

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO DE MEDIDOR DE RUIDO AMBIENTAL CON APLICACIONES EN IOT

Carlos Andrés Barrantes Toro

Ingeniería Mecatrónica

Director:

Juan Sebastián Botero Valencia

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Abril de 2022

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

RESUMEN

Se desarrollo un medidor de ruido por medio de tecnologías de bajo costo para medir el ruido ambiental que puede afectar la salud. Actualmente, las grandes ciudades tienen importantes problemas con este tipo de contaminación debido a la actividad humana. Algunas de las afectaciones que tiene el ruido en las personas son: trastornos del sueño, estrés, ansiedad, depresión, irritabilidad, agresividad, baja productividad.

El desarrollo de este trabajo incluye el diseño mecánico que consta de un protector ambiental para los micrófonos, para su prototipado se implementaron técnicas de impresión 3d. También se realizó un diseño electrónico y su representación esquemática donde se muestran cada uno de los componentes utilizados y las sus respectivas conexiones. Se obtuvo una recopilación de datos en diferentes frecuencias para realizar una validación experimental, esta se llevó a cabo con un sensor de referencia para la adquisición del valor de decibelios que se presentaba en tiempo real y a su vez se obtenía el valor del ADC que se arrojaba los micrófonos del medidor de ruido. Con los datos se realizó una linealización de los datos para obtener un modelo matemático que describiera el comportamiento del medidor desarrollado. Se logró obtener una ecuación exponencial que se ajustaba a la curva obtenida de los datos del ADC y los niveles de intensidad en decibelios.

Palabras clave: ruido; sonido; sensores de bajo costo; internet de las cosas; decibelios.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 27

RECONOCIMIENTOS

Quiero agradecer la contribución del profesor Juan Sebastián Botero Valencia profesor de la institución, quien fue mi asesor durante el desarrollo del trabajo de grado, por haberme guiado con su experiencia e infundido sus conocimientos para que este proceso fuera culminado correctamente.

Agradezco al Instituto Tecnológico Metropolitano por haberme formado como profesional y facilitado las instalaciones y equipos para el desarrollo del proyecto.

Por último, quiero agradecer a María Camila García Villa compañera de carrera, por los aportes que me ha ofrecido para consolidar las ideas de este trabajo y por su acompañamiento en algunas actividades.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ACRÓNIMOS

IoT Internet de las cosas.

dB Decibelios.

ADC (Analog to Digital Converter) Conversor Analógico Digital.

CAD Diseño Asistido por Computadora

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	8
3. METODOLOGÍA	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	20
6. REFERENCIAS	22

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

1. INTRODUCCIÓN

El término contaminación acústica hace referencia al ruido (entendido como sonido excesivo y molesto), que es provocado por actividades humanas como: tráfico, las industrias, locales de ocio, entre otros. “La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Comunidad Económica Europea (CEE) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) han declarado que el ruido tiene efectos para la salud de las personas” (*ruido*, s. f.). También esta contaminación puede afectar a la calidad de vida y la tranquilidad de la población. Por eso es importante tomar medidas para abordar esta problemática que afecta a muchas personas, en especial a las que se encuentran en zonas urbanas, buscando de esta manera mejorar la calidad de vida y su tranquilidad. En la actualidad el ruido se ha convertido en un problema a nivel global que tiene afectaciones en la salud auditiva y en la calidad de vida de las personas que suelen estar expuestas a altos niveles de ruido, generando un efecto en su estado emocional, trastornos del sueño, estrés, ansiedad, depresión, irritabilidad, agresividad y baja productividad.

Una de las formas de enfrentar esta problemática es llevar el control de los niveles de ruido ambiental que se dan en los diferentes sectores y poder mantenerlos en las medidas permisibles que se encuentran estipuladas en la Resolución 0627 de 2006. Por ello, es necesario conocer el comportamiento de los niveles de ruido en un tiempo determinado, esto se puede realizar por medio de una adquisición y un procesamiento de datos, con el fin de almacenarlos en una base de datos (nube), realizar estudios respecto a los resultados obtenidos y poder tomar acción en la problemática de la contaminación acústica. Por lo anterior, es necesario el diseño de un dispositivo capaz de recopilar los datos, procesarlos y enviarlos con ayuda de herramientas de internet de las cosas (IoT), facilitando de este modo su manejo.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

OBJETIVOS

Diseñar e implementar un medidor de ruido ambiental con la capacidad cuantificar ruido captado por un arreglo de micrófonos y linealizar los datos adquiridos para enviar la información a la nube en tiempo real.

Específicos:

- Desarrollar piezas mecánicas para la estructura y el montaje del medidor de ruido ambiental.
- Desarrollar un sistema de adquisición electrónico de niveles de decibelios, que permita además transmitir la información en tiempo real.
- Implementar un modelo de linealización de los datos obtenidos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Información de la medida

Un medidor de nivel de sonido (SLM) es un dispositivo utilizado para mediciones acústicas que normalmente una lectura del nivel de sonido en decibelios. (Evaluation of Smartphone-Based Sound Level Meters, s. f.).

El sonido es una onda producida por las vibraciones mecánicas de un medio que pueden ser generadas por diferentes tipos de emisores. El sonido presenta 3 cualidades, altura, timbre e intensidad. Para el desarrollo del medidor de ruido se estudió para la intensidad, que permite reconocer el nivel del ruido en un ambiente deseado, su unidad de medida son los decibelios (dB). Los decibelios (dB) miden la relación de una intensidad dada con la intensidad del umbral de audición.

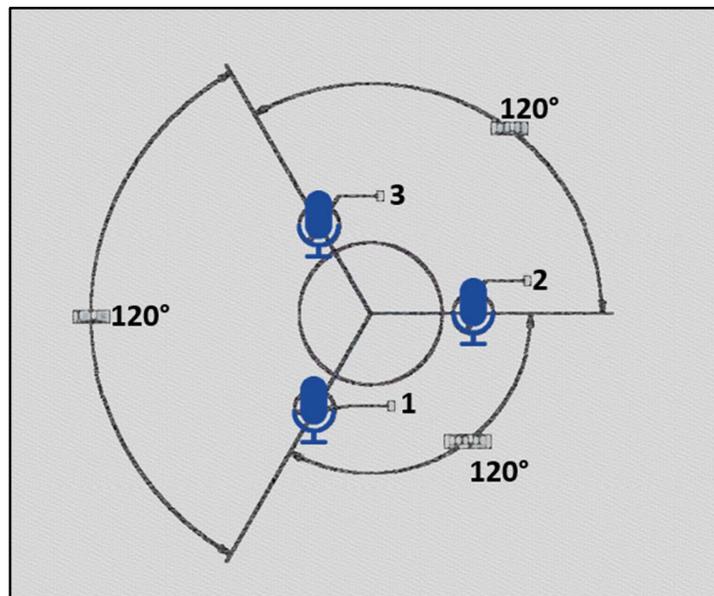


Figura 1. Distribución del arreglo de micrófonos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

El ángulo de lectura de los micrófonos es de 120°, usando esta configuración se permite obtener un área de 360° de lectura.

El cálculo de la escala de decibelios se realiza a partir de un valor de referencia, donde se busca obtener una base (0 dB) y a partir de este aumentar o disminuir la escala en proporción al volumen aplicado, para calcular esta escala se usa la siguiente fórmula:

$$20 * \log_{10} \frac{V_{lectura}}{V_{referencia}}$$

Donde $V_{lectura}$, es el valor de lectura, en este caso el valor del ADC.

$V_{referencia}$ es el valor de referencia en términos del ADC.

2.2 Principio de funcionamiento del sensor

El sensor se compone de un micrófono que es un transductor, que transforma la energía acústica en eléctrica, esto lo hace debido a que el sonido mueve una bobina eléctrica que se encuentra en el interior de un campo magnético de un imán. Crea un efecto generador que produce un voltaje que es la respuesta de la variación de presión sonora. El voltaje que envía el micrófono es muy pequeño, por lo que la señal es amplificada por un amplificador operacional LMV324. En una segunda etapa se busca obtener un rastreador de la amplitud máxima de la señal de entrada para el pin de la envolvente, al igual que el audio, este puede conectarse a un convertidor ADC y obtener la salida del sensor. Los pines de salida del sensor se representan por Audio, Envelope y Gate, donde el audio es la señal amplificada que suministra el micrófono, Envelope es la amplitud máxima de la señal y Gate es una salida digital que indica cuando el sonido las condiciones son tranquilas y aumenta cuando se detecta sonido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

2.3 Descripción del ESP32

ESP32 es un grupo de SoC (por sus siglas en inglés, System on Chip) y módulos de bajo costo y bajo consumo de energía desarrollados por Espressif Systems, cuentan con módulo wifi y módulo bluetooth, operan con un microprocesador de 32 bits con configuración dual core o single core, además también incluyen un coprocesador para el modo de bajo consumo e interfaces periféricas como: I2C, SPI, CAN, PWM, entre otros. Gracias a su alto nivel de integración, los ESP32 incluyen en su encapsulado interruptor de antena, balun de RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo ruido, filtros y módulos de administración de energía. Los ESP32 son ampliamente utilizados en las aplicaciones de IoT y conectividad inalámbrica con capacidad de implementar diferentes protocolos de comunicación que usan una amplia gama de sensores.

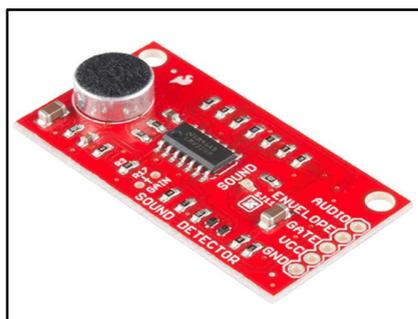


Figura 2. Tarjeta de desarrollo Sparkfun ESP32 thing

Características

Microprocesador Tensilica LX6 de doble núcleo.

Frecuencia de reloj de hasta 240MHz.

SRAM interna de 520kB.

Transceptor WiFi 802.11 BGN integrado.

Rango operativo de 3,0 a 3,6 V.

Corriente de suspensión de 2,5 μ A en hibernación.

28GPIO.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño mecánico

Diseño CAD

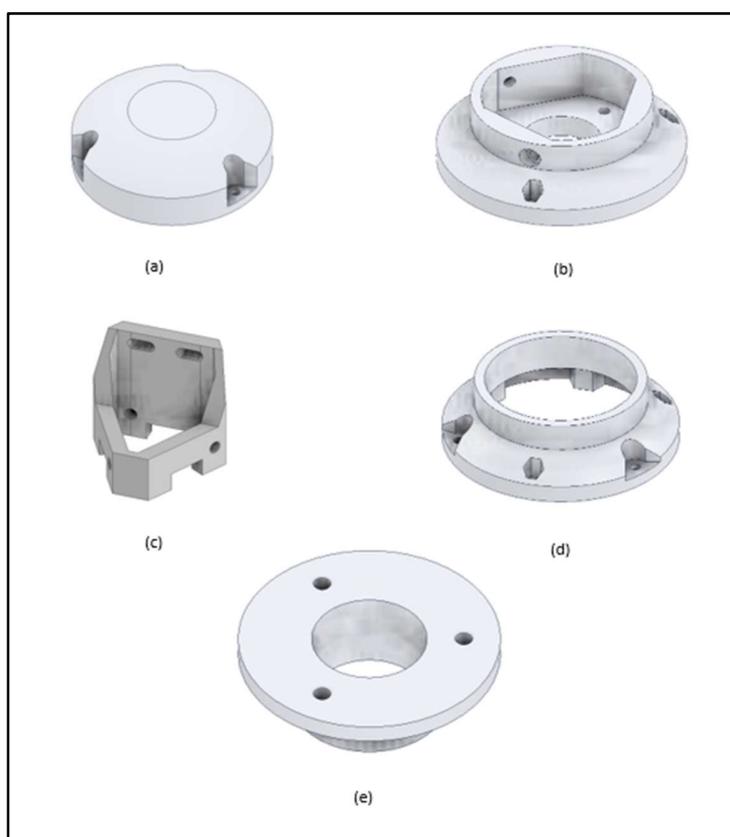


Figura 3. Contiene las 5 piezas diseñadas en CAD e implementadas en el diseño.

El diseño mecánico es un protector basado en las distintas referencias comerciales que tienen como fin de poder proteger los sensores de la lluvia y de la radiación proveniente del sol. El número total de piezas diseñadas fueron 5, en las cuales se buscó satisfacer cada necesidad que requería diseño.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Para la pieza “a, b y d” se realizó un diseño basado en conos redondos, con el objetivo de que el agua proveniente de las lluvias se deslice a través de la superficie y no tenga contacto con los dispositivos electrónicos, estas 3 piezas están ensambladas entre sí por medio de separadores y tornillos de medidas M3. La pieza “d” tiene como función ser la base para los micrófonos, los cuales están unidos a través de tornillos y tuercas.

La pieza “c” es la base para el sensor BME680, que está unida en uno de los extremos de los micrófonos, también se ajusta por medio de tornillos y tuercas M3. Por último, la pieza “e” es un diseño de brida para poder sujetar el medidor de ruido y posicionarlo.

Tabla 1.

Lista de materiales

ELEMENTO	CANTIDAD	NOMBRE DE PIEZA
1	1	Cono_superior
2	1	Cono_medio
3	1	Cono_inferior
4	1	Brida_rigida
5	1	Base_Adafruit BME680
6	14	Tuerca acero M3
7	3	Sound_Detector
8	1	Adafruit BME680
9	26	Tornillo acero M3x6mm
10	3	Tornillo acero M3x15mm
11	9	Separador latón H-H M3x20mm
12	1	Ads1115
13	1	Sparkfun ESP32 thing

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

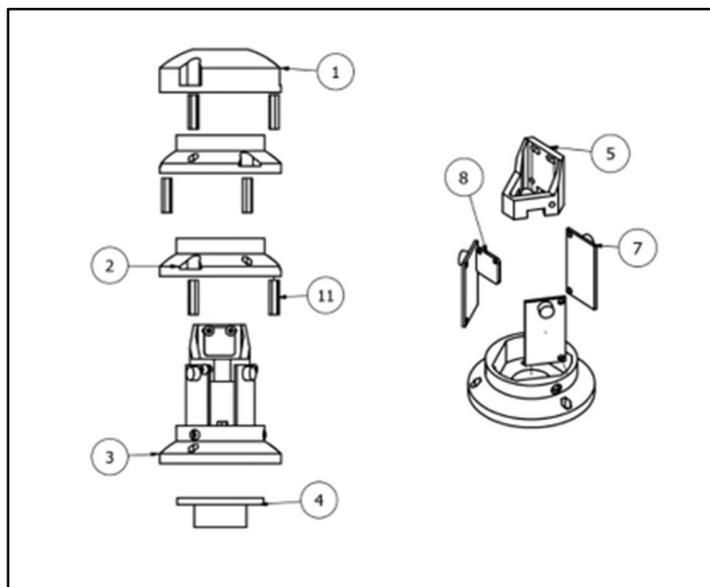


Figura 4. Plano explosionado medidor de ruido.

El total de materiales utilizados aparecen en la tabla 1, las piezas fueron fabricadas con la técnica de la impresión 3D con plástico ASA, que cuenta con resistencia a la intemperie y a los rayos UV.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Montaje Físico

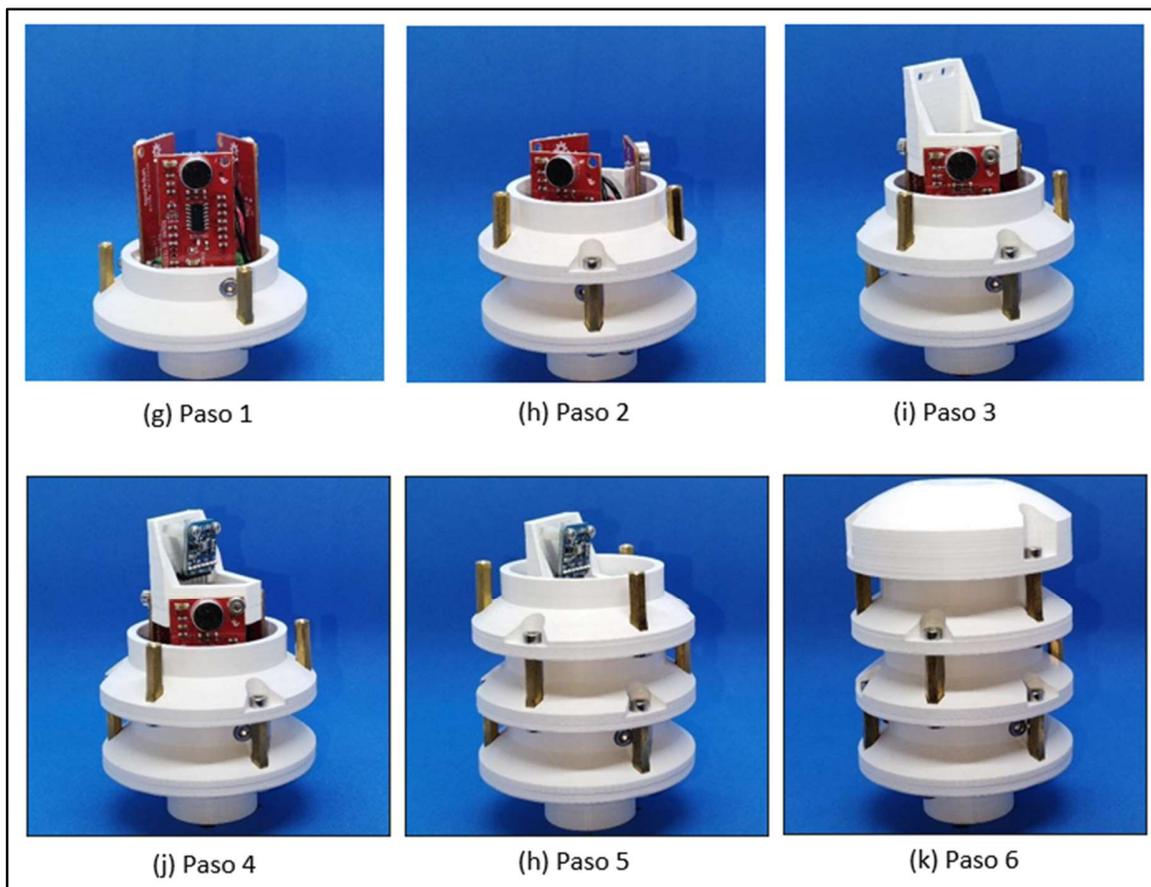


Figura 5. Paso a paso del montaje físico del dispositivo medidor de ruido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3.2. Diseño electrónico

Se utilizaron 3 placas detectoras de sonido de la marca Sparkfun con referencia Sound Detector, con las cuales se leyó el valor proporcionado por el pin ENVELOPE. Además, se implementó el sensor Bme689 para la medición de temperatura, presión y humedad. El microcontrolador empleado para el procesamiento y el envío de datos es la placa SparkFun ESP32 Thing. Para la conversión de la señal de entrada análoga de los micrófonos a una señal digital enviada al procesador de datos se emplea el módulo conversor análogo-digital ADS1115. Por último, la señal digital que le llega al microcontrolador es entregada por el adaptador Qwiic, que permite recibir información de varios dispositivos y de seleccionar la dirección i2c a la que debe llegar la señal.

A continuación, se presenta el esquema electrónico que se llevó a cabo para el medidor de ruido, donde se evidencian las conexiones realizadas físicamente.

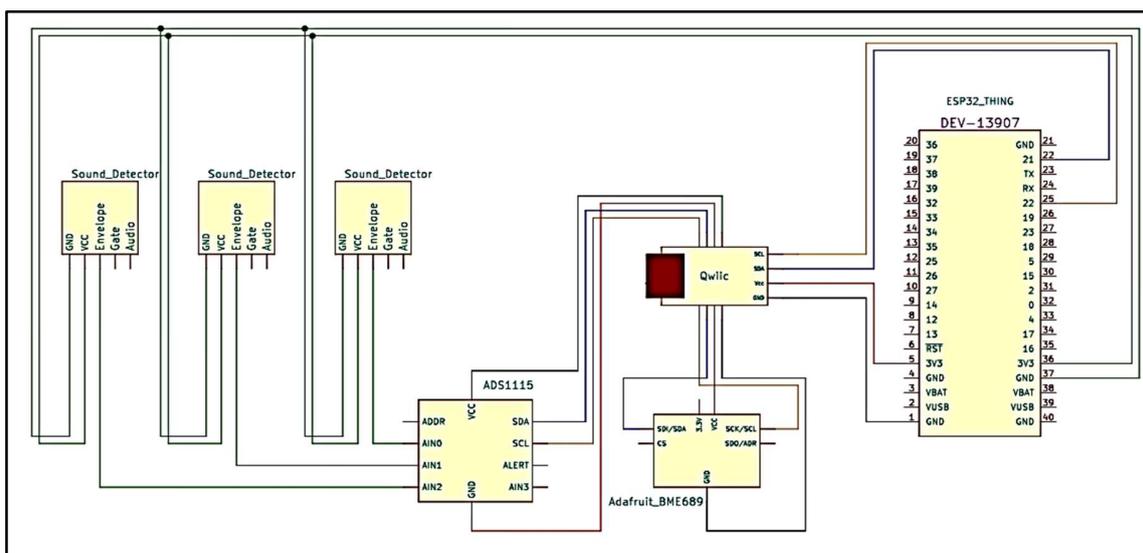


Figura 6. Diagrama electrónico del medidor de ruido.

Se hizo el aprovechamiento del transceptor WiFi que tiene la tarjeta sparkfun Esp32 thing para establecer la conexión de internet y enviar y almacenar los datos a una hoja de cálculo de Google. El envío de los datos se hace uno a uno y se envía el valor del ADC de cada uno de los micrófonos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Ensamble final

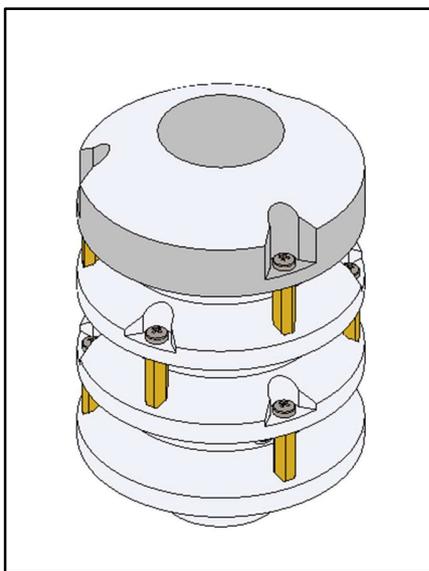


Figura 7. Modelo CAD ensamblaje del medidor de ruido.

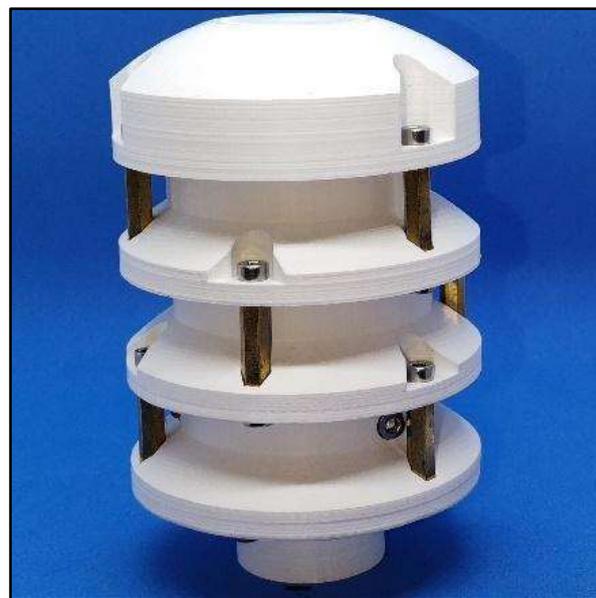


Figura 8. Fase final del ensamblaje físico del medidor de ruido.

En las imágenes se puede percibir el diseño CAD finalizado y el montaje físico con cada una de las piezas ensambladas. El material de impresión que se utilizó en el resultado final fue el plástico ASA (**Acrylic Styrene Acrylonitrile**). Los micrófonos se encuentran ubicados a 120°.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

4.2 Pruebas de validación

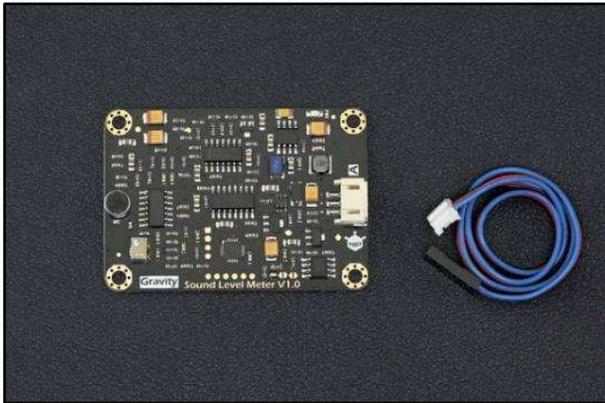


Figura 9. Sensor Gravity: Analog Sound Level Meter.



Figura 10. Montaje para la validación de los datos.

Para la validación de los datos se utilizó el sensor Gravity: Analog Sound Level Meter, se apoya en un micrófono de bajo ruido, lo que le permite medir con precisión el sonido del entorno. Este sensor se usa para medir el nivel de ruido que puede estar en el ambiente y con ello determinar que tanta repercusión tiene en la salud. Para la captura de los datos se leyeron los valores que enviaba el sensor Gravity en decibelios, mientras que se registraban los valores obtenidos por el ADC del medidor de ruido desarrollado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

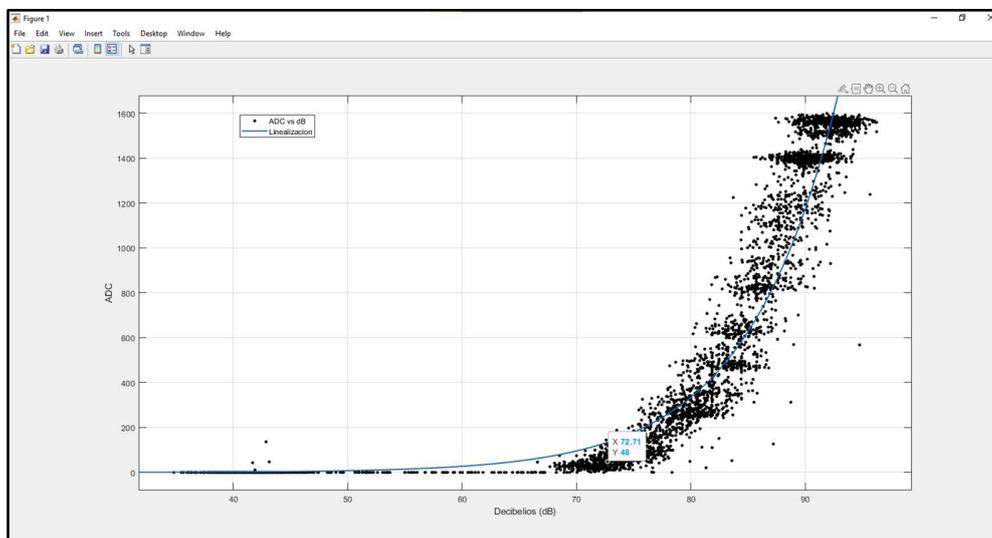


Figura 11. Grafica Valor ADC (Medidor desarrollado) versus Decibelios (Sensor de referencia).

Para realizar la linealización de los datos se utilizó el toolbox curve fitter con los parámetros que se encuentran en la figura 11 del software MATLAB que permite obtener una curva ajustada a los diferentes datos obtenidos.

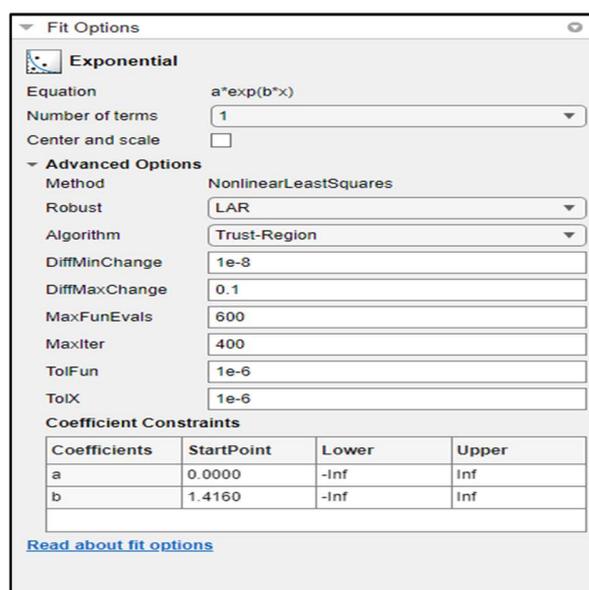


Figura 12. Parámetros de ajuste.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

El modelo matemático que describe la curva es la siguiente función exponencial:

$$f(x) = 0.0147e^{0.1254x}$$

Se realizaron pruebas con dos diferentes frecuencias de 200Hz y 300Hz y se variaba el volumen para capturar diferentes rangos de decibelios. Para la ecuación X representa el nivel en dB y como resultado se obtiene el valor del ADC para los micrófonos Sound Detector.

Decibelios(dB)	Valor ADC
40	2,22
45	4,15
50	7,77
55	14,54
60	27,22
65	50,96
70	95,40
75	178,59
80	334,32
85	625,84
90	1171,56
95	2193,15

Figura 13. Tabla de resultados utilizando la ecuación

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones

- La implementación de medición acústicos es importante para la salud porque permite reconocer y regular áreas donde se produce una alta contaminación acústica. Cabe resaltar que, con el incremento de las zonas urbanas se ha generado un aumento en el ruido ambiental por las diferentes actividades que realiza el ser humano en su día a día.
- Durante el desarrollo del dispositivo se pudo evidenciar que la geometría del diseño mecánico tuvo una alta repercusión en la distribución de los componentes, para su implementación fue importante tener en cuenta el tipo de protección que se deseaba tener. Para este proyecto se buscaba proteger los componentes electrónicos de la intemperie y los cambios climáticos. También se optó por utilizar un material de impresión (ASA) con buenas propiedades y resistencia a los rayos UV.
- La Sparkfun ESP32 es una tarjeta de desarrollo con una amplia aplicación en el campo del IoT, para el desarrollo del medidor fue fundamental contar con un microcontrolador que porte la capacidad de conectarse a una red inalámbrica, porque se busca transmitir los datos en tiempo real y poder reconocer las zonas más afectadas por la contaminación acústica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- Se analizó que para estos micrófonos el cálculo de decibelios (dB) es importante tener un valor de referencia, donde se pueda comparar el valor obtenido con nivel de decibelios. Con esta referencia se busca obtener cuanto es el valor por encima y cuánto por debajo de ella y ese sería el valor de los decibelios del micrófono.

Recomendaciones

Para la impresión de las piezas mecánicas es muy importante tener en cuenta la dirección de impresión, es recomendable tener caras planas que se puedan utilizar como base de impresión. También es recomendable que en el diseño se usen piezas comerciales para el ensamble que permitan complementar y ayudar en la unión de las piezas, no todo tiene que ser diseñado.

Trabajo a futuro

- Implementar una red de medición acústica por toda la ciudad que permita la creación de mapas acústicos y poder mostrar de una forma (gráfica) más clara que zonas tienen mayor afección por la contaminación acústica.
- Complementar el medidor de ruido con una configuración omnidireccional que tenga la capacidad de reconocer en qué dirección se genera el ruido.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

REFERENCIAS

Cho, Y. (2018). Noise Source Visualization Using a Digital Voice Recorder and Low-Cost Sensors. *Sensors*, 18(4), 1076. <https://doi.org/10.3390/s18041076>

Evaluation of Smartphone-based Sound Level Meters. (s. f.). Recuperado 3 de abril de 2022, de <https://ieeexplore.bibliotecaitm.elogim.com/document/9280746/>

Hallett, L., Tatum, M., Thomas, G., Sousan, S., Koehler, K., & Peters, T. (2018). An inexpensive sensor for noise. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 15(5), 448-454. <https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1438614>

Hill, A. P., Prince, P., Snaddon, J. L., Doncaster, C. P., & Rogers, A. (2019). AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *HardwareX*, 6, e00073. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00073>

Murphy, E., & King, E. A. (2016). Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise. *Applied Acoustics*, 106, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.012>

Picaut, J., Can, A., Fortin, N., Ardouin, J., & Lagrange, M. (2020). Low-Cost Sensors for Urban Noise Monitoring Networks—A Literature Review. *Sensors*, 20(8), 2256. <https://doi.org/10.3390/s20082256>

Risojević, V., Rozman, R., Pilipović, R., Češnovar, R., & Bulić, P. (2018). Accurate Indoor Sound Level Measurement on a Low-Power and Low-Cost Wireless Sensor Node. *Sensors*, 18(7), 2351. <https://doi.org/10.3390/s18072351>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Thomas, G., Sousan, S., Tatum, M., Liu, X., Zuidema, C., Fitzpatrick, M., Koehler, K., & Peters, T. (2018). Low-Cost, Distributed Environmental Monitors for Factory Worker Health. *Sensors*, 18(5), 1411. <https://doi.org/10.3390/s18051411>

Evaluation of Smartphone-based Sound Level Meters. (s. f.). Recuperado 3 de abril de 2022, de <https://ieeexplore.bibliotecaitm.elogim.com/document/9280746/>

Ruido. (s. f.). Recuperado 14 de abril de 2022, de <https://www.metrocol.gov.co:443/ambiental/Paginas/ruido.aspx>

UT353/UT353 BT Series Mini Sound Level Meters. (s. f.). Recuperado 14 de abril de 2022, de <https://www.uni-trend.com/uploadfile/2018/1225/20181225021028487.pdf>

Protector Solar. (s. f.). *Darrera*. Recuperado 14 de abril de 2022, de <https://www.darrera.com/wp/es/producto/3r-rs02-protector-solar/>

Sonómetro. (s. f.). ARANTEC Smartyplanet · Estaciones de Sensores inalámbricos. Recuperado 14 de abril de 2022, de <https://www.arantec.com/productos-smartyplanet/smarty-sound/>

Sonómetro Sper Scientific Mod.:840018. (s. f.). Eproteca S.A. Recuperado 14 de abril de 2022, de <https://www.eproteca.com/producto/instrumentos-de-medicion-ambiental/sonometros/sonometro-sper-scientific-mod-840018/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



FIRMA ESTUDIANTES _____



FIRMA ASESOR _____

17/04/2022

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____