

Evaluación de prototipos para atenuar el ruido de máquina cortadora láser en el FABLAB-UTPCH

Evaluation of prototypes to attenuate the noise of the laser cutting machine at the FABLAB-UTPCH

Jean Gutiérrez¹, Paola Ureña¹, José Serracín², Adrián Serrano^{3*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Chiriquí, Facultad de Ingeniería Industrial, Panamá

²Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Chiriquí, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Panamá

³Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Chiriquí, Facultad de Ciencia y Tecnología, Panamá

Fecha de recepción: 24 de abril de 2025. Fecha de aceptación: 16 de junio de 2025.

*Autor de correspondencia: adrian.serrano@utp.ac.pa

Resumen. Se evaluó la reducción de ruido al que se exponen los trabajadores del Laboratorio de Fabricación Digital, se utilizó tres métodos de insonorización para disminuir la exposición de ruido generada por un blower extractor. Se establece que un rango de 60 decibeles a 70 decibeles como los niveles óptimos de exposición en un periodo de tiempo de diez minutos. Se realizó un análisis de varianza de los tres métodos instalados en el equipo, y se calculó el porcentaje de reducción de exposición del ruido de cada prototipo instalado. Mediante el método comparativo de diferencia mínima significativa, se determinó que el mejor prototipo es el tercero, el cual redujo hasta un 30% el nivel de exposición de ruido.

Palabras clave. Atenuación de ruido, máquina cortadora láser, prototipo.

Abstract. It was evaluated the noise reduction to which workers in the Digital Manufacturing Laboratory are exposed. Three soundproofing methods were used to reduce the noise exposure generated by an extractor blower. A range of 60 decibels to 70 decibels is established as the optimal exposure levels in a time period of 10 minutes. A variation analysis of the three methods installed on the equipment was carried out, and the percentage reduction in noise exposure for each installed prototype was calculated. Through the comparative method of least significant difference, it is established that the best prototype is the third, which will reduce the noise exposure level by up to 30%.

Keywords. Noise attenuation, laser cutting machine, prototype.

1. Introducción

La fabricación de prototipos para atenuar el ruido de máquina cortadora láser se basa en antecedentes de ingeniería donde se desarrollan constantemente metodologías constructivas para gestionar el ruido de los equipos desde la fase de proyecto de un edificio [1]. El aislamiento acústico de la maquinaria exterior se diseña a medida, considerando parámetros como la relación de alturas, la geometría de los objetos cercanos, la distancia entre la fuente de ruido y los receptores potenciales, y cómo se proyecta el ruido sobre ellos. Además, se utilizan barreras acústicas, que son sistemas modulares de paneles acústicos colocados como obstáculos entre la fuente del ruido y el receptor.

En el laboratorio de fabricación digital del Centro Regional de Chiriquí de la Universidad Tecnológica de Panamá (FABLAB-UTPCH), se realizan diversos trabajos de corte utilizando la máquina cortadora láser, especialmente en materiales como acrílico y plywood. Sin embargo, durante este proceso, el extractor, que es uno de los principales componentes de la máquina, genera niveles de ruido que pueden alcanzar los 97.6 dBA.

El ruido producido por el extractor se ha convertido en una preocupación tanto para los colaboradores como para los usuarios del laboratorio, ya que se describe como sofocante e incómodo. Existe temor de que pueda tener efectos negativos en la salud a largo plazo.

Para abordar esta problemática, se evaluó la efectividad de tres prototipos de cajas insonorizantes diseñadas y fabricadas por los investigadores. Estos prototipos están específicamente diseñados para reducir el nivel de ruido generado por el extractor.

El objetivo al diseñar y fabricar estos prototipos de cajas insonorizantes fue encontrar una solución efectiva y adaptada a las necesidades del laboratorio, reduciendo el ruido del extractor, mejorando así las condiciones de trabajo en el laboratorio y minimizando los posibles efectos adversos en la salud de los colaboradores y usuarios.

El ruido tiene efectos sobre la audición humana [2] [3], y se puede definir como la percepción que se tiene cuando una onda sonora, de suficiente magnitud y frecuencia llega al oído. Si bien el ruido y el sonido pueden ser términos equivalentes normalmente se habla del primero cuando la señal sonora no transmite información alguna [4]. Cuando se habla de sonido o de ruido, la magnitud que se utiliza con mayor frecuencia son los dBA [3].

En el proceso de audición, que se explica como el conjunto de etapas involucradas en la percepción y comprensión de los sonidos [3]. La exposición continua a niveles de ruidos de frecuencias medias-altas puede producir daños irreversibles en el sistema auditivo, específicamente en la cóclea [5]. Los trastornos coleares pueden generar trastornos de percepción de distancia, problemas de hipertensión arterial, entre otros muchos problemas de salud [6].

La exposición durante ocho horas del día a ruidos por encima de 85 dBA es potencialmente peligrosa. Al principio el oído es capaz de recuperarse después de unas horas lejos de esos niveles sonoros, pero después de seis meses, la recuperación no llega a ser completa y el daño es permanente [6].

Una vez que la lesión auditiva se establece, esta se vuelve irreversible [7]. Desafortunadamente, no existen registros de alguna terapia médica o quirúrgica que haya mostrado efectividad en la reversión de estas afecciones [5].

La ecuación que describe una onda sonora generada por una máquina depende de varios factores, como la naturaleza y características específicas de la máquina en cuestión [8].

Sin embargo, una forma general de la ecuación de una onda sonora emitida por una máquina puede ser representada como (ecuación 1):

$$p(t, x) = A(\sin(2\pi ft + \varphi))e^{-\alpha x} \quad (1)$$

Donde:

$p(t, x)$: representa la presión acústica en función del tiempo (t) y la distancia (x) desde la fuente de la máquina.

A: es la amplitud de la onda, que representa la máxima variación de presión en relación con la presión atmosférica.

f: es la frecuencia de la onda, que indica el número de ciclos completos de la onda que ocurren por unidad de tiempo.

φ : es la fase de la onda, que determina la posición inicial de la onda en su ciclo.

α : es el coeficiente de atenuación, que describe la disminución de la amplitud de la onda a medida que se propaga en el medio.

En la ecuación 1, el término $e^{-\alpha x}$ representa la atenuación de la onda a medida que se propaga.

2. Materiales y métodos

El diseño experimental incluyó:

- Identificación del riesgo: consiste en realizar un primer acercamiento al área en donde se realizará el estudio para percibir el riesgo al que se exponen las personas que frecuentan el laboratorio.
- Definir tiempo de medición: el tiempo de medición de cada dato se establece mediante una media de duración de los trabajos realizados en la máquina.
- Fijar niveles objetivo: mediante el sonómetro, fijar los niveles de exposición de ruido óptimos, basándonos en los niveles de exposición en dB del laboratorio (62 dBA), sin la máquina trabajando. Esto durante un periodo de 10 minutos previamente establecidos en el paso 2.
- Medición del área para construir: se toman las medidas del tamaño de la máquina y la cantidad de espacio requerido para manipularla.
- Diseño del prototipado: generar ideas de diseños para la caja insonorizante. Se generaron tres variantes definidas de la siguiente manera: prototipo 1, corresponde a una caja hecha solo de madera; prototipo 2, corresponde a una caja con espuma de poliuretano; y el prototipo 3, corresponde a una caja con espuma de Poliuretano y paneles insonorizantes profesionales.
- Compra de materiales en base al diseño se compran los materiales requeridos para la fabricación del prototipo.
- Ensamblaje se realizan los prototipos de caja y se presenta para la toma de medidas.
- Mediciones una vez ensamblado los prototipos se realizan las primeras medidas de exposición de ruido con el sonómetro.
- Recolección de Datos y comparación se recolectan los datos necesarios para las comparaciones y se realizan las correcciones respectivas para cada prototipo repitiendo los pasos siete y ocho.
- ANOVA se realiza un análisis de varianza con las medidas de la máquina sin caja como columna de control y entre los tres prototipos para determinar las diferencias entre ellas.
- Determinar porcentaje de reducción de reducción de ruido.

1. Escogencia del mejor prototipo mediante el método de evaluación LSD se realiza la comparativa entre los tres prototipos para determinar cuál es el que más reduce los niveles de exposición de ruido.

La tabla 1 muestra el listado de materiales utilizados para el desarrollo del prototipo.

Tabla 1. Materiales requeridos

Materiales	Cantidad
Lámina de <i>plywood</i> de ½" x 2' x 2'	1
Lámina de <i>plywood</i> de ¾" x 2' x 2'	1
Panel acústico de corte sierra de 1'x1'	12
Lata de espuma de poliuretano	3
Tornillos de 2" x 3/16"	26
Silicona de grado industrial transparente	1
Tornillo hexagonal 5/16"	4
Arandela plana 5/16"	4
Tuerca mariposa 5/16"	4

3. Resultados y discusión

La figura 1 muestra el desarrollo del prototipo, que incluye las medidas realizadas de la máquina, hasta los últimos ajustes realizados.

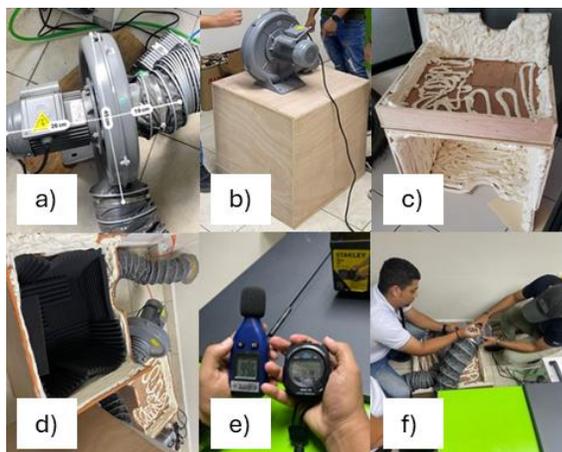


Figura 1: a) medidas de la máquina, b) primeras medidas realizadas, c) últimos ajustes realizados, d) prototipo 3, e) primeras medidas realizadas, f) últimos ajustes realizados.

La tabla 2 presenta el nivel de ruido medido de la máquina sin ningún método aplicado vs el nivel de ruido utilizando los tres tipos de cajas insonorizantes. La tabla 3 muestra el análisis de varianza ANOVA.

Tabla 2. Medición de niveles de ruido con prototipo 1, 2 y 3 instalados

Tiempo de Exposición (min)	Ruido medido (dBA) Sin Prototipo	Ruido medido (dBA) Prototipo 1	Ruido medido (dBA) Prototipo 2	Ruido medido (dBA) Prototipo 3
1	91.5	88.2	79.6	68.2
2	94.3	87.3	81.3	70.3
3	95.4	86.6	80.6	65.6
4	95.2	89.2	82.2	67.2
5	97.1	87.6	82.6	68.6
6	97.4	87.9	79.9	67.9
7	94.5	89.2	80.2	64.2
8	97.6	90.2	79.2	65.2
9	92.5	87.2	81.2	65.8
10	91.2	85.5	79.5	66.7
Media	94.7	88.2	80.8	67.0

Tabla 3. Análisis de varianza

O.V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fp	Fc
PROT.	2074.60	2	1037.30	480.38	3.40
Error	51.82	24	2.16	-	-
Total	2126.42	26	-	-	-

En la tabla 4 se obtiene que el prototipo tres logra reducir un 29.25% de la exposición de ruido original, esto representa un decrecimiento de las medias obtenidas de 94.7 dBA hasta los 67 dBA.

Tabla 4. Porcentaje de reducción de ruido vs medias

Origen	Media (dBA)	Porcentaje de reducción
Máquina sin caja	94.7	0%
Prototipo 1	88.2	6%
Prototipo 2	80.8	14%
Prototipo 3	67.0	30%

El factor de evaluación LSD es de 2.06 [9]. La tabla 5 indica que mediante el método de comparación de medias LSD existen diferencias entre los tres prototipos, por ende, el mejor prototipo es el tres.

Tabla 5. Comparación, método LSD

Relación	Diferencia de Medias	Comparación	LSD
P3-P2	13.8	≥	2.47
P3-P1	21.2	≥	2.47
P2-P1	7.4	≥	2.47

En la figura 2 se observa una mejora significativa con los tres métodos de insonorización con relación a la máquina sin caja.

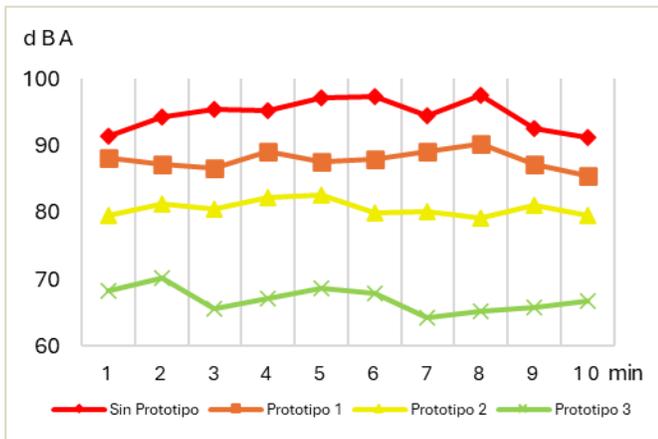


Figura 2. Rango (dBA) vs periodo (min).

4. Conclusiones

Se logró evaluar la efectividad de los tres prototipos de cajas insonorizantes para atenuar el nivel de ruido de 96.7 dBA generado por el extractor en la máquina cortadora de láser del FABLAB.

Tres prototipos de cajas insonorizantes fueron diseñados, construidos e instalados en el extractor para disminuir el nivel de ruido generado por el extractor con cada caja instalada.

Se utilizó un ANOVA para comparar las mediciones de exposición al ruido y determinar la efectividad de cada prototipo.

Se concluye que el prototipo tres es el más adecuado para generar un ambiente de confort en el laboratorio de fabricación digital durante los trabajos de corte con la máquina láser logrando reducir el nivel de ruido en un 30%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal del FABLAB-UTPCH por su disposición y asesoría a la hora de realizar los diseños del prototipado inicial y la ayuda con el espacio brindado para tomar las mediciones y hacer las pruebas correspondientes.

Al Ing. Juan Rusnak por su asesoría en la ejecución del experimento. A la Profesora Evidelia Gómez por su asesoría en cuanto a las fuentes de exposición de ruido y a las mediciones de riesgo de exposición. Al Doctor José Rolando Serracín por su tiempo y tacto a la hora de asesorarnos en la redacción del cuerpo del documento y por su donación con parte de los materiales requeridos para la ejecución de este experimento.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] D. Hasson, T. Theorell, H. Westerlund, B. Canlon, "Prevalence and characteristics of hearing problems in a working and non-working Swedish population," *J Epidemiol Community Health*, vol. 64, no. 5, pp. 453-460, 2010, doi: 10.1136/JECH.2009.095430.
- [2] F. Benavides, C. Ruiz, y A. García «Salud Laboral. Conceptos y Técnicas para la prevención de riesgos laborales». Barcelona: Masson, 1997.
- [3] F. Otárola Merino, F. Otárola Zapata, y A. Finkelstein Kulka, "Ruido laboral y su impacto en salud," 2006.
- [4] D. Bernabeu Taboada "Efectos del ruido sobre la salud" 2007.
- [5] M. Basner, W. Babisch, A. Davis, M. Brink, C. Clark, S. Janssen, y S. Stansfeld, "Auditory and non-auditory effects of noise on health" *Lancet*, vol. 383, no. 9925, pp. 1325-1332, 2014, doi: 10.1016/S0140-6736(13)61613-X.
- [6] A. Valdiviezo, A. Valdiviezo, H. Sánchez, A. Mendoza, J. Solano, S. Villa, y J. Guzmán, "Trastornos cocleares y su relación con enfermedades cardiometabólicas Cochlear disorders and their relationship with cardiometabolic diseases," *Revista Latinoamericana de Hipertensión*, vol. 13, 2018.
- [7] S. Hernández-Gaytán, C. Santos-Burgoa, J. Becker-Meyer, C. Macías-Carrillo, y M. López-Cervantes, "Prevalencia de la pérdida auditiva y factores correlacionados en una industria cementera," *Salud Publica Mex*, vol. 42, no. 2, pp. 106-111, 2000, doi: 10.1590/S0036-3634200000200005.

- [8] M. Gómez, J. Jaramillo, Y. Luna, A. Martínez, M. Velásquez, y E. Vásquez, “Ruido Industrial: Efectos en la salud de los trabajadores expuestos (Industrial noise: effects on the health of workers exposed) (De ruído industrial: efeitos sobre a saúde dos trabalhadores expostos),” *CES Salud Pública*, vol. 3, no. 2, pp. 174–183, oct. 2012, doi: 10.21615/CESSP.
- [9] H. Gutiérrez, R. de la Vara, P. Gutiérrez, C. Téllez Martínez, y M. Temblador, “Análisis y diseño de experimentos,” 2004.