

MAPA DE INTENSIMETRÍA ACÚSTICA MEDIANTE UN SISTEMA SEMI AUTOMATIZADO

ACOUSTIC INTENSIMETRY MAP USING A SEMI AUTOMATED SYSTEM

Roberto Saúl Cervantes Martínez

Universidad Autónoma Metropolitana, México
al2153035675@gmail.com

Silvia Gabriela García Martínez

Universidad Autónoma Metropolitana, México
sggm@azc.uam.mx

Ernesto Rodrigo Vázquez Cerón

Universidad Autónoma Metropolitana, México
ervc@azc.uam.mx

Recepción: 2/noviembre/2021

Aceptación: 25/febrero/2022

Resumen

La caracterización de una fuente de ruido contribuye en el análisis de contaminación acústica de un entorno para evaluar estrategias de acondicionamiento o aislamiento acústico. La energía disipada por una fuente sonora se cuantifica mediante la intensidad acústica a lo largo de un tiempo, en diferentes puntos. Este trabajo describe el diseño y operación de un sistema de posicionamiento semiautomatizado de dos ejes, abarcando una superficie de 40 centímetros cuadrados y considerando un número de posiciones donde se registra la onda acústica mediante una sonda tipo p-p. El barrido y procesamiento sobre la superficie genera una matriz con la intensidad acústica, la cual es interpolada para representar mediante un mapa de colores la energía acústica vectorial cuantificada. El sistema tiene la característica de integrar hasta seis superficies alrededor de la fuente sonora para analizar el volumen de un mapa acústico, además de modificar la distancia entre el arreglo de micrófonos.

Palabras Clave: Contaminación acústica, intensimetría acústica, mapa acústico, sistema automatizado, sonda tipo p-p.

Abstract

The characterization of a noise source contributes to the analysis of environmental noise pollution, in order to evaluate acoustic conditioning or insulation strategies. The energy dissipated by a sound source is quantified by acoustic intensity over time, at different positions. This paper describes the design and operation of a two-axis semi-automated positioning system, covering a surface of 40 square centimeters and considering several positions where the acoustic wave is recorded using a p-p type probe. The surface scanning and processing generates a matrix with the acoustic intensity, which is interpolated to represent the quantized vector acoustic energy represented in a color map. The system has the characteristic of integrating up to six surfaces around the sound source to analyze the volume of an acoustic map and modifying the distance between the microphone array.

Keywords: *Acoustic intensity, acoustic map, automated system, noise pollution, p-p type probe.*

1. Introducción

La emisión de una onda sonora, que perturba el ambiente acústico, caracterizada por una amplitud, dirección, duración y contenido de frecuencia se define como ruido. A pesar de que existen sonidos que el ser humano puede considerar agradables, como la lluvia o el trinar de un ave, son catalogados como un factor de ruido hasta que aturden su atención, sin embargo, depende de la tolerancia auditiva de cada persona, entre otros factores.

La superposición de diferentes fuentes de ruido contribuye a un problema con severos inconvenientes a la salud de la población, referida como contaminación acústica en el medio ambiente [WHO, 2011]. En este contexto, avenidas con tráfico vehicular constante, lugares de esparcimiento nocturno, fábricas y maquiladoras localizadas cerca de escuelas y unidades habitacionales se han convertido en un espacio cotidiano y nocivo como resultado del crecimiento y desarrollo de una zona urbana. La falta de conocimiento de las consecuencias generadas por la exposición prolongada a fuentes de ruido intensas y constantes, así como la falta de regulación en la generación de emisiones sonoras hacen que la contaminación acústica sea el

fondo de un escenario, común e invisible, inmerso en las actividades que se realizan diariamente, donde las personas han incrementado su nivel de paciencia [Morales, 2012]. Sin embargo, se tiene la necesidad de encontrar un espacio y tiempo en donde se alcance un confort acústico, el cual se define como el nivel de sonido “aceptable” para las personas en términos del nivel sonoro, frecuencia y evolución temporal [Barti, 2017]. El análisis de los niveles sonoros es un campo de estudio donde se busca analizar e interpretar el entorno físico, urbano, pero sobre todo encontrar soluciones que reduzcan los efectos nocivos de los niveles percibidos hacia el ser humano. A pesar de que se tienen guías y recomendaciones por organismos mundiales, como la OMS, no se acatan de manera adecuada, por lo que es necesario trabajar en la caracterización de la propagación de fuentes de ruido, que ayuden a establecer una normativa para reducir la contaminación acústica, así como la innovación en la creación y aplicación de materiales sintéticos y naturales como acondicionamiento o aislamiento acústico [Saura, 2008].

El estudio del sonido y de las fuentes sonoras han tomado relevancia en ingeniería, arquitectura y urbanismo, primeramente, se requiere localizar la posición de las fuentes, cuantificar la cantidad de energía emitida, analizar el contenido de frecuencias, caracterizar la propagación del sonido en el medio y aún más significativo implementar estrategias para contrarrestar el efecto nocivo cuando una persona percibe constantemente altos niveles sonoros [Beranek, 1996]. De esta manera, el marco teórico establece que la presión de onda P de una onda acústica longitudinal periódica con una máxima amplitud A , propagándose a lo largo de una distancia x , asociado con el número de onda k , en un tiempo determinado t y en función de la frecuencia w , se define como lo indica la ecuación 1.

$$P = Ae^{j(\omega t - kx)} \quad (1)$$

Cuando este parámetro es medido en un punto del espacio, el nivel del sonido L_p puede ser cuantificado. Aunque es necesario especificar que dicha presión podría variar, debido a que una fuente no emite de manera uniforme y constante en todas las direcciones, además de considerar los efectos del entorno donde se propagan, como por ejemplo el efecto de superposición, tiempo de decaimiento de presión, transmisión, reflexión o absorción, entre otros.

Un aspecto importante al estudiar una fuente sonora consiste en determinar el patrón de directividad, ya que representa el nivel de presión emitido en función del ángulo de radiación. Aunado a esto, la acústica arquitectónica evalúa los diferentes tipos de materiales necesarios para acondicionar un espacio y lograr un confort acústico. Las unidades para medir algunos de los parámetros relacionados con la propagación del sonido es el decibel (dB), el cual se define como veinte veces el logaritmo de base diez de la presión instantánea P_o en un punto respecto a una presión de referencia P_{ref} , ecuación 2.

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{P_o}{P_{ref}} [dB] \quad (2)$$

La presión de referencia es 20 μ Pa (Pa=Pascal), ya que es la variación mínima de presión sonora respecto a la presión atmosférica que el ser humano puede percibir. Por otro lado, cuando se refiere a la potencia acústica, medida en Watts, se cuantifica la energía por unidad de tiempo de una fuente sonora y no depende del entorno. En otras palabras, es la energía intrínseca que emite la fuente sin importar la distancia y el medio donde se mide, mientras que para la presión es necesario especificar la posición respecto a la cual fue medida. De aquí que cuando se refiere a la potencia acústica se relaciona directamente con la fuente, mientras que la presión se relaciona con la fuente respecto a un punto de medición. Es por esta razón que la potencia acústica representa un parámetro general que caracteriza la cantidad de sonido que emite una fuente. Cuando se tiene una fuente que emite una frecuencia estacionaria, la potencia se define por la longitud de onda, ya que a una menor longitud de onda se tiene una mayor cantidad de energía que se relaciona directamente con la potencia. El nivel de potencia acústica L_w se representa en relación logarítmica definida como la ecuación 3.

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W_o}{W_{ref}} [dB] \quad (3)$$

Donde W_o corresponde a la potencia cuantificada y W_{ref} es una potencia de referencia considerada de 1 pW, la cual está asociada con la potencia umbral de audición para el oído humano.

A pesar de que la presión y la potencia son parámetros muy útiles en acústica, la intensidad se ha convertido en una medida de mayor interés para el estudio en la propagación del sonido, debido a que es una medida puntual y cuantifica el valor medio de la energía de una onda que pasa perpendicularmente a través de un área. Con ello se determina el valor de la presión propagándose en una dirección sobre un punto y define una cantidad vectorial. El estudio de este parámetro ha establecido un campo de interés referido como intensimetría acústica. Cabe resaltar que esta cantidad es menos sensible al ruido de fondo y cuando es medida en diferentes puntos se cuantifican los niveles sonoros de partes específicas de una fuente, por lo que aísla perturbaciones y se enfoca en el objeto a estudiar. La intensidad acústica o intensidad sonora I define el producto de la presión acústica p en un punto por la velocidad de las partículas de aire v , tal como se muestra en la ecuación 4.

$$\vec{I}(t) = p(t) \vec{v}(t) \quad (4)$$

Esta cantidad vectorial describe la magnitud y la dirección del flujo neto de energía sobre un punto de una superficie [ISO 9614-1, 1993]. La velocidad de las partículas se determina a partir de la segunda ley de Newton, en la cual la aceleración a de un cuerpo es una consecuencia de la fuerza F ejercida e inversamente proporcional a su masa m , ecuación 5.

$$a = \frac{F}{m} \quad (5)$$

En acústica, el gradiente de presión es la fuerza que acelera las partículas en un medio con una densidad ρ y una dirección r , por lo que el gradiente de presión se expresa como se indica en la ecuación 6.

$$\Delta P = \frac{dp}{dr} = \frac{p_2 - p_1}{r_2 - r_1} \quad (6)$$

Considerando que la aceleración a se define como el cambio de velocidad v que sufre una partícula respecto del tiempo t , se tiene la ecuación 7.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{p_2 - p_1}{\rho (r_2 - r_1)} \quad (7)$$

Arreglando términos e integrando ambas partes, la velocidad v de las partículas se representa mediante la ecuación 8.

$$v = \frac{1}{\rho} \int_0^t \frac{(p_2 - p_1)}{(r_2 - r_1)} dt \quad (8)$$

En la práctica para medir la velocidad de las partículas se opta por una forma indirecta, este método consiste en medir el gradiente de presión sonora con dos micrófonos, referido como sonda tipo p-p, separados una distancia preestablecida como Δr para cuantificar la intensidad acústica como se indica en la ecuación 9.

$$I(t) = \frac{p_2 + p_1}{2\rho} \int_0^t \frac{(p_2 - p_1)}{\Delta r} dt \quad (9)$$

El estudio de la propagación del sonido y la medición de ondas acústicas pueden abordarse a través de dos distintos métodos: el método tradicional por presión y el método de intensidad (intensimetría).

Existen diversos trabajos que han validado ambos métodos, por ejemplo, Pávic presentó, en 1977, un artículo en el que proponía la medición de la intensidad sonora utilizando un par de micrófonos [Pávic, 1977]. En 1981, Crocker et al. realizaron la comparación de resultados obtenidos mediante el método tradicional por presión contra el método de intensidad, encontrando correspondencia aceptable entre ambos métodos, con excepción de los resultados a bajas frecuencias [Crocker, 1981].

Frank Fahy publicó, en 1989, un libro monográfico sobre los aspectos teóricos, así como las distintas aplicaciones de la intensimetría acústica y en el que se abordan los errores asociados a las medidas de intensidad y la transmisión de potencia sonora a través de espacios cerrados [Fahy, 1989].

En 1990, Olsen, Petterson et al. demostraron que la técnica de barrido (scanning) es tan precisa como la medición de la intensidad acústica en puntos fijos. Propusieron un método para elegir adecuadamente los parámetros característicos del barrido y valorar la eficacia del barrido conforme se realiza [Olsen, 1990].

En 1994, Ding y Jacobsen presentaron una nueva comparación experimental entre ambos métodos (por presión y por intensidad), exponiendo varios de los problemas de la intensimetría acústica que necesitaban ser estudiados profundamente; estudio

donde también se demostró que, excepto a bajas frecuencias, ambos métodos mantienen buena concordancia [Ding, 1994].

En 1997, Jacobsen y Ding presentaron un artículo en el que se aborda, de manera meticulosa, las diferencias sistemáticas entre ambos métodos, donde se incluyen algunas de las aportaciones más recientes [Jacobsen, 1997]. Un año más tarde, en 1988, Jacobsen, Cutanda y Juhl realizaron una gran aportación al campo de la intensimetría acústica, pues confirmaron, tanto experimental como matemáticamente (mediante un modelo de elementos finitos), que es posible medir en el rango de frecuencias de 50 Hz a 10 kHz con una única sonda. Demostraron que cuando la longitud del espaciador es aproximadamente igual al diámetro de los micrófonos, el error de la aproximación de diferencias finitas queda prácticamente compensado por los efectos de difracción en el propio micrófono [Jacobsen, 1998]. Es importante mencionar que Finn Jacobsen ha abordado, durante los últimos años, diversos aspectos relacionados con la intensimetría acústica desde el punto teórico y conceptual. Su aportación más reciente data del año 2013, con el libro *Fundamentals of General Linear Acoustics*, en el que se aborda el estudio del sonido en recintos [Jacobsen, 2013].

Este trabajo describe un sistema de posicionamiento semiautomatizado en dos dimensiones para determinar la intensidad acústica emitida por una fuente de ruido y obtener una representación visual gráfica de dicho parámetro. El prototipo construido permite realizar el barrido alrededor de una fuente sonora para determinar la intensidad acústica mediante una representación de cuatro caras. El sistema es controlado de manera muy sencilla mediante una interfaz que define la resolución de posicionamiento, así como el tiempo de registro para después realizar un mapeo sobre la superficie escaneada.

2. Métodos

Para cuantificar la intensidad acústica sobre una superficie, se desarrolló el diseño y construcción de un sistema de posicionamiento semiautomatizado, soportado por una base de madera, para barrer una superficie de 40 cm de largo por 40 cm de ancho, como se muestra en la figura 1. El sistema tiene la capacidad

de desplazarse con una resolución de hasta 2 mm en cada eje XY y una vez posicionado en un punto se realiza un registro, durante cierto tiempo mediante el arreglo de micrófonos, para cuantificar la propagación de onda emitida por una fuente sonora. El sistema mecánico de barrido es un bloque conformado por la estructura mecánica de dos ejes de libertad, donde se toma como referencia un punto de origen, ubicado en la parte baja del eje X e izquierda del eje Y. El sistema mecánico consta de dos motores a paso tipo Nema 17, los cuales están sujetos a dos tornillos sin fin para llevar a cabo el desplazamiento en dos ejes, con una resolución de giro de 1.8 grados.

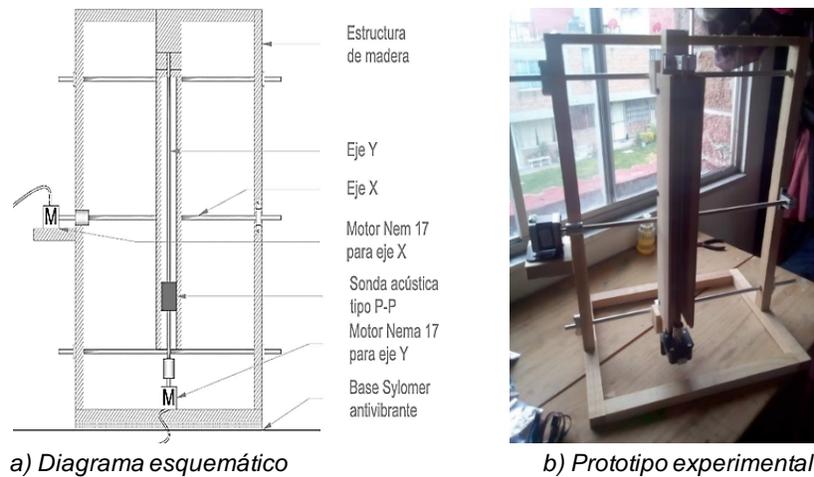


Figura 1 Sistema de posicionamiento mecánico XY.

El control de los motores se realiza mediante un *driver* A4988, el cual a su vez se conecta a una tarjeta Arduino Mega 2560. El diagrama esquemático de la conexión se muestra en la figura 2.

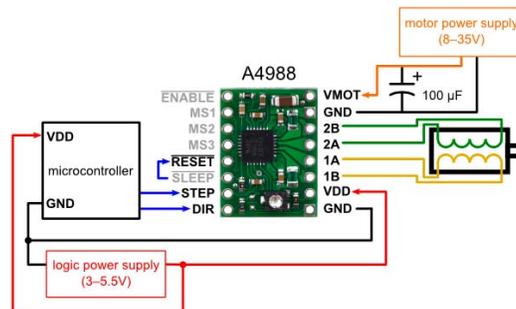
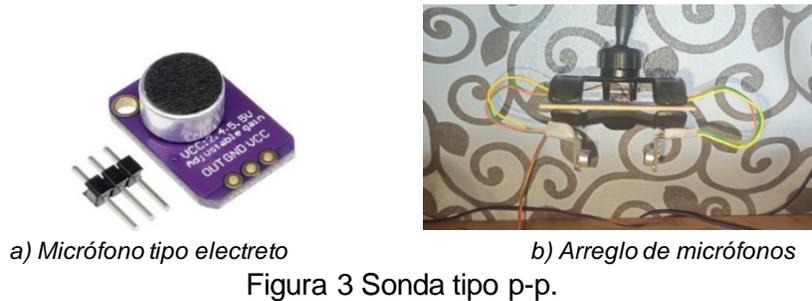


Figura 2 Diagrama de conexión con el motor a pasos.

La adquisición de datos se realizó con la misma tarjeta Arduino mediante un arreglo de micrófonos tipo electreto con amplificador regulable, como se muestra en la figura 3. Los micrófonos fueron posicionados de frente y separados a una distancia Δr para referirse como una sonda tipo p-p.



La sonda fue sujeta sobre uno de los ejes del sistema de posicionamiento con el propósito de desplazarse a lo largo de una trayectoria en forma de zigzag con dirección de abajo hacia arriba. Un instrumento virtual, como se muestra en la figura 4, fue diseñado e implementado para especificar la resolución del desplazamiento del sistema mecánico, el tiempo de registro de la señal por ambos micrófonos, así como el procesamiento de las señales para cuantificar la intensidad acústica de cada punto evaluado.

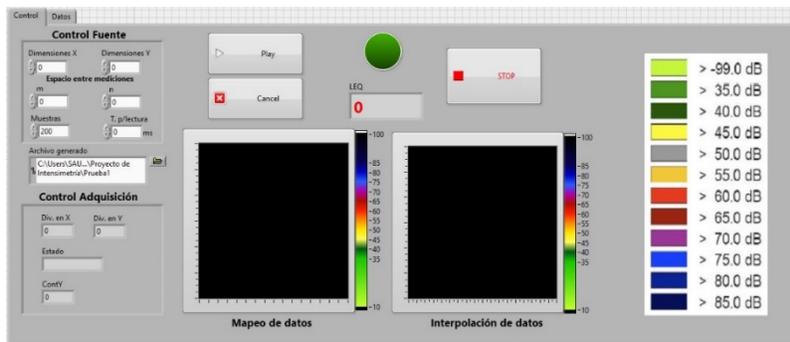


Figura 4 Instrumento virtual.

Una vez definida la distancia entre micrófonos, inicia el proceso de registro de la señal acústica en el punto de origen durante un tiempo establecido no mayor a 4 segundos. Una tarjeta Arduino lleva a cabo la conversión analógica digital, a una

frecuencia de muestreo de 20 kHz. La señal digital se procesa para cuantificar la intensidad acústica y el resultado es almacenado en una matriz. Posteriormente se manda la instrucción al sistema de posicionamiento para ubicarse en otra posición y se lleva a cabo el mismo procedimiento hasta completar el eje horizontal con un espaciado especificado en el instrumento virtual. En este paso se debe tomar en cuenta que el espaciado genera una rejilla de posiciones que se irá llenando cada vez que se desplace la sonda, como se muestra en la figura 5. El sistema se desplaza verticalmente una posición y continúa el proceso de registro y procesamiento.

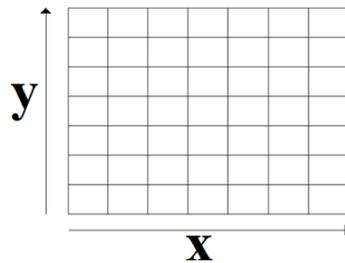


Figura 5 Rejilla para el llenado con valores de intensimetría.

El tiempo para completar toda la superficie dependerá del espaciado y el tiempo de muestreo definido en el instrumento virtual. El sistema lleva a cabo el registro de la señal acústica, emitida por la fuente sonora, únicamente cuando está fija. Este proceso puede implementarse las veces necesarias, posicionado la fuente frente al sistema a diferentes distancias, aunque el propósito principal es registrar cuatro lados de la fuente sonora y representar un volumen rectangular de intensimetría acústica. Para ello es necesario resaltar que la fuente debe ser rotada 90 grados, en un mismo sentido, para abarcar su entorno. Cada superficie almacenada en la computadora se conjunta mediante el instrumento virtual desarrollado en LabView. La figura 6 muestra el diagrama a bloques de todo el proceso estructurado para registrar, almacenar, procesar y generar los resultados.

Durante la operación del sistema se representa el mapa de intensidad en tiempo real de la intensidad calculada para cada uno de los puntos en la rejilla, en los cuales se posicionó la sonda, tomando en cuenta que dicho nivel se calcula a partir de las

últimas n muestras. El programa relaciona la magnitud de la intensidad con un color en cada posición. El mapa de colores puede ser modificado de acuerdo con una especificación para relacionar las intensidades máximas y mínimas.

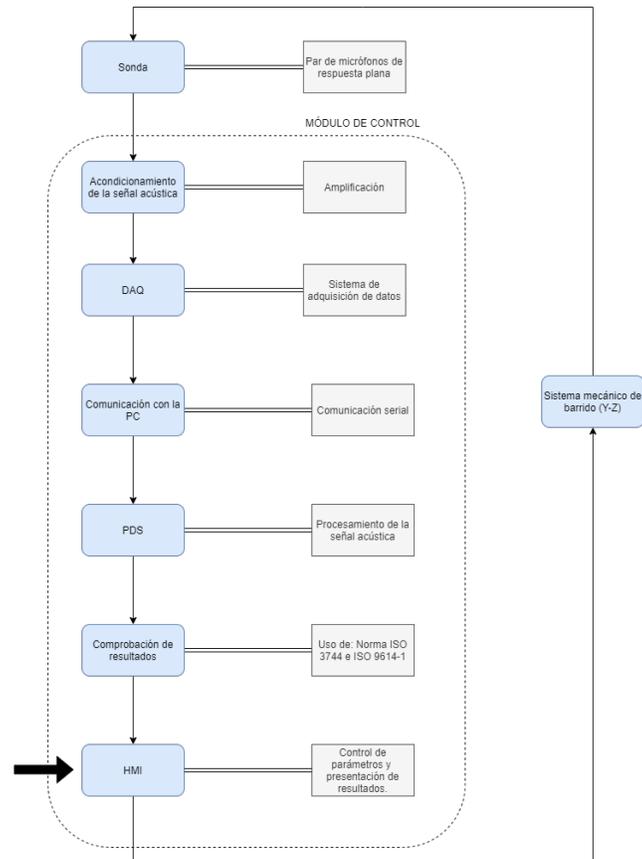


Figura 6 Diagrama a bloques del sistema de intensimetría acústica.

3. Resultados

Se consideró una bocina comercial tipo bazooka con una potencia máxima de 10 Watts, un diámetro de 7 cm y altura de 17 cm, como una fuente de ruido colocada frente a la sonda p-p, a una distancia de 30 cm, para evaluar su operación. Se consideró una distancia de 4 cm entre los micrófonos para la operación del sistema. La bocina generó una onda acústica, programada durante cierto tiempo, a una frecuencia de 1000 Hz. Mediante el uso del instrumento virtual se llevó a cabo el registro de la señal, considerando espaciamientos grandes, para barrer una superficie, como se muestra en la figura 7.

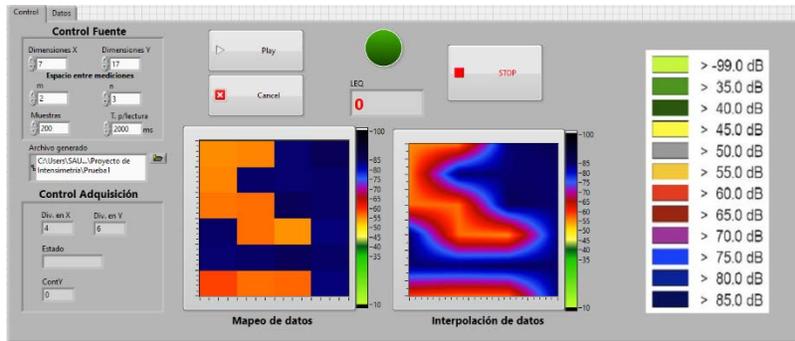


Figura 7 Evaluación del sistema de intensimetría acústica.

El resultado del sistema proporciona una matriz discreta, definida por el número de posiciones previamente establecido en el panel del instrumento virtual, en donde cada valor representa la intensidad acústica, obtenida mediante la ecuación 9, después de que la sonda registra durante cierto tiempo. El valor de la intensidad cuantificado se relaciona con un color previamente establecido, como se muestra en la figura 7, el cual es representado sobre la superficie virtual evaluada. El proceso además considera la interpolación de los números adquiridos para incrementar la resolución del mapa de intensimetría, como se muestra en la figura 8.

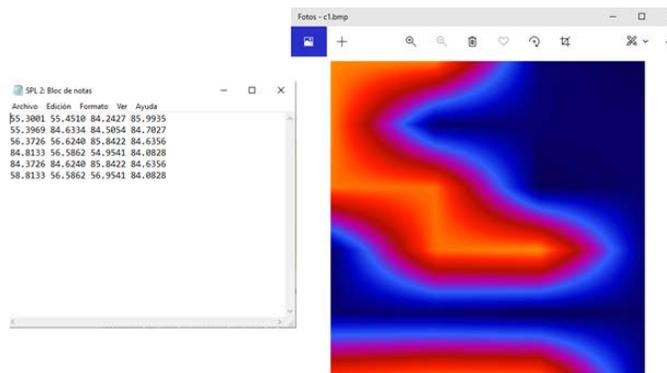


Figura 8 Interpolación del mapa de intensimetría acústica.

Después de que el sistema termina el barrido de una superficie establecida, la fuente sonora es rotada 90 grados en un sentido para repetir el procedimiento. Con ello cuatro superficies pueden ser evaluadas e interpoladas. Aunque cabe mencionar que el sistema puede considerar también la evaluación de las superficies superior e inferior, sin embargo, la fuente debe ser posicionada de manera

horizontal. El paso final consiste en conjuntar, mediante un instrumento virtual, las imágenes para representar el volumen 3D del mapa de intensimetría generado por la fuente, como se muestra en la figura 9.

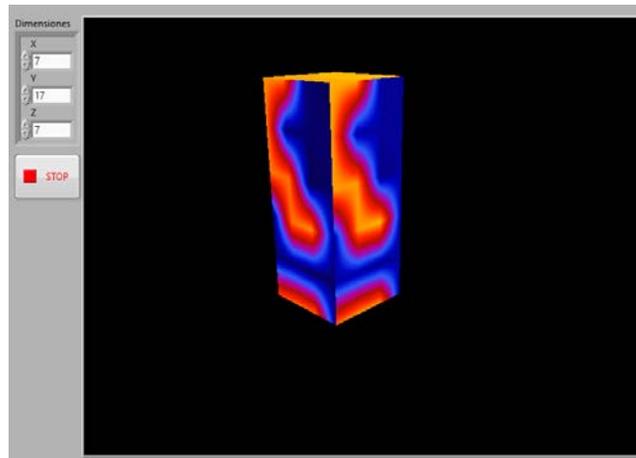


Figura 9 Interpolación del mapa de intensimetría acústica del volumen 3D.

4. Discusión

La operación del sistema semiautomatizado de intensimetría acústica se utilizará para caracterizar la emisión de energía de diversas fuentes sonoras. Su operación mediante un instrumento virtual resalta un fácil manejo para considerar el número de puntos a evaluar, así como el tiempo de registro de la onda acústica. Este aspecto debe ser considerado en su operación, ya que un mayor espaciamiento reduce la resolución y el tiempo de operación, aunque la interpolación de las cantidades contribuye significativamente a una mejor visualización del mapa acústico. Una de las características significativas de este sistema es que integra los mapas para formar volúmenes rectangulares en 3 dimensiones de las superficies evaluadas.

Además de evaluar la intensidad de una fuente sonora, es posible utilizar el sistema para determinar la respuesta de un arreglo estructural donde se tenga un panel acústico entre la fuente sonora y el sistema de posicionamiento, con el propósito de evaluar el nivel de intensidad transmitido por dicha fuente de ruido. El arreglo de los micrófonos, además de variar la distancia, permitirá considerar distintas

configuraciones para colocar las caras frontales, opuestas o dirigidas en una misma dirección. Las pruebas realizadas muestran una adecuada operación del sistema y deberá ser evaluado en una cámara semianecoica, con el propósito de evaluar una situación de campo abierto, en la cual la fuente de ruido no interacciona con el espacio y donde el factor de tiempo de reverberación o reflexión es mínimo [Urquiza, 2012]. Cabe resaltar que la versatilidad de operación puede ser adaptada a un sistema mecánico para cubrir una superficie más amplia, aunque para ello deberá ser modificado el sistema de posicionamiento.

5. Conclusiones

El sistema de posicionamiento semiautomatizado proporciona el mapa de intensimetría acústica de una fuente de ruido, considerando un número de posiciones discretas para cuantificar la presión y velocidad de sonido mediante un arreglo de micrófonos. El modo de operación del sistema construido se basa en una programación paralela para llevar a cabo las operaciones y funciones de cada una de las partes que integran el sistema. El procedimiento establecido considera la medición de intensidad hasta seis superficies para representar la intensidad con un color establecido e integrar un volumen rectangular en 3 dimensiones.

Los sistemas de medición de intensimetría han permitido medir los niveles de ruido emitidos por fuentes sonoras como por ejemplo la maquinaria industrial, generando así mapas acústicos, en donde se pueden localizar las principales fuentes de ruido ya sea en un entorno a campo abierto o de una maquinaria. Otra ventaja es poder hacer mediciones *in-situ* de fuentes de ruido que presenten grandes dimensiones y en dónde se dificulte el traslado de las mismas a un ambiente controlado.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Beranek, L., *Acoustics*, 5th. ed. Massachusetts: McGraw Hill Book Company, Inc., 1996.
- [2] Carmona, K. & Ramírez, J., *Sistema semi-automatizado para la medición de la potencia acústica por el método de intensimetría*. tesis, Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, CDMX, 2010.

- [3] Fahy, F., (1995). *Sound Intensity*, E&FN SPON, London, second edition.
- [4] Barti, R., (2017). Valoración del confort acústico. 48º Congreso Español de Acústica. Encuentro Ibérico de Acústica. TECNIACÜSTICA. Coruña, España.
- [5] Comeaga, D., Alexandrescu, N., Robotized System for Determining the Acoustic Emission. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 17, p. 779, 2008.
- [6] Crocker, M., Raju, P. K., Forssen, B., (1981). Measurement of transmission loss of panels by the direct determination of transmitted acoustic intensity, *Noise Control Engineering Journal* 17, pp. 6-11.
- [7] Ding, H., Jacobsen, F., (1994). Comparison of sound transmission loss between the sound intensity method and the conventional two room method in the laboratory, *Proceedings of Internoise 94*, pp. 1491-1494.
- [8] ISO 9614-1, 1 st. ed., *Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity - Part 1: Measurement at discrete points*, 1993.
- [9] Jacobsen, F., Cutanda, V., Juhl, P. M., (1998). A numerical and experimental investigation of the performance of sound intensity probes at high frequencies, *Journal of the Acoustical Society of America* 103 (2), pp. 953-961.
- [10] Jacobsen, F., Ding, H., (1997). Observations on the systematic deviations between two methods of measuring sound transmission loss, *Building Acoustics* 3, pp. 1-11.
- [11] Jacobsen, F., Juhl, P. M., (2013). *Fundamentals of general linear acoustics*. John Wiley & Sons.
- [12] Olsen, H., Pettersen, O. K. O., Vigran, T. E., Newman, M. J., (1990). Sound Intensity Field Mapping using scanning technique, *Proceedings of Internoise 90*, pp. 87-90.
- [13] Pavic, P., (1977). Measurement of sound intensity, *Journal of Sound and Vibration*. 51 (4), pp. 533-545.
- [14] Morales, J., *Acústica en espacios y en los volúmenes arquitectónicos*. Ed. Trillas. México, pp.12, 2012.

- [15] Saura, G., Técnicas avanzadas de medida en intensimetría acústica para la caracterización de materiales aislantes, tesis, Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia, 2008.
- [16] Urquiza, A & Lunati, V., (2012). Intensimetría Sonora: Metodología y aplicaciones. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional de Córdoba. Argentina.
- [17] WHO (World Health Organization), Burden of disease from environment noise-quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen, Dinamarca: Oficina Regional para Europa, 2011.