el lenguaje de programación. Sabemos que los lenguajes de programación son expresiones que permiten ser interpretados por una máquina; estos son lenguajes de alto nivel, los cuales permiten al programador escribir instrucciones parecidas al inglés y contienen la notación matemática común. C, C++, y java son lenguajes de alto nivel más utilizados ya que suplen el proceso de compilación lo que pueda tardar considerablemente. El lenguaje C permite el desarrollo de algoritmos para realizar tareas específicas o dar una serie de órdenes a una máquina o en este caso un microcontrolador por lo tanto el primer algoritmo fue desarrollado en base a C donde se ordena adquirir una serie de datos y realizar diferentes procesos matemáticos. El segundo algoritmo está basado en C++ ya que es orientado a objetos y permite realizar interfaces gráficas donde el usuario puede interactuar con facilidad, y lo que permite para el programador realizar páginas web. Así mismo existen otros lenguajes de programación de alto nivel similares pero que cambian de sintaxis cumpliendo

las mismas u otras necesidades permitiendo al programador tener acceso a múltiples plataformas para el desarrollo de software.

2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

IEC 60268-15 VALORES DE CORRESPONDENCIA PREFERIDOS PARA LA INTERCONEXIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE SONIDO.

Indica los valores específicos para la alimentación de dispositivos de audio (micrófonos, amplificadores, sintetizadores, altavoces, etc.), y otro tipo de equipos que necesiten alimentación A.C. y D.C. Además esta norma establece que las fuentes de phantom power deben ser de tres tipos de alimentación P9, P24 y P48, que distribuyen voltajes de 9V, 24V y 48V respectivamente suministrando una corriente de 10 a 12 mA. Además hace énfasis al tipo de cable que se debe usar para este tipo de alimentación, el cual cuenta con dos hilos y una malla exterior que lo cubre de interferencias electromagnéticas.

IEC 61000-6-2: COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (EMC) - PARTE 6-2: NORMAS GENÉRICAS - INMUNIDAD PARA ENTORNOS INDUSTRIALES.

Esta norma se aplica a aparatos electrónicos que son conectados a una red electrónica alimentados por un transformador de alta o media tensión destinados a funcionar en lugares industriales y para sistemas que funcionen con batería, igualmente en lugares industriales aplicando para interiores y exteriores. Tiene una inmunidad para las frecuencias de 0 Hz a 400 Ghz.

IEC 60942 ELECTROACÚSTICA, CALIBRADORES ACÚSTICOS

Esta norma es aplicada a los instrumentos de calibración para los sistemas de medición, los cuales deben cumplir con unos requerimientos técnicos para hacer

uso de ellos. En esta IEC establecen un procedimiento de medida para los calibradores de clase PL (patrón de laboratorio) 1 y 2 (uso en campo); este proceso consiste en hacer pruebas asociadas con el nivel de presión sonora, la frecuencia y la distorsión total del sistema, haciendo uso de otros instrumentos de medición como el multímetro o un medidor de distorsión. En el momento del procedimiento que se encuentra en esta norma, se deben tener en cuenta condiciones ambientales verificando que estos se encuentren dentro del límite establecido:

Temperatura ambiente: (23 ± 3) °C.

Presión atmosférica: (1013 ± 10) hPa.

Humedad relativa: (50 ± 20) %

Se debe también verificar las tolerancias dadas por el fabricante de las diferentes mediciones de frecuencia, distorsión y presión sonora para la calibración del sistema (calibradores).

IEC 60050-801. DEFINE EL VOCABULARIO INTERNACIONAL DE TÉRMINOS DE FUNDAMENTALES Y GENERALES DE METROLOGIA

Como su nombre lo dice, esta norma define el vocabulario de términos fundamentales en el área de metrología, términos como la distancia que se encuentra generalizada con la unidad de medida metros [m], centímetros [cm], o mili metros [mm]. Otro ejemplo de esto es el valor de medida de la temperatura, cual se encuentra establecida como grados centígrados °C o grados celcius Fahrenheit °F. Este documento contiene términos básicos como: Frecuencia [Hz], periodo [T], o longitud de onda [ms], al igual que términos acústicos como: Presión acústica [Pa], o decibel [dB]. Tambien se encuentran términos de electrónica como voltaje [V], impedancia [R], entre otros.

RESOLUCIÓN 8321 DE 1983 MINISTERIO DE SALUD.

Esta norma hace referencia sobre la protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas por causa de la producción y la emisión del ruido. Define conceptos como bocinas, demoliciones, vehículos de motor, nivel de ruido, fuente emisora, etc. Establece los niveles sonoros máximos permisibles visto en la tabla 1 de la resolución. Da normas generales y especiales de emisión de ruido, lo que permite que algunos establecimientos estén retirados por ejemplo de las zonas residenciales u otros sectores que afecten a la salud y comodidad de las personas. Estipula los niveles máximos permisibles para vehículos los cuales se pueden ver en la tabla 2 de la resolución. En los lugares de trabajo también se dictan unas normas para la protección y conservación de la audición, donde una de ellas es la duración diaria de exposición de los trabajadores a niveles de ruido continuo; estos valores límites se pueden ver en la tabla 3 de la resolución.

IEC 61672. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS QUE DEBE CUMPLIR UN SONÓMETRO, EMITIDAS POR LA COMISIÓN ELECTRÓNICA INTERNACIONAL.

El presente trabajo es realizado bajo esta normativa, La cual establece parámetros que debe seguir el fabricante de sonómetros. Esta IEC cuenta con tres secciones.

Sección 1: Especificaciones. Parte principal de la norma en la que se detallan las especificaciones técnicas que debe cumplir un sonómetro y las que se tendrán en cuenta para este proyecto.

Sección 2: Ensayos de evaluación. Define los posibles ensayos que deben ser realizados para comprobar que un sonómetro cumple con las especificaciones de la sección 1.

Sección 3: Evaluaciones periódicas. Define los ensayos que aseguran al usuario a estar en conformidad a que su sonómetro se encuentre bajo las condiciones de referencia.

Este capítulo se centrará en la sección 1, por ser la que define especificaciones a las que debe ajustarse el sistema y que serán mostradas a lo largo del mismo.

La norma aplica a tres tipos y clases de instrumentos de medida del sonido:

- Sonómetros convencionales, los cuales son capaces de medir el nivel de presión sonora con ponderación temporal exponencial.
- Sonómetros integradores-promediadores, que son capaces de medir el nivel continuo equivalente.
- Sonómetros integradores, los cuales deben ser capaces de medir niveles de exposición sonora.

Se encuentran definidas dos clases de cumplimiento de la norma. Los sonómetros de Clase 1, los cuales poseen una tolerancia más restrictiva que la clase 2, ya que muchos instrumentos que se encuentran actualmente en el mercado son capaces de realizar todas las medidas anteriormente mencionadas, e incorporar capacidades adicionales, como por ejemplo análisis en frecuencia.

Esta norma se aplica tanto a sistemas de mano con micrófono incorporado y una pantalla donde sean mostrados los resultados, como a sistemas formados por sistemas independientes interconectados, con procesadores de señal análogos o digitales que sean necesarios para su operación como instrumento de medición. [4]

En la sección 2.2.2 Especificaciones de funcionamiento, se encuentra un resumen detallado referente a esta normativa, donde se mencionan las especificaciones y requerimientos que se tendrán en cuenta para el desarrollo de proyecto.

2.2.1 Definiciones

La siguiente sección define todos los términos referentes a la normativa IEC 61672 y a la vez se nombran términos fundamentales de metrología utilizados en el documento y desarrollo del mismo según la Norma IEC 60050-801.

- **Presión acústica de referencia:** Magnitud de referencia elegida convencionalmente igual a $20\mu Pa$ para sonido aéreo.
- **Nivel de presión acústica:** Veinte veces el logaritmo decimal del cociente entre el valor cuadrático medio de una presión acústica dada y la presión acústica de referencia. El nivel de presión acústica se expresa en decibeles (dB), símbolo Lp.
- **Ponderación frecuencial:** Para un sonómetro, la diferencia entre el nivel de la señal indicada en el dispositivo de presentación de resultados y al nivel que corresponde una señal de entrada sinusoidal continua y de amplitud constante, especificada en esta norma como una función de la frecuencia. La diferencia de nivel se expresa en decibelios (dB). Las tolerancias se encuentran en los anexos A.
- **Ponderación temporal:** Función exponencial temporal, con una constante de tiempo especificada, que pondera el cuadrado de la presión acústica instantánea.
 - Ponderación temporal F (rápida) → 0,125 segundos como constante de tiempo.

- o Ponderación temporal S (lenta) → 1 segundo como constante de tiempo.
- **Nivel sonoro ponderado temporalmente:** Veinte veces el logaritmo decimal del cociente entre una presión acústica cuadrática media y la presión acústica de referencia, siendo obtenida la presión acústica cuadrática media con una ponderación frecuencial normalizada y una ponderación temporal normalizada.
- **Nivel máximo de sonido ponderado temporalmente:** Mayor nivel de sonido ponderado temporalmente de un intervalo de tiempo establecido. Se expresa en decibelios (dB).
- **Presión acústica de pico:** Mayor valor absoluto de la presión acústica instantánea durante un intervalo de tiempo establecido.
- **Nivel de presión acústica de pico:** Veinte veces el logaritmo decimal del cociente entre una presión acústica de pico y la presión acústica de referencia, siendo obtenida la presión acústica de pico con una ponderación frecuencial normalizada. Se expresa en decibelios (dB).
- **Nivel de sonido promediado en el tiempo; nivel de sonido continuo equivalente:** Veinte veces el logaritmo decimal del cociente entre una presión acústica cuadrática media durante un intervalo de tiempo establecido y la presión acústica de referencia, siendo obtenida la presión acústica con una ponderación frecuencial normalizada. Se expresa en decibelios (dB).
- **Exposición sonora:** Integral temporal del cuadrado de la presión acústica sobre un intervalo de tiempo o un suceso establecido.
- **Nivel de exposición sonora:** Diez veces el logaritmo decimal del

cociente entre la exposición sonora y la exposición sonora de referencia, siendo esta igual al producto del cuadrado de la presión acústica de referencia por el intervalo de tiempo de referencia de 1 segundo.

2.2.2. ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

En la siguiente sección se nombrarán las especificaciones técnicas a las cuales se encuentra sujeto el proyecto según la norma IEC 61672, y que serán evaluadas en la comparación entre dispositivos BRUEL, SVANTEK, Sistema propio.

Normalmente un sonómetro cuenta con un micrófono, un procesador de señal y un dispositivo de visualización. El procesador debe incluir un amplificador con una respuesta en frecuencia específica, un dispositivo que capture y pondere en función del tiempo y de la frecuencia, y un medidor de tiempo.

Los medidores de nivel sonoro se dividen en 3 grupos:

- Grupo x: No necesita de conexión externa para su alimentación y es de una sola pieza, es decir cuenta con su propio micrófono.
- Grupo y: puede ser conectado a una fuente de corriente para su alimentación, y es de una sola pieza.
- Grupo z: puede ser conectada a una fuente de corriente para su alimentación, y puede ser de dos piezas, es decir el dispositivo que procesa la señal y el transductor de entrada.
- El medidor de nivel sonoro debe contar con un manual de instrucciones que indique cómo manejar adecuadamente el dispositivo y en caso de tener que conectarse a algo externo que indique cómo se debe hacer y

que debe utilizar.

- El transductor de entrada debe poseer un patrón directivo omnidireccional.
- Debe contar con ponderación A y C en caso que sea tipo 1, si es tipo 2 puede ser solo tipo A. La ponderación Z o lineal es opcional.
- Se debe indicar el nivel de presión acústica y el nivel pico a pico del voltaje que soporta el dispositivo.
- Se debe tener en cuenta el certificado de calibración de los sistemas de calibración (pistófono).
- Para los medidores tipo 1 el rango en frecuencia debe estar entre 63 hz a 16 khz por banda de octava o por tercio de banda de octava y el tipo 2 entre 63 hz y 8 khz mínimo por tercio de octava o banda de octava igualmente.
- Hay que tener en cuenta todas las variaciones que causa poner el antipop.
- La tolerancia en los ángulos de 30°, 90° y 150° no deben pasar los niveles que aparecen en la tabla 1 de la norma IEC 61672-1.
- Se debe aplicar los filtros de ponderación y los límites de tolerancia según como aparece en la tabla 2 de la norma IEC 61672-1.
- los filtros temporales se miden con un intervalo de tiempo de 0,125s para el filtro Fast y 1s para el filtro Slow.
- Medidores picos, RMS, niveles de presión instantáneos o equivalente.

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Esta tesis está enfocada hacia la rama de diseño de dispositivos, donde se realizará un dispositivo capaz de medir variaciones de presión acústica en instantes de tiempo, con referencia de la teoría de electrónica analógica y digital, y protocolos de comunicación utilizados actualmente.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Diseño de sistemas de sonido.

Esta rama de investigación de la ingeniería de sonido se encuentra ligada a la rama de diseño de sistemas.

3.3 HIPÓTESIS

Se podrá controlar por medio de una aplicación en un dispositivo móvil el sistema de medición de nivel de presión acústica que enviará los datos por medio de una red inalámbrica.

3.4 VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES

3.4.1 VARIABLES DEPENDIENTES

- El sistema se podrá implementar con cualquier micrófono de medición que cumpla los parámetros específicos para poder hacer su uso respectivo.
- El uso del WIFI dependerá de la red que utilice ya que enviara un paquete de datos por este medio.

- El sistema de medición será controlado por una aplicación que tomará los datos dependiendo de la orden que se le envíe a través del software móvil.

3.4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

- Transductor de entrada, disponibilidad.
- La aplicación tendrá la posibilidad de controlar el sonómetro vía WIFI.

4. DESARROLLO INGENIERIL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La siguiente sección expone en tres capítulos y uno a uno de los diferentes procesos y procedimientos que se llevaron a cabo dentro de cada una de las etapas análogas y digitales que fueron necesarios para el desarrollo del proyecto.



Figura 2. Diagrama de bloques general del proyecto. Fuente: Propia

4.1 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN ANÁLOGA

4.1.1 Diseño De Preamplificador

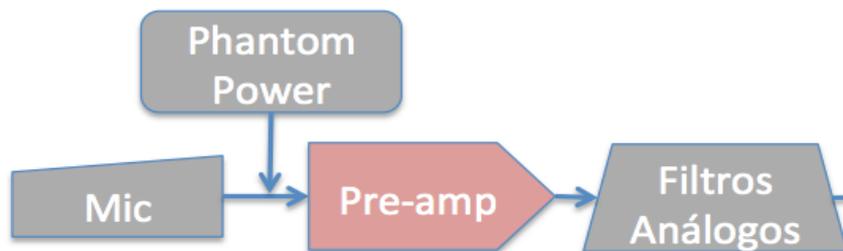


Figura 3. Sección de Pre-amplificación dentro del diagrama general. Fuente: General.

Para empezar el desarrollo del hardware o sistema de adquisición de datos, es primordial iniciar con la etapa de pre-amplificación, ya que conociendo las características de funcionamiento y realizando el diseño de amplificación de ganancia adecuada, permitirá al preamplificador servir como referencia para la caracterización de los demás sistemas o equipos a trabajar.

Se seleccionó el amplificador operacional AD260, este un sistema de bajo costo y alta exactitud en amplificación, el cual solo requiere de una resistencia externa para configurar la ganancia de salida que puede ser modificada para trabajar entre un rango de 1 a 10,000 veces de amplificación, su alimentación o suplemento de poder DC puede ser modificada trabajando así entre +/- 2.3v a 1+/-18v. Consumiendo un total de 1.3mA máximo.

El diseño desarrollado para el preamplificador se muestra a continuación:

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_g} + 1 \quad (6)$$

Buscando generar un factor de amplificación de cercano a las 5 veces el voltaje de la señal de entrada se escoge un valor para resistencia de ganancia lo más exacta posible, en este caso se requirió una resistencia de 12k ohm.

$$R_g = 12k \Omega \quad (7)$$

Reemplazando el valor de la resistencia de ganancia en la ecuación anterior:

$$G = \frac{49.4k\Omega}{12k \Omega} + 1 = 5,11 \quad (8)$$

Obteniendo así las veces del nivel de voltaje de la señal de entrada.

Una vez terminado el montaje, se procedió a realizar pruebas de amplificación, con lo cual desde un generador de señal se introdujo una señal cuyas características de amplitud, frecuencia y fase son conocidas, permitiendo ser analizada su respuesta a la salida del amplificador desde un osciloscopio digital y un multímetro. Dando como resultado a una señal senoidal de entrada de 100 mV RMS, una salida de 515,14 mV RMS, con una frecuencia de 1kHz y una fase de 0°. Con lo que se puede concluir que:

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{515,14mV}{100mV} = G \quad (9)$$

$$G = 5,1514$$

Se realizó el mismo procedimiento para todo el espectro en frecuencia a evaluar comprendido entre 30 Hz a 20 kHz, donde se varió la frecuencia con pasos de 10 Hz desde 30 Hz hasta 2 kHz; en pasos de 100 Hz de 2 kHz hasta 4 kHz; y en pasos de 1000 Hz de 4 kHz a 20 kHz.

Los valores se muestran por banda de octava en la figura 4. Cabe mencionar que para baja frecuencia se comporta de acuerdo al funcionamiento de diseño, generando más amplificación en estas, que en medias y altas frecuencias, confirmando una amplificación lineal desde 50Hz hasta 20 kHz garantizando su funcionamiento y sirviendo como referencia para los diferentes sistemas que se trabajarán a lo largo de la sección.

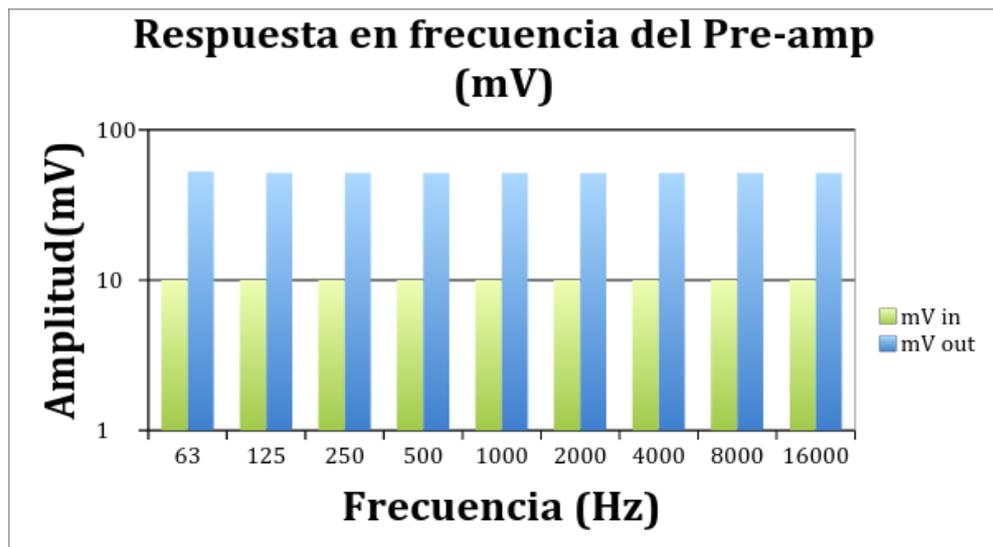


Figura 4. Función de transferencia del Pre-amp en función de la frecuencia con una ganancia establecida de 5 veces la entrada. Fuente: Propia

4.1.2 Alimentación DC Para Preamplificador

Como se comentó en el literal anterior (4.1.1), el sistema de pre amplificación requiere de una fuente de voltaje dual para su polarización y correcto funcionamiento, al igual que la mayoría de sistemas eléctricos, este requiere de un suministro de potencia externo.

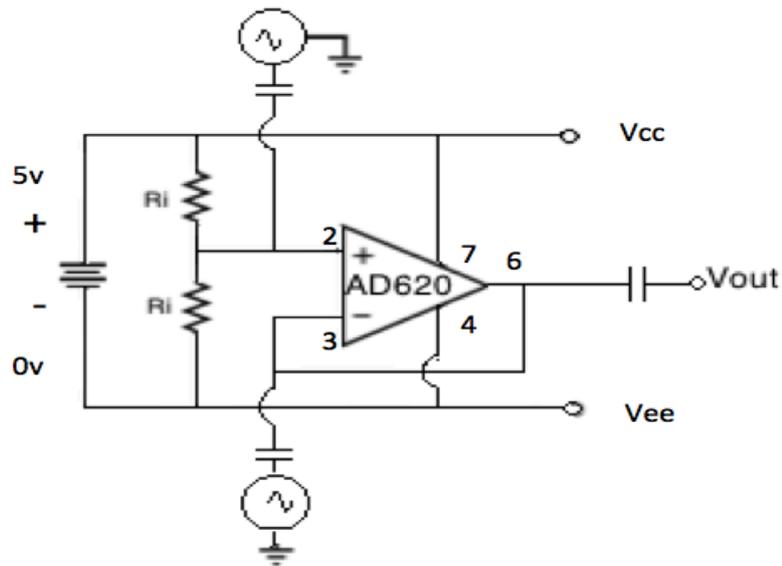


Figura 5. Esquemático de alimentación DC para Amplificador AD620. Fuente: Propia.

Se procede por realizar un divisor de tensión antes del pre-amplificador para una batería de 5 voltios, con lo cual, la configuración del divisor de tensión permite que la tensión de una fuente sea repartida entre una o más resistencias conectadas en serie, haciendo que el voltaje suministrado por la batería se divida en los voltajes que caen sobre las resistencias R_i , utilizando resistencias de precisión y del mismo valor para reducir el margen de error se obtiene como resultado +2.5v y -2.5v.

En el apéndice A se exponen los valores de amplificación y que fueron medidos de la señal de salida con referencia en una señal de entrada de 10 mV RMS, esto para conocer el nivel o valor de saturación del preamplificador para la señal de entrada.

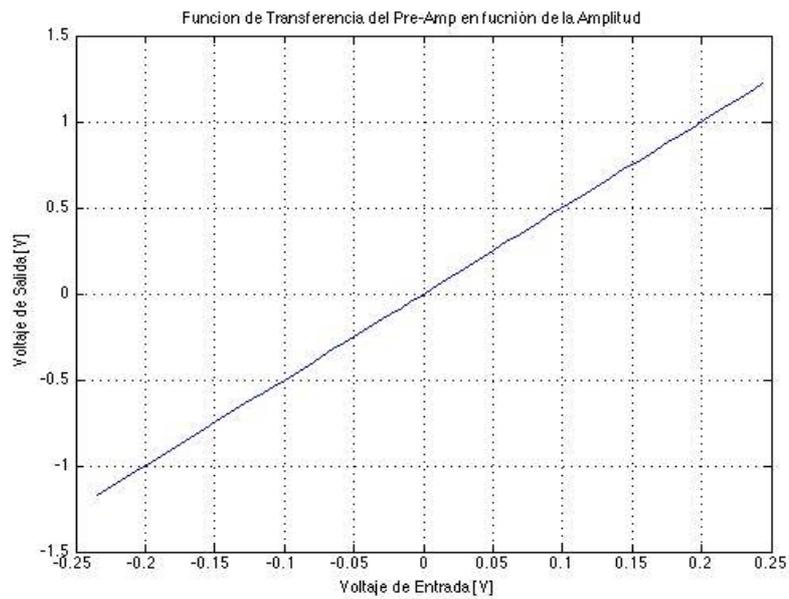


Figura 6. Función de transferencia del Pre-amp en función de la amplitud (dB). Fuente: Propia.

Como se puede observar en la Figura 6, se varió la amplitud de la señal de entrada desde 10 mV en adelante, concluyendo que el sistema trabaja de acuerdo a lo diseñado, teniendo en cuenta que la ventana de trabajo permitida por la fuente de alimentación es de 240 mV y de este nivel o valor en adelante, el sistema entra en estado de saturación.

4.1.3 Especificaciones De Phantom Power

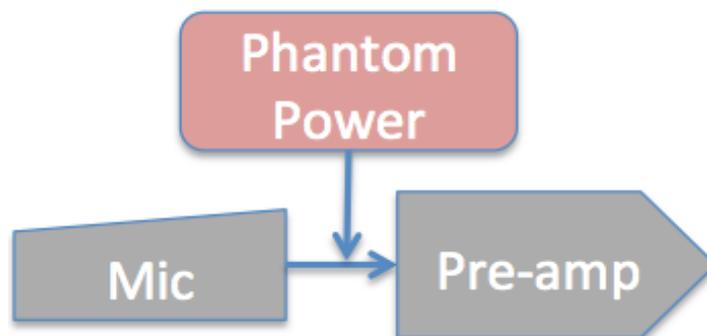


Figura 7. Sección de Phantom Power dentro del diagrama general. Fuente: Propia

El phantom power o alimentación fantasma está definido como una fuente externa de corriente directa ideal para sistemas de audio que requieren de polarización fija, en pocas palabras actúa como dispositivo de potencia suministrando un voltaje fijo y, dependiendo de la exigencia del micrófono, más corriente.

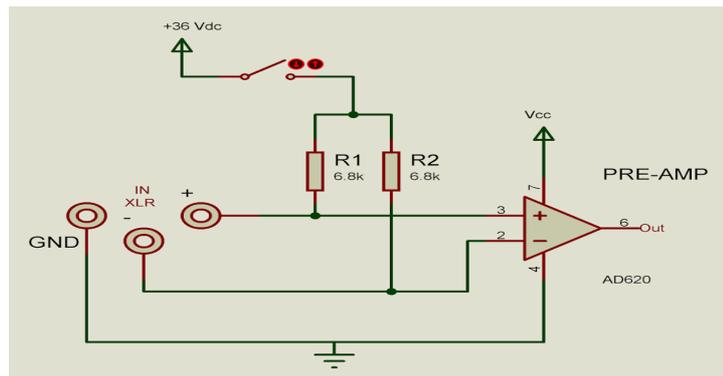


Figura 8. Esquemático de implementación del Phantom Power. Fuente: Propia

Para llevar a cabo la conversión de corriente alterna a corriente continua (AC-DC), el phantom power cuenta con una etapa de conversión de voltaje AC, es decir, un adaptador AC-DC reduce 110V AC a 18V DC, seguidamente este se convierte en alimentación para que la segunda etapa aumente la corriente del voltaje entregado por el adaptador, esto se logra mediante un multiplicador de tensión (mediante 3 diodos y 3 condensadores), después se encuentra la etapa de filtrado y amplificación, donde se busca eliminar todas las señales ruido y amplificar el doble la señal previamente rectificada, en este caso se utilizó el transistor TIP122 como medio de amplificación. Por último, la etapa de regulación garantiza que el voltaje no exceda el límite establecido de 48v para la alimentación de micrófonos. Para llevar a cabo la conversión de corriente alterna a corriente continua (AC-DC), el phantom power cuenta con una etapa de conversión de voltaje AC, es decir, un adaptador AC-DC reduce 110V AC a 18V DC, seguidamente este se convierte en alimentación para que la segunda etapa aumente la corriente del voltaje entregado por el adaptador, esto se logra mediante un multiplicador de tensión (mediante 3 diodos y 3 condensadores),

después se encuentra la etapa de filtrado y amplificación, donde se busca eliminar todas las señales ruido y amplificar el doble la señal previamente rectificada, en este caso se utilizó el transistor TIP122 como medio de amplificación. Por último, la etapa de regulación garantiza que el voltaje no exceda el límite establecido de 48v para la alimentación de micrófonos.

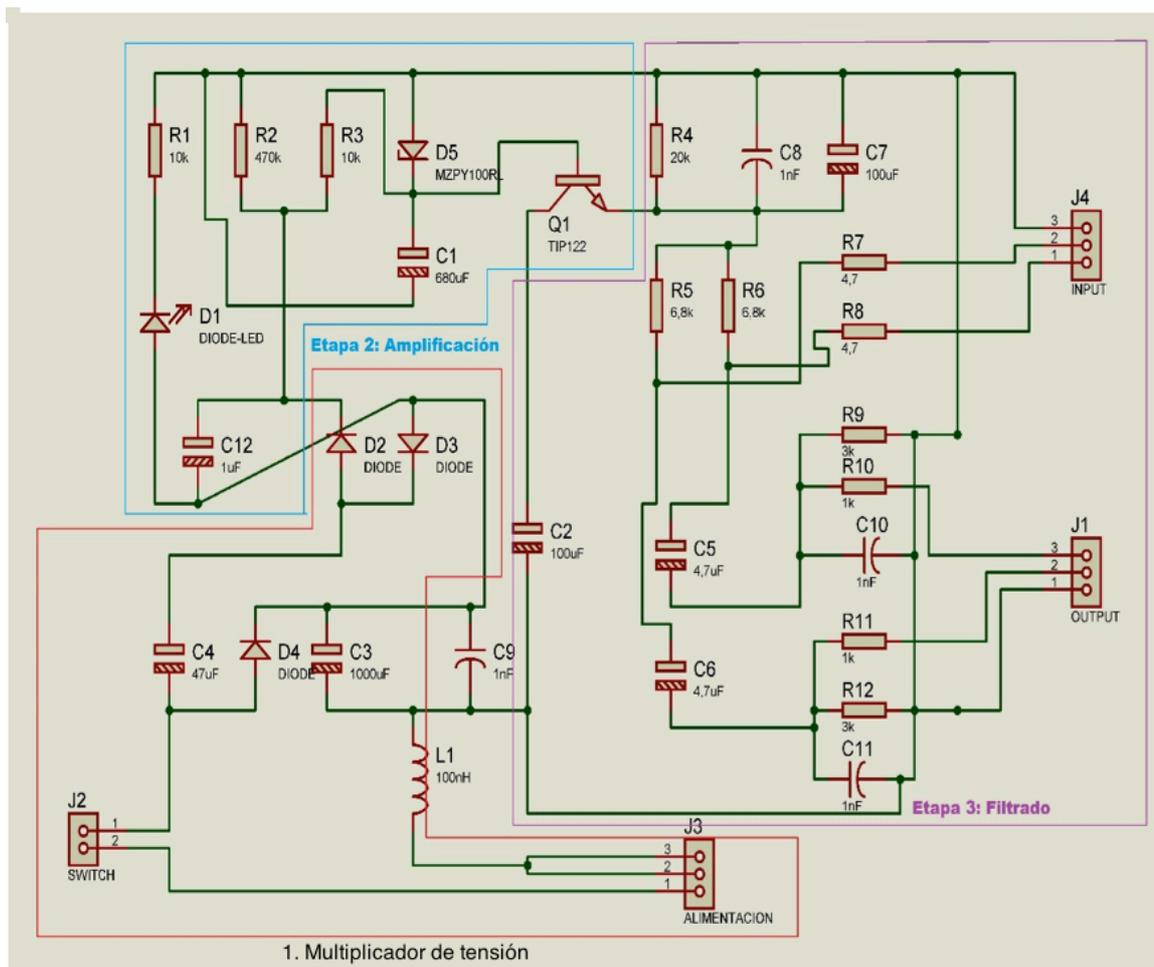


Figura 9. Esquemático del Phantom Power. Fuente: Propia.

En la figura 9. se observa el esquemático utilizado para la alimentación independiente del micrófono, dentro del esquema se realizó la delimitación de las etapas de manera general pero hay elementos que se comparten entre las demás etapas, variando las resistencias R3 y R4 se configura el circuito para que el voltaje de salida sea el doble del voltaje de entrada, la alimentación del

phantom power funciona con un adaptador que cumple la etapa de reducción y entrega 18v por ende la salida DC del phantom power es de 35.75 V.

El estándar internacional IEC 60268-15, define tres tipos de alimentación fantasma o phantom power para dispositivos de audio profesional, los cuales son: P48, P24 Y P9.

Tipos de Alimentación Phantom power P.P	Voltaje suministrado [V]	Resistencia de Carga [Ohm]
P9	12V	0.68K
P24	24V	1.2K
P48	48V	6.8K

Tabla 1. Comparación tipos de alimentación. Fuente: Propia.

	ECM-8000 Behringer	TEF-04 Goldline
Suplemento de poder P.P [V]	15V a 48V	12V a 48V

Tabla 2. Voltaje de alimentación para los micrófonos de medición. Fuente: Propia

4.1.4 Caracterización Del Micrófono

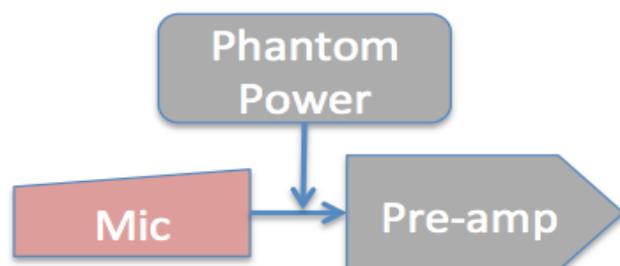


Figura 10. Sección de Micrófono dentro del diagrama general. Fuente: Propia.

En esta sección se expone uno a uno los pasos realizados en la caracterización del transductor o micrófono utilizado, con el fin de conocer el estado actual de los mismos, así como sus diferentes variables que son de vital importancia en el óptimo funcionamiento del dispositivo a construir y para cualquier sistema de audio en general.

Los transductores utilizados en este proyecto fueron, el micrófono de referencia ECM8000 de marca Behringer y el micrófono TEF 04 de fabricante Goldline. Cuyas características de fabricación son las apropiadas cuando se espera una respuesta en frecuencia de calidad y lineal.

Como se explicó en literales anteriores, teniendo en cuenta el valor de ganancia establecido en el diseño del amplificador de instrumentación, es posible conocer la sensibilidad de estos transductores, ingresando una señal senoidal con frecuencia de 1kHz a 94 dB SPL, esto garantizado por un pistófono, midiendo el voltaje de la señal de salida después de la etapa de pre amplificación, obtenemos que:

Micrófono	TEF 04 Goldline	ECM8000 Behringer
V salida	48,93 mV	64,49 mV

Tabla 3. Voltaje de salida del amplificador de instrumentación con Pistófono. Fuente: Propia

Conociendo los voltajes de salida de la señal para cada micrófono y el valor de ganancia establecido por el preamplificador, se afirma que la sensibilidad está definida como el voltaje de entrada y se expresa como:

$$G = \frac{V_s}{V_e} \rightarrow V_e = \frac{V_s}{G} \quad (10)$$

Dando como resultado que la sensibilidad para cada micrófono es:

Micrófono	TEF 04 Goldline	ECM8000 Behinger
Sensibilidad(Ventrada)	9.50mV	12.52mV

Tabla 4. Voltaje de entrada al amplificador de instrumentación con pistófono. Fuente: Propia

La calibración se llevó a cabo generando una señal sinusoidal con amplitud de 94 dB SPL, ubicado a un metro de distancia desde una fuente omnidireccional, esto garantizado por un sonómetro SVANTEK, y mediante un osciloscopio se obtuvo el valor del voltaje de salida medido y se obtuvo:

Micrófono	TEF 04 Goldline	ECM8000 Behinger
Sensibilidad (Vin)	6,9mV	7,8mV
Amplificación (Vout)	34,5mV	37,5mV

Tabla 5. Voltaje de entrada y voltaje de salida del amplificador de instrumentación con fuente omnidireccional. Fuente: Propia

La medición y caracterización del patrón directivo para cada uno de los micrófonos se realizó generando un barrido de frecuencia en pasos por banda octava desde 125Hz hasta 8 KHz desde una fuente omnidireccional a un metro de distancia de los mismos.

A continuación se muestran las gráficas de la figura 11 hasta la figura 17 los resultados de todas las mediciones realizadas en esta sección.

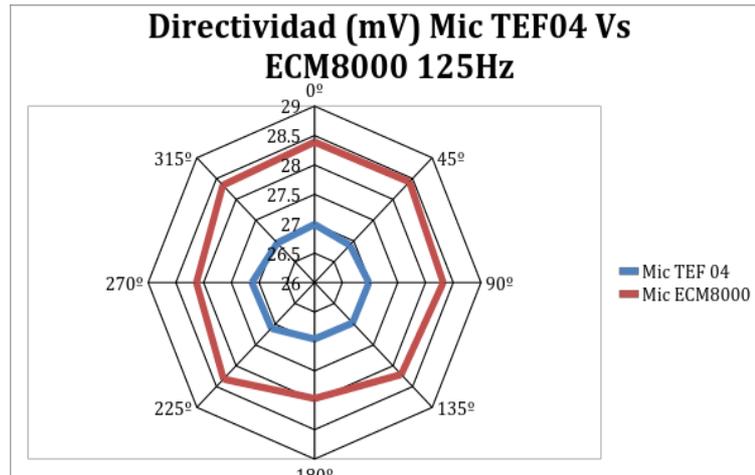


Figura 11. Directividad (mV) Mic TEF04 Vs ECM8000 125Hz (medido). Fuente: Propia

Como se puede observar en la figura 11, el micrófono ECM 8000 presenta mayor sensibilidad omnidireccionalmente que el micrófono TEF 04, aunque se evidencia que ambos transductores responden de buena manera para la frecuencia de 125 Hz.

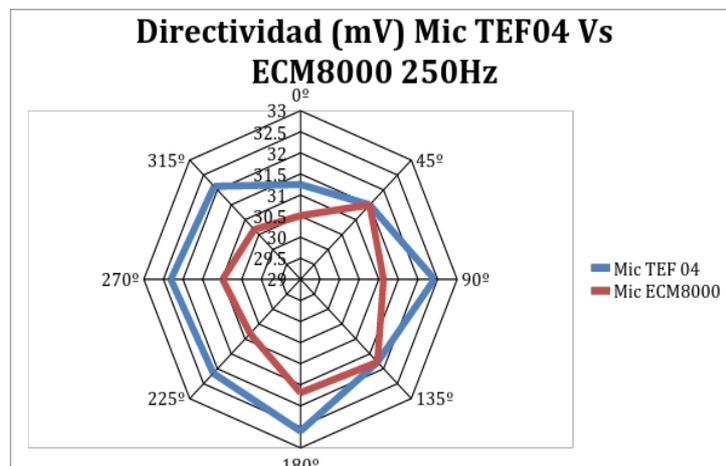


Figura 12. Directividad (mV) Mic TEF 04 Vs ECM8000 250 Hz (medido). Fuente: Propia.

La figura 12 corresponde a la respuesta de ambos micrófonos para la frecuencia de 250 Hz, donde esta vez el micrófono TEF 04 responde con una mayor sensibilidad que el mic ECM 8000 teniendo en cuenta que la discrepancia de

voltajes para cada grado de incidencia es tan solo de 1 mV.

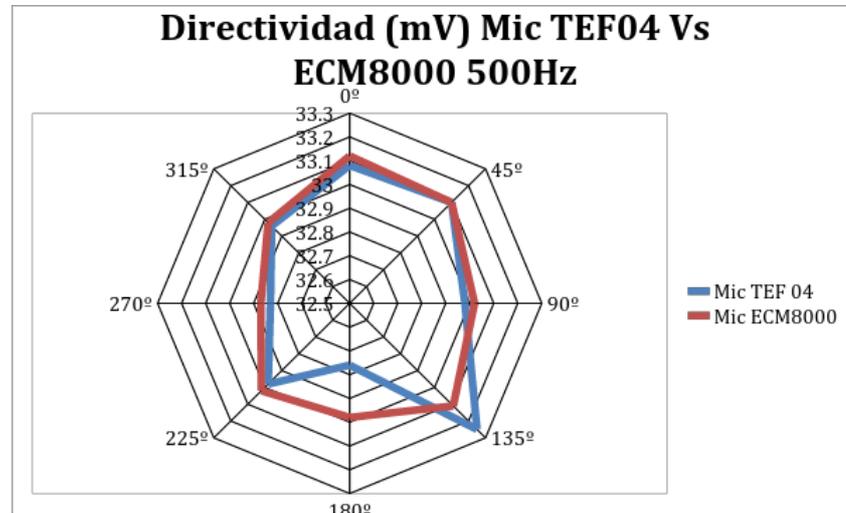


Figura 13. Directividad (mV) Mic TEF 04 Vs ECM8000 500 Hz (medido). Fuente: Propia.

La figura 13 expone la sensibilidad de los micrófonos en la frecuencia de 500 Hz, donde se puede observar que el micrófono ECM 8000 presenta una atenuación en el grado de incidencia de 270° pero responde de manera lineal para los demás grados. Por otro lado, el micrófono TEF 04 presenta una atenuación en 180° y en el grado de incidencia de 135° presenta una elevación exagerada de nivel, aunque es importante resaltar que estas variaciones de nivel son de tan solo 1 mV máximo por grado.

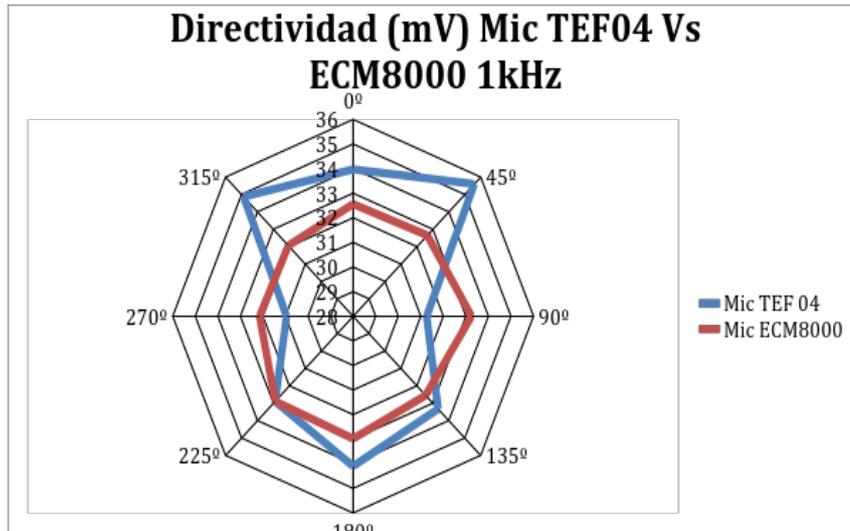


Figura 14. Directividad (mV) Mic TEF 04 Vs ECM8000 1 kHz (medido). Fuente: Propia.

En la frecuencia de 8000 Hz el micrófono TEF 04 presenta el mismo nivel de atenuación para los grados de incidencia de 90° y 270°, con lo que hace pensar al grupo de investigación que el estudio de producción utilizado para llevar a cabo esta medición presenta un modo de vibración en esta banda, ya que estas mediciones fueron repetidas 5 veces por frecuencia analizada y en todas las mismas se generó el mismo resultado. Aunque el micrófono ECM 8000 no presenta este modo en la figura 14, se generó el mismo modo de vibración en 2 de las 5 mediciones.

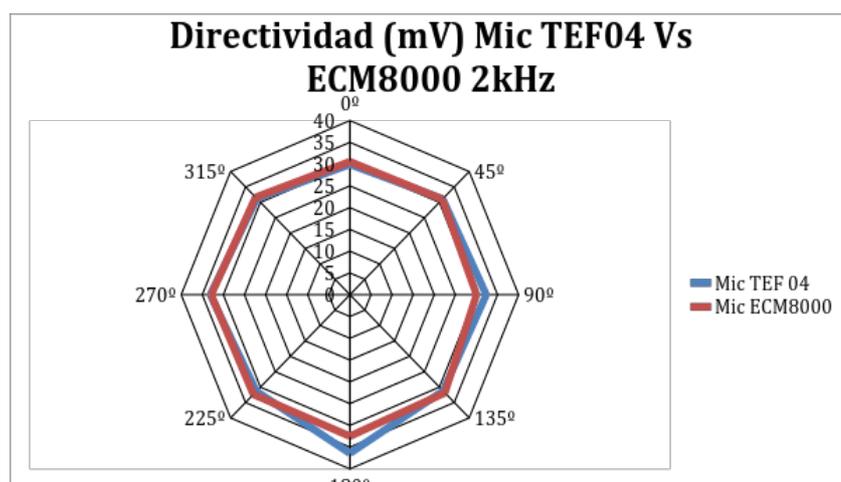


Figura 15. Directividad (mV) Mic TEF 04 Vs ECM8000 2 kHz (medido). Fuente: Propia.

Como se expone en la figura 15, tanto el micrófono TEF 04 como el ECM 8000

poseen una respuesta plana para todos sus ángulos de incidencia medidos.

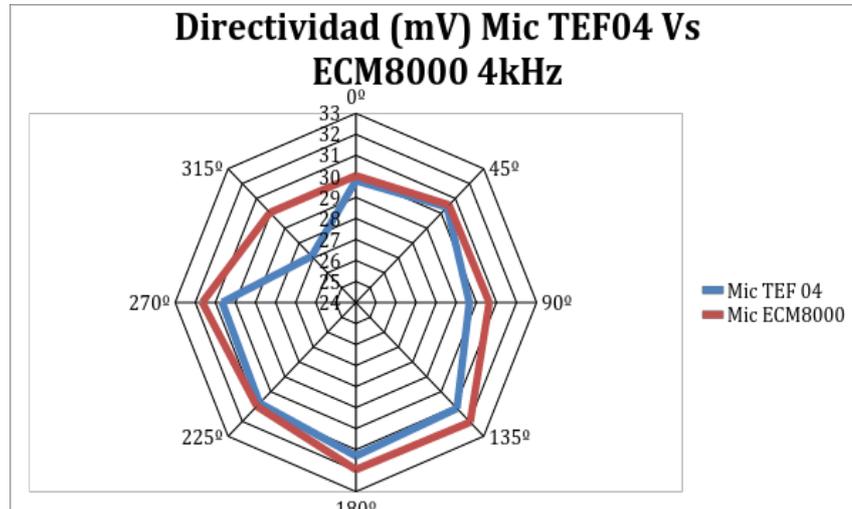


Figura 16. Directividad (mV) Mic TEF 04 Vs ECM8000 4 kHz (medido). Fuente: Propia.

Para la frecuencia de 4000 Hz y como se observa en la figura 16, ambos transductores responden de manera omnidireccional, el micrófono TEF 04 resulta con una ligera desviación de -4mV en el grado de incidencia 315°.

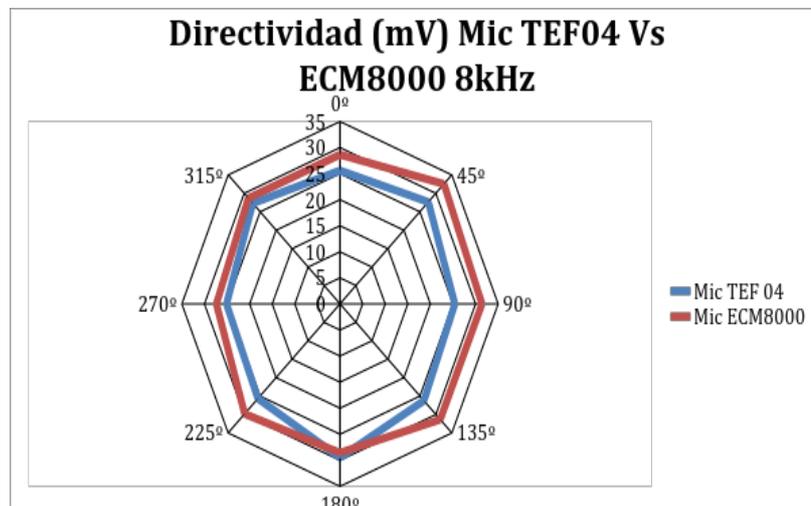


Figura 17. Directividad (mV) Mic TEF 04 Vs ECM8000 8 kHz (medido). Fuente: Propia.

En la figura 17 se exponen los valores obtenidos para la frecuencia de 8kHz y como se puede observar, los dos micrófonos poseen una respuesta plana con una ligera desviación 3 mV en 45°, 90° y 135°.

En el literal 5 de análisis y resultados en la sección 5.2, se muestra el estudio de la comparación de patrones directivos entre micrófonos y se hace una correlación con la desviación permitida de presión acústica entre los ángulos de incidencia según la normativa IEC61672.

4.1.5 Implementación De Filtros Análogos



Figura 18. Sección de Filtros Análogos dentro del diagrama general. Fuente: Propia.

Surge la necesidad de implementar filtros análogos, con el objetivo de generar el filtrado de acuerdo a la ponderación frecuencial establecida por la normativa. Para el prototipo se pretende realizar la ponderación A, C.

A continuación, se muestran las gráficas correspondientes a los valores de corrección establecidas para las ponderaciones A y C para cada una de las bandas de frecuencia nombradas en la normativa. Tabla de ponderaciones se ilustra en apéndice G.

Se diseñan tres filtros pasivos pasa banda RC que satisfaga las frecuencias de corte (F_c) para las ponderaciones A, C;

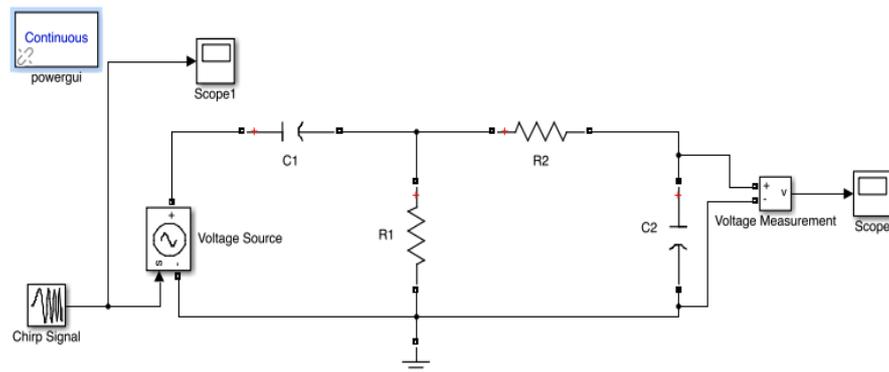


Figura 19. Circuito equivalente pasa banda RC. Fuente: Propia.

Donde la función de transferencia se encuentra en función de la frecuencia ($S=j\omega$), y que para un filtro pasa banda se encuentra definida como:

$$\frac{V_{out}(S)}{V_{in}(S)} = \frac{\frac{S}{RC}}{S^2 + 2S + \frac{1}{R^2 C^2}} \quad (11)$$

Para la ponderación A, con frecuencias de corte en 500 Hz para la frecuencia inferior y 10.000Hz para la frecuencia superior, se diseña un filtro a partir de valores comerciales de capacitores de 330nF.

$$W_c = 2\pi f \quad (12)$$

$$F_{cinf} = 500\text{Hz}, F_{csup} = 10000\text{Hz}$$

$$W_c = \frac{1}{RC} \rightarrow C = \frac{1}{W_c R} \rightarrow R = \frac{1}{W_c C} \quad (13)$$

$$C_{fs} = 330\text{nF} \text{ Y } C_{fi} = 330\text{nF}$$

$$R_{fcfin} = 964.575 \text{ K}\Omega$$

$$R_{fcsup} = 48.22 \Omega$$

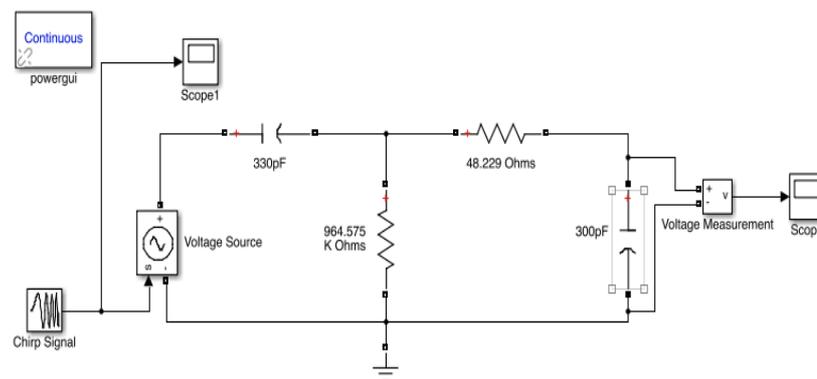


Figura 20. Circuito equivalente Ponderación A. Fuente: Propia.

La figura 20 expone el circuito equivalente para la ponderación A, donde esta configuración de elementos pasivos genera una atenuación de primer orden en

las frecuencias de 500Hz y 1kHz. Los resultados de la simulación se muestran a

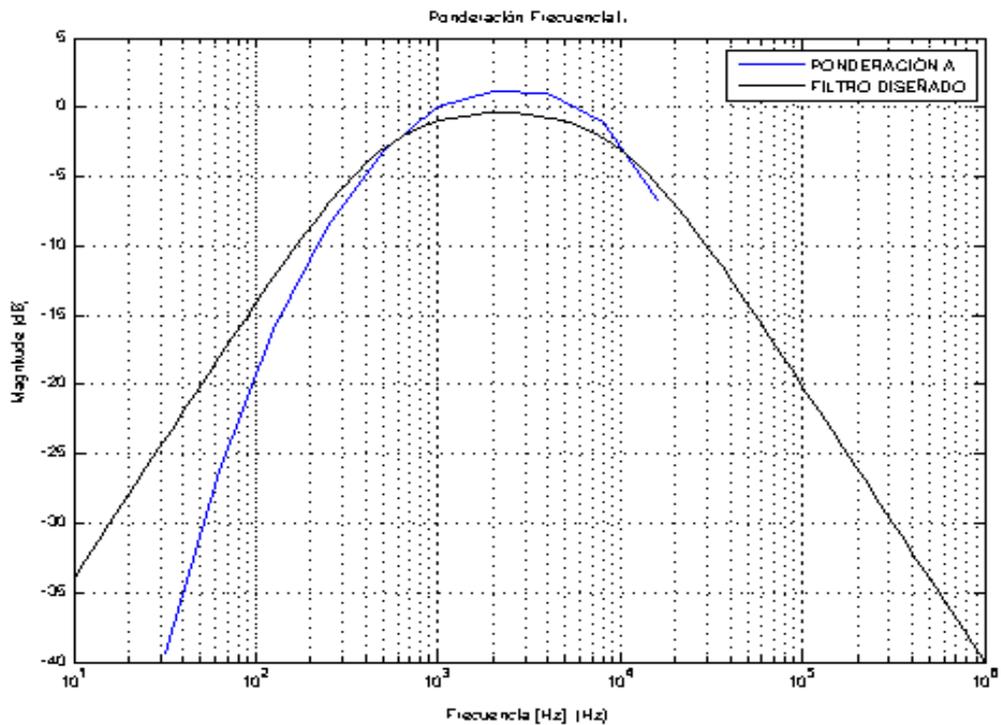


Figura 21 .Respuesta en frecuencia Ponderación A resultante. Fuente: Propia.

Como se puede observar en la figura 21, el filtro diseñado responde a las mismas frecuencias de corte que la ponderación A, aunque la ponderación A posee un incremento de nivel desde la frecuencia de 2kHz a 4kHz y el filtro diseñado responde a un sistema lineal, es decir, que a lo ancho del espectro frecuencial el valor de entrada es totalmente plano.

Se diseña también un filtro equivalente a la ponderación C, en la búsqueda de corresponder a la especificación que entrega la norma IEC 61672.

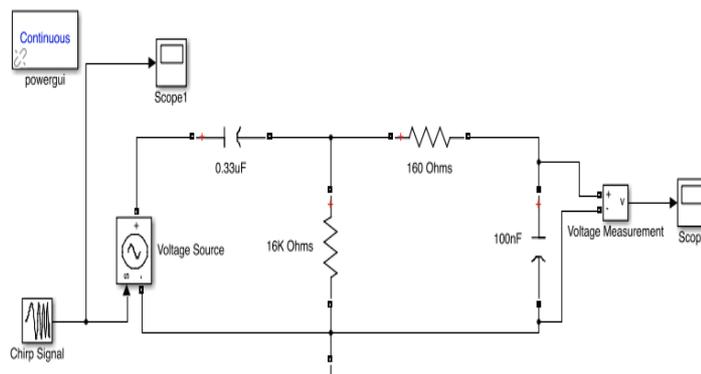
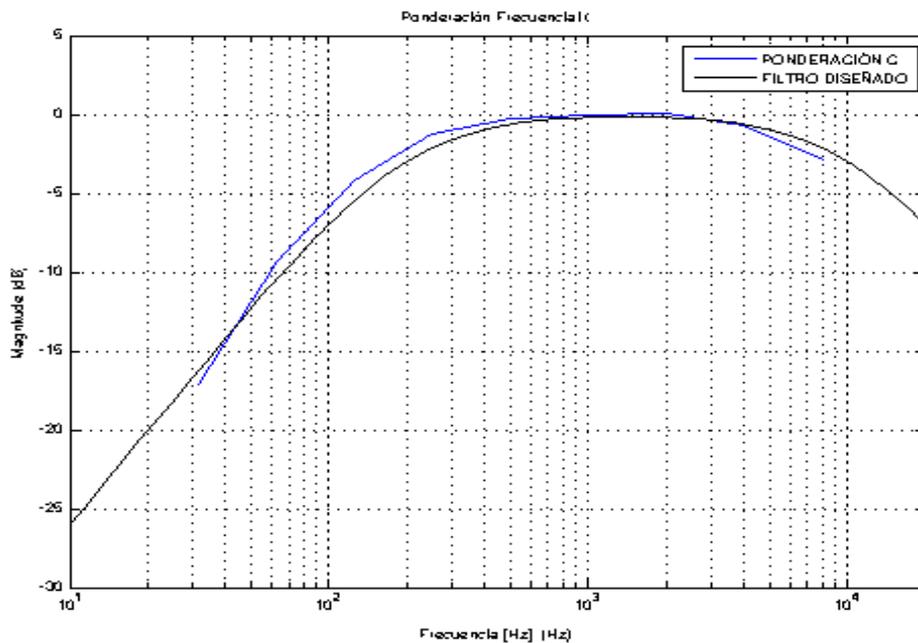


Figura 22. Circuito equivalente Ponderación C. Fuente: Propia

Al igual que la ponderación A, y como se observa en la figura 22, el filtro diseñado para la ponderación C o lineal, corresponden al circuito equivalente de un filtro pasa banda en configuración RC. Donde las frecuencias de corte para este filtro pasivo de primer orden que corresponden a 500 Hz para la frecuencia



inferior y 10kHz para la frecuencia superior. La simulación se muestra a continuación.

Figura 23. Respuesta en frecuencia Ponderación C resultante. Fuente: Propia.

Como se observa en la figura 23, la respuesta en frecuencia en el filtro diseñado responde de manera exacta a las correcciones asignadas por la ponderación C, aunque presenta un aumento de +1 dB en las frecuencias de 50 , 100, 200 y 300 Hz.

En la sección de análisis y resultados se encuentra la correlación entre los valores medidos. Y un análisis más completo sobre a respuesta final del

dispositivo.

4.2 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DIGITAL

En este capítulo se exponen dos configuraciones implementadas para la adquisición y procesamiento digital de la señal proveniente de la etapa análoga.

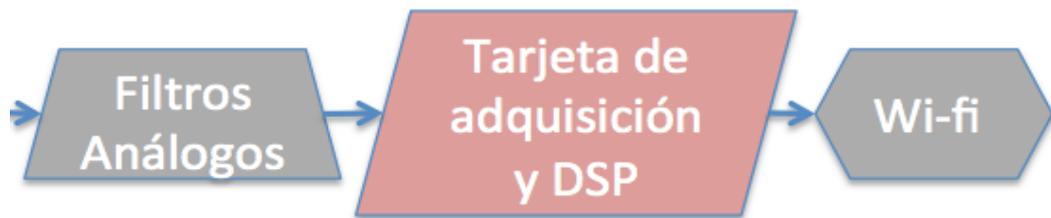


Figura 24. Sección de Tarjeta de adquisición y DSP dentro del diagrama general.m
Fuente: Propia.

4.2.1 Configuración 1.A: Implementación De Conversor AD Independiente.

Una vez finalizado la etapa análoga se entra a analizar diversos sistemas de conversión análogo-digital. Se realizaron comparaciones entre diversos sistemas De conversión delta-sigma que cumplieran con la principal necesidad en cuanto a profundidad en bits, recordando que a más bits aplicados, más amplia será la ventana de trabajo o rango dinámico para la señal ya digitalizada, generando resultados precisos y parecidos a la señal análoga original. Otra característica importante para tener en cuenta es la frecuencia de muestreo en el proceso de discretización de la señal, ya que se debe muestrear con un mínimo de 32 kHz, recordando el teorema de Nyquist donde la frecuencia de muestreo debe ser igual a dos veces la frecuencia máxima del espectro a evaluar, permitiendo evaluar dentro de un rango en frecuencia de 20 Hz hasta los 16 kHz.

Referencia	Resolución [Bits]	Frecuencia de Muestreo (máx)[Fs]	Reloj	Comunicación	Vcc[v]
ARDUINO DUE	12	120kHz	Interno	Serial SPI I2C	5-3.3
AD7734	24	15,4 kHz	Externo	Serial SPI	5
ADS131E04	16-24	4,8 kHz	Interno	Serial SPI	5
AD7190	24	1kHz	Externo	Serial SPI	5
AD1211	16-24	1kHz	Externo	Serial SPI-I2C	5
UDA1361TS	24	96kHz	Externo	Serial I2S	5
AD7193	24	4.8kHz	Externo	Serial SPI	5
ADS1294	24	32kHz	Externo	Serial SPI	5

Tabla 6. Comparación de Conversores A/D en el mercado. Fuente: Data Sheet UDA 1361TS. 96 KHz Sampling 24-bits stereo Audio ADC. 2001. NPX Semiconductor y <https://www.arduino.cc>

Los datos arrojados en la comparación concluyen que el sistema capaz de proveer un rango de conversión análoga/digital lo suficientemente amplio en cuanto a las variables mencionadas anteriormente es el sistema A/D UDA1361TS. El cual es un microchip diseñado o empleado en sistemas que requieran un amplio rango dinámico para mayor precisión de resultados, al igual que su bajo poder de consumo y bajos requerimientos de voltaje hacen de este chip un sistema compatible con sistemas de audio digital portable.

Este convertor UDA1361TS posee aquellos requerimientos en cuanto a las características de conversión, ya que posee 24 bits de resolución, su frecuencia de muestreo superiores a 16 kHz, de arquitectura delta sigma.

4.2.2 Configuración 1.B: Interfaz I2s Conversor Uda1361ts

El protocolo de comunicación i2s, también conocido como Integrated Interchip Sound o IIS, es un bus de datos serial usado para interconectar dispositivos de audio. Este protocolo i2s separa el reloj interno o clock y la información serial, generando un bajo jitter en comparación en una típica comunicación entre sistemas que requieran recuperar el flujo en el reloj de datos.

La interfaz I2S consiste en tres señales: Word select (WS), serial data (SD), Continuous serial clock (SCK).

- Serial Data (SDIN)
Este serial data es transmitido de acuerdo al estándar MSB (Most Significant Byte), el cual hace referencia a una notación posicional convencional de escritura desde el dígito más significativo hacia la izquierda. Estos datos obtenidos deben ser sincronizados al receptor en el punto de cruce o borde de ataque con la señal del reloj.

- Word Select (WS)
El selector de palabra o Word Select indica el canal por donde es transmitido.
 - WS=0; channel 1(left);
 - WS=1; channel 2(right).

- Serial Clock (SCK)
En el formato I2S, cualquier dispositivo puede trabajar como el sistema maestro que provee la señal de reloj necesaria para trabajar.

4.2.3 Configuración 1.C: Interfaz I2s En Sistema Embebido Raspberry Pi 3

Se selecciona el sistema embebido Raspberry PI 3 debido a su velocidad de

procesamiento, bajo consumo energético y su amplia documentación en temas de protocolos de comunicación como lo son I2C, SPI, Wifi, Bluetooth e I2S, siendo este último (I2S) el protocolo a utilizar.

Este sistema embebido (Figura 32) será el encargado de realizar el procesamiento digital de la señal o DSP sobre la señal proveniente del conversor análogo digital UDA1361TS, y que de acuerdo a las normativas IEC 61672, emitidas por la comisión electrotécnica internacional que establece parámetros que debe seguir el fabricante de sonómetros serán de importancia para el desarrollo del algoritmo de calibración y de procesamiento digital de la señal.

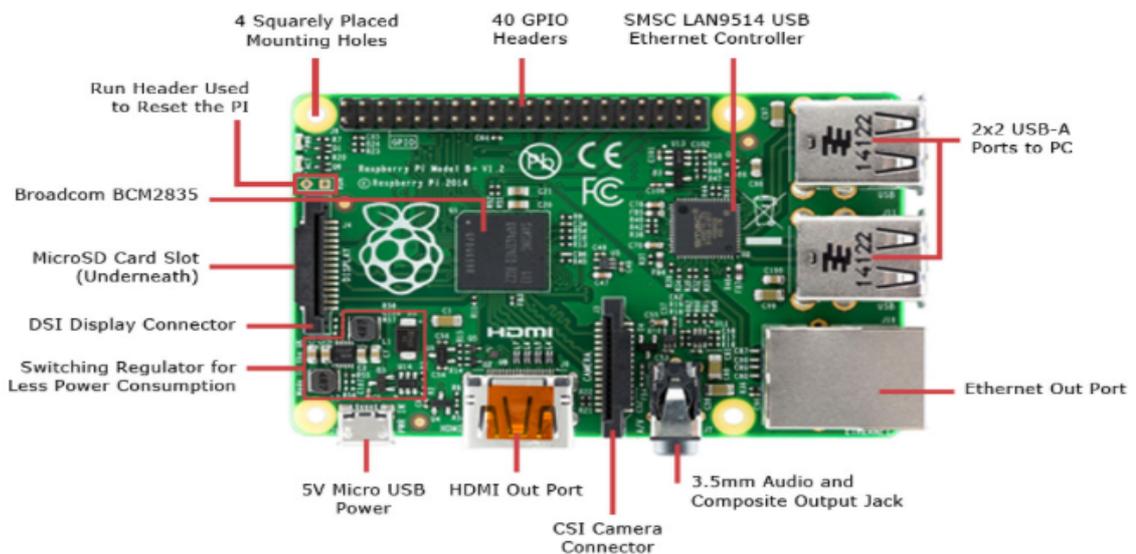


Figura 25. Sistema embebido Raspberry Pi 3 Model B. Fuente: <http://www.sparkfun.com>

Donde los pines gpio de comunicación en la PI, para el protocolo i2s son:

- LRCK o WS – gpio 35
- SCLK – gpio 12
- SDATA o SDIN – gpio 40

Deben ser incluidas las conexiones de tierra-GND y suplemento de alimentación 3.3v o 5.0v. La explicación de los pines se encuentra en la sección anterior.

4.2.4 Configuración 1.D: Comunicación Entre Conversor Ad Y Raspberry Pi A Través Del Protocolo I2s

Según las instrucciones brindadas por los fabricantes, debe ser instalado un sistema operativo (SO) dentro de una tarjeta micro SD, recomendable ≥ 8 Gb, donde, desde un computador externo debe ser descargado el sistema operativo brindado directamente en su página oficial www.raspberrypi.org/downloads, después de estudiar y comparar los diferentes sistemas operativos, se escoge trabajar con RASPBIAN, ya que es la plataforma más actualizada y versátil, en términos de librerías.

Raspbian es un sistema operativo derivado de Debian Linux, que se adapta a las capacidades de la tarjeta Raspberry Pi, es el sistema más versátil y permisible a la hora de modificar archivos y funciones propias de la RASPBERRY PI. El sistema operativo NOOBS es una plataforma muy sencilla y básica, aunque es un buen iniciador para fácil entendimiento. Sistemas como Ubuntu aun con falta de desarrollo, un ejemplo de esto es que es incompatible con la conexión Wifi de la RASPBERRY PI 3 modelo B. El conocido Windows 10 IOT CORE, Pidora, RaspBMC, Ubuntu Mate, OSMC, etc. Son sistemas operativos menos desarrollados en comparación al Raspbian.

Una vez instalado el sistema operativo elegido, se introduce la micro SD a la RASPBERRY PI, se recomienda conectar todos los sistemas independientes antes de conectar alimentación DC, ya que si se conecta o desconecta algo durante su encendido o funcionamiento esta no trabajara y se quedará en un bucle o ciclo infinito, obligando a ser reiniciada.

Después de realizar una extensa investigación en la red se probaron diferentes métodos o formas para establecer comunicación entre el conversor AD y los pines o puertos establecidos, las diferentes formas serán mostradas a continuación:

Se accede a las configuraciones internas de la RASPBERRY PI, a través de la terminal o CMD mediante el código:

- `/boot/config.txt`

Dentro del panel de configuraciones se encuentran todas las comunicaciones internas de la RASPBERRY PI y muestra cuáles están y no están habilitadas al igual de cuáles sí están actualmente en funcionamiento.

Debe ser des-comentado la línea de código `"dtparam=i2s=on"`. Y debe ser añadida la línea de código `"dtoverlay=i2s-mmap"` al igual que `"dtoverlay=Raspberry PI-proto"`.

La RASPBERRY PI debe ser reiniciada; luego escribiendo el código en CMD:

- `"aplay -l"`

Permite mostrar las diferentes interfaces que actualmente se encuentran conectadas a la tarjeta.

Desafortunadamente, esta configuración está planteada para funcionar con una tarjeta de audio independiente llamada Hifiberry, lo cual sería necesario adquirir esta tarjeta la cual ya implementa un conversor análogo digital que trabaja a 192kHz a 24 bits en resolución.

Se accedió al control de los puertos GPIO de la RASPBERRY PI intentando servir de receptor, en primera instancia deben ser activados las diferentes comunicaciones internas de la RASPBERRY PI. Para esto, se debe ingresar a la barra de configuraciones de la RASPBERRY PI digitando en el terminal:

- `sudo raspi-config`

El primer menú mostrado contiene las diferentes opciones disponibles.

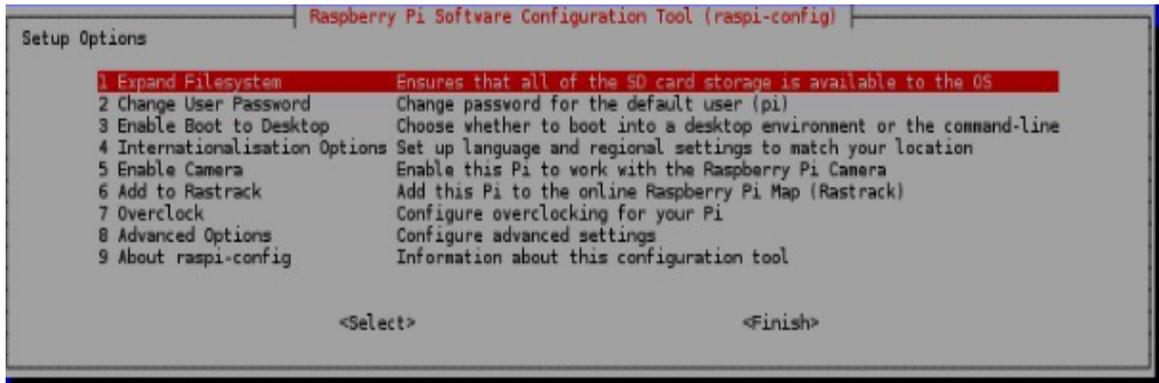


Figura 26. Ventana de Configuración RASPBERRY PI 3 modelo B, pantallazo. Fuente: Rasperi Pi Software Configuration tool Raspi-Config

En la opción número 8, opciones avanzadas, aparecen todas las herramientas de comunicaciones la RASPBERRY PI. Y es necesario activar los protocolos SSH , SPI y AUDIO, para obtener control sobre los GPIO como pines de entrada.

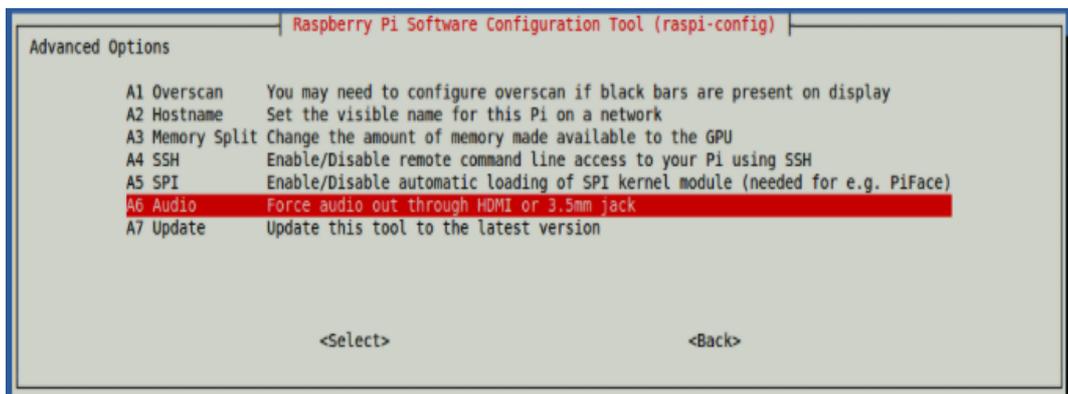


Figura 27. Ventana de Configuración RASPBERRY PI 3 modelo B. activar entradas de audio, pantallazo. Fuente: Rasperi Pi Software Configuration tool Raspi-Config

Una vez habilitados estos protocolos, reiniciada la Raspberry PI, no se logra establecer comunicación entre el conversor AD y la Raspberry PI.

Según documentación en la red, hay dos interfaces o librerías que comunican los puertos I2S de la Raspberry PI 3 con sistemas independientes, los cuales son IQaudio, el cual es, al igual que la Hifiberry, una tarjeta independiente de captura de audio y su precio excede el de la Raspberry.

No obstante se incorporó la librería ALSA (Advanced Linux Sound Architecture) el cual proporciona funcionalidad en audio y MIDI al sistema operativo Linux. Una vez instalada la librería, la Raspberry PI se reinicia automáticamente pero esta vez los archivos de configuración de los iconos, herramientas, programas quedan en blanco. Al parecer la librería ALSA genera una incompatibilidad con el sistema operativo y des-configura archivos y ficheros internos que habilitan otras funciones en la Raspberry PI. Se hace necesario actualizar del sistema operativo, el cual descarga todos los listados de paquetes que hay para el sistema, digitando:

- `sudo apt-get update`

A continuación, se instalan todos los paquetes descargados digitando:

- `sudo apt-get dist-upgrade`

Ya instalados todos los paquetes se procedió nuevamente a verificar uno a uno los pasos anteriormente mencionados, pero la comunicación entre el conversor AD y la Raspberry PI continuo inexistente.

La librería ALSA fue instalada nuevamente al final del proceso, al reiniciar, la Raspberry PI entra en un ciclo infinito, el cual intenta ejecutar los comandos de inicio del sistema operativo instalado, pero la tarjeta micro SD dejo de funcionar, sin dejarse formatear, obligando al grupo a adquirir una nueva micro SD.

Se realizaron nuevas pruebas intentando comunicar el conversor análogo digital UDA1361TS con el sistema embebido Raspberry Pi 3 modelo B, pero sin obtener resultados positivos a la hora de capturar los datos a través del protocolo de comunicación I2S por parte de la Raspberry PI debido a que los relojes de trabajo de la librería ALSA y del conversor análogo digital UDA1361TS fueron imposibles de sincronizar, generando errores en la frecuencia de

muestreo y desacople en la ventana de trabajo o rango de dinámico de los dos dispositivos; Por esta razón se vio la necesidad de trabajar con un sistema que contara con su propio conversor análogo digital y que trabajará con una resolución necesaria para poder tener un rango dinámico que funcione más o menos hasta los 120 dB.

4.2.5 Configuración 2.A: Implementación De Micro-Controlador Con Conversor A/D

En búsqueda de una solución, surge la duda de si un microcontrolador es capaz de suplir en general las características o parámetros básicos para realizar una conversión análoga digital confiable y con un rango dinámico lo suficientemente amplio en comparación a lo buscado con el UDA1361TS.

Se realizó una comparación entre los micro-controladores ARDUINO. Y se decide trabajar con el Arduino DUE, ya que es uno de los sistemas más robustos, porque puede trabajar a 12 bits de conversión AD y puede generar más de cien mil muestras por segundo, permitiendo así trabajar con este sistema como captura y etapa de conversión del dispositivo.

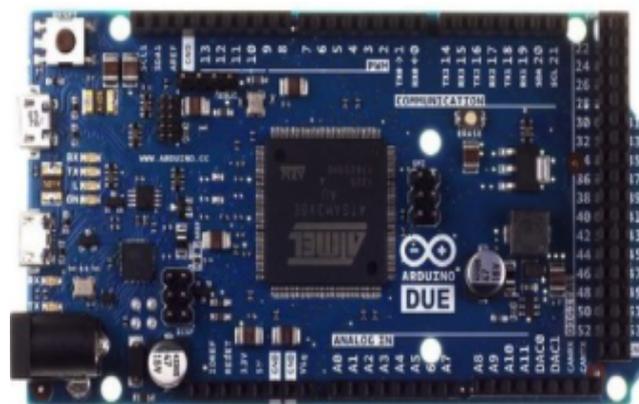


Figura 28. Arduino Due. Fuente: <https://www.arduino.cc>

Esta tarjeta de Arduino está basada en el nuevo procesador Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU. Este sistema es el primer arduino en trabajar a 32-bits ARM core. En el anexo G, se muestran las especificaciones técnicas del

microcontrolador Arduino DUE.

4.2.6 Configuración 2.B: Interfaz Arduino

A diferencia del sistema embebido Raspberry Pi, la tarjeta arduino es una plataforma electrónica que cuenta con su propio software de programación, cuya función primordial es generar un fácil manejo entre hardware y software, es decir, arduino cuenta con un software especial para programar la tarjeta, el cual se encuentra disponible para cualquier sistema operativo, sea Windows 8 y sus nuevas versiones, Mac OS X10.7 y versiones más recientes, al igual que para Linux de 32 y 64 bits.

En la página del fabricante www.arduino.cc, se encuentran las diferentes extensiones del software arduino, simplemente se descarga la extensión para el respectivo sistema operativo en el que se trabajara y se instala la plataforma arduino.

Una vez instalado el software, se abre el aplicativo. Esta plataforma es tan versátil, que cuenta con una pestaña en la barra superior de acceso a configuraciones < Herramientas >, donde deben ser seleccionadas la placa o tarjeta arduino en la que se está trabajando y definir el puerto serial USB del PC o computador maestro del cual se está desarrollando el algoritmo.

Por configuraciones predeterminadas el software arduino no contiene la placa Arduino DUE, lo que hace necesario instalar el fichero que contiene esta actualización dirigiéndose a < Herramientas >-< Placa >-< Gestor de tarjetas > se hace búsqueda del paquete <Arduino SAM Board(32-bits ARM Cortex-M3)>.

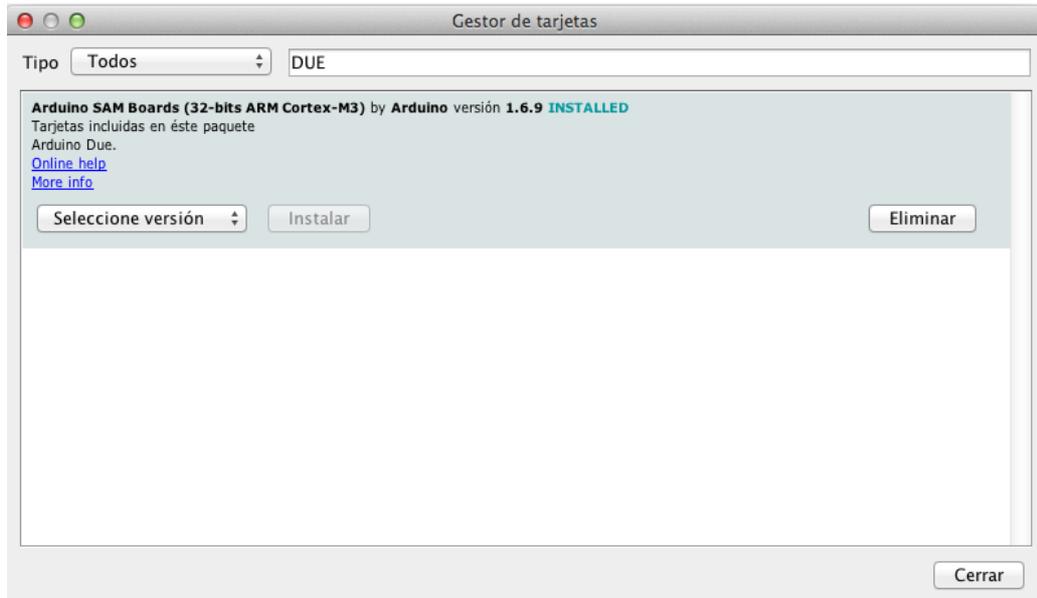


Figura 29. Ventana de instalación de paquetes para el reconocimiento del arduino Due, Pantallazo. Fuente: Software Arduino

Una vez instalada, en la pestaña Placas, ya el software Arduino reconoce los dos puertos de la tarjeta Arduino DUE; Puerto de programación y el puerto nativo USB de alimentación.

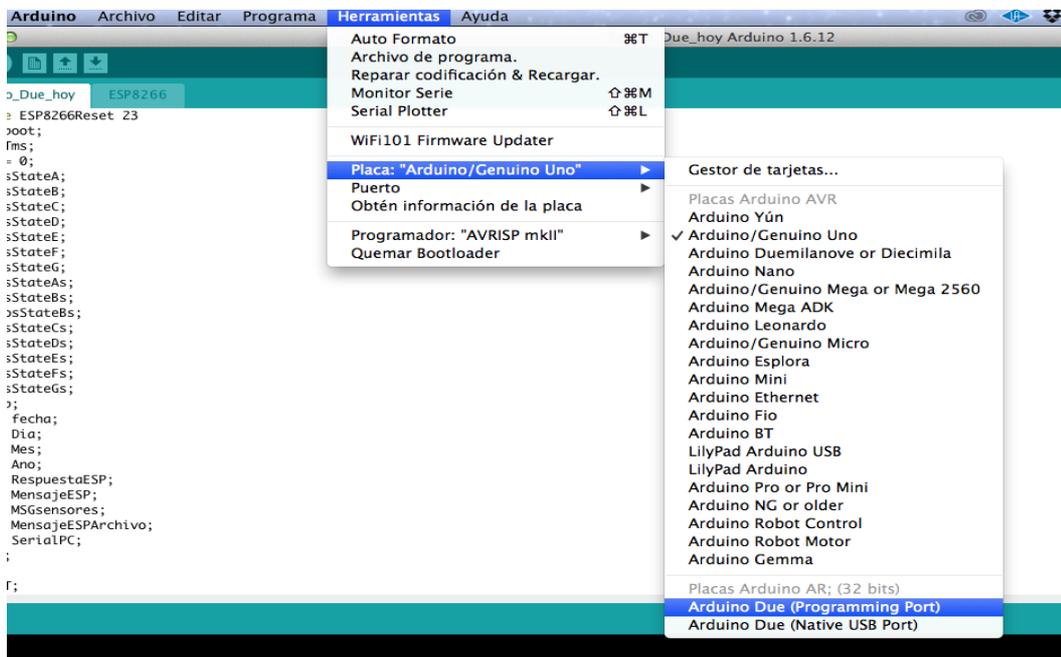


Figura 30. Pestaña de selección del Arduino Due que permite cargar el programa. Pantallazo. Fuente: Software Arduino

4.2.7 Configuración Final: Adquisición De Datos A Través De Conversor Ad Propio De Arduino Due

Como se comentó en el literal 4.2.4, haciendo uso del conversor análogo digital propio de la tarjeta Arduino DUE, es posible recibir o comunicar la salida de los valores de la señal acústica obtenida por el micrófono TEF04 y después de pasar por el pre-amplificador, esto se realiza a través de las entradas digitales del microcontrolador Arduino. Configurando la entrada (D0) como entrada digital al sistema, tierra GND y la alimentación respectiva (5v), se logra establecer comunicación entre los sistemas análogos y digitales.

Una vez en la plataforma de programación se hace uso de la función `<analogReadResolution(>`, la cual permite leer señales análogas que son ingresadas por los puertos de conversión análoga digital de la tarjeta D0. Estos conversores internos son configurables, es decir, la resolución de esta tarjeta puede trabajar entre 8 y 12 bits, donde 12 bits corresponden a 72 dBs de ventana de trabajo o rango dinámico. En este caso trabajaremos con la máxima resolución permitida por la placa DUE.

- `analogReadResolution(12)`

Luego, introduciendo la función `< analogWriteResolution() >`, la cual recibe los datos obtenidos a la salida del conversor, establece la ventana de trabajo total permitida en bits a la que se trabajara.

- `analogWriteResolution(12)`

Bit	Resolución ADC (posibles valores)
2^0	1
2^1	2
2^2	4
2^4	16
2^8	256
2^{12}	4096
2^{24}	16.777.216

Tabla 7. Muestras de los posibles valores del rango dinámico. Fuente: Propia

La tabla 7 muestra el rango de los posibles valores de amplitud que puede tomar la señal dentro de la ventana de trabajo permitida por el número de bits.

Como se comentó en el literal 4.2.3, la máxima resolución brindada por el conversor análogo digital interno de la tarjeta arduino DUE es de 12 bits, es decir, el rango permitido en qué varían las muestras obtenidas será de 4096 posibles valores.

El esquema de conexión final entre el phantom power, el pre-amplificador, los filtros el arduino y el módulo wifi, es decir todo el sistema comprendido por la parte análoga y digital, se encuentra en el apéndice H. Junto a todos los valores de elementos eléctricos utilizados para la construcción del dispositivo terminado anteriormente y descritos en los dos primeros capítulos.

4.2.8 Calibración Del Sistema

Se procede a enviar señales acústicas a través de un calibrador de señal o pistófono, donde son tomados dos valores como referencia 94dB SPL, y 114dB SPL, que dentro del rango dinámico digital permitido por el conversor AD se obtienen dos valores representativos a los voltajes entregados por el pistófono para las dos señales de misma frecuencia pero diferente amplitud.

En este caso se utilizó el pistófono Bruel & kaerj, ya que es el último sistema de medición tipo 1 adquirido por la Universidad San Buenaventura, y como se

comentó en literales anteriores, servirá como referencia para la calibración de todos los sistemas de medición.

Presión de entrada	ADC (Min-Max)
94dB	588
114dB	2190

Tabla 8. Valores en el ADC, máximo y mínimo representativo de 94dB y 114dB. Fuente: Propia.

Se aplica logaritmo con base diez para manejar la escala respectiva a decibelios, generando que la relación entre los valores sea menor; permitiendo un rango dinámico digital amplio en comparación al manejo de una escala digital lineal

P.in (dB)	ADC (Min-Max)	LOG10	Min-Max
94	570		2.73
114	2050		3.31

Tabla 9. Valores en el ADC, máximo y mínimo en escala logarítmica. Fuente: Propia.

Los valores de máximo y mínimo presentados en la tabla 9, son aplicados en la fórmula de la ecuación canónica de la recta, ya que se desea trabajar en función de los segmentos que ésta determina sobre los ejes de coordenadas, donde A es la abscisa en el origen de la recta y B es la ordenada en el origen.

$$\frac{x-x_a}{x_b-x_a} = \frac{y-y_a}{y_b-y_a} \quad (14)$$

Reemplazando en la fórmula las coordenadas de los puntos, se obtiene que:

$$\frac{x-(2,76)}{(3,34)-(2,76)} = \frac{y-94}{114-94} \quad (15)$$

Como ecuación canónica de la recta se obtiene que:

$$\frac{x-(2,76)}{0,58} = \frac{y-94}{20} \quad (16)$$

De una ecuación paramétrica de la recta se obtiene como ecuación general de la recta que:

$$y = \frac{1000}{29}x - \frac{34}{29} \quad (17)$$

A	34,482
B	1,162

Tabla 10. Valores de A y B, en la ecuación de la recta. Fuente: Propia.

Donde en una ecuación general de una recta, B es el termino independiente, m y en este caso A es la pendiente de la de la recta o función Y(x). Donde x está representado como el valor obtenido por el conversor análogo digital de la tarjeta Arduino. Teniendo estos valores, el producto entre la ecuación de la recta y el logaritmo con base 10 de los valores de máximo y el mínimo; permite escalar los valores digitales obtenidos en la calibración, de acuerdo a la recta proporcionada por las dos referencias entregadas por el sistema de calibración.

$$\text{Valor de calibración (94dB)} = \log_{10} (AD_{Min}) \times 34,482 - 1,162$$

$$\text{Valor de calibración (94dB)} = \text{Valor obtenido (93,95)}$$

$$\text{Valor de calibración (114dB)} = \log_{10} (AD_{Max}) \times 34,482 - 1,162$$

$$\text{Valor de calibración (114dB)} = \text{Valor obtenido (114,16)}$$

Una vez calibrados los cuatro sistemas con el pistófono Bruel a 94dB SPL, se procedió a realizar 3 mediciones acústicas para comparar la presión sonora obtenida para cada banda de frecuencia a analizar. Se realizó un promedio entre las mediciones y se obtuvo:

Sonómetro	Bruel	Svantek	Rion	PP
Calibración				
[dB]	94	94,5	93,8	94,1

Tabla 11. Datos reales en la calibración del Sonómetro PP, SVANTEK, RION y BRUEL.

Fuente: Propia.

Para la ponderación temporal Fast se tomo un valor de nivel de presión cada 125 ms y para la ponderación Slow se tomo una muestra por segundo.

En la sección de análisis de resultados se encuentra el estudio detallado de estos datos, literal 5.3.

4.3 DESARROLLO DEL ALGORITMO DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN DE DATOS



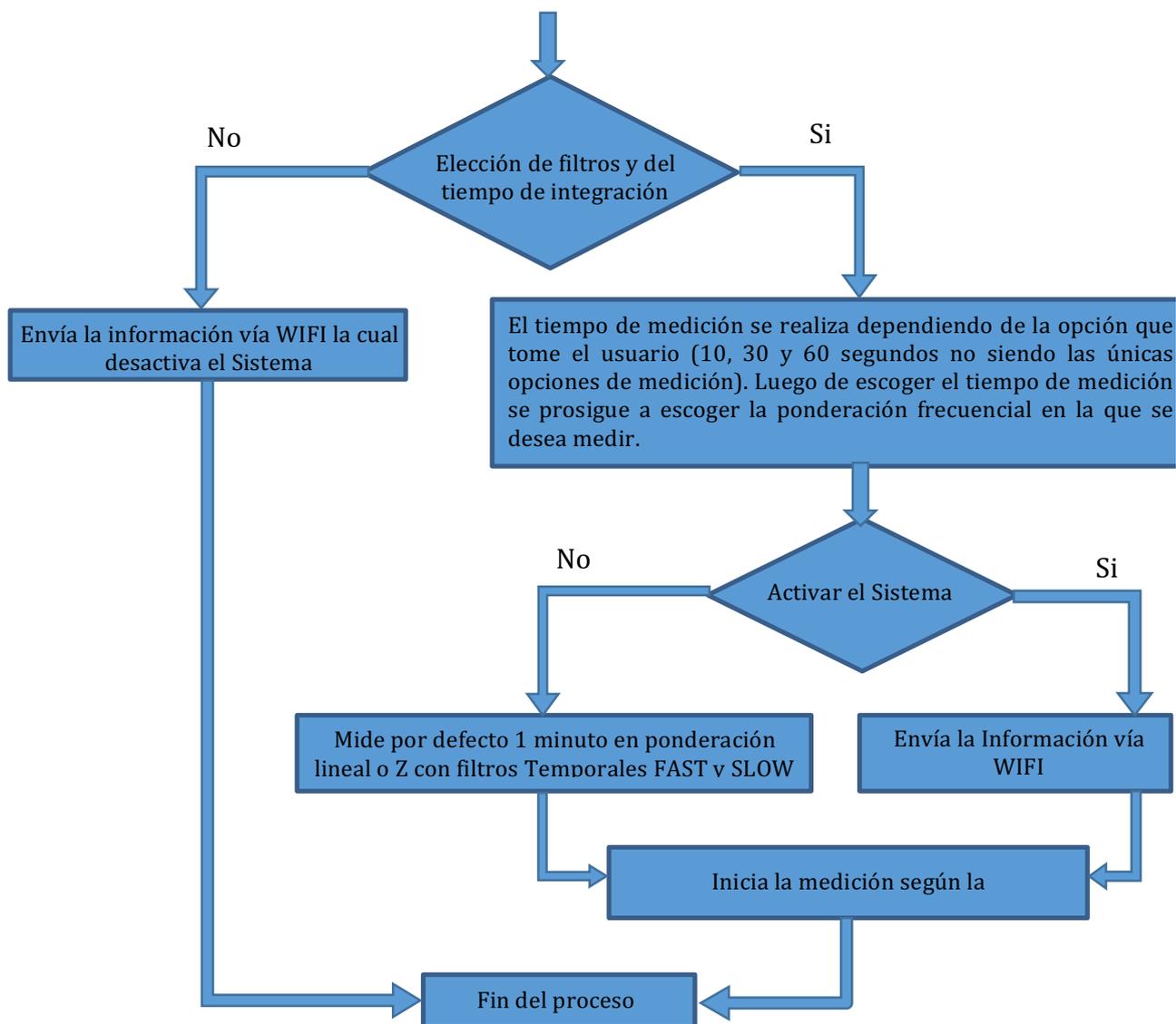


Figura 31. Flujo de señal del algoritmo de control. Fuente: Propia.

En la figura 31, se puede observar el diagrama de flujo que explica el algoritmo que controla el sistema y la forma en la que se podrán ver los datos.

Básicamente el sistema cuando es encendido, inicia midiendo un minuto por defecto como aparece en la anterior figura, seguido de esto hay dos opciones o condiciones la cual el programa cumple; si es elegido uno de los filtros y el tiempo de medición este entrara a hacer su funcionamiento normal o comenzara a medir, siempre y cuando sea oprimido el botón de ACTIVAR como se muestra

en la figura 54, la cual es la interfaz gráfica que controla el sonómetro, enviando los datos vía wifi a la plataforma donde se podrán analizar los datos capturados. Luego sino es así y se oprime el botón ACTIVAR sin escoger ningún filtro de ponderación y ningún tiempo de integración el sistema por defecto mide 1 minuto en ponderación Z con los filtros Fast y Slow por defecto como se nombró anteriormente. Pero si es oprimido el botón DESACTIVAR el sistema deja de funcionar o queda apagado.

4.3.1 Módulo Independiente Wifi Esp8266 Y Arduino Due

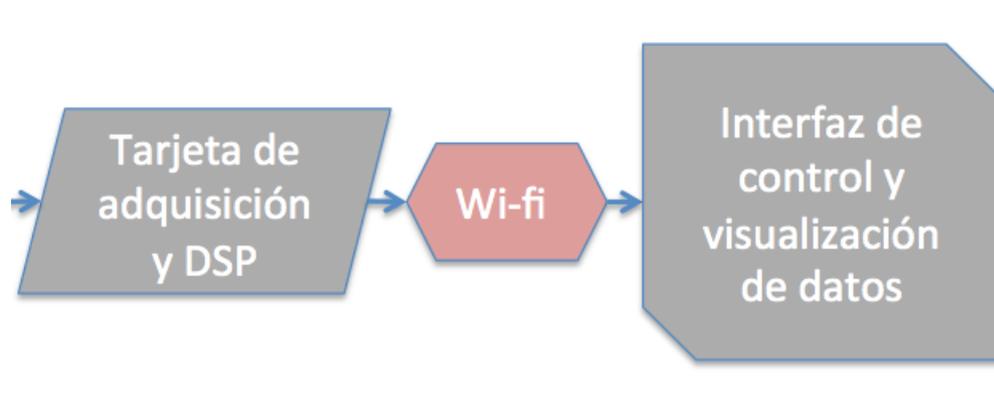


Figura 32. Sección de comunicación Wifi entre tarjeta de adquisición e Interfaz de usuario. Fuente: Propia.

Se realizó una comparación entre los diferentes protocolos de comunicación inalámbrica más utilizados actualmente, los cuales son Bluetooth, Wimax y Wi-fi.

El protocolo de comunicación Bluetooth es una tecnología inalámbrica la cual es muy utilizada para interconectar dispositivos electrónicos. Un ejemplo de esto es la interconexión entre dispositivos móviles y ordenadores entre otros. Esta tecnología transmite por radio frecuencia (ondas de radio de corto alcance), con lo cual permite una conexión entre dispositivos sin cables. Esta tecnología actualmente permite el intercambio de fotografías, archivos de música o incluso archivos de video, la velocidad de transmisión es directamente proporcional al tamaño del archivo a compartir.

Por otro lado se encuentra la comunicación Wi-fi, (explicada de mejor manera

dentro del marco teorico) la cual es la más utilizada hoy en día y consiste en redes inalámbricas ya estandarizadas. Este protocolo se encuentra estandarizado para acceder a cualquier tipo de red local inalámbrica y surge de la necesidad de establecer un mecanismo de conexión entre distintos dispositivos sin necesidad de cables. A este protocolo Wi-fi se le suma una nueva tecnología Wimax, la cual fue diseñada como una alternativa wireless al acceso de banda ancha y al igual que la tecnología Wi-fi, Wimax también es muy utilizada en interconexión inalámbrica entre diversos dispositivos, la gran diferencia entre estos dos últimos protocolos se encuentra en que la tecnología Wimax puede proveer acceso a banda ancha wireless de hasta 50 kilómetros, en cambio, el protocolo estándar Wi-fi posee una cobertura de máximo 100 metros de distancia. Con lo cual, se establece como protocolo de comunicación la tecnología Wi-fi.

A continuación se muestra en la tabla 11, una comparación con las especificaciones principales de cada protocolo como su velocidad de transmisión o distancia de cobertura, las cuales son variables importantes a la hora de realizar el proceso de medición.

	Rango de Frecuencia	Velocidad de transmisión de datos	Distancia
WIFI	2.4 Ghz	54 Mbps	27 m
Bluetooth	2.4 Ghz	32 Mbps	10 m
WiMaX	2.5-5.8 Ghz	20 Mbps	6 Km

Tabla 12. Diferencia entre protocolos de comunicación inalámbrica

En la tabla 12, se puede observar las diferencias entre estos protocolos de comunicación inalámbrica que podrían ser utilizadas para el proyecto. Tanto la comunicación WIFI como la WIMAX son redes de áreas local inalámbrica (WLAN), es decir que crean una red o un punto de acceso que permite la conexión para otros puntos llamados estación o usuarios (clientes); la diferencia

entre estos dos protocolos es la distancia a la que llegan a transmitir y el costo alto que llega tener el WIMAX; esta distancia depende de la velocidad de transmisión, ya que si es menor la velocidad de transmisión mayor es la distancia y viceversa; en otras palabras son inversamente proporcional. Por otro lado, el Bluetooth es una red de área personal (WPAN) que permite la transmisión de voz y datos entre distintos dispositivos; la diferencia entre este protocolo y los dos que se nombraron anteriormente es que este la distancia de transmisión que permite es corta como se puede ver en la tabla 12.

Con lo cual, se determina que el protocolo de comunicación entre los dispositivos hardware y software será el protocolo de comunicación inalámbrica Wi-fi, por su versatilidad, bajo coste, distancia de cobertura, entre otros.

El módulo wi-fi ESP es una plataforma de conectividad inteligente, el cual ofrece un completo contenido en soluciones de conexiones de red wifi. El objetivo del módulo ESP8266 es obtener comunicación a través de un servidor web y ser parametrizado mediante un navegador web, bien sea un PC o desde un móvil.

Las conexiones Wi-fi combinan la comodidad de uso de las conexiones inalámbricas, empezando por decir que este módulo en comparación a un shield independiente Wi-fi se encuentra con un precio en el mercado que sobrepasa el valor del módulo ESP8266 (Figura 33).

Este módulo está diseñado desde el principio con la Internet of Things (IOT), por lo cual, ya se incluyen todo lo necesario para comunicarse a un punto de acceso Wi-fi, todo a través de comandos de texto AT, vía puerto serial, que puede ser configurada a diferentes velocidades de transmisión.

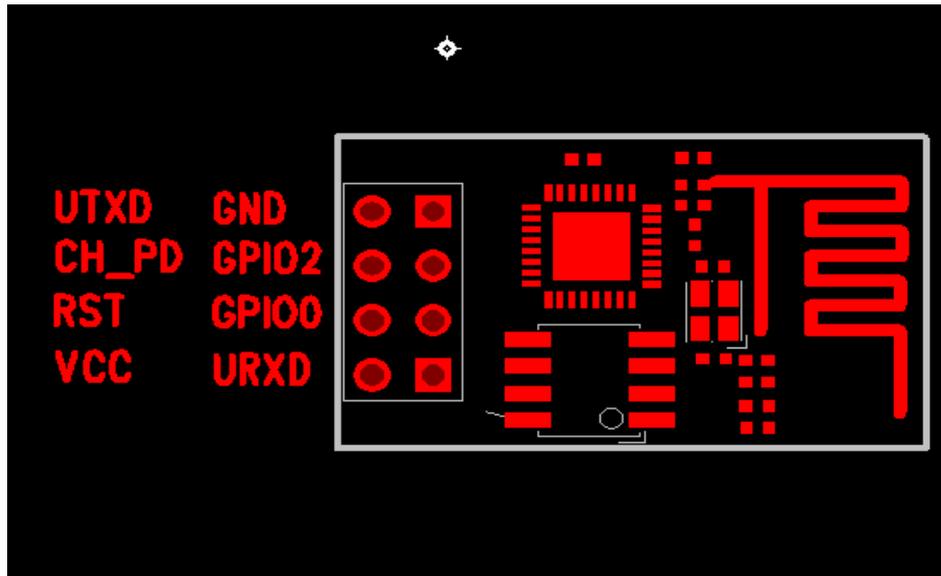


Figura 33. Esquemático del Módulo WIFI ESP8266. Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/13678>

Este módulo posee 8 pines de conexión, donde solo es necesaria la conexión de los pines:

- TX→ Pin de transmisión
- RX → Pin de Recepción
- 3.3 V → Pin de Alimentación DC
- GND → Tierra
- Reset

Una vez conectados los pines anteriormente mencionados se procede a realizar el algoritmo para lograr la comunicación entre la tarjeta Arduino y una página web a través del módulo ESP 6288.

4.3.2 Conexión Inalámbrica Desde Dispositivos Android Y Cualquier Dispositivo Con Conexión Y Acceso Wi-Fi

El módulo ESP6288 no sirve como modem de conexión, es decir, no puede establecerse como distribuidor de comunicación, a favor de la tecnología actual, cualquier dispositivo móvil posee la opción de brindar comunicación WI-FI,

permitiendo trabajar el sistema en cualquier locación donde el móvil pueda establecer conexión WI-FI.

Para que un dispositivo móvil pueda establecer conexión WI-FI y servir como modem para el dispositivo de medición, es necesario utilizar la función dentro de arduino <sendATtoESPandWait(>, la cual establece dos espacios donde se deben ser ingresados la red WI-FI de anclaje, en este caso es utilizado el móvil de un integrante del proyecto, de marca MOTOROLA MOTO G 4G.

A continuación se mostrara el código utilizado para la conexión Wifi entre el sistema arduino y el modem inalámbrico o celular.

```
Serial.begin(115200);
RespuestaESP = "";
while (RespuestaESP != "OK" )
  digitalWrite(ESP8266Reset, 0);
  delay(600);
  digitalWrite(ESP8266Reset, 1);
  delay(40);
  int i = 0;
  while (RespuestaESP = "OK")
    RespuestaESP = sendATtoESPandWait("AT+CIOBAUD=9600");
  if (RespuestaESP == "OK") {
    Serial.println("\nOK: New Speed set to 9600 baud");
    Serial.begin(9600);
  }
  else Serial.println("\nFAIL: New Speed to 9600 baud failed");
```

El código mostrado anteriormente inicia con la configuración predeterminada del serial.begin con una velocidad de trabajo de 115200, inmediatamente después es necesario crear una variable de tipo string inicializada en vacio declarada como RespuestaESP, donde dentro de un ciclo while se revisa que el valor de

esta variable cambie de vacío a "OK", donde se parametriza ok como indicación de que el sistema ESP está en comunicación alámbrica con el sistema Arduino, si la variable es diferente a la string asignada como ok, se muestra en pantalla que la tarjeta Arduino será reiniciada. Una vez se genera la conexión entre el módulo ESP y la tarjeta Arduino, entra otro ciclo while donde si la respuesta es "OK" la función "sendATtoESPandWait" configura diferentes parámetros de uso del módulo ESP y mediante el comando "AT+CIOBAUD" se sustituye la velocidad de trabajo del serial interno del procesador de la tarjeta Arduino, la cual debe ser cambiada a 9600,

```
sendATtoESPandWait("AT+CWMODE=3", 1000);

if (IPmoduloESP == 0) {
    sendATtoESPandWait("AT+CWJAP=\"sergio\", \"sergio123\"", 15000);
    sendATtoESPandWait("", 5000);
}
```

Donde se llama a la función "sendATtoESPandWait", la cual se configura mediante el comando "AT+CWMODE". Este comando posee tres tipos de configuración, la primera de estas es la "Sta" la cual modifica el módulo ESP para que solo funcione de manera de receptor de datos, la configuración dos es la "AP" la cual genera que el módulo wifi de manera de envío de información, y la tercera configuración es la "Both", y como su nombre en inglés lo dice, esta configuración modifica el módulo para que funcione de ambas maneras, permitiendo enviar y recibir datos o información. Los valores de estas variables equivalen a su orden numérico.

El comando "AT+CWJAP" es quien permite la búsqueda de señal del dispositivo modem. Donde el primer segmento entre comillas indica el nombre de la IP a buscar y el segundo segmento indica la contraseña de ingreso al mismo. Donde

“sergio” es el nombre de la red W-Fi generada por el dispositivo móvil y “sergio123” es la contraseña de acceso. Automáticamente el módulo ESP6288 toma como referencia y se ancla a la red generada por el móvil.

4.3.2 Desarrollo de Interfaz De Control Y Visualización De Datos

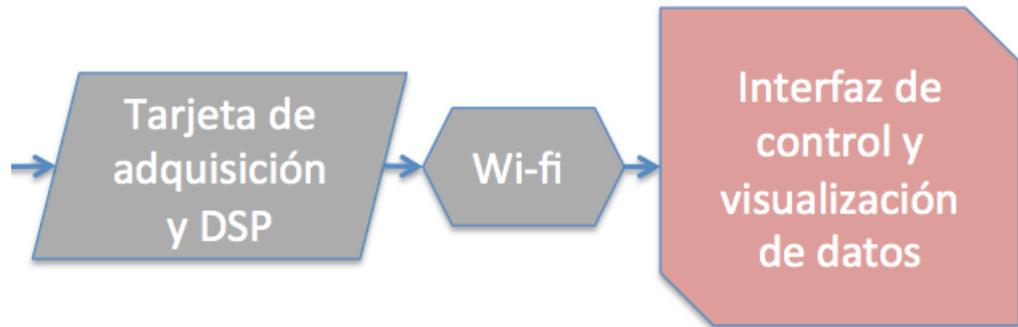


Figura 34. Sección de interfaz de control y visualización de datos dentro del diagrama general. Fuente: Propia.

La plataforma de control está montada en un servidor web privado (si es permitido el acceso al servidor web de la Universidad, es posible montar dicha plataforma), que se alimenta y controla a través de archivos ejecutables en PHP, los cuales reciben las variables emitidas por el microcontrolador en forma de URL y las almacenan en archivo físico (www.splmeasure.com/SPL.txt) en el mismo servidor web que tenemos en www.splmeasure.com junto con la fecha y hora de llegada de los datos. El contenido se muestra en los apéndices E y F.

Desde de tarjeta arduino se incluye el siguiente código, con el cual establece comunicación entre el modulo ESP montado en la tarjeta arduino y el servidor web www.splmeasure.com.

```
RespuestaESP =  
sendATtoESPandWait("AT+CIPSTART=4,\"TCP\",\a href="http://www.splmeasure.com/">www.splmeasure.com/");  
if (RespuestaESP.indexOf("ERROR") >= 0) Reboot = 1;  
serialToPc(30);  
MSGsensores = "GET http://www.splmeasure.com/SPL.txt";
```

```
String Temp = String(MSGsensores.length() + 2);
RespuestaESP = sendATtoESPandWait("AT+CIPSEND=4," + Temp, 5000);
if (RespuestaESP.indexOf("ERROR") >= 0) Reboot = 1;
RespuestaESP = sendATtoESPandWait("", 10000);
if (RespuestaESP.indexOf("ERROR") >= 0) Reboot = 1;
serialToPc(30);
RespuestaESP = sendATtoESPandWait(MSGsensores, 5000);
if (RespuestaESP.indexOf("ERROR") >= 0) Reboot = 1;
RespuestaESP = sendATtoESPandWaitClose("", 5000);
if (RespuestaESP.indexOf("ERROR") >= 0) Reboot = 1;
MensajeESPArchivo = MensajeESP;
```

Donde el comando "AT+CIPSTART" establece el tipo de conexión, donde la conexión "4" indica la conexión desde un sistema integrado remoto (ESP 8266). Los condicionales integrados en el código son condiciones de verificación de que el modulo ESP y el servidor web. Una vez conectados el sistema automáticamente inicia el proceso indicado por el algoritmo del arduino o sistema de control.

Esto crea el archivo SPL.txt con el consecutivo de datos recibidos del microcontrolador o llamados web. Donde el llamado desde el micro controlador se ejecuta de la siguiente manera:

- <http://www.splmeasure.com/SPL/subirSensores.php?S0=12&S1=48000>

Llamado desde la web:

- <http://www.splmeasure.com/SPL/subirSensores.php?S0=12dB&S1=48KH>

La interfaz de usuario se realiza a través del software WYSIWYG Web Builder 9.



Figura 35. Software para desarrollo de plataforma de control. Fuente: WYSIWYG Web Builder. 2014. Software Solution.

Este software, al igual que plataformas de programación Web como DreamWeaver, Java, CorelDRAW contiene un amplio número de opciones y detalles para la creación de la GUIDE o interfaz de usuario, como : botones, menús desplegables, caja de selección de opciones, entre otros.

Como se observa en la figura 54, se establecieron todos los parámetros establecidos por la normativa IEC61672-1 como variables de control de medición dentro de la interfaz de usuario los cuales son:

- On/Off : Prender / Apagar.
- Tiempo de medición : El cual es configurable a 10s, 30s o 60s.(en desarrollo).
- Ponderaciones Frecuenciales: El cual es seleccionable entre los canales de entrada al sistema Arduino como: Canal 1 = Ponderación Z ; Canal 2 = Ponderación A; Canal 3 = Ponderación B ; Canal 4 = Ponderación C.
- Ponderaciones Temporales: No es un parámetro que se puede variar en

la interfaz de usuario. En el procesamiento digital de la señal se establecieron dos frecuencias de muestreo, cada una correspondiente a las ponderaciones temporales Fast y Slow. Estos datos son arrojados directamente en la ventana de resultados (FILE).

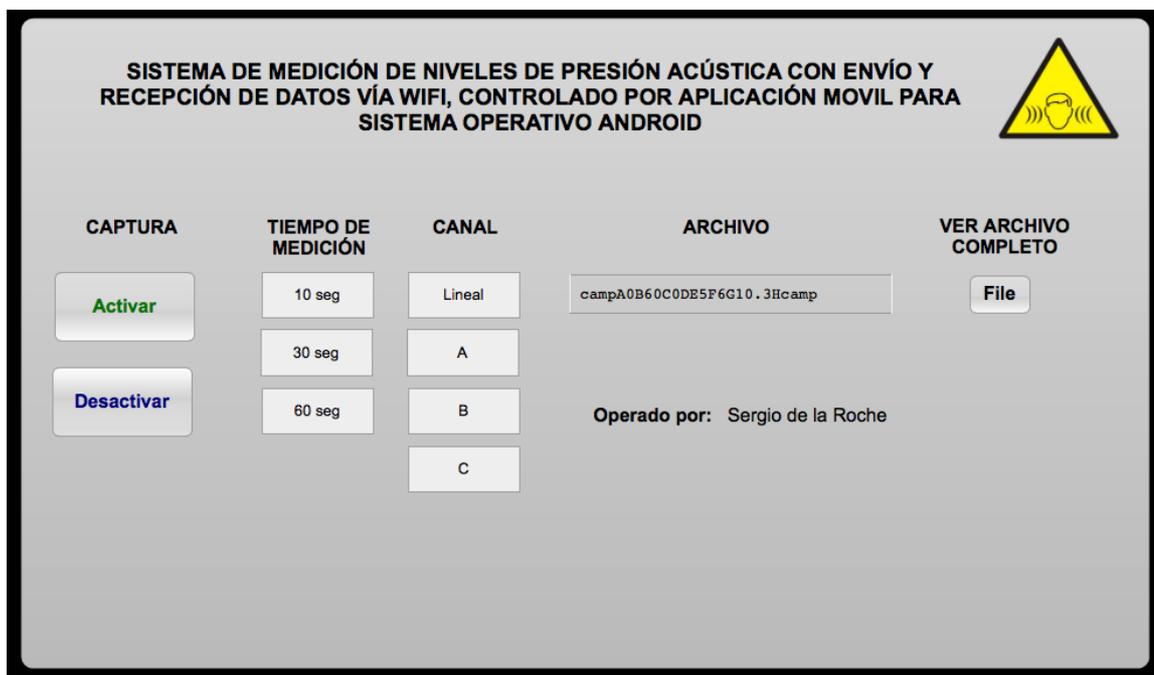


Figura 36. Diseño de plataforma de control. Pantallazos. Fuente: www.splmeasure.com

FECHA	HORA	SPL[dB]	Fs[Hz]	P.F.	Fast	Slow
2017-01-09	21:16:22	56.37	48323	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:25	56.37	48366	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:28	56.37	48531	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:32	56.37	48530	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:35	56.37	48531	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:38	56.37	48530	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:42	56.37	48233	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:46	56.37	48531	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:49	56.37	48531	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:53	56.37	48531	Lineal	58.98	56.37
2017-01-09	21:16:57	56.37	48531	Lineal	58.98	56.37

Figura 37. Archivo de visualización de los datos (File), Pantallazo. Fuente: www.splmeasure.com/SPL.txt

El algoritmo <html> arrojado por el servidor web una vez el diseño de la plataforma es subido y actualizado en la red se muestra en el apéndice E.

Con lo cual, los hipervínculos actuadores hacen referencia a la opción en la interfaz gráfica de usuario de encendido o apagado del sistema.

La extensión .txt abre una ventana nueva donde se encuentran los datos arrojados por micro controlador después de realizada la conversión y el procesamiento digital de los datos, esto en el botón File en la interfaz gráfica de usuario.

Al igual que las opciones para establecer el tiempo de medición, aunque para el prototipo de entrega tan solo es posible establecer tres periodos de medición. En excepción, es posible configurar el tiempo de medición ingresando como parámetro en la URL maestra del sistema:

- [http://www.splmeasure.com/subirActuadores.php?A1="TIEMPO DE MEDICIÓN"](http://www.splmeasure.com/subirActuadores.php?A1=)

A continuación se muestran los pasos a seguir para realizar el cambio de tiempo de medición:

Para generar un cambio en el tiempo de medición se ingresa al link mencionado anteriormente, para generar este link es necesario pulsar en cualquiera de los tres botones predeterminados de tiempo de medición mostrados en la figura 38.

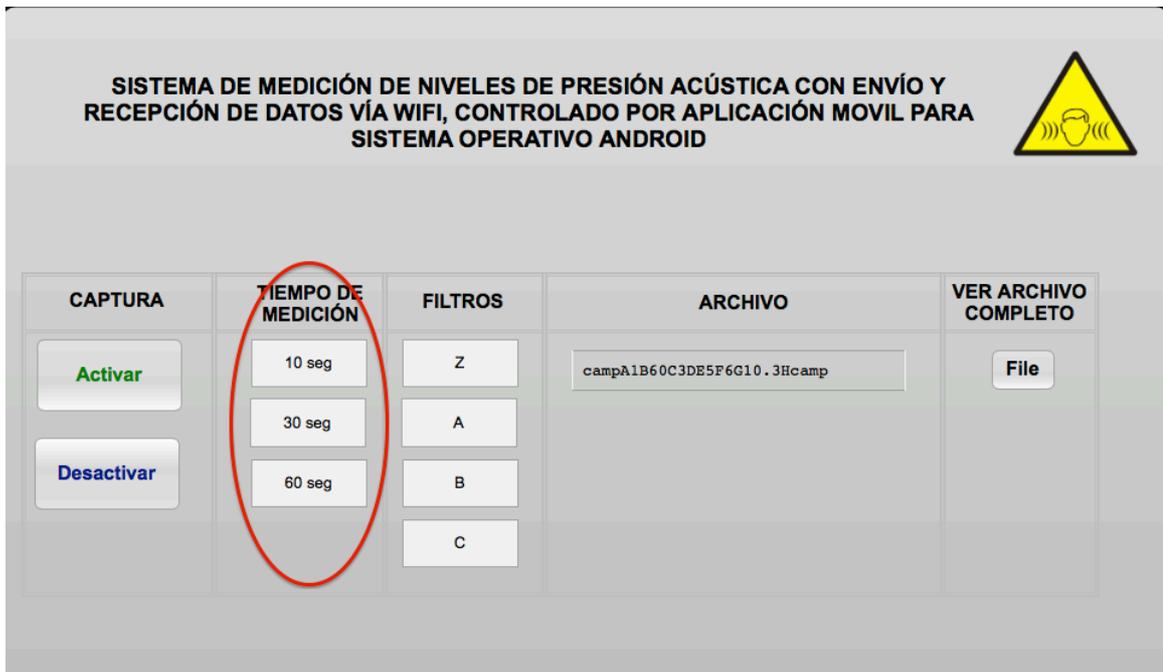


Figura 38. Interfaz grafica del sistema que indica las opciones de tiempo predeterminados del sistema.

Una vez pulsado cualquiera de los tres botones emergerá una nueva pestaña en el navegador de su ordenador, en este caso se pulsó el botón de 60 segundos como se muestra en figura 39.

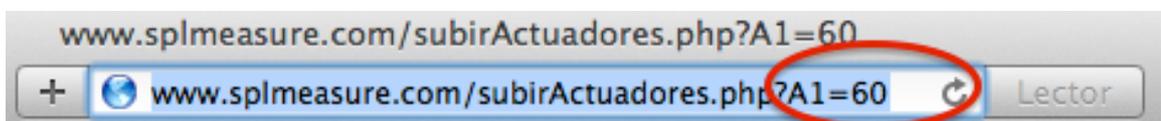


Figura 39. Enlace que muestra el tiempo de 60 segundos que medirá el sistema

Si se desea llevar acabo mediciones de diferentes periodos de tiempo, es tan simple como cambiar el valor A1 dentro del link de tiempo de medición, es decir si el usuario desea realizar mediciones en un lapso de tiempo de una hora debe ingresar o cambiar el valor de A1 por el equivalente en segundos de este periodo de tiempo.

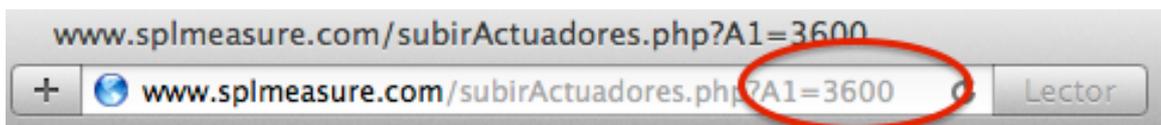


Figura 40. Enlace que muestra el tiempo de 3600 (1 hora) segundos que medirá el sistema

Como se mencionó al inicio de esta sección, los archivos actuadores, son quienes permiten que el módulo ESP6288 actualice o esté en función de revisar las variables actualizadas en la interfaz de usuario.

- `campA0B600C3DE5F6G10.3Hcamp`

Donde los valores de las variables almacenadas se encuentran situadas en las letras del alfabeto, es decir, el valor situado entre la letra A y B es el valor de la variable de encendido y apagado, que en este caso toma los valores de 0=NoMute y 1=Mute. Y en valor entre la letra B y C es el valor del tiempo de medición, 60 segundo por defecto, este puede ser cambiado en el link de tiempo de medición o utilizar los valores predeterminados en la interfaz de usuario. Al igual que el valor del canal asignado para las ponderaciones temporales A,B y C que se encuentra ubicado entre el espacio de la letra C y D de archivo php. El algoritmo de los ejecutables .php se muestra en el apéndice F.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE LA MEDICIÓN DE CARACTERIZACIÓN DEL PRE-AMPLIFICADOR

Como se mencionó en las secciones 4.1.1 y 4.1.2, el diseño en ganancia del pre-amplificador es el sistema más importante dentro del esquema completo implementado, debido a que tras realizar diseños electrónicos con diferentes valores de ganancia se observa que el valor ganancia es directamente dependiente al voltaje de alimentación con el cual es polarizado el pre-amp. Ya que al ser la fuente de alimentación de 5 voltios se posee una ventana de trabajo o rango dinámico en términos de voltaje de -2.5v a $+2.5\text{v}$, es decir, voltajes amplificados por encima de estos valores entrarán en la zona de saturación y serán valores nulos, como se observa figura 38.

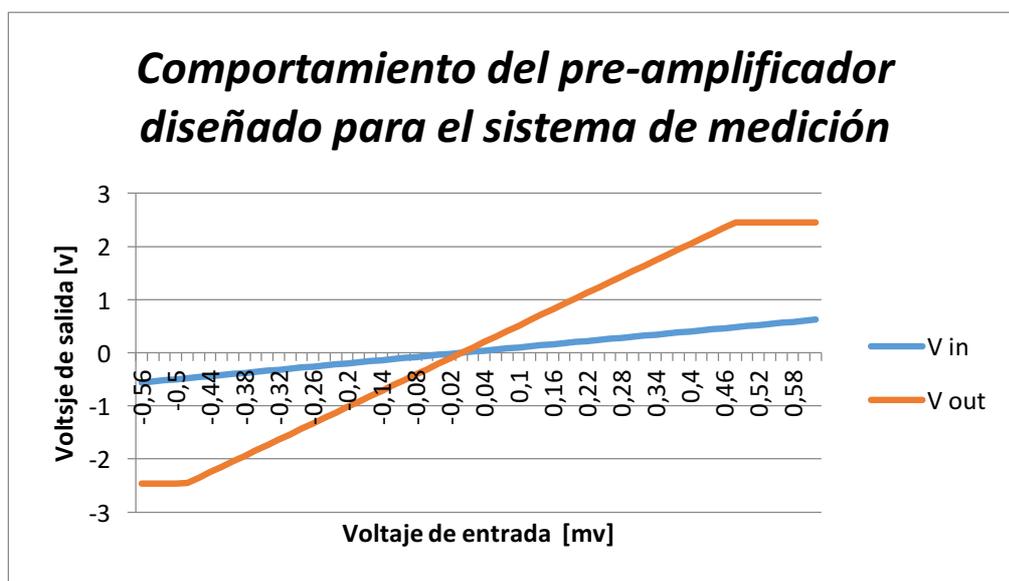


Figura 41. Comportamiento del pre-amplificador diseñado para el sistema de medición.
Fuente: Propia

A partir de la teoría de sumatoria de presión acústica de fuentes correlacionadas donde la duplicidad de fuente del mismo nivel de presión, frecuencia y fase, genera un aumento de $+6\text{dB}$ en la presión ejercida, lo que indica que para generar un aumento de $+6\text{dB}$ dentro del rango dinámico establecido se debe

duplicar el nivel de voltaje de entrada. Con lo cual, el nivel de ganancia diseñado resulta ser el indicado, ya que los micrófonos utilizados para el desarrollo del proyecto poseen sensibilidades altas lo que indica que al generar un aumento del doble de voltaje de un nivel de sensibilidad de 9.5 mV/Pa, que es igual a 94dB, produce un aumento de +6dB, es decir, 19mV↔100dB, 38mV↔106dB, etc.

Se realizó un análisis en frecuencia para verificar y garantizar que el comportamiento del pre amplificador es lineal. Procedimiento aplicado para todo el espectro en frecuencia evaluado comprendido entre 31,5 Hz a 16 kHz, donde se varió la frecuencia con pasos de banda de octava.

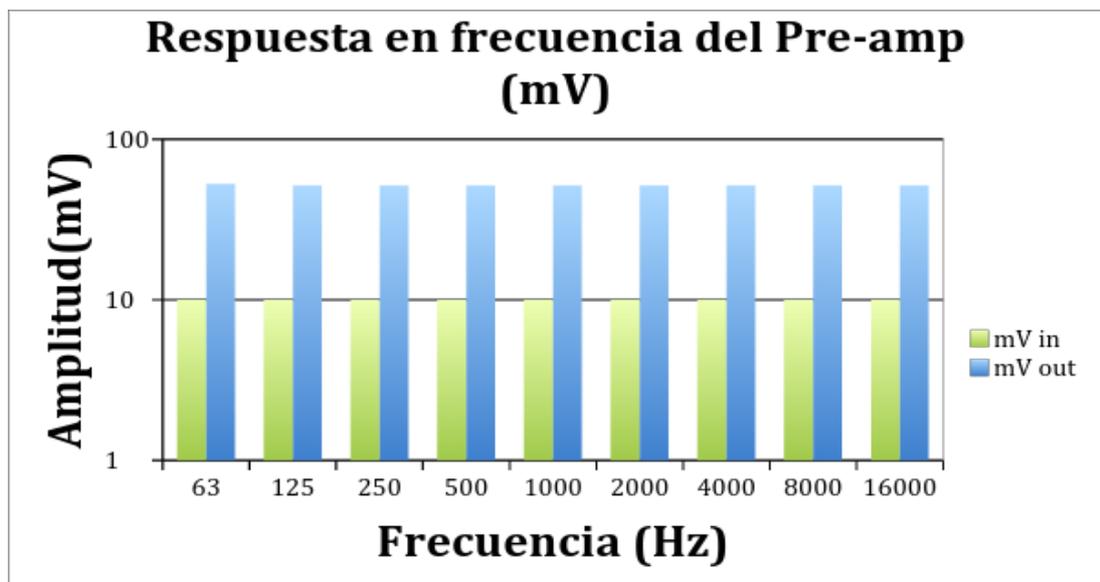


Figura 42. Función de transferencia del Pre-amp en función de la frecuencia con una ganancia establecida de 5 veces la entrada. Fuente: Propia

En la figura 39, se puede observar que la ganancia de los voltajes de salida son amplificadas de manera plana para todo el rango de frecuencia estudiado, con lo cual, el amplificador operacional AD620 garantiza que las amplitudes de amplificación para cada banda de frecuencia se comportan de la misma manera.

5.2 ANÁLISIS DE LA MEDICIÓN DE CARACTERIZACIÓN DEL PATRÓN DIRECTIVO DE LOS MICRÓFONOS TEF04 Y ECM8000 SEGÚN NORMATIVA IEC 61672-1

Para el análisis de los resultados obtenidos en la medición y caracterización de los dos micrófonos de medición TEF04 y ECM 8000, es indispensable mencionar y recordar los valores obtenidos fueron valores de voltaje AC provenientes de la señal de entrada de los micrófonos expuestos a 94dB y a un metro de distancia del mismo, son los valores de voltaje que se presentaron después de la etapa de alimentación fantasma o phantom power, sin pasar aún por la etapa de pre-amplificación.

Según los requerimientos mencionados por la normativa IEC 61672-1 acerca de la tolerancia de desviación de presión acústica entre los ángulos de incidencia se observan en la siguiente figura 40 .

Frecuencia kHz	Máxima diferencia absoluta en el nivel de sonido mostrado en al menos en dos ángulos de incidencia de sonido dentro de +/- θ grados de la dirección de referencia dB					
	$\theta = 30^\circ$		$\theta = 90^\circ$		$\theta = 150^\circ$	
	Tipo					
	1	2	1	2	1	2
0,25 to 1	1,3	2,3	1,8	3,3	2,3	5,3
>1 to 2	1,5	2,5	2,5	4,5	4,5	7,5
>2 to 4	2,0	4,5	4,5	7,5	6,5	12,5
>4 to 8	3,5	7,0	8,0	13,0	11,0	17,0
>8 to 12,5	5,5	...	11,5	...	15,5	...

Figura 43. Tabla de máxima diferencia absoluta en el nivel de sonido mostrado en al menos dos ángulos de incidencia de sonido dentro de $\pm 30^\circ$ a 150° de dirección de referencia. Fuente: Norma IEC61672-1

A continuación se muestran los valores de presión acústica [dB] obtenidos después de la etapa del phantom power. Cabe mencionar que los valores de voltaje obtenidos en la medición represententan valores de presión según a los valores de presión obtenidos por un sonómetro Svantek utilizado como

referencia, es decir, el voltaje obtenido para 1kHz es igual a 94dB y según este valor varían los valores en las demás bandas. Esto para poder ser comparados con los valores de tolerancia entregados por la normativa IEC 61672-1. Para observar los valores en mV dirigirse a la sección 4.1.4 Caracterización Del Micrófono.

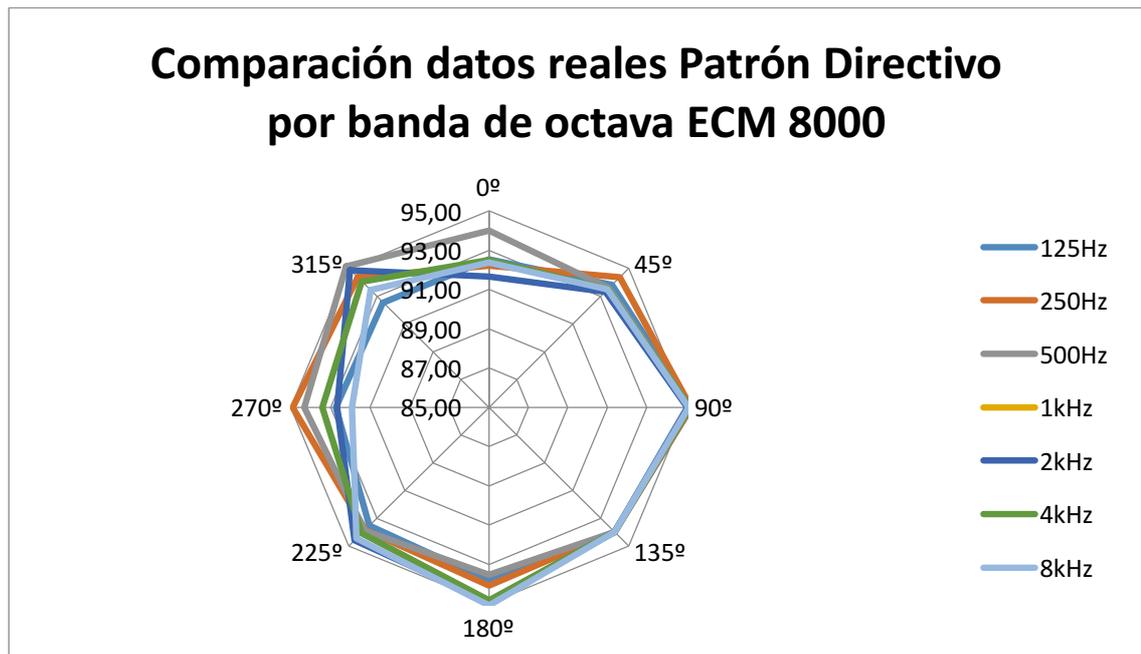


Figura 44. ECM 8000 – Directividad (dB vs Hz) e frecuencia analizadas. Fuente: Propia

Como se puede observar en la Figura 41, la tolerancia en dB entre los ángulos de 30, 90 y 150 grados para el micrófono ECM 8000 es aproximadamente de ± 2.5 dB para todas las bandas analizadas menos en la banda de 2 kHz, ya que se presenta una desviación de ± 4 dB. El resultado en el ángulo de incidencia de 270° se presenta una atenuación o desviación de ± 3 dB para todas las bandas d

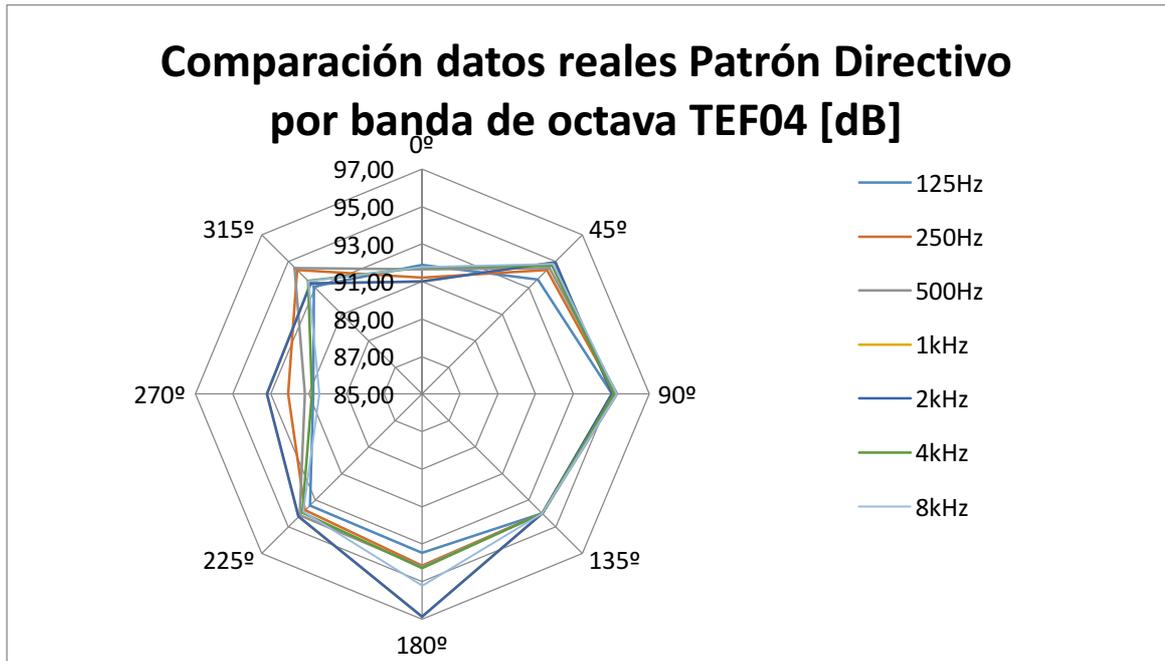


Figura 45. TEF 04 – Directividad (dB vs Hz). Fuente: Propia.

Como se observa en la figura 42, el micrófono TEF 04 resulta con una desviación de ± 1.5 dB para todas las bandas de frecuencia analizadas, en cuanto a los niveles de incidencia para el ángulo de 270° los valores de presión llegan a tener una desviación de ± 3 dB, pero se comporta de manera lineal para todos los demás ángulos de incidencia.

En comparación entre los dos sistemas de transducción utilizados se puede observar que ambos cumplen con la tolerancia establecida por la normativa IEC 61672-1, en cuanto a una breve comparación entre los dos sistemas, se puede observar que el micrófono TEF04 posee o presenta una desviación menor que el micrófono ECM8000, ya que la desviación del ECM 8000 es de ± 4 , mientras que el TEF 04 presenta una desviación de ± 2 dB entre los ángulos de 30 , 90 y 150 grados, aunque dentro de la comparación también se tuvo en cuenta valores de presión en muchos más ángulos de incidencia.

5.3. ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PROPIO COMO SISTEMA FINAL DE MEDICIÓN DE PRESIÓN ACÚSTICA EN PONDERACIÓN C O LINEAL Y COMPARACIÓN CON LOS SISTEMAS (BRUEL , RION, SVANTEK)

En la tabla 13, se muestran los valores de tolerancia de niveles de presión acústica según la normativa IEC 61672-1. Con los cuales se hará una comparación con los resultados arrojados.

Frecuencia (Hz)	Ponderaciones Frecuenciales (dB)			Limites de tolerancia (dB)	
				CLASE	
	A	C	Z	1	2
31,5	-39,4	-3	0	+/-2	+/-3,5
63	-25,2	-0,8	0	+/-1,5	+/-2,5
125	-16,1	-0,2	0	+/-1,5	+/-2
250	-8,6	0	0	+/-1,4	+/-1,9
500	-3,2	0	0	+/-1,4	+/-1,9
1000	0	0	0	+/-1,1	+/-1,4
2000	1,2	-0,2	0	+/-1,2	+/-2,6
4000	+1	-0,8	0	+/-1,6	+/-3,6
8000	+1,1	-3	0	+2,1:-3,1	+/-5,6

Tabla 13. Niveles de presión acústica en las ponderación A,C y Z. Junto a los valores de tolerancia para sonómetros clase 1 y 2.

Se generó un barrido en frecuencia de 31.5 Hz a 8 KHz por pasos de banda de octava, asegurando 94 dB SPL en cada banda de octava, esto desde una fuente omnidireccional a un metro de distancia de los cuatro sistemas de medición.

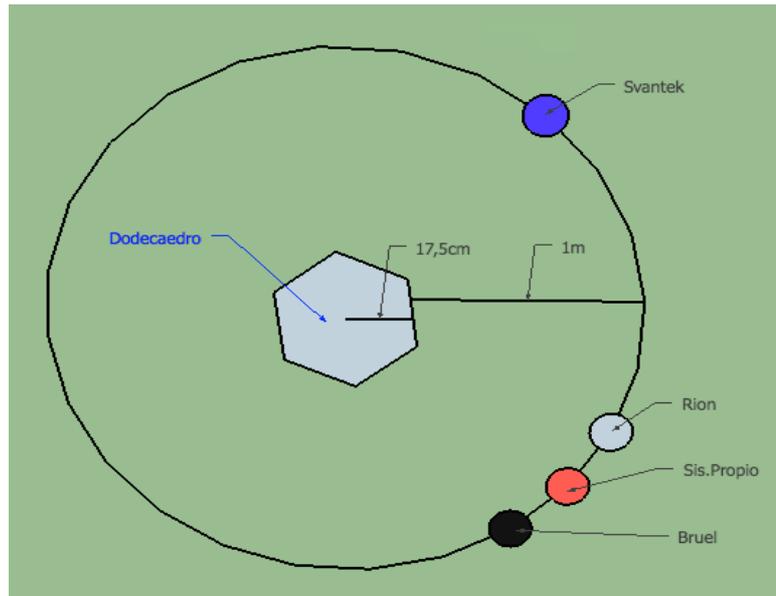


Figura 46. Esquema de medición. Fuente: Propia

Se realizaron mediciones de 30 segundos de duración del nivel de ruido de fondo en la ubicación donde se posicionan los diferentes sistemas, los valores obtenidos son:

Sonómetro	RUIDO DE FONDO 30 SEG
SVANTEK	34,5dB
BRUEL	48,5db
PP	53,5dB
RION	49,3dB

Tabla 14. Datos reales Ruido de Fondo Sonómetro PP, SVANTEK, RION y BRUEL. Fuente: Propia.

El valor más bajo que captó el sistema de medición propio en fue de 53,5 dB, por lo cual, se establece este valor como referencia al límite más bajo (aproximado a 0) dentro de la ventana de trabajo o rango dinámico digital permitido por el conversor AD interno del Arduino DUE.

Se debe resaltar el resultado del sistema de medición SVANTEK, ya que

mostraba valores a niveles de ruido de fondo con una diferencia de ± 14 dB con el sistema Bruel. Donde los dos sonómetros tipo 1, Bruel y Rion, presentaron un promedio lineal en los 30 segundos con una diferencia de $\pm 0,8$ dB.

En la primera prueba se aseguró 94 dB SPL, pero en frecuencias bajas 31.5Hz y 63 Hz; y frecuencias altas 4 kHz Y 8 kHz, la fuente omnidireccional usada, no generaba la suficiente potencia acústica para llegar hasta este nivel. Por lo tanto, el nivel entregado se dejó hasta donde la fuente no presenta saturación o interferencias eléctricas.

Cabe mencionar que los valores de presión acústica capturados por el sistema propio son valores de presión acústica instantáneos por consiguiente se comparan estos valores con los valores entregados por los sistemas de medición de propiedad de la Universidad, que son entregados en ponderación temporal Fast y Slow, no es posible comparar los valores generados por el sistema propio con ponderación temporal, ya que estas ponderaciones temporales generadas no son tomadas de una base de datos o Buffer y promediados según los intervalos de tiempo definidos para fast y slow. Los valores de ponderación obtenidos son valores de presión acústica tomados en tiempo para slow de un segundo y para fast de cuatro datos por segundo.

Para cada una de las mediciones se realizaron comparaciones entre los tres sistemas de medición con el sistema realizado para este proyecto. Se llevó a cabo el mismo procedimiento utilizando en los sonómetros de la Universidad las configuraciones de ponderación temporal FAST y SLOW, y en ponderación frecuencial Z o lineal el sistema desarrollado. Se obtuvieron los siguientes resultados haciendo uso del micrófono TEF 04 y el Mic Behringer ECM8000.:

Se realizó un promedio estadístico entre las cinco mediciones realizadas se establece el rango de funcionamiento del dispositivo propio con los micrófonos de medición TEF 04 y ECM8000, tomando como referencia el sistema Bruel y estableciendo una comparación detallada a la respuesta en frecuencia para

cada uno de los dispositivos. Los datos arrojados en cada una de las 5 mediciones se encuentran indexadas en el apéndice E.

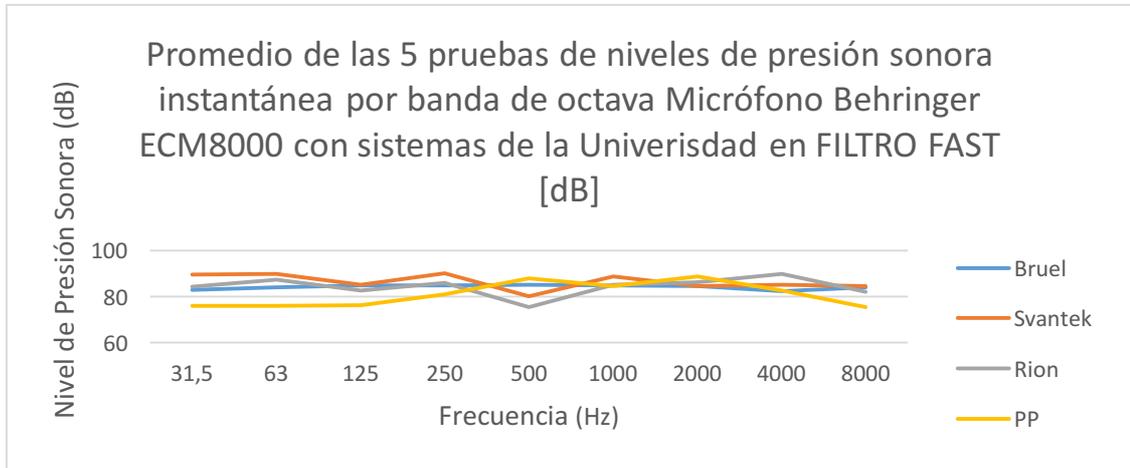


Figura 47. comparación de niveles de presión acústica instantánea ECM8000 con valores en ponderación temporal Fast. Fuente: Propia.

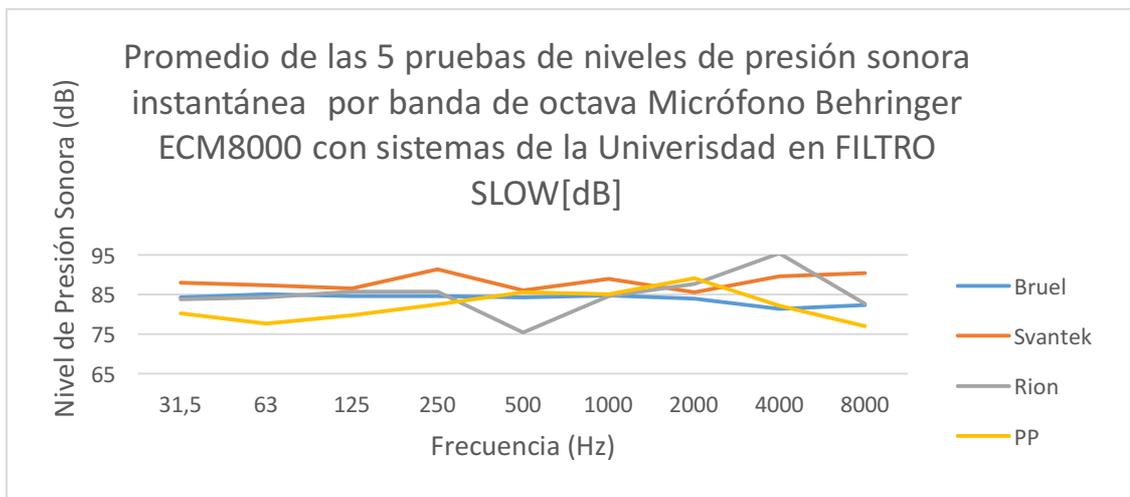


Figura 48. comparación de niveles de presión acústica instantánea ECM8000 con valores en ponderación temporal Slow. Fuente: Propia.

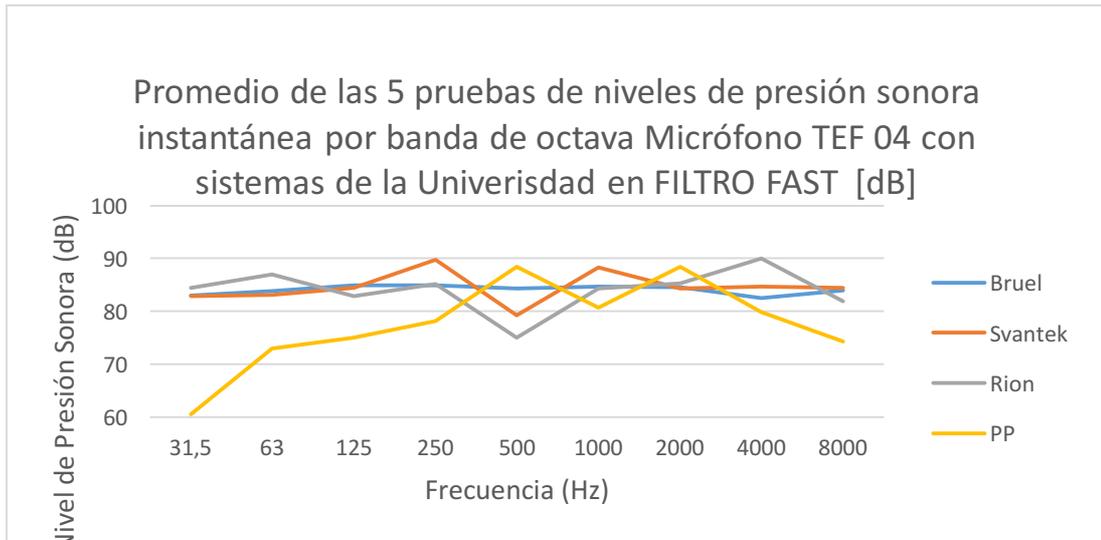


Figura 49

Figura 49.comparación de niveles de presión acústica instantánea TEF 04 con valores en ponderación temporal Fast. Fuente: Propia.

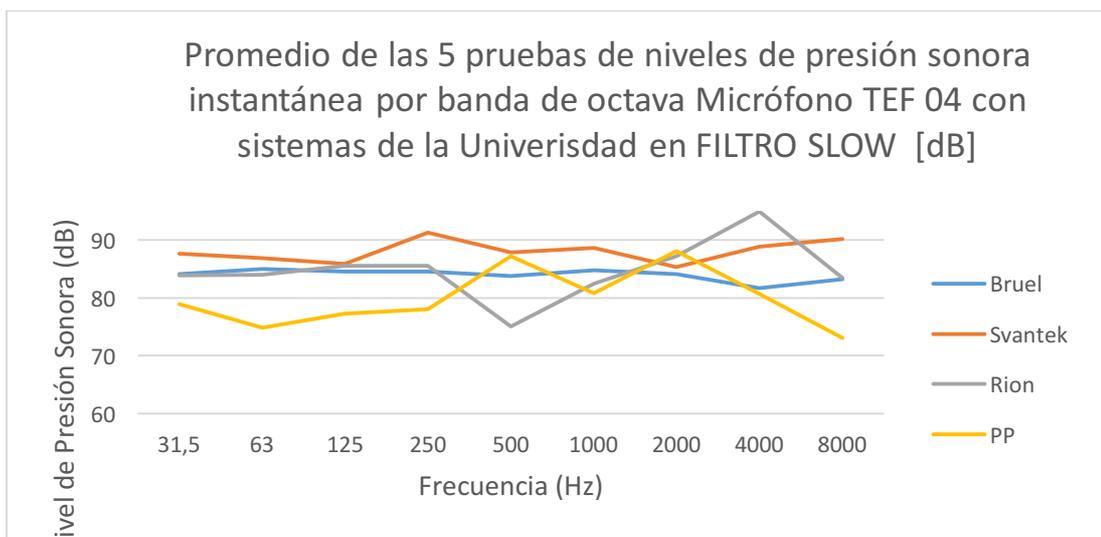


Figura 50. comparación de niveles de presión acústica instantánea TEF 04 con valores en ponderación temporal Slow. Fuente: Propia.

En las figura 44, 45, 46 y 47, se puede observar que en frecuencia baja, en el mic ECM8000, los niveles de presión presentan una caída o un aumento de ± 8 dB respecto al sonómetro Bruel. Pero en frecuencias medias de 250Hz a 2kHz los niveles se presentan de manera lineal teniendo como referencia los valores entregados por el sonómetro Bruel. Frecuencias altas 4 kHz y 8 kHz presentan

atenuación al igual que en baja frecuencia con una diferencia de ± 6 dB. Por otro lado, la respuesta en frecuencia de TEF 04 presenta atenuaciones en frecuencias bajas desde 31.5 hasta los 250 Hz de ± 10 dB, aunque resulta comportarse de manera lineal en frecuencias medias entre 500 Hz y 4 kHz, en la banda de 8 kHz presenta una diferencia nuevamente de ± 10 dB. Mientras que las diferencias resultantes para el micrófono TEF 04 son mayores a ± 5 dB para frecuencias altas y medias, y una diferencia de ± 12 dB en la banda de 63Hz.

Cabe destacar la respuesta en frecuencia que entrega el sistema de medición Bruel, ya que no presenta variaciones de ± 3 dB por banda de octava, con lo cual es positiva la afirmación de utilizar el sistema Bruel como referencia fundamental para la comparación de todos los sistemas.

Hay que tener en cuenta que para las 5 pruebas realizadas en un auditorio Anaya de la universidad de San Buenaventura, utilizando los dos micrófonos se presentaron modos de vibración en las frecuencias de 2 kHz en el lugar donde se encontraba posicionado el sistema Rion y un modo en 4 kHz en la posición en la que estaba el sistema Bruel.

Se posicionó el sistema propio cerca del sistema Bruel por ser el sistema de referencia, por lo tanto presentó también un modo en la misma frecuencia. Esto fue resultado en todas las pruebas realizadas, debido al lugar donde fueron hechas todas las mediciones.

Se realizó también una comparación entre los valores de presión instantáneos arrojados para establecer la respuesta en frecuencia de los micrófonos behringer ECM8000 y Goldline TEF 04, los resultados se muestran en la siguiente página:

Una vez obtenidos los resultados de la medición de los dos micrófonos, el siguiente paso fue hacer una diferencia entre ellos para poder ver con cuál de ellos el sistema responde mejor.

COMPARACIÓN ENTRE LOS MICRÓFONOS BEHRINGER ECM8000 Y EL TEF 04 [dB]		
Frecuencia [HZ]	EMC8000	TEF 04
31,5	80,22	78,86
63	76,68	74,82
125	79,7	77,28
250	82,44	78,08
500	85,54	87,16
1000	85,04	80,78
2000	89,08	88,06
4000	82,2	80,64
8000	76,92	73,12

Tabla 17. Datos reales comparación en frecuencia. Mic TEF 04 Vs Mic ECM8000. Niveles de presión instantáneos Fuente: Propia.

Frecuencia [HZ]	DIFERENCIA DE NIVELES ENTRE LOS MICRÓFONOS BEHRINGER ECM8000 Y EL TEF 04 [dB]
31,5	1,36
63	1,86
125	2,42
250	4,36
500	-1,62
1000	4,26
2000	1,02
4000	1,56
8000	3,8

Tabla 18. Diferencia entre los mic Mic TEF 04 Vs Mic ECM8000. Fuente: Propia.

Luego de realizar la diferencia entre los dos micrófonos se puede analizar que en las frecuencias de 250 hz y 1 khz las diferencias son un poco diferentes o donde se presentan las diferencias de niveles más altas.

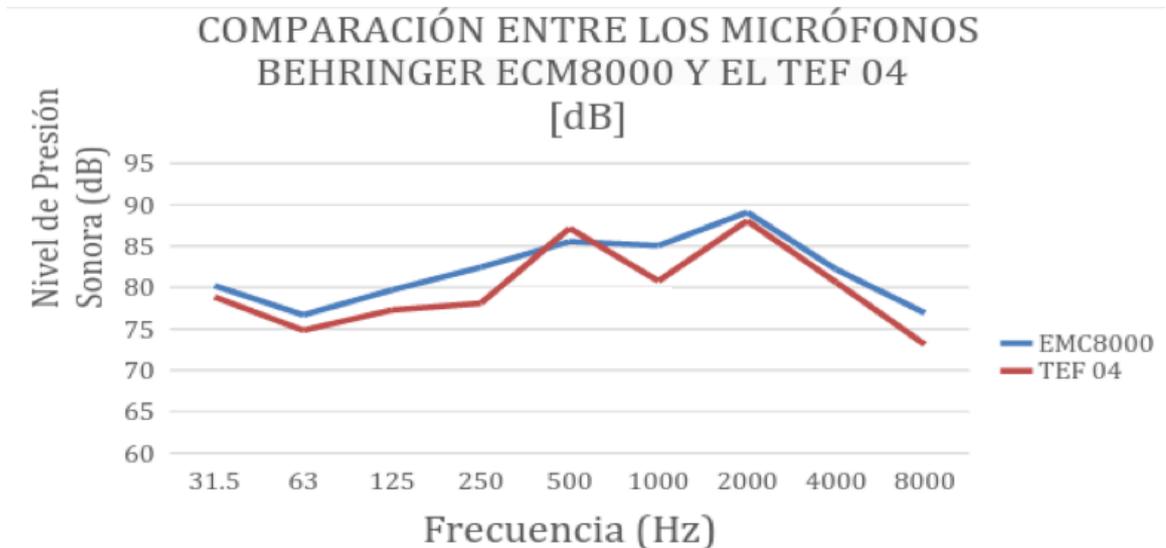


Figura 52. Respuesta en frecuencia comparación Mic TEF 04 Vs Mic ECM8000, Niveles de presión instantáneos Fuente: Propia.

Como se puede observar en la figura 52, la respuesta en frecuencia del micrófono ECM8000 responde de mejor manera teniendo en cuenta los valores de referencia del sonómetro Bruel en ± 94 dB para todas las bandas de frecuencia analizadas. El TEF 04 presenta una desviación de ± 4 dB en las frecuencias de 63Hz, 125Hz, 250Hz y 1kHz aproximadamente, y en las frecuencias de 500Hz y 2 kHz se comporta de la misma manera que el micrófono ECM8000, presentado una diferencia de ± 1 dB.

5.4. ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS ANÁLOGOS CORRESPONDIENTES A LA PONDERACIÓN A

Utilizando el filtro pasa banda diseñado para la ponderación A y configurando los sonómetros para que entreguen los valores de presión en ponderación A se procedió a repetir la medición mencionada en el literal anterior.

Se realizó un promedio estadístico entre las dos pruebas realizadas a 94dB, donde el resultado de los sistemas de medición Bruel y los del sistema de medición propio fueron comparados, utilizando el sistema de medición Bruel como referencia se obtuvo los siguientes resultados.

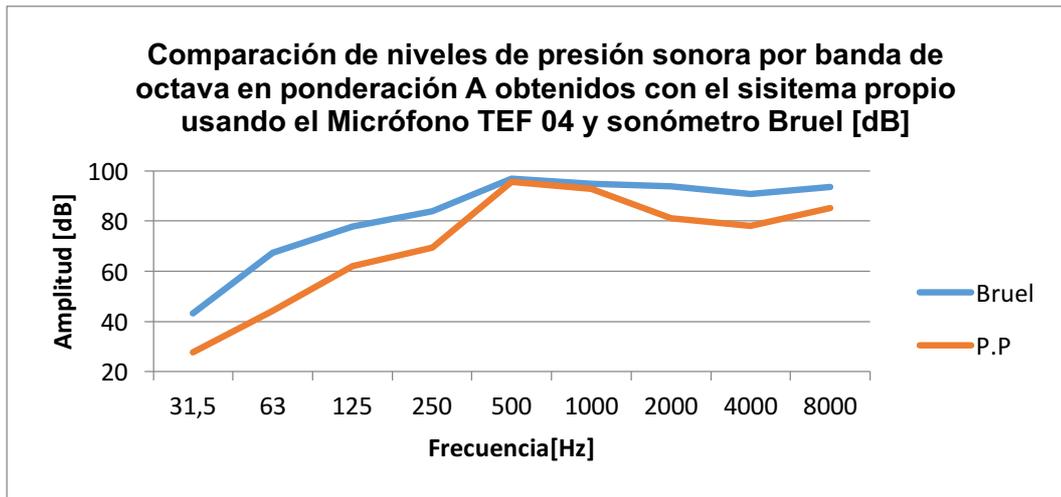


Figura 53. Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava en ponderación A obtenidos con el sistema propio usando el Micrófono TEF 04 y sonómetro Bruel [dB]. Fuente: Propia.

En la figura 53, observamos que la respuesta en frecuencia de este micrófono se acerca en las frecuencias medias del sonómetro con el cual se hizo la comparación. En la figura 54, la respuesta del ECM 8000 se acerca mas en frecuencias medias altas al del sonómetro.

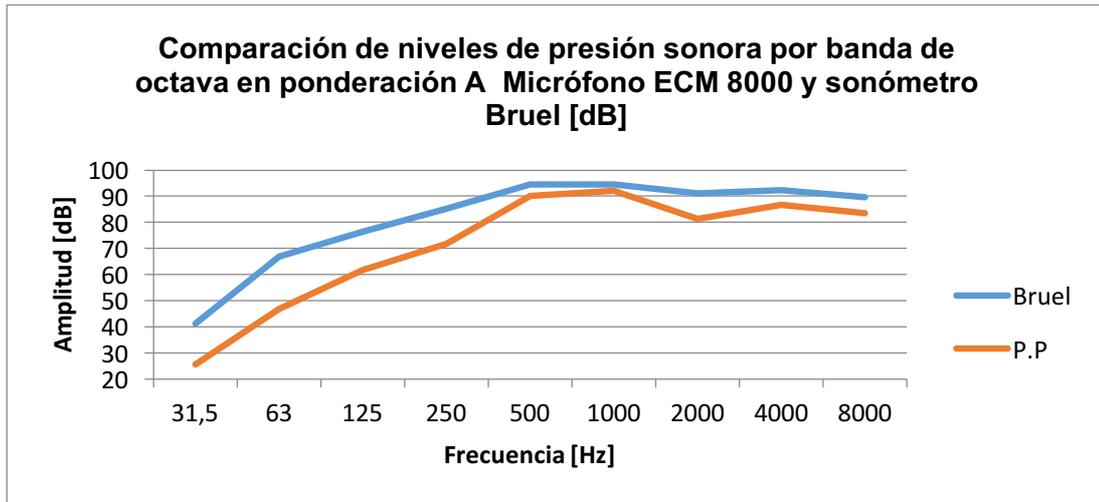


Figura 54. Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava en ponderación A obtenidos con el sistema propio usando el Micrófono ECM 8000 y sonómetro Bruel [dB]. Fuente: Propia.

De acuerdo a los resultados entregados en ponderación A, el sistema Bruel responde de acuerdo a las correcciones de presión acústica por banda de octava para esta ponderación; es claro que el sistema Bruel responde de manera apropiada según este filtro. Por otro lado, los valores de presión en ponderación A entregados por el sistema de medición propio responden conforme a la respuesta en frecuencia de los micrófonos de medición TEF 04 y ECM8000, es decir, los valores de presión acústica en las bandas de 31.5 Hz, 63 Hz, 125Hz y 250Hz se presentan con una diferencia de ± 9 dB en una ponderación C o lineal, con el filtro análogo que corresponde a la ponderación A la diferencia en estas bandas de es de ± 18 dB, mientras que en las bandas de 500Hz, 1000Hz, 4000Hz y 8000Hz se presenta una diferencia de ± 4 dB, por otro lado, la banda de 2000Hz presentó una diferencia de ± 9 dB respecto a los valores ponderados arrojados por el sistema Bruel.

6. CONCLUSIONES

- A la hora de la medición para caracterización de transductores de entrada se presentan problemas respecto a los niveles de voltaje recogido para cada una de las diferentes frecuencias emitidas, ya que se garantiza la emisión 94dB SPL desde una fuente omnidireccional a un metro de los sistemas de captura, las bandas de 250 Hz y 500 Hz presentan una subida en voltaje no común, a lo que llevó a plantear la medición en un medio controlado, es decir, se cambió la locación de la medición, ya que la primera medición fue llevada a cabo en un campo abierto libre de reverberaciones. Una vez cambiada la locación, más exactamente a un recinto cerrado, los niveles de voltaje obtenidos de las variaciones de estas fueron constantes y coherentes al funcionamiento del preamplificador diseñado, dando como resultado una respuesta en frecuencia plana de acuerdo a un micrófono profesional de medición de presión acústica.
- El sistema embebido Raspberry Pi 3 modelo B, es un sistema robusto en términos de procesamiento y espacio RAM, pero bastante nuevo, es decir, hace falta desarrollo en cuanto a comunicación para audio, ya que no se pudo capturar los valores de la señal digital saliente del conversor A/D UDA1361TS. No existen librerías que permiten la comunicación i2s directa, siendo necesario adquirir una tarjeta de audio independiente para

poder trabajar audio (Hifiberry e IQaudio).

- A comparación de la Raspberry Pi, la tarjeta Arduino no posee un procesador tan robusto, pero es una plataforma bastante estudiada y muy desarrollada, ya que posee librerías para toda clase de protocolos de comunicación, al igual que su amigable manejo y directa programación entre software y hardware, además de enfatizar que el micro controlador arduino posee integrado doce diferentes conversores AD y DA, mientras que la RASPBERRY PI no cuenta con ningún conversor haciendo necesario la implementación de sistemas independientes de conversión.
- Las librerías de FFT para arduino existen y funcionan, pero son algoritmos que requieren de un procesador poderoso para procesar con total normalidad para el número de muestras por segundo tomadas en el proyecto, la tarjeta arduino DUE, es una de las tarjetas más poderosas en su grupo, lamentablemente el procesador de esta tarjeta se queda corto para el extenso y complejo procesamiento matemático realizado por la FFT. Generando como consecuencia llevar a cabo mediciones acústicas para poder ser analizada su respuesta en frecuencia por bandas de octava.
- El módulo ESP 6288 introduce un ruido al momento de transmisión de los datos vía wi-fi, esto se debe a que la frecuencia de envío de datos es de un segundo, es decir, cada segundo se envía 1 dato de las 62000 muestras.
- Los 12 bits de resolución análoga digital entregada por el conversor interno del arduino entrega 72dB como rango dinámico o posibles valores, una vez calibrado el sistema propio obtenemos un rango dinámico entre 45 dB a 120 dB, con una frecuencia de muestreo por segundo superior a 44100Hz, satisfaciendo así el espectro en frecuencia a analizar.

- Todos los sistemas eléctricos análogos utilizados que requieren alimentación DC están siendo alimentados por la misma fuente, por consiguiente, la utilización de alimentación DC individual para cada uno de ellos reduce el nivel de ruido generado por los mismo componentes eléctricos genéricos.
- Realizando una medición acústica explicada en el literal 4.2.8. Calibración del sistema, donde se observa que los valores de presión obtenidos por el sistema propio poseen menos de un 1% de error, con lo que se afirma que los sistemas arduino a pesar de ser sistemas para transmisión, control y algoritmos no complejos, puede funcionar como interfaz de audio para la medición de valores de presión acústica.
- Si el módulo ESP8266 es interrumpido y se trabaja el sistema propio de medición desde el puerto serial de impresión de la tarjeta arduino, el ruido generado por la transmisión wifi del módulo desaparece.
- El circuito eléctrico montado presenta problemas de ruido, estos problemas pueden deberse a la utilización de elementos eléctricos genéricos y no de precisión.
- La plataforma de control se vuelve un software online que funciona a partir de una conexión a la red (Datos - Red inalámbrica), es decir, cualquier sistema conectado a internet puede ejercer control sobre el hardware y software, al igual que la visualización de los datos obtenidos, lo cual, convierte el sistema propio compatible para cualquier sistema operativo, sea android, IOS, Windows, Tablet o computador que tenga comunicación Wi-fi.
- El proyecto puede funcionar con cualquiera de los dos micrófonos utilizados en las mediciones. Pero el sistema fue calibrado según el micrófono ECM8000 ya que su respuesta fue plana en frecuencia

respecto al TEF04.

- Al no ser la respuesta en frecuencia totalmente plana se debe generar unas correcciones por banda de octava para cada uno de los micrófonos para suponer un funcionamiento lineal de los mismos.
- Así mismo, los filtros de ponderaciones frecuenciales se diseñan según las frecuencias de corte especificadas por la normativa IEC 61672, pero se debe tener en cuenta que sin las correcciones comentadas anteriormente los valores filtrados dan por debajo de lo esperado.
- El sistema propio (P.P) responde de manera funcional como sistemas de medición de presión acústica, la respuesta en frecuencia de los micrófonos se vuelve una especificación indispensable en el óptimo funcionamiento del sistema, ya que como indican los resultados obtenidos en las diferentes mediciones los micrófonos han perdido sensibilidad tras su uso y su respuesta en frecuencia no es del todo lineal, así mismo el sistema propio puede ser aplicable en mediciones profesionales teniendo en cuenta las correcciones a las que este se sujetan ambos micrófonos utilizados.
- Si bien la respuesta en frecuencia del sistema propio no se encuentran dentro de los valores de tolerancia indicados por la normativa, se puede establecer un margen de error entre los valores de diferencia entre las dos respuestas de los sistemas y referenciarlo según la respuesta en frecuencia entregada por el sonómetro bruel.
- Al ser un sistema que se parametriza a través de un servidor web con conexión Wi-fi, el usuario podrá contar con hasta 27 metros de distancia para controlar y visualizar los datos de manera segura sin exponerse a la fuente de ruido a evaluar.

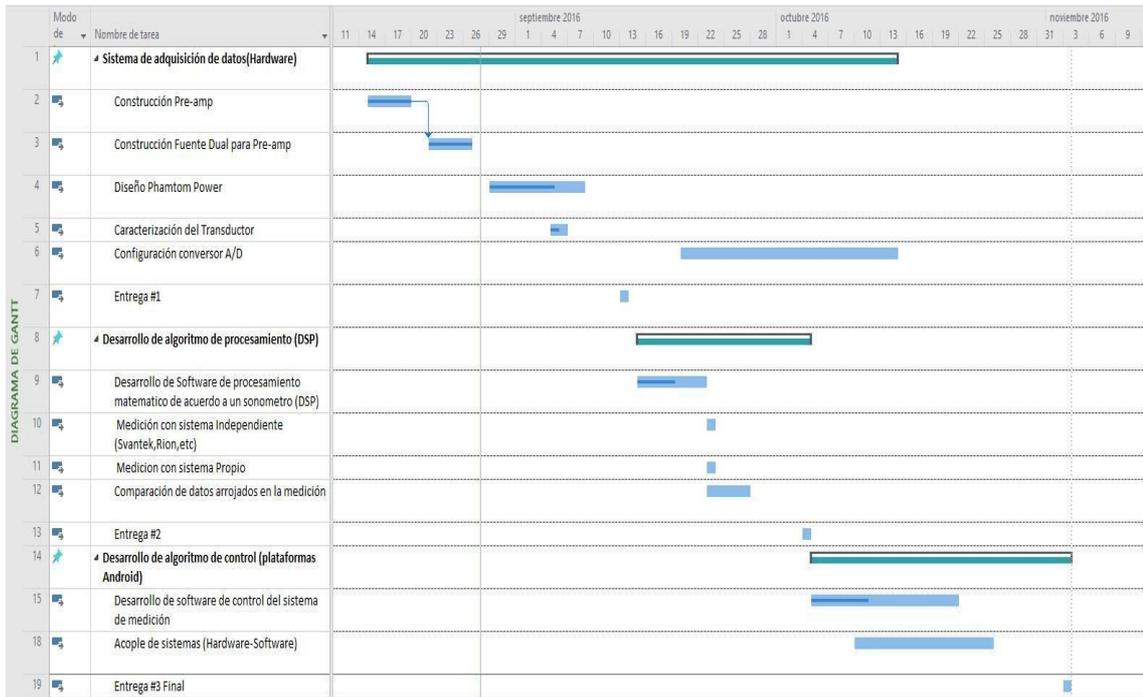
- Un dato curioso son los valores de niveles de ruido de fondo entregados por los diferentes sistemas de medición, ya que los sistemas Bruel, Rion y el sistema propio, muestran una diferencia de ± 5 dB, mientras que el valor mostrado por el sonómetro Svantek posee una diferencia de ± 15 dB respecto a todos los otros sistemas.
- La falta de un recinto en condiciones acústicas óptimas para esta clase de mediciones para caracterización de sistemas dificultó en gran parte la elaboración y desarrollo del proyecto, ya que las mediciones al aire libre suponiendo un recinto si reflexiones tempranas que puedan alterar los resultados, se ven directamente afectados debido a altos niveles de ruidos de fondo producidos por gente, automóviles y ambientes, al igual que los recintos cerrados, ya que se presentaron modos de vibración en diferentes mediciones afectando los resultados finales.

7. RECOMENDACIONES

- Todos los sistemas que requieran corriente directa deben tener su propia alimentación para poder evitar filtraciones de ruido.
- Para poder realizar una discretización de la señal es necesario trabajar con un sistema de procesamiento más rápido o trabajar los datos como una señal de onda para poder trabajar con la transformada de Fourier.
- Como se usó un módulo WIFI de gama baja, es recomendable utilizar un sistema que utilice este protocolo de comunicación para con un mejor rendimiento para que así el sistema sea efectivo y no vaya a tener problemas de conectividad.
- Es importante estar conectado a una red WIFI lo que permitirá el envío de los datos a la página web. Sin embargo su celular puede servir como modem y así el arduino podrá activar el módulo ESP8266 y esté cumplir su función dependiendo de la velocidad de transmisión permitida por el modem.

8. CRONOGRAMA

	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completad
1	★	▾ Sistema de adquisición de datos(Hardware)	45 días	lun 15/08/16	vie 14/10/16	40%
2	→	Construcción Pre-amp	5 días	lun 15/08/16	vie 19/08/16	100%
3	→	Construcción Fuente Dual para Pre-amp	5 días	lun 22/08/16	vie 26/08/16	100%
4	→	Diseño Phantom Power	9 días	lun 29/08/16	jue 8/09/16	60%
5	→	Caracterización del Transductor	2 días	lun 5/09/16	mar 6/09/16	50%
6	→	Configuración conversor A/D	19 días	mar 20/09/16	vie 14/10/16	0%
7	→	Entrega #1	1 día	mar 13/09/16	mar 13/09/16	0%
8	★	▾ Desarrollo de algoritmo de procesamiento (DSP)	14 días	jue 15/09/16	mar 4/10/16	18%
9	→	Desarrollo de Software de procesamiento matematico de acuerdo a un sonometro (DSP)	6 días	jue 15/09/16	jue 22/09/16	35%
10	→	Medición con sistema Independiente (Svantek,Rion,etc)	1 día	vie 23/09/16	vie 23/09/16	0%
11	→	Medicion con sistema Propio	1 día	vie 23/09/16	vie 23/09/16	0%
12	→	Comparación de datos arrojados en la medición	3 días	vie 23/09/16	mar 27/09/16	0%
13	→	Entrega #2	1 día	mar 4/10/16	mar 4/10/16	0%
14	★	▾ Desarrollo de algoritmo de control (plataformas Android)	22 días	mié 5/10/16	jue 3/11/16	16%
15	→	Desarrollo de software de control del sistema de medición	13 días	mié 5/10/16	vie 21/10/16	35%
18	→	Acople de sistemas (Hardware-Software)	12 días	lun 10/10/16	mar 25/10/16	0%
19	→	Entrega #3 Final	1 día	jue 3/11/16	jue 3/11/16	0%



9. BIBLIOGRAFÍA.

[1] **NICOLÁS ANDRÉS ARIAS SABOGAL.** *Desarrollo de un sistema de adquisición del nivel de presión sonora y variables climáticas utilizando sistemas embebidos.* Bogotá 2014.

[2] **JOSUÉ ROBERTO HERNÁNDEZ JUÁRES.** *Diseño de un sonómetro digital. Tesis profesional.* Junio de 2009.

[3] **NELSON FELIPE ROSAS JIMÉNEZ.** *Diseño e implementación de un sistema embebido para la adquisición y transmisión de señales biomédicas a través de la red celular.* Bogotá 2011.

[4] **DIEGO TORRES DOMÍNGUEZ.** *Sonophone: Desarrollo y evaluación de un sonómetro profesional para iOS.* Madrid 2013.

[5] **LUIS FELIPE RODRÍGUEZ CHACÓN.** *Estudio de los métodos e instrumentos de medición electroacústica para valoración del comportamiento de las ondas sonoras en el contexto de espacios abiertos y cerrados en la ciudad de Cali.* Santiago de Cali, 2015.

[6] **IVAN LOZANO.** *Captación y análisis del comportamiento y procesamiento de señales de audio a nivel de patrones acústicos y software especializados en el proceso de una producción.* Bogotá DC 2013.

[7] **CHRISTIAN CAMILO MESA VILLANUEVA.** *Sistema de medición de parámetros acústicos en recintos y compensación espectral.* Bogotá DC 2014.

[8] **DAVID BRABEN, JACK LANG, PETE LOMAS, ALAN MYCROFT, ROBERT MULLINS, EBEN UPTO.** *Raspberry Pi Foundation.* UK 2009.

[9] **NXP SEMICONDUCTORS,** *UDA1361TS 96KHz sampling-24 bits stereo*

audio ADC. EE UU 2002.

[10] **KIHONG SHIN, JOSEPH HAMMOND.** *Fundamentals of signal processing for sound and vibration engineers.*

[11] **LEO BERANEK.** *Acústica.* Instituto tecnológico de Massachusetts. Versión en castellano. Universidad de buenos aires-Universidad de La Plata.

[12] **ALAN OPPENHEIM, ALAN WILLSKY.** *Señales y Sistemas.* Massachusetts Institute of Technology .

[13] **CECILIO BLANCO VIEJO.** *Electrónica Digital.* Universidad de Oviedo 2003.

[14] **ROBERT F. COUGHLIN.** *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales.* 4 edición.

[15] **ANALOG DEVICES AD620.** *Amplificador de instrumentación.*

[16] **JOSÉ MARÍA DRAKE MOYANO.** *Instrumentación electrónica de comunicaciones.* Santander 2005.

[17] **JOHN R. PIERCE, A. MICHAEL NOLL.** *Señales: la ciencia de las telecomunicaciones.* Bogotá 2002.

[18] **P. MALVINO, ALBERT & P. LEACH, DONALD.** *Principios y Aplicaciones digitales.* Barcelona 1993.

[19] **H. DEITEL, P. DEITEL.** *Cómo Programar en C/C++ y Java.* Cuarta Edición. México 2004.

APÉNDICE

APÉNDICE A: TABLA 1. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL PRE-AMP EN FUNCIÓN DE LA AMPLITUD (mV)

Función de Transferencia del Pre-Amp en función de la Amplitud

Voltaje de entrada [V]	Voltaje de Salida [V]
-0,235	-1,175
-0,228	-1,14
-0,221	-1,105
-0,207	-1,035
-0,199	-0,995
-0,185	-0,925
-0,178	-0,89
-0,171	-0,855
-0,157	-0,785
-0,149	-0,745
-0,135	-0,675
-0,128	-0,64
0,115	0,575
-0,108	-0,54
-0,1	-0,5
-0,0861	-0,4305
-0,079	-0,395
-0,0647	-0,3235
-0,0575	-0,2875
-0,0506	-0,253
-0,0634	-0,317
-0,0294	-0,147
-0,0159	-0,0795
-0,0101	-0,0505
0	0
0,0095	0,0475
0,0169	0,0845
0,0292	0,146
0,0393	0,1965
0,0498	0,249
0,0597	0,2985
0,0693	0,3465
0,0833	0,4165
0,0933	0,4665
0,104	0,52
0,134	0,67
0,144	0,72
0,156	0,78
0,166	0,83
0,176	0,88
0,18	0,9
0,196	0,98
0,206	1,03
0,216	1,08
0,228	1,14
0,238	1,19
0,244	1,22

**APÉNDICE B: TABLA 2. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL PRE-AMP EN
FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA (Hz)**

Fre c. (Hz)	Vol.In (V)	Vol.Out (V)	Fre c. (Hz)	Vol.In (V)	Vol.Out (V)	Fre c. (Hz)	Vol.In (V)	Vol.Out (V)	Frec. (Hz)	Vol.In (V)	Vol.Out (V)	Frec. (Hz)	Vol.In (V)	Vol.Out (V)
30	0,100	0,5314	540	0,100	0,5141 5	105 0	0,100	0,5141 5	1560	0,100	0,5141 5	2700	0,100	0,51415
40	0,100	0,5287	550	0,100	0,5141 5	106 0	0,100	0,5141 5	1570	0,100	0,5141 5	2800	0,100	0,51415
50	0,100	0,5241	560	0,100	0,5141 5	107 0	0,100	0,5141 5	1580	0,100	0,5141 5	2900	0,100	0,51415
60	0,100	0,5141 5	570	0,100	0,5141 5	108 0	0,100	0,5141 5	1590	0,100	0,5141 5	3000	0,100	0,51415
70	0,100	0,5141 5	580	0,100	0,5141 5	109 0	0,100	0,5141 5	1600	0,100	0,5141 5	3100	0,100	0,51415
80	0,100	0,5141 5	590	0,100	0,5141 5	110 0	0,100	0,5141 5	1610	0,100	0,5141 5	3200	0,100	0,51415
90	0,100	0,5141 5	600	0,100	0,5141 5	111 0	0,100	0,5141 5	1620	0,100	0,5141 5	3300	0,100	0,51415
100	0,100	0,5141 5	610	0,100	0,5141 5	112 0	0,100	0,5141 5	1630	0,100	0,5141 5	3400	0,100	0,51415
110	0,100	0,5141 5	620	0,100	0,5141 5	113 0	0,100	0,5141 5	1640	0,100	0,5141 5	3500	0,100	0,51415
120	0,100	0,5141 5	630	0,100	0,5141 5	114 0	0,100	0,5141 5	1650	0,100	0,5141 5	3600	0,100	0,51415
130	0,100	0,5141 5	640	0,100	0,5141 5	115 0	0,100	0,5141 5	1660	0,100	0,5141 5	3700	0,100	0,51415
140	0,100	0,5141 5	650	0,100	0,5141 5	116 0	0,100	0,5141 5	1670	0,100	0,5141 5	3800	0,100	0,51415
150	0,100	0,5141 5	660	0,100	0,5141 5	117 0	0,100	0,5141 5	1680	0,100	0,5141 5	3900	0,100	0,51415
160	0,100	0,5141 5	670	0,100	0,5141 5	118 0	0,100	0,5141 5	1690	0,100	0,5141 5	4000	0,100	0,51415
170	0,100	0,5141 5	680	0,100	0,5141 5	119 0	0,100	0,5141 5	1700	0,100	0,5141 5	5000	0,100	0,51415
180	0,100	0,5141 5	690	0,100	0,5141 5	120 0	0,100	0,5141 5	1710	0,100	0,5141 5	6000	0,100	0,51415
190	0,100	0,5141 5	700	0,100	0,5141 5	121 0	0,100	0,5141 5	1720	0,100	0,5141 5	7000	0,100	0,51415
200	0,100	0,5141 5	710	0,100	0,5141 5	122 0	0,100	0,5141 5	1730	0,100	0,5141 5	8000	0,100	0,51415
210	0,100	0,5141 5	720	0,100	0,5141 5	123 0	0,100	0,5141 5	1740	0,100	0,5141 5	9000	0,100	0,51415
220	0,100	0,5141 5	730	0,100	0,5141 5	124 0	0,100	0,5141 5	1750	0,100	0,5141 5	1000 0	0,100	0,51415
230	0,100	0,5141 5	740	0,100	0,5141 5	125 0	0,100	0,5141 5	1760	0,100	0,5141 5	1100 0	0,100	0,51415
240	0,100	0,5141 5	750	0,100	0,5141 5	126 0	0,100	0,5141 5	1770	0,100	0,5141 5	1200 0	0,100	0,51415
250	0,100	0,5141 5	760	0,100	0,5141 5	127 0	0,100	0,5141 5	1780	0,100	0,5141 5	1300 0	0,100	0,51415
260	0,100	0,5141 5	770	0,100	0,5141 5	128 0	0,100	0,5141 5	1790	0,100	0,5141 5	1400 0	0,100	0,51415
270	0,100	0,5141 5	780	0,100	0,5141 5	129 0	0,100	0,5141 5	1800	0,100	0,5141 5	1500 0	0,100	0,51415
280	0,100	0,5141 5	790	0,100	0,5141 5	130 0	0,100	0,5141 5	1810	0,100	0,5141 5	1600 0	0,100	0,51415
290	0,100	0,5141 5	800	0,100	0,5141 5	131 0	0,100	0,5141 5	1820	0,100	0,5141 5	1700 0	0,100	0,51415
300	0,100	0,5141 5	810	0,100	0,5141 5	132 0	0,100	0,5141 5	1830	0,100	0,5141 5	1800 0	0,100	0,51415
310	0,100	0,5141 5	820	0,100	0,5141 5	133 0	0,100	0,5141 5	1840	0,100	0,5141 5	1900 0	0,100	0,51415
320	0,100	0,5141 5	830	0,100	0,5141 5	134 0	0,100	0,5141 5	1850	0,100	0,5141 5	2000 0	0,100	0,51415
330	0,100	0,5141 5	840	0,100	0,5141 5	135 0	0,100	0,5141 5	1860	0,100	0,5141 5			
340	0,100	0,5141	850	0,100	0,5141	136	0,100	0,5141	1870	0,100	0,5141			

350	0,100	0,5141 5	860	0,100	0,5141 5	137 0	0,100	0,5141 5	1880	0,100	0,5141 5
360	0,100	0,5141 5	870	0,100	0,5141 5	138 0	0,100	0,5141 5	1890	0,100	0,5141 5
370	0,100	0,5141 5	880	0,100	0,5141 5	139 0	0,100	0,5141 5	1900	0,100	0,5141 5
380	0,100	0,5141 5	890	0,100	0,5141 5	140 0	0,100	0,5141 5	1910	0,100	0,5141 5
390	0,100	0,5141 5	900	0,100	0,5141 5	141 0	0,100	0,5141 5	1920	0,100	0,5141 5
400	0,100	0,5141 5	910	0,100	0,5141 5	142 0	0,100	0,5141 5	1930	0,100	0,5141 5
410	0,100	0,5141 5	920	0,100	0,5141 5	143 0	0,100	0,5141 5	1940	0,100	0,5141 5
420	0,100	0,5141 5	930	0,100	0,5141 5	144 0	0,100	0,5141 5	1950	0,100	0,5141 5
430	0,100	0,5141 5	940	0,100	0,5141 5	145 0	0,100	0,5141 5	1960	0,100	0,5141 5
440	0,100	0,5141 5	950	0,100	0,5141 5	146 0	0,100	0,5141 5	1970	0,100	0,5141 5
450	0,100	0,5141 5	960	0,100	0,5141 5	147 0	0,100	0,5141 5	1980	0,100	0,5141 5
460	0,100	0,5141 5	970	0,100	0,5141 5	148 0	0,100	0,5141 5	1990	0,100	0,5141 5
470	0,100	0,5141 5	980	0,100	0,5141 5	149 0	0,100	0,5141 5	2000	0,100	0,5141 5
480	0,100	0,5141 5	990	0,100	0,5141 5	150 0	0,100	0,5141 5	2100	0,100	0,5141 5
490	0,100	0,5141 5	100	0,100	0,5141 5	151 0	0,100	0,5141 5	2200	0,100	0,5141 5
500	0,100	0,5141 5	101	0,100	0,5141 5	152 0	0,100	0,5141 5	2300	0,100	0,5141 5
510	0,100	0,5141 5	102	0,100	0,5141 5	153 0	0,100	0,5141 5	2400	0,100	0,5141 5
520	0,100	0,5141 5	103	0,100	0,5141 5	154 0	0,100	0,5141 5	2500	0,100	0,5141 5
530	0,100	0,5141 5	104	0,100	0,5141 5	155 0	0,100	0,5141 5	2600	0,100	0,5141 5

APÉNDICE C: TABLA 3. PATRÓN POLAR O DIRECTIVIDAD DE LOS MICRÓFONOS TEF04 Y ECM 8000 (mV)

MICRÓFONO GOLDLINE TEF04

		Frecuencia							
		(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ángulo de incidencia	(°)		[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]
0°		26,99	31,25	33,08	33,97	29,94	29,8	25,6	
45°		26,9	31,5	33,1	35,6	31,12	30,42	27,65	
90°		26,98	32,42	32,98	31,26	32,33	29,65	25,42	
135°		26,97	31,78	33,25	33,33	31,25	31,12	26,25	
180°		26,96	32,6	32,76	34,1	36,4	31,3	29,5	
225°		27,1	32,15	32,98	32,89	31,36	30,78	25,68	
270°		27,13	32,31	32,83	30,95	33,1	30,66	25,12	
315°		26,95	32,12	32,96	34,87	31,233	27,112	27,3	

MICRÓFONO BEHRINGER ECM8000

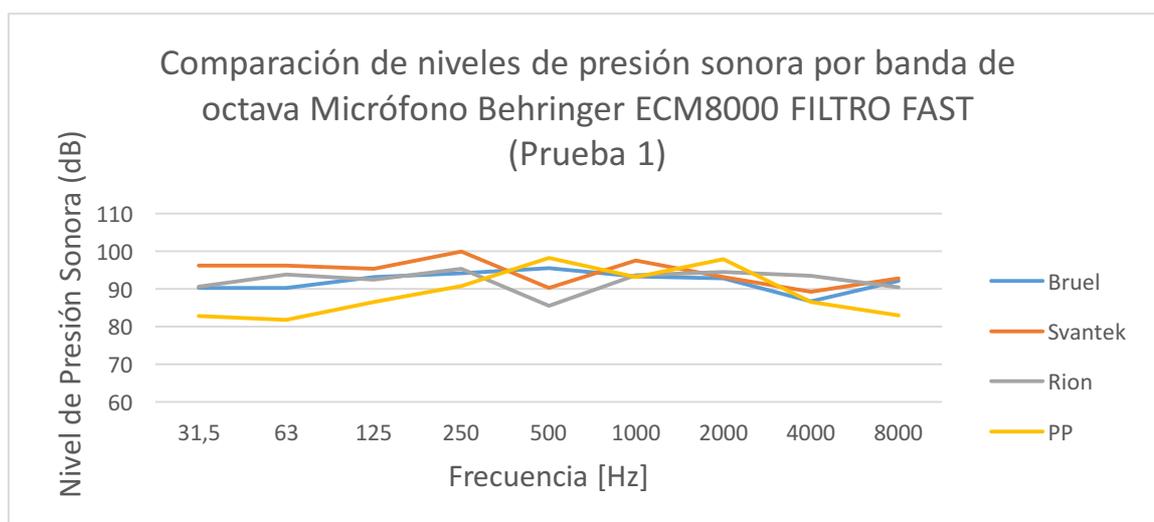
		Frecuencia							
		(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ángulo de incidencia	(°)		[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]
0°		28,39	30,51	33,12	32,56	30,56	30,03	28,65	
45°		28,42	31,5	33,1	32,65	31	30,56	32,54	
90°		28,32	31,12	33,02	33,25	30,03	30,64	31,42	
135°		28,21	31,78	33,11	32,55	31,85	32,05	31,36	
180°		27,97	31,69	32,98	32,98	32,49	31,95	28,56	
225°		28,32	30,82	33,02	32,89	32,37	30,98	29,84	
270°		28,13	30,99	32,87	32,15	32,89	31,65	27,36	
315°		28,34	30,67	32,98	32,06	31,64	30,05	28,68	

APÉNDICE D: TABLA 4. VALORES OBTENIDOS EN MEDICIÓN DE CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS (BRUEL, RION, SVANTEK, SISTEMA PROPIO)

PRUEBA 1

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO FAST [dB] (Prueba 1)

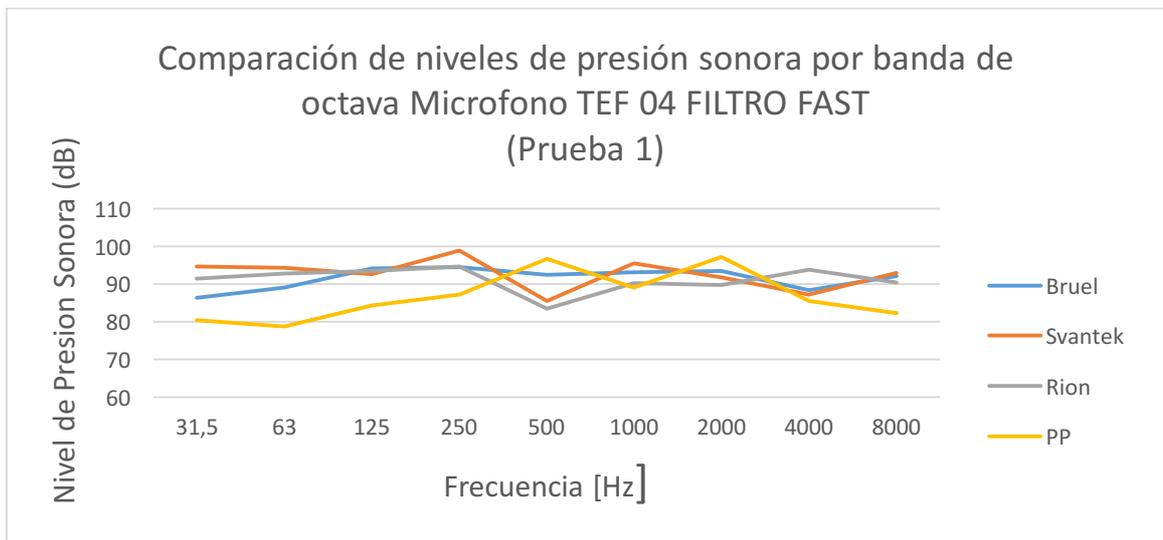
Frecuencia [Hz]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	90,2	96,3	90,6	82,8
63	90,3	96,3	93,9	81,8
125	93,1	95,3	92,5	86,5
250	94,2	100	95,3	90,8
500	95,6	90,2	85,6	98,3
1000	93,4	97,6	93,7	93,2
2000	92,8	93,2	94,5	98
4000	86,7	89,3	93,5	86,5
8000	92,1	92,9	90,4	83



PRUEBA 1

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF 04 FILTRO FAST [dB] (Prueba 1)

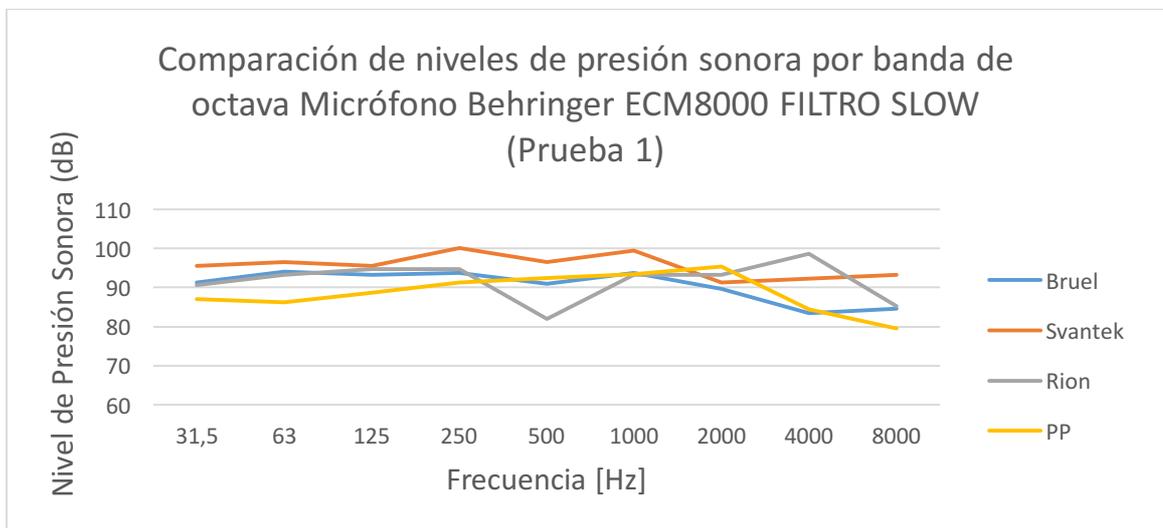
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	86,3	94,7	91,4	80,4
63	89,1	94,3	92,7	78,7
125	94,2	92,6	93,5	84,3
250	94,4	98,8	94,7	87,1
500	92,4	85,4	83,4	96,7
1000	93,1	95,4	90,3	89,1
2000	93,4	91,8	89,7	97,2
4000	88,3	87,1	93,7	85,5
8000	92,1	92,93	90,4	82,2



PRUEBA 1

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 1)

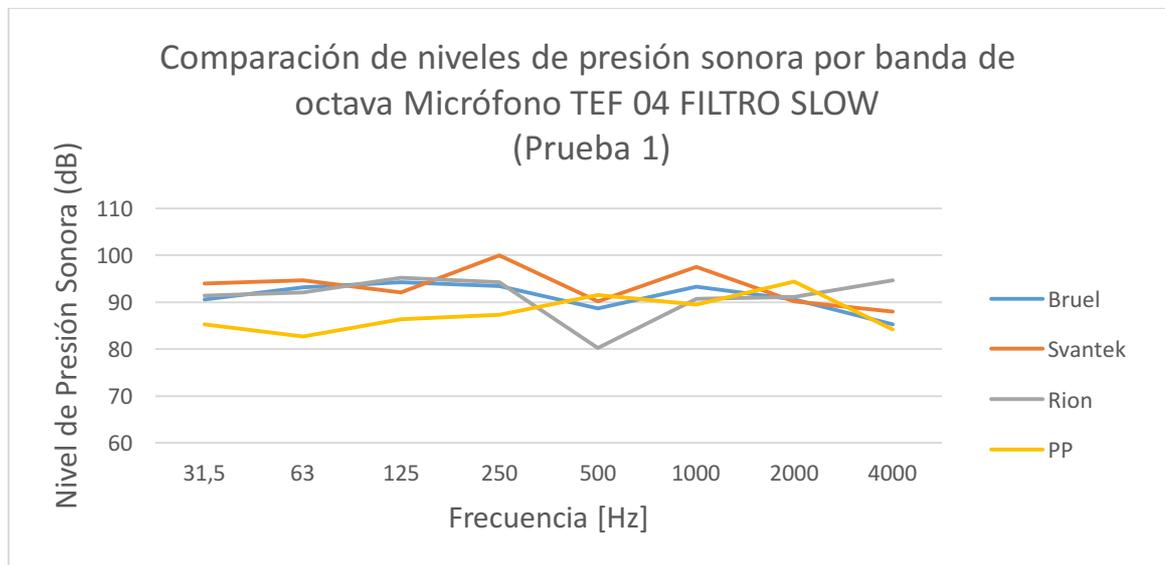
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	91,3	95,5	90,6	87,1
63	94,1	96,6	93,2	86,3
125	93,2	95,6	94,7	88,7
250	93,7	100,1	94,7	91,3
500	91	96,5	82	92,5
1000	93,7	99,4	93,2	93,5
2000	89,7	91,3	93,2	95,3
4000	83,5	92,2	98,6	84,5
8000	84,6	93,2	85,2	79,5



PRUEBA 1

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF 04 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 1)

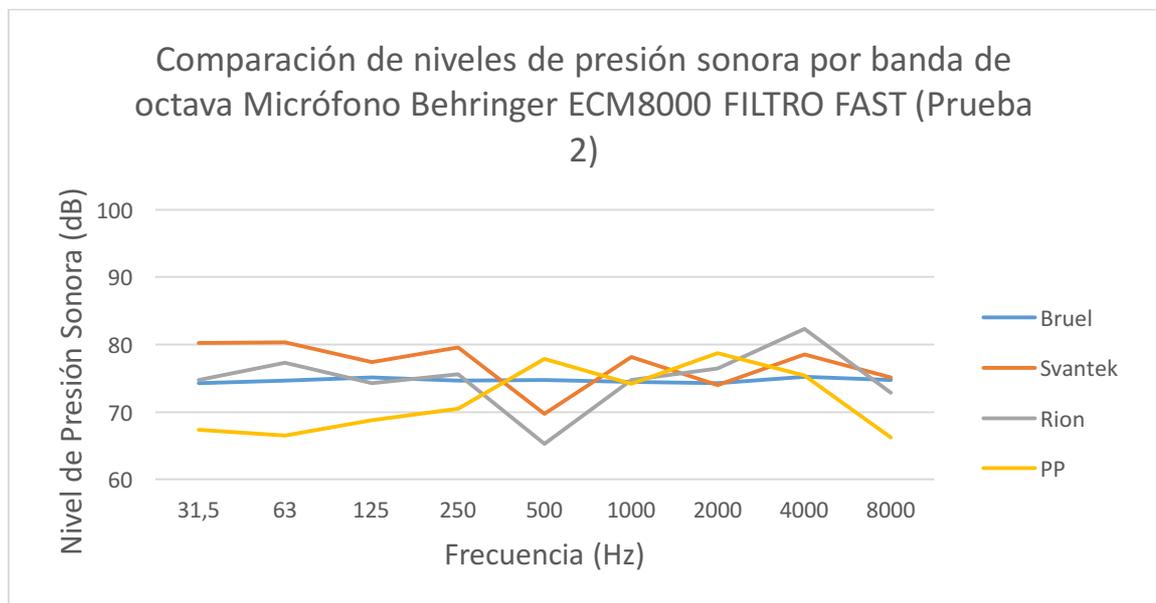
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	90,6	94	91,4	85,3
63	93,2	94,7	92,1	82,6
125	94,2	92,1	95,2	86,4
250	93,4	100	94,2	87,3
500	88,7	90,2	80,2	91,5
1000	93,3	97,5	90,7	89,5
2000	90,5	90,2	91,1	94,4
4000	85,2	88	94,7	84,1
8000	89,4	92,3	88,9	78,7



PRUEBA 2

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO FAST [dB] (Prueba 2)

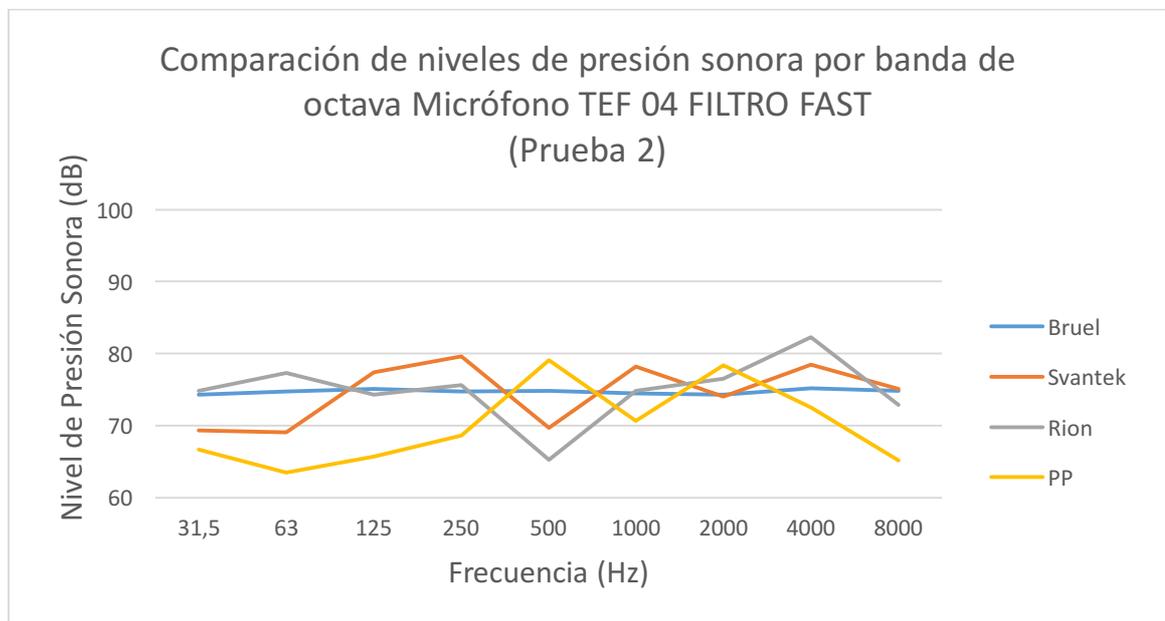
Frecuencia [Hz]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	74,3	80,2	74,8	67,4
63	74,7	80,3	77,3	66,5
125	75,1	77,4	74,3	68,8
250	74,7	79,6	75,6	70,5
500	74,8	69,7	65,3	77,9
1000	74,5	78,2	74,8	74,2
2000	74,3	74	76,5	78,7
4000	75,2	78,5	82,3	75,4
8000	74,8	75,1	72,9	66,2



PRUEBA 2

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF 04 FILTRO FAST [dB] (Prueba 2)

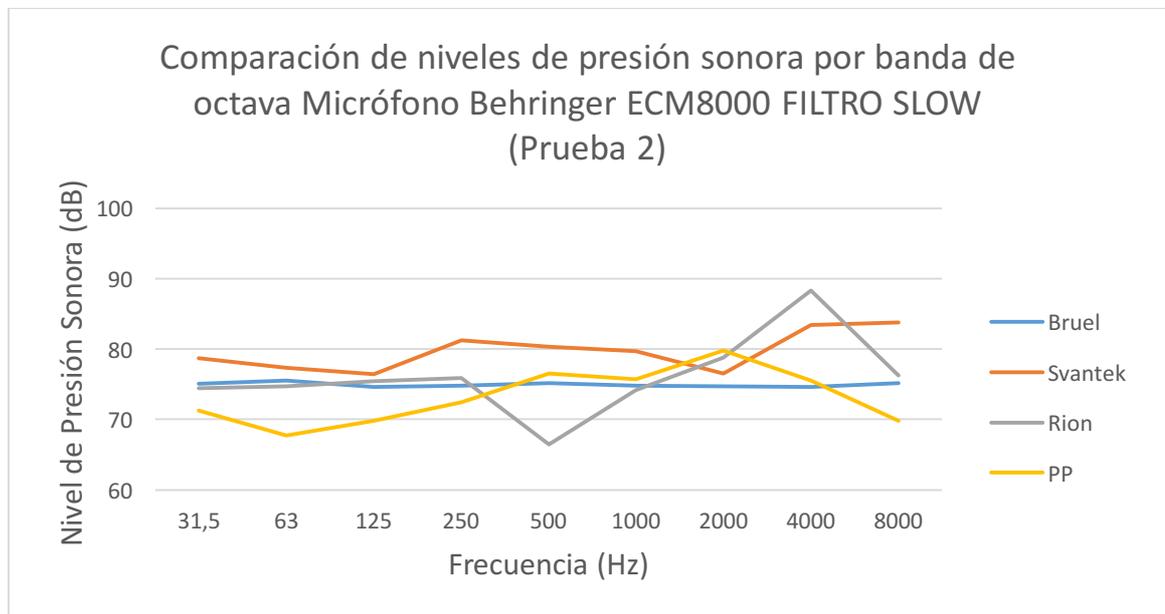
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	74,3	69,3	74,8	66,7
63	74,7	69,1	77,3	63,5
125	75,1	77,4	74,3	65,7
250	74,7	79,6	75,6	68,6
500	74,8	69,7	65,3	79,1
1000	74,5	78,2	74,8	70,7
2000	74,3	74	76,5	78,4
4000	75,2	78,5	82,3	72,5
8000	74,8	75,1	72,9	65,2



PRUEBA 2

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 2)

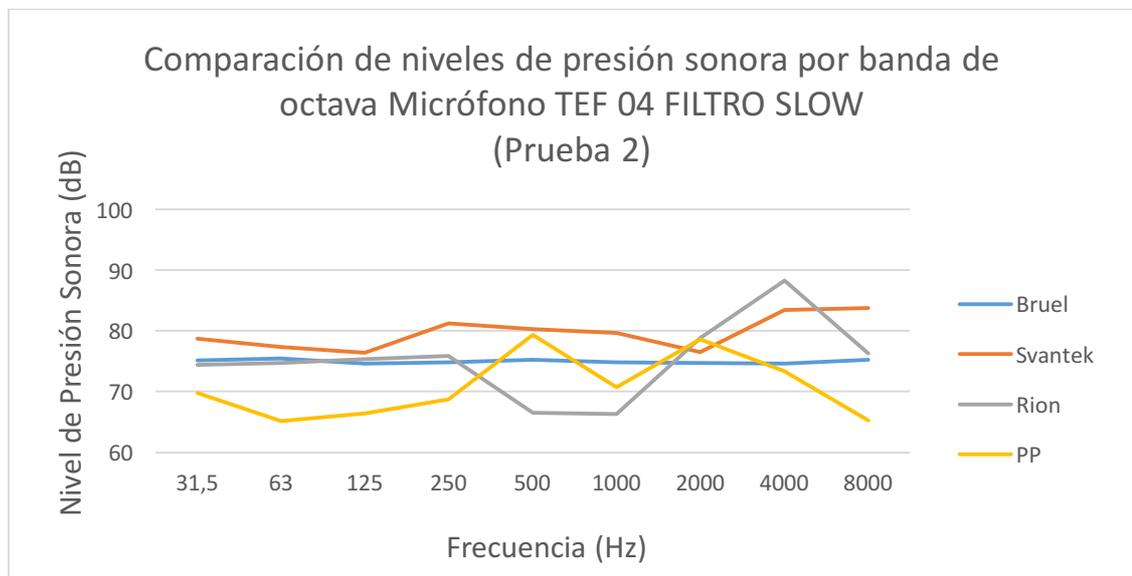
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	75,1	78,7	74,4	71,3
63	75,5	77,3	74,7	67,7
125	74,6	76,4	75,4	69,8
250	74,8	81,2	75,9	72,4
500	75,2	80,3	66,5	76,5
1000	74,8	79,7	74,2	75,7
2000	74,7	76,5	78,8	79,8
4000	74,6	83,4	88,3	75,5
8000	75,2	83,8	76,3	69,8



PRUEBA 2

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF 04 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 2)

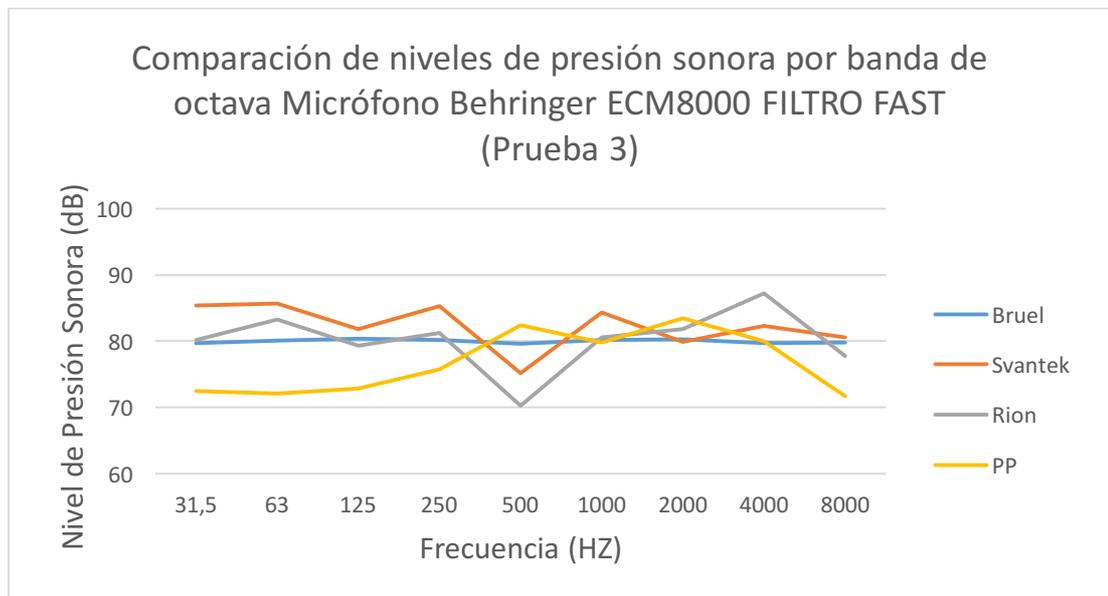
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	75,1	78,7	74,4	69,8
63	75,5	77,3	74,7	65,2
125	74,6	76,4	75,4	66,4
250	74,8	81,2	75,9	68,7
500	75,2	80,3	66,5	79,3
1000	74,8	79,7	66,3	70,7
2000	74,7	76,5	78,8	78,6
4000	74,6	83,4	88,3	73,4
8000	75,2	83,8	76,3	65,3



PRUEBA 3

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO FAST [dB] (Prueba 3)

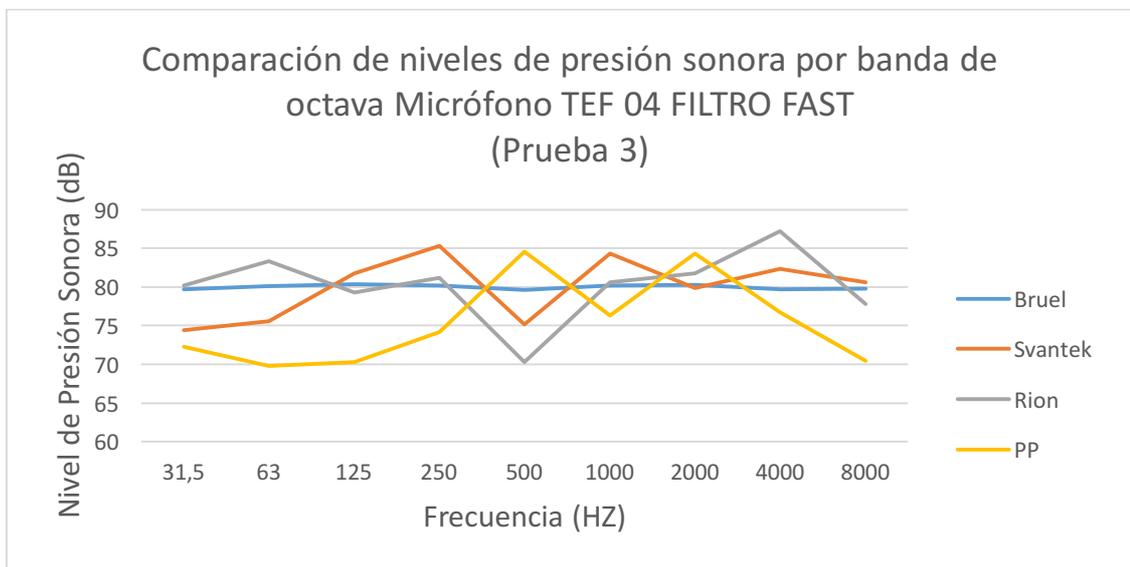
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	79,7	85,4	80,2	72,5
63	80,1	85,7	83,3	72,1
125	80,4	81,8	79,3	72,9
250	80,2	85,3	81,2	75,8
500	79,6	75,2	70,3	82,4
1000	80,2	84,3	80,6	79,8
2000	80,3	79,9	81,8	83,5
4000	79,7	82,3	87,2	80
8000	79,8	80,6	77,8	71,7



PRUEBA 3

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF 04 FILTRO FAST [dB] (Prueba 3)

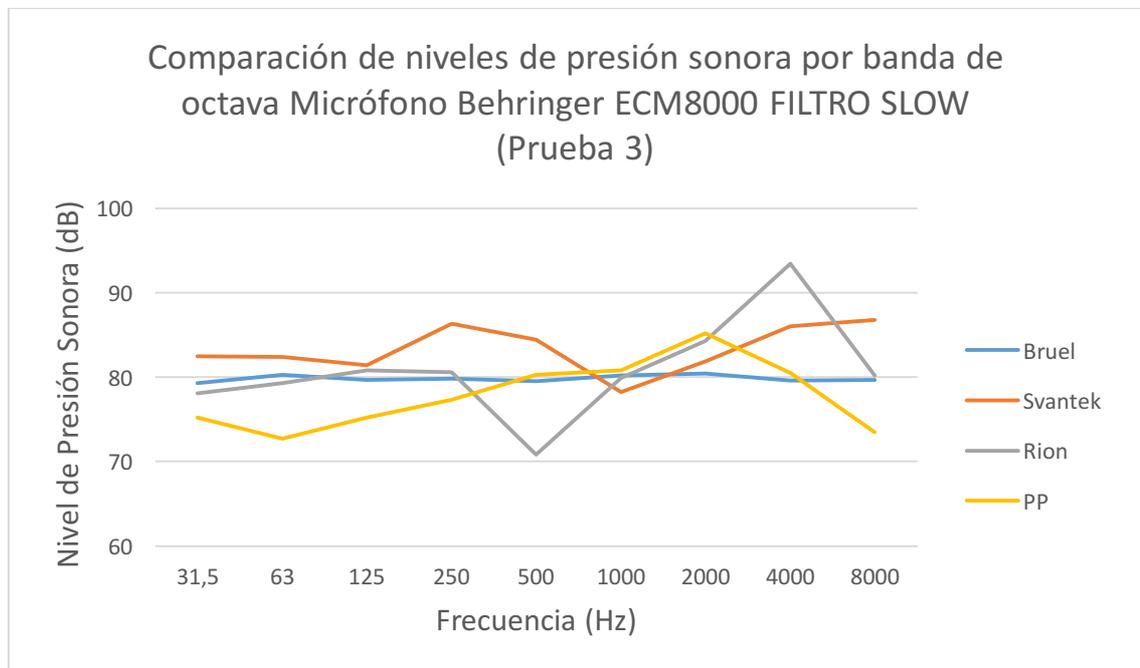
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	79,7	74,4	80,2	72,3
63	80,1	75,6	83,3	69,8
125	80,4	81,8	79,3	70,3
250	80,2	85,3	81,2	74,2
500	79,6	75,2	70,3	84,6
1000	80,2	84,3	80,6	76,3
2000	80,3	79,9	81,8	84,3
4000	79,7	82,3	87,2	76,7
8000	79,8	80,6	77,8	70,5



PRUEBA 3

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 3)

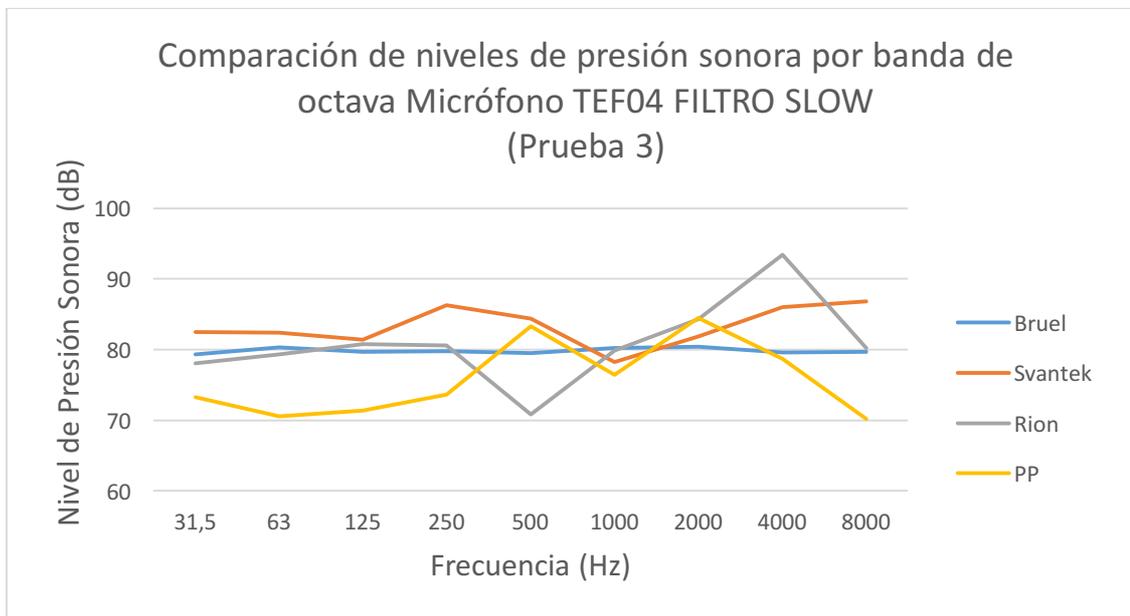
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	79,3	82,5	78,1	75,2
63	80,3	82,4	79,3	72,7
125	79,7	81,4	80,8	75,2
250	79,8	86,3	80,6	77,3
500	79,5	84,4	70,8	80,3
1000	80,2	78,2	79,9	80,8
2000	80,4	81,9	84,3	85,2
4000	79,6	86	93,4	80,5
8000	79,7	86,8	80,2	73,5



PRUEBA 3

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF04 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 3)

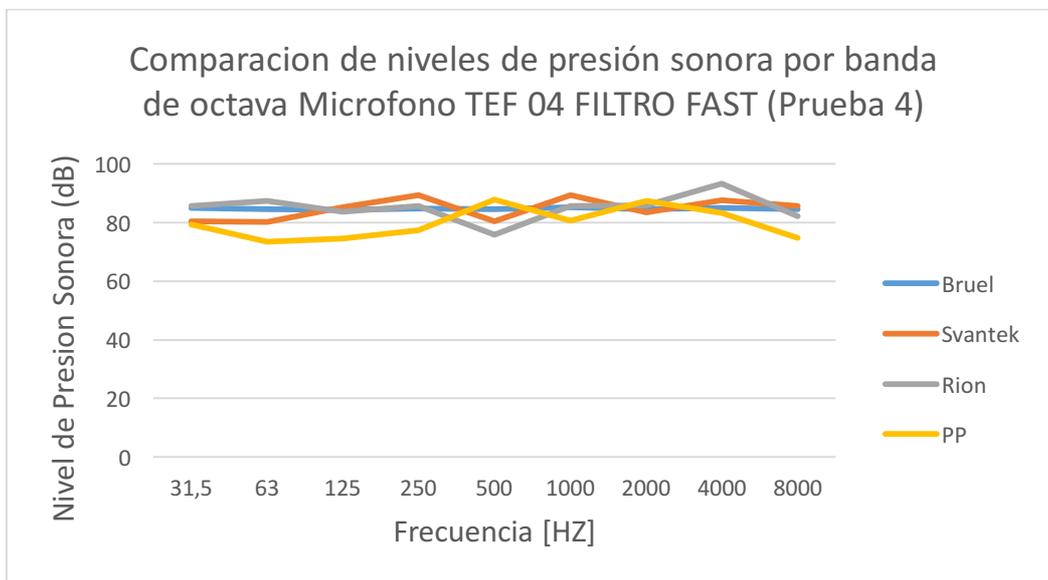
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	79,3	82,5	78,1	73,3
63	80,3	82,4	79,3	70,6
125	79,7	81,4	80,8	71,4
250	79,8	86,3	80,6	73,6
500	79,5	84,4	70,8	83,3
1000	80,2	78,2	79,9	76,4
2000	80,4	81,9	84,3	84,5
4000	79,6	86	93,4	78,7
8000	79,7	86,8	80,2	70,2



PRUEBA 4

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO FAST [dB] (Prueba 4)

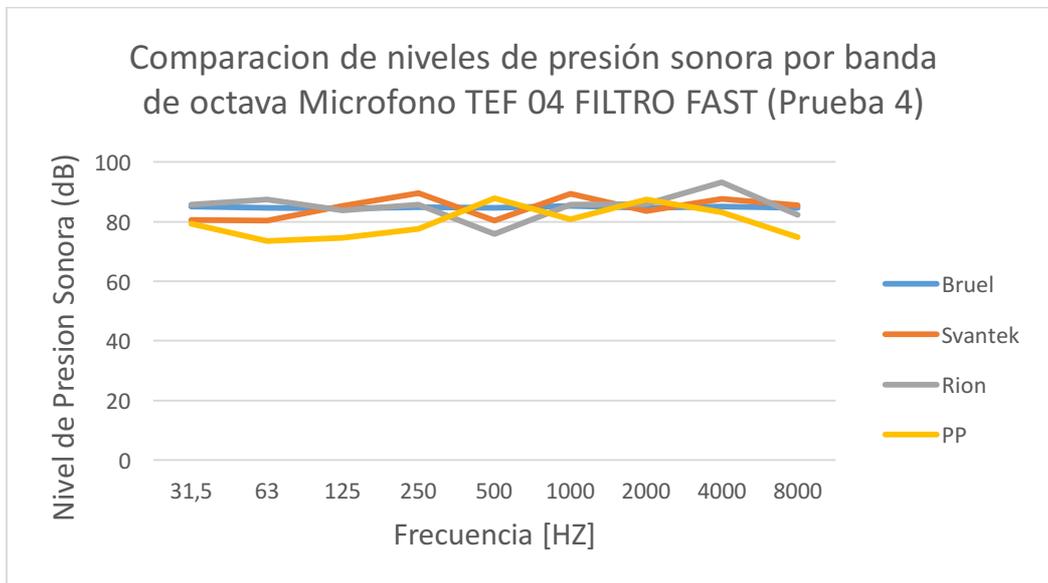
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	85,1	90,8	85,8	78,3
63	84,7	90,2	87,4	77,3
125	84,5	85,3	83,7	76,7
250	84,8	89,5	85,7	80,2
500	84,7	80,4	75,8	86,9
1000	85,2	89,3	85,7	84,7
2000	84,6	83,5	86	87,4
4000	85	87,7	93,3	85,6
8000	84,7	85,6	82,3	76,7



PRUEBA 4

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF 04 FILTRO FAST [dB] (Prueba 4)

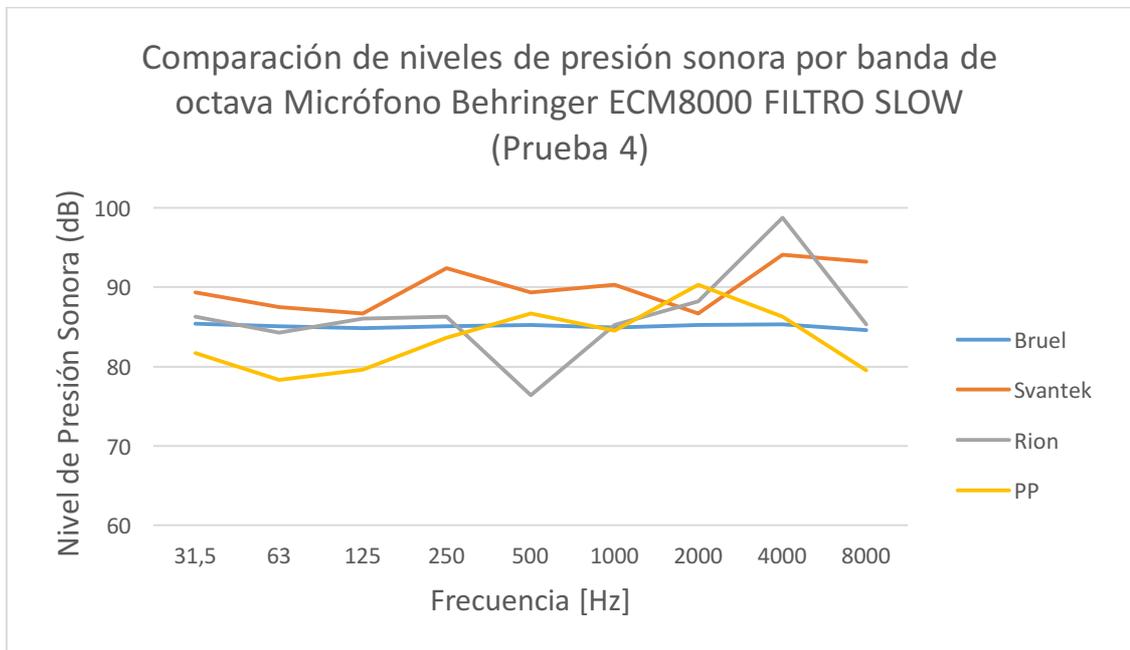
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	85,1	80,5	85,8	79,3
63	84,7	80,3	87,4	73,5
125	84,5	85,3	83,7	74,6
250	84,8	89,5	85,7	77,5
500	84,7	80,4	75,8	87,8
1000	85,2	89,3	85,7	80,7
2000	84,6	83,5	86	87,4
4000	85	87,7	93,3	83,2
8000	84,7	85,6	82,3	74,7



PRUEBA 4

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 4)

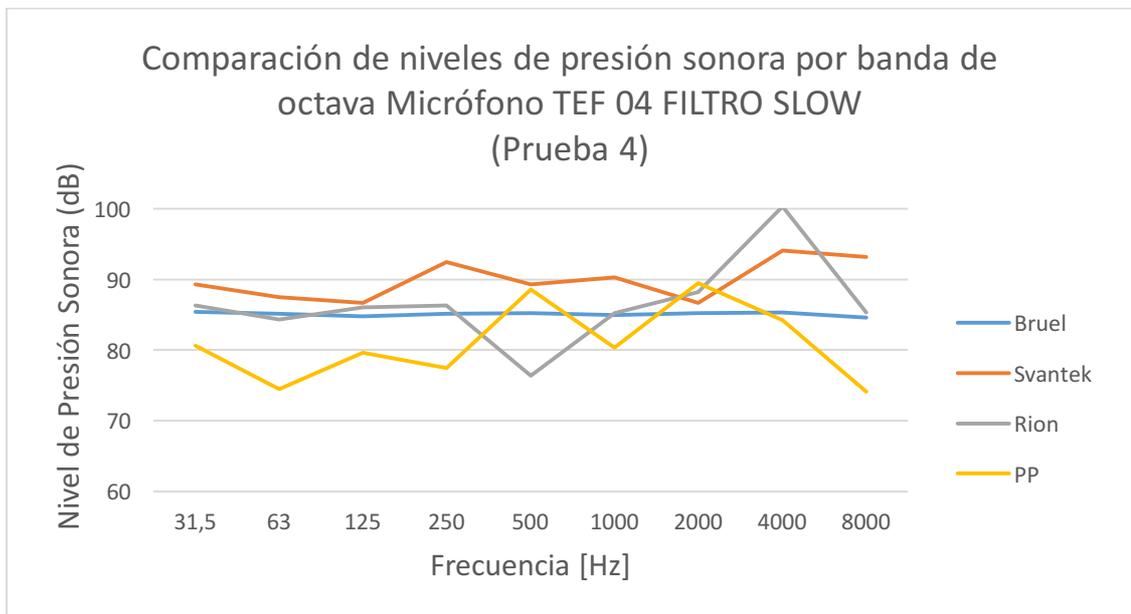
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	85,4	89,3	86,3	81,7
63	85,1	87,5	84,3	78,3
125	84,8	86,7	86	79,6
250	85,1	92,4	86,3	83,6
500	85,2	89,3	76,4	86,7
1000	84,9	90,3	85,2	84,5
2000	85,2	86,7	88,2	90,3
4000	85,3	94,1	98,7	86,3
8000	84,6	93,2	85,3	79,5



PRUEBA 4

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF 04 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 4)

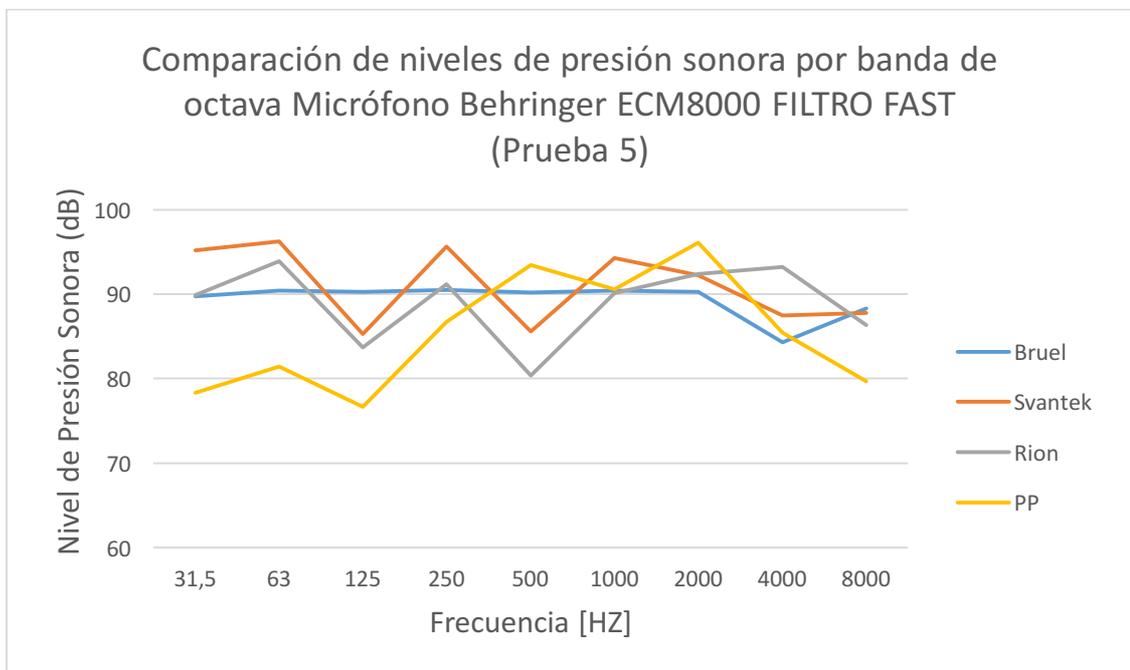
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	85,4	89,3	86,3	80,6
63	85,1	87,5	84,3	74,5
125	84,8	86,7	86	79,6
250	85,1	92,4	86,3	77,4
500	85,2	89,3	76,4	88,6
1000	84,9	90,3	85,2	80,3
2000	85,2	86,7	88,2	89,5
4000	85,3	94,1	100,3	84,2
8000	84,6	93,2	85,3	74,1



PRUEBA 5

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO FAST [dB] (Prueba 5)

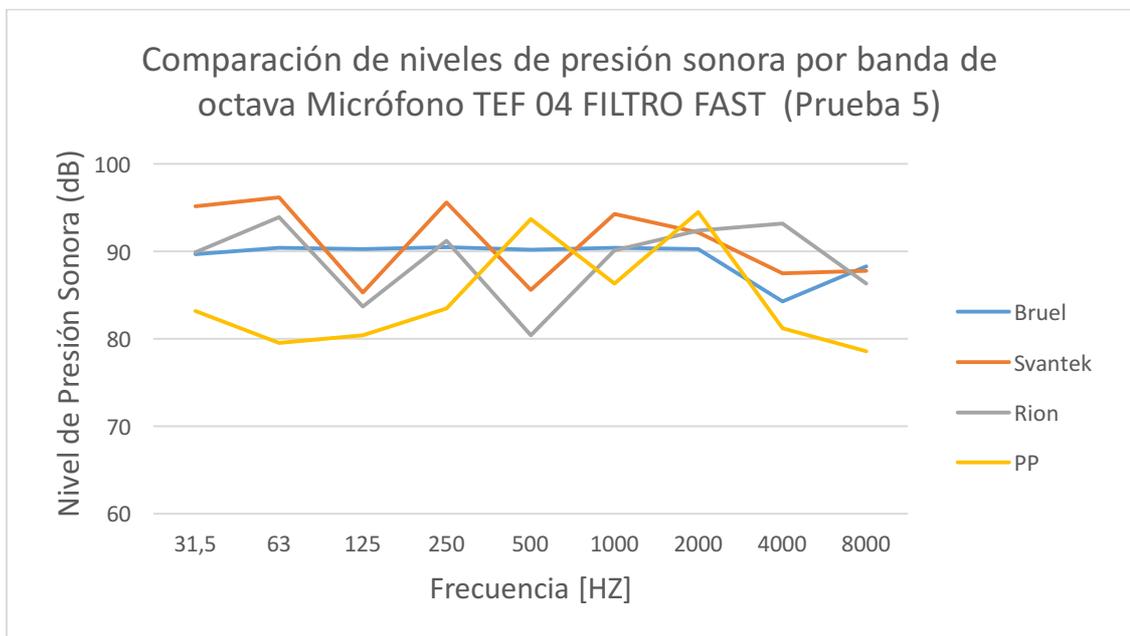
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	89,7	95,2	89,9	78,3
63	90,4	96,2	93,9	81,4
125	90,3	85,3	83,7	76,7
250	90,5	95,6	91,2	86,7
500	90,2	85,6	80,4	93,4
1000	90,4	94,3	90,1	90,6
2000	90,3	92,2	92,4	96,1
4000	84,3	87,5	93,2	85,4
8000	88,3	87,8	86,3	79,7



PRUEBA 5

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF 04 FILTRO FAST [dB] (Prueba 5)

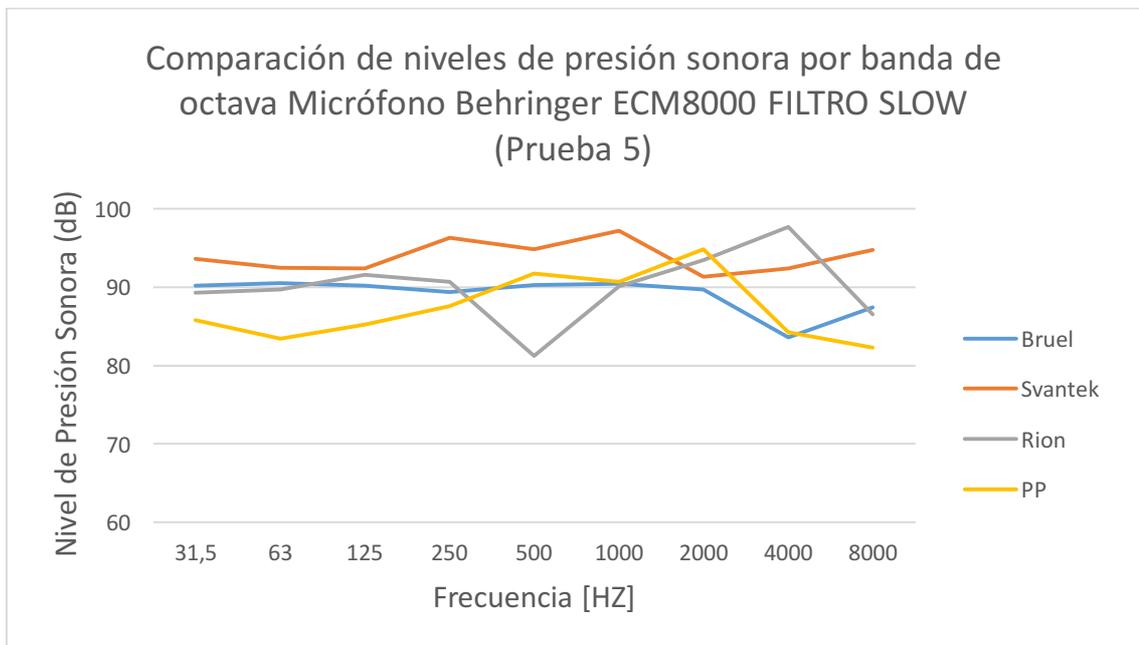
Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	89,7	95,2	89,9	83,2
63	90,4	96,2	93,9	79,5
125	90,3	85,3	83,7	80,4
250	90,5	95,6	91,2	83,5
500	90,2	85,6	80,4	93,7
1000	90,4	94,3	90,1	86,3
2000	90,3	92,2	92,4	94,5
4000	84,3	87,5	93,2	81,2
8000	88,3	87,8	86,3	78,6



PRUEBA 5

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono Behringer ECM8000 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 5)

Frecuencia [HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	90,2	93,6	89,3	85,8
63	90,5	92,5	89,7	83,4
125	90,2	92,4	91,6	85,2
250	89,4	96,3	90,7	87,6
500	90,3	94,8	81,2	91,7
1000	90,4	97,2	90,1	90,7
2000	89,7	91,3	93,4	94,8
4000	83,6	92,4	97,7	84,2
8000	87,4	94,7	86,5	82,3

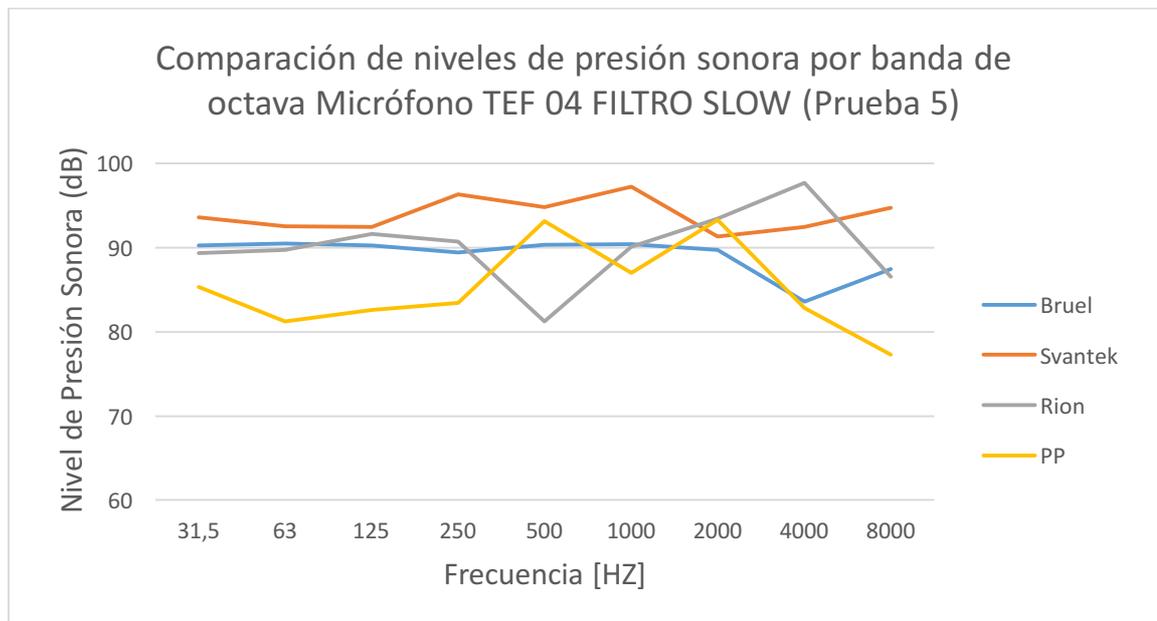


PRUEBA 5

Comparación de niveles de presión sonora por banda de octava Micrófono TEF 04 FILTRO SLOW [dB] (Prueba 5)

Frecuencia

[HZ]	Bruel	Svantek	Rion	PP
31,5	90,2	93,6	89,3	85,3
63	90,5	92,5	89,7	81,2
125	90,2	92,4	91,6	82,6
250	89,4	96,3	90,7	83,4
500	90,3	94,8	81,2	93,1
1000	90,4	97,2	90,1	87
2000	89,7	91,3	93,4	93,3
4000	83,6	92,4	97,7	82,8
8000	87,4	94,7	86,5	77,3



APÉNDICE E: CODIGOS DE CONTENIDO WEB <HTML>

```
<html>
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8">
<title>splmeasure</title>
<meta name="generator" content="WYSIWYG Web Builder 9 -
http://www.wysiwygwebbuilder.com">
<style type="text/css">
div#container
{
width: 970px;
position: relative;
margin: 0 auto 0 auto;
text-align: left;
}
body
{
background-color: #FFFFFF;
color: #000000;
font-family: Arial;
font-size: 13px;
margin: 0;
text-align: center;
}
</style>
<style type="text/css">
a
{
color: #0000FF;
text-decoration: underline;
}
a:visited
{
color: #800080;
}
a:active
{
```

```

    color: #FF0000;
}
a:hover
{
    color: #0000FF;
    text-decoration: underline;
}
</style>
<style type="text/css">
#wb_Text4
{
    background-color: transparent;
    border: 0px solid #000000;
    padding: 0;
    text-align: left;
}
#wb_Text4 div
{
    text-align: left;
}
#Button1
{
    border: 1px solid #A9A9A9;
    -moz-border-radius: 6px;
    -webkit-border-radius: 6px;
    border-radius: 6px;
    background-color: transparent;
    background-image: url(images/SPL_Button1_bkgnd.png);
    background-repeat: repeat-x;
    background-position: left top;
    color: #00008B;
    font-family: Arial;
    font-weight: bold;
    font-size: 16px;
}
#Button2
{
    border: 1px solid #A9A9A9;
    -moz-border-radius: 6px;

```

```

-webkit-border-radius: 6px;
border-radius: 6px;
background-color: transparent;
background-image: url(images/SPL_Button2_bkgnd.png);
background-repeat: repeat-x;
background-position: left top;
color: #008000;
font-family: Arial;
font-weight: bold;
font-size: 16px;
}
#Button10
{
border: 1px solid #A9A9A9;
-moz-border-radius: 6px;
-webkit-border-radius: 6px;
border-radius: 6px;
background-color: transparent;
background-image: url(images/SPL_Button10_bkgnd.png);
background-repeat: repeat-x;
background-position: left top;
color: #000000;
font-family: Arial;
font-weight: bold;
font-size: 16px;
}
#InlineFrame1
{
border: 1px groove #F5F5F5;
}
#wb_Text2
{
background-color: transparent;
border: 0px solid #FFFFFF;
padding: 0;
text-align: center;
}
#wb_Text2
div
{

```


APÉNDICE F: CODIGOS DE EJECUTABLES PHP EN LA WEB

```
<?php                                date_default_timezone_set('America/Bogota');                                ?>
<?php
$date                                =                                new                                DateTime();
$fecha=$date->format('Y-m-d');
$hora=$date->format('H:i:s');
$dia=$date->format('d');
$mes=$date->format('m');
$ano=$date->format('y');

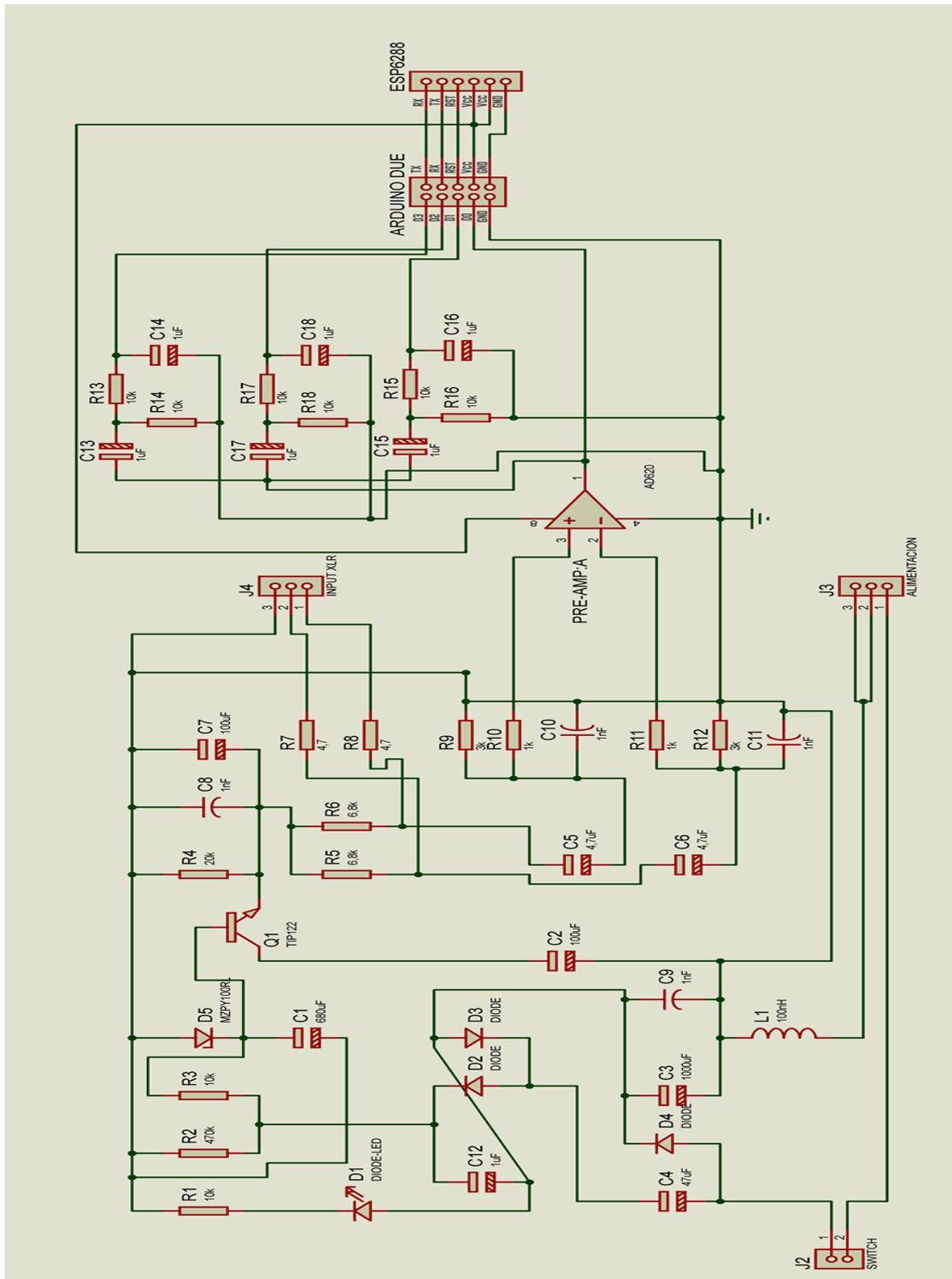
$var0                                =                                $_GET['S0'];
$var1                                =                                $_GET['S1'];
$var2                                =                                $_GET['S2'];
$var3                                =                                $_GET['S3'];
$var4                                =                                $_GET['S4'];
$var5                                =                                $_GET['S5'];

echo " start ";
$txt2                                =                                "$fecha\t$hora\t$var0\t$var1\t$var2\t$var3\t$var4\t$var5\n";
$myfile = fopen("SPL.txt", "r") or die("Unable to open file!");
$txt                                =                                fread($myfile,filesize("SPL.txt"));
echo                                fread($myfile,filesize("SPL.txt"));
fclose($myfile);
$myfile = fopen("SPL.txt", "w") or die("Unable to open file!");
fwrite($myfile,                                $txt);
fwrite($myfile,                                $txt2);
fclose($myfile);
echo                                "                                HayWifi                                ";
?>
```

**APÉNDICE G: TABLA 5. VALORES DE CORRECCIÓN PARA
PONDERACIONES FRECUENCIALES A,B Y C**

Ponderación según Normativa			
Frecuencia	Ponderación		
[Hz]	Ponderación A	B	C
31,5	-39,4	-17,1	-3
63	-26,2	-9,3	-0,8
125	-16,1	-4,2	-0,2
250	-8,6	-1,3	0
500	-3,2	-0,3	0
1000	0	0	0
2000	1,2	0,1	-0,2
4000	1	-0,7	-0,8
8000	-1,1	-2,9	-3

APÉNDICE H: ESQUEMA DE CONEXIONES ANALOGO Y DIGITAL FINAL



ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE AMP-OP AD620



Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

Easy to use

- Gain set with one external resistor (Gain range 1 to 10,000)
- Wide power supply range (± 2.3 V to ± 18 V)
- Higher performance than 3 op amp IA designs
- Available in 8-lead DIP and SOIC packaging
- Low power, 1.3 mA max supply current

Excellent dc performance (B grade)

- 50 μ V max, input offset voltage
- 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, input offset drift
- 1.0 nA max, input bias current
- 100 dB min common-mode rejection ratio (G = 10)

Low noise

- 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1 kHz, input voltage noise
- 0.28 μ V p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

Excellent ac specifications

- 120 kHz bandwidth (G = 100)
- 15 μ s settling time to 0.01%

APPLICATIONS

- Weigh scales
- ECG and medical instrumentation
- Transducer interface
- Data acquisition systems
- Industrial process controls
- Battery-powered and portable equipment

Table 1. Next Generation Upgrades for AD620

Part	Comment
AD8221	Better specs at lower price
AD8222	Dual channel or differential out
AD8226	Low power, wide input range
AD8220	JFET input
AD8228	Best gain accuracy
AD8295	+2 precision op amps or differential out
AD8429	Ultra low noise

Rev. H

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

CONNECTION DIAGRAM

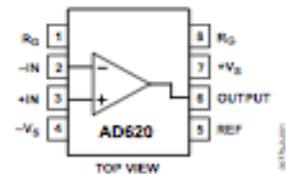


Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max, and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

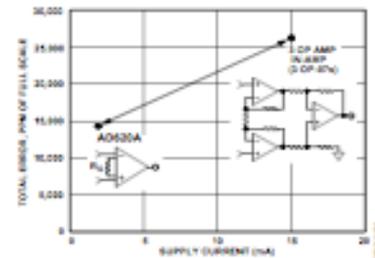


Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781.329.4700 www.analog.com
 Fax: 781.326.8703 © 2003-2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

ANEXO B: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONVERTOR UDA1361TS

NXP Semiconductors

Product specification

96 kHz sampling 24-bit stereo audio ADC

UDA1361TS

FEATURES

General

- Low power consumption
- 256, 384, 512 and 768f_s system clock
- 2.4 to 3.6 V power supply
- Supports sampling frequency of 5 to 110 kHz
- Small package size (SSOP16)
- Integrated high-pass filter to cancel DC offset
- Power-down mode
- Supports 2 V (RMS) input signals
- Easy application
- Master or slave operation.

Multiple format output interface

- I²S-bus and MSB-justified format compatible
- Up to 24 significant bits serial output.

Advanced audio configuration

- Stereo single-ended input configuration
- High linearity, dynamic range and low distortion.



GENERAL DESCRIPTION

The UDA1361TS is a single chip stereo Analog-to-Digital Converter (ADC) employing bitstream conversion techniques. The low power consumption and low voltage requirements make the device eminently suitable for use in low-voltage low-power portable digital audio equipment which incorporates recording functions.

The UDA1361TS supports the I²S-bus data format and the MSB-justified data format with word lengths of up to 24 bits.

ORDERING INFORMATION

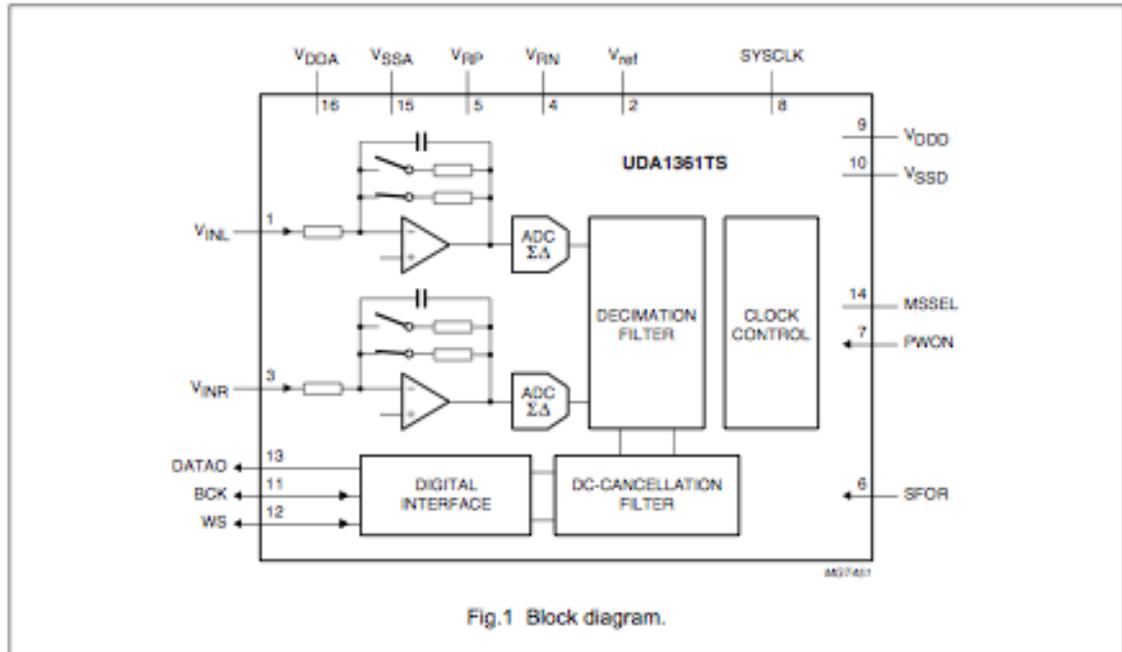
TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
UDA1361TS	SSOP16	plastic shrink small outline package; 16 leads; body width 4.4 mm	SOT369-1

ANEXO C: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONVERTOR UDA1361TS

96 kHz sampling 24-bit stereo audio ADC

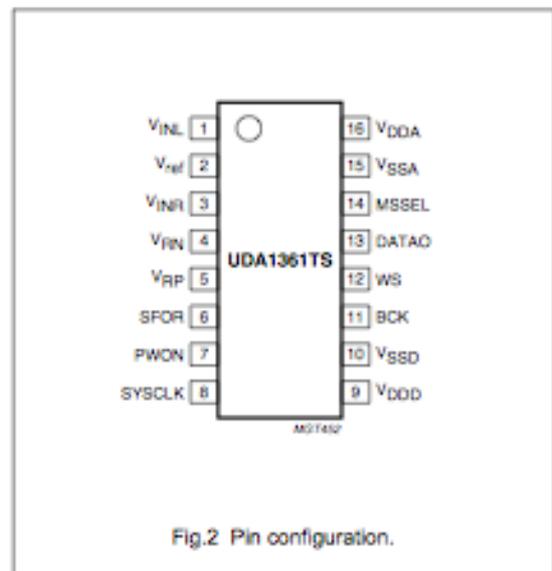
UDA1361TS

BLOCK DIAGRAM



PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
V_{INL}	1	left channel input
V_{ref}	2	reference voltage
V_{INR}	3	right channel input
V_{RN}	4	negative reference voltage
V_{RP}	5	positive reference voltage
SFOR	6	data format selection input
PWON	7	power control input
SYSCLK	8	system clock 256, 384, 512 or 768f _s
V_{DDD}	9	digital supply voltage
V_{SSD}	10	digital ground
BCK	11	bit clock input/output
WS	12	word select input/output
DATAO	13	data output
MSSEL	14	master/slave select
V_{SSA}	15	analog ground
V_{DDA}	16	analog supply voltage



ANEXO D: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE MICROPROCESADOR RASPBERRY PI 3 MODEL B

Raspberry Pi 3 Model B

Specifications

Processor	Broadcom BCM2387 chipset. 1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53 802.11 b/g/n Wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and LE)
GPU	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor. Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode. Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	1GB LPDDR2
Operating System	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system or Windows 10 IoT
Dimensions	85 x 56 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V1, 2.5A

Connectors:

Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
Audio Output	Audio Output 3.5mm jack, HDMI USB 4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	Push/pull Micro SDIO

Key Benefits

- Low cost
- 10x faster processing
- Consistent board format
- Added connectivity

Key Applications

- Low cost PC/tablet/laptop
- Media centre
- Industrial/Home automation
- Print server
- Web camera
- Wireless access point
- Environmental sensing/monitoring (e.g. weather station)
- IoT applications
- Robotics
- Server/cloud server
- Security monitoring
- Gaming



ANEXO E: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN I2S

Philips Semiconductors

I²S bus specification

1.0 INTRODUCTION

Many digital audio systems are being introduced into the consumer audio market, including compact disc, digital audio tape, digital sound processors, and digital TV-sound. The digital audio signals in these systems are being processed by a number of (V)LSI ICs, such as:

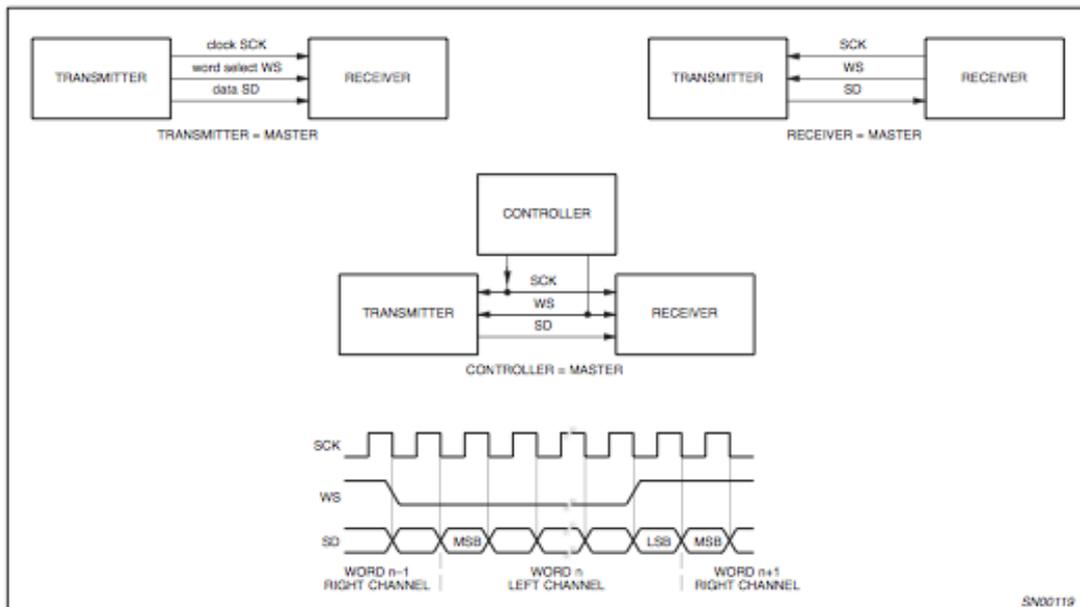
- A/D and D/A converters;
- digital signal processors;
- error correction for compact disc and digital recording;
- digital filters;
- digital input/output interfaces.

Standardized communication structures are vital for both the equipment and the IC manufacturer, because they increase system flexibility. To this end, we have developed the inter-IC sound (I²S) bus – a serial link especially for digital audio.

2.0 BASIC SERIAL BUS REQUIREMENTS

The bus has only to handle audio data, while the other signals, such as sub-coding and control, are transferred separately. To minimize the number of pins required and to keep wiring simple, a 3-line serial bus is used consisting of a line for two time-multiplexed data channels, a word select line and a clock line.

Since the transmitter and receiver have the same clock signal for data transmission, the transmitter as the master, has to generate the bit clock, word-select signal and data. In complex systems however, there may be several transmitters and receivers, which makes it difficult to define the master. In such systems, there is usually a system master controlling digital audio data-flow between the various ICs. Transmitters then, have to generate data under the control of an external clock, and so act as a slave. Figure 1 illustrates some simple system configurations and the basic interface timing. Note that the system master can be combined with a transmitter or receiver, and it may be enabled or disabled under software control or by pin programming.



ANEXO F: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE MICROCONTROLADOR ARDUINO DUE



SAM3X / SAM3A Series

Atmel | SMART ARM-based MCU

DATASHEET

Description

The Atmel® | SMART SAM3X/A series is a member of a family of Flash microcontrollers based on the high performance 32-bit ARM® Cortex®-M3 RISC processor. It operates at a maximum speed of 84 MHz and features up to 512 Kbytes of Flash and up to 100 Kbytes of SRAM. The peripheral set includes a High Speed USB Host and Device port with embedded transceiver, an Ethernet MAC, 2 CANs, a High Speed MCI for SDIO/SD/MMC, an External Bus Interface with NAND Flash Controller (NFC), 5 UARTs, 2 TWIs, 4 SPIs, as well as a PWM timer, three 3-channel general-purpose 32-bit timers, a low-power RTC, a low-power RTT, 256-bit General Purpose Backup Registers, a 12-bit ADC and a 12-bit DAC.

The SAM3X/A devices have three software-selectable low-power modes: Sleep, Wait and Backup. In Sleep mode, the processor is stopped while all other functions can be kept running. In Wait mode, all clocks and functions are stopped but some peripherals can be configured to wake up the system based on predefined conditions. In Backup mode, only the RTC, RTT, and wake-up logic are running.

The SAM3X/A series is ready for capacitive touch thanks to the QTouch library, offering an easy way to implement buttons, wheels and sliders.

The SAM3X/A architecture is specifically designed to sustain high-speed data transfers. It includes a multi-layer bus matrix as well as multiple SRAM banks, PDC and DMA channels that enable it to run tasks in parallel and maximize data throughput.

The device operates from 1.62V to 3.6V and is available in 100 and 144-lead LQFP, 100-ball TFBGA and 144-ball LFBGA packages.

The SAM3X/A devices are particularly well suited for networking applications: industrial and home/building automation, gateways.

ANEXO G: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE MICROCONTROLADOR ARDUINO DUE

1. Features

- Core
 - ARM Cortex-M3 revision 2.0 running at up to 84 MHz
 - Memory Protection Unit (MPU)
 - Thumb[®]-2 instruction set
 - 24-bit SysTick Counter
 - Nested Vector Interrupt Controller
- Memories
 - 256 to 512 Kbytes embedded Flash, 128-bit wide access, memory accelerator, dual bank
 - 32 to 100 Kbytes embedded SRAM with dual banks
 - 16 Kbytes ROM with embedded bootloader routines (UART, USB) and IAP routines
 - Static Memory Controller (SMC): SRAM, NOR, NAND support. NFC with 4 Kbyte RAM buffer and ECC
- System
 - Embedded voltage regulator for single supply operation
 - Power-on-Reset (POR), Brown-out Detector (BOD) and Watchdog for safe reset
 - Quartz or ceramic resonator oscillators: 3 to 20 MHz main and optional low power 32.768 kHz for RTC or device clock
 - High precision 8/12 MHz factory trimmed internal RC oscillator with 4 MHz default frequency for fast device startup
 - Slow Clock Internal RC oscillator as permanent clock for device clock in low-power mode
 - One PLL for device clock and one dedicated PLL for USB 2.0 High Speed Mini Host/Device
 - Temperature Sensor
 - Up to 17 peripheral DMA (PDC) channels and 6-channel central DMA plus dedicated DMA for High-Speed USB Mini Host/Device and Ethernet MAC
- Low-power Modes
 - Sleep, Wait and Backup modes, down to 2.5 μ A in Backup mode with RTC, RTT, and GPBR
- Peripherals
 - USB 2.0 Device/Mini Host: 480 Mbps, 4 Kbyte FIFO, up to 10 bidirectional Endpoints, dedicated DMA
 - Up to 4 USARTs (ISO7816, IrDA[®], Flow Control, SPI, Manchester and LIN support) and one UART
 - 2 TWI (I2C compatible), up to 6 SPIs, 1 SSC (I2S), 1 HSMCI (SDIO/SD/MMC) with up to 2 slots
 - 9-channel 32-bit Timer Counter (TC) for capture, compare and PWM mode, Quadrature Decoder Logic and 2-bit Gray Up/Down Counter for Stepper Motor
 - Up to 8-channel 16-bit PWM (PWMC) with Complementary Output, Fault Input, 12-bit Dead Time Generator Counter for Motor Control
 - 32-bit low-power Real-time Timer (RTT) and low-power Real-time Clock (RTC) with calendar and alarm features
 - 256-bit General Purpose Backup Registers (GPBR)
 - 16-channel 12-bit 1 msp ADC with differential input mode and programmable gain stage
 - 2-channel 12-bit 1 msp DAC
 - Ethernet MAC 10/100 (EMAC) with dedicated DMA
 - 2 CAN Controllers with 8 Mailboxes
 - True Random Number Generator (TRNG)
 - Register Write Protection
- I/O
 - Up to 103 I/O lines with external interrupt capability (edge or level sensitivity), debouncing, glitch filtering and on-die Series Resistor Termination
 - Up to six 32-bit Parallel Input/Outputs (PIO)