



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Estimación de ruido atenuado con paredes utilizando redes neuronales artificiales”

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniera Industrial

Autora:

Gavilanes Yunga, Lizeth Alejandra

Tutor:

Ing. Córdova Suárez Manolo Alexander, MSc.

Riobamba-Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Gavilanes Yunga Lizeth Alejandra**, con cédula de ciudadanía **0606245637**, autor del trabajo de investigación titulado: **Estimación de ruido atenuado con paredes utilizando redes neuronales artificiales**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 15 de noviembre de 2024.



Lizeth Alejandra Gavilanes Yunga

C.I: 0606245637

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Manolo Alexander Córdova Suárez, catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Estimación de ruido atenuado con paredes utilizando redes neuronales artificiales, bajo la autoría de Lizeth Alejandra Gavilanes Yunga; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo en cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 15 días del mes de noviembre de 2024.



MSc. Manolo Alexander Córdova Suárez

C.I: 1802842508

CERTIFICADOS DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Estimación de ruido atenuado con paredes utilizando redes neuronales artificiales, presentado por Lizeth Alejandra Gavilanes Yunga, con cédula de identidad número 0606245637, bajo la tutoría de Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, 04 de diciembre de 2024.

Ing. Luis Stalin López Telenchana, MSc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Hidalgo Wilfrido Salazar Yépez, Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Fidel Ernesto Vallejo Gallardo, Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
UNACH-RGF-01-04-08.17
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, Gavilanes Yunga Lizeth Alejandra con CC: 0606245637, estudiante de la Carrera Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**ESTIMACIÓN DE RUIDO ATENUADO CON PAREDES UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES**", cumple con el 8%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 15 de noviembre del 2024.



Firmado electrónicamente por:
MANOLO ALEXANDER
CORDOVA SUAREZ

Ing. Manolo Córdova, MSc.
TUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mis padres Luis y María, que con su amor, motivación, esfuerzo y apoyo incondicional me han permitido llegar a cumplir esta meta, cada uno de sus consejos sirvieron para seguir adelante y no decaer a pesar de los malos momentos que enfrente durante esta etapa estudiantil.

A mi hermano Ronaldo en el cielo quien fue mi ángel, mi motivación, mi mayor inspiración y el motivo principal de este logro, pues su mayor anhelo fue verme alcanzar esta meta y gracias a él hoy puedo culminar esta etapa en mi vida que se volvió un reto desde el momento que el partió de este mundo, mi ángel del cielo a quién viviré agradecida por nunca dejarme sola ya que con sus bendiciones siempre pude afrontar los momentos difíciles que se me presentaban, le amaré y extrañaré por el resto de mi vida.

A mis hermanos Jessica y Jhonatan, quienes me han brindado su apoyo durante todo este tiempo, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía en todo momento, por cada una de sus bendiciones que me han dado la fuerza suficiente para seguir adelante.

No encuentro las palabras propicias para expresar mi amor y eterna gratitud a mis padres por el gran sacrificio que han hecho, ayudándome y aconsejándome en todo momento para poder alcanzar una meta más en mi vida.

Un agradecimiento especial a mi tutor, Ing. Manolo Córdova, por su inestimable apoyo, paciencia y orientación durante la ejecución de este proyecto de investigación.

Agradecer también a mi lugar de formación, la Universidad Nacional de Chimborazo, a los profesores de la carrera de Ingeniería Industrial por los conocimientos y enseñanzas impartidas durante todo este tiempo de formación académica.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADOS DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Planteamiento del problema.....	15
1.1.1 Descripción del Problema.....	15
1.1.2 Formulación del Problema.....	16
1.2 Delimitación.....	16
1.2.1 Delimitación de Contenido	16
1.2.2 Delimitación Temporal.....	16
1.2.3 Delimitación Espacial.....	16
1.3 Justificación	16
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo General	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Enfoque Teórico.....	19
2.1.1 Antecedentes	19
2.2 Fundamentación Teórica.....	20
2.2.1 Ruido Industrial.....	20
2.2.2 Tipos de ruido	21
2.2.2.1 Ruido constante o estable:	21
2.2.2.2 Ruido variable aleatorio:.....	21

2.2.2.3	Ruido intermitente:.....	22
2.2.2.4	Ruido variable periódico:	22
2.2.2.5	Ruido de impacto o impulso:	22
2.2.2.1	Ruido aéreo	23
2.2.3	Instrumentación para medición de ruido	24
2.2.3.1	Exposímetros sonoros individuales	24
2.2.3.2	Verificación y ajuste de la calibración.....	24
2.2.4	Efectos del ruido sobre la salud.....	24
2.2.5	Aislamiento acústico en paredes	25
2.2.6	Impedancia acústica.....	26
2.2.7	Caja o tubo de impedancia	26
2.2.8	Paredes Insonorizantes.....	26
2.2.9	Diseño de paredes insonorizantes.....	27
2.2.10	Paredes de insonorización simples	27
2.2.11	Paredes de insonorización múltiples	29
2.2.12	Materiales absorbentes de ruido en paredes acústicas	29
2.2.12.1	Materiales absorbentes porosos	30
2.2.12.2	Materiales absorbentes resonantes.....	30
2.2.13	Neurona Artificial.....	30
2.2.14	Tipos de neuronas artificiales.....	31
2.2.15	Redes Neuronales Artificiales	32
2.2.16	Topología de las redes neuronales artificiales	33
2.2.17	Ventajas de una red neuronal artificial	34
2.2.18	Modos de aprendizaje de la red neuronal	35
2.2.19	Algoritmo backpropagation	35
2.2.20	Algoritmos de entrenamiento de la red neuronal	36
2.2.21	Algoritmo de Levenberg-Marquardt	37
2.2.22	MATLAB®	37
2.2.22.1	Ejecución de RNA con MATLAB®	38
2.2.23	Condiciones termo higrométricas.....	38
2.2.24	Descripción de la zona del desarrollo de la investigación	38
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.		39
3.1	Tipo de investigación.....	39

3.2	Diseño de la Investigación.....	39
3.3	Técnicas e Instrumentos de Investigación	39
3.3.1	Técnicas	40
3.3.1.1	Revisión bibliográfica.....	40
3.3.1.2	Hoja de recolección de datos.....	40
3.3.2	Instrumentos.....	40
3.4	Población y Muestra	41
3.5	Hipótesis	41
3.5.1	Identificación de Variables	41
3.6	Operacionalización de Variables.....	42
3.7	Procedimiento de la investigación.....	44
3.8	Recolección de la información.....	45
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		47
4.1	Resultados	47
4.1.1	Diseño de la caja de impedancia	47
4.2	Estimación del nivel de ruido aéreo atenuado con paredes aplicando el método tradicional.....	48
4.3	Diseño de la red neuronal artificial	59
4.4	Entrenamiento de la red neuronal.....	61
4.5	Pronóstico de la red neuronal en la estimación de ruido atenuado	69
4.6	Análisis estadístico	74
4.6.1	Análisis de la hipótesis	74
4.7	Tiempo empleado en cada método analizado	81
4.8	Recursos financieros empleados en cada método analizado.....	81
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		82
5.1	Conclusiones	82
5.2	Recomendaciones.....	83
BIBLIOGRAFÍA		84
ANEXOS.....		91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Especificaciones de los equipos utilizados	40
Tabla 2	Operacionalización de Variable Independiente	42
Tabla 3	Operacionalización de Variable Dependiente.....	43
Tabla 4	Matriz de ingreso a MATLAB®	46
Tabla 5	Matriz completada con las 130 pruebas de estimación del nivel de ruido atenuado	50
Tabla 6	Rangos y criterios de las variables	59
Tabla 7	Coefficientes de correlación de las fases de la RNA-RP.....	66
Tabla 8	Recopilación de los resultados obtenidos aplicando el método tradicional y MATLAB®	70
Tabla 9	Datos estadísticos de los tiempos empleados por cada método	75
Tabla 10	Prueba de Normalidad para comparar métodos	76
Tabla 11	Prueba T-student para muestras independientes	77
Tabla 12	Comparación de las medias de los tiempos por método.....	78
Tabla 13	Datos de las frecuencias estadísticas de los métodos utilizados	80
Tabla 14	Tiempo empleado por las metodologías analizadas	81
Tabla 15	Comparación de recursos financieros empleados	81
Tabla 16	Tiempo empleado por el método tradicional	91
Tabla 17	Tiempo empleado por la RNA	92
Tabla 18	Recursos financieros empleados por el método tradicional.....	92
Tabla 19	Recursos financieros empleados por el método de las RNA	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Gráfica del ruido constante.....	21
Figura 2	Gráfica del ruido variable aleatorio	22
Figura 3	Gráfica del ruido variable periódico	22
Figura 4	Gráfica del ruido de impacto o impulso	23
Figura 5	Gráfica del ruido aéreo.....	24
Figura 6	Diagrama de aislamiento acústico con paredes simples	28
Figura 7	Diagrama de paredes dobles M1 Y M2, separadas por una distancia.....	29
Figura 8	Estructura de una neuronal artificial	31
Figura 9	Esquema de la capa de una red neuronal.....	33
Figura 10	Arquitectura unidireccional de la red neuronal	33
Figura 11	Esquema del proceso de una red neuronal	34
Figura 12	Esquema de la caja de impedancia.....	48
Figura 13	Diseño de la red neuronal artificial	61
Figura 14	Entrenamiento de la RNA	62
Figura 15	Gráfico del rendimiento de entrenamiento	63
Figura 16	Gráfico del estado de entrenamiento de la RNA-RP	64
Figura 17	Histograma de error de la RNA-RP	65
Figura 18	Diagrama de regresión del entrenamiento de la RNA-RP	66
Figura 19	MSE obtenido de la RNA.....	67
Figura 20	Ingreso de datos para pruebas de la RNA-RP	68
Figura 21	Programación de la función myNeuralNetworkFunctionRuido	69
Figura 22	Histograma relacionado a los valores del método tradicional	79
Figura 23	Histograma relacionado a los valores del método de la RNA	79
Figura 24	Diagrama de cajas y bigotes de los métodos analizados	80

RESUMEN

En la actualidad el ruido afecta la calidad de vida de las personas influyendo en la comodidad diaria y siendo un factor de riesgo para la salud auditiva. El control de los niveles de presión sonora en ambientes laborales con paredes de atenuación involucra un diseño de ingeniería con gastos elevados, tiempos prolongados de construcción y riesgo de fallo luego de su fabricación. La presente investigación tuvo como finalidad estimar la efectividad de la atenuación de ruido aéreo en una caja de impedancia con pared de atenuación utilizando redes neuronales artificiales. Se construyó una caja de impedancia de un emisor y un receptor. Luego se evaluó de manera tradicional la atenuación de ruido en la caja de impedancia utilizando la norma ISO 9612:2009 para el muestro de campo y la IEC 61252 para el equipo. Al final se simuló la efectividad de una Red Neuronal Artificial con algoritmo de Retro Propagación (RNA-RP) en MATLAB® usando una matriz de variables de entrada y salida con los datos reales de la atenuación. La caja de impedancia se construyó con madera melaminica y material de yeso y corcho para su atenuación. La matriz de variables de entradas y salida consideró 3 dimensiones: a) los elementos de construcción, b) las condiciones termo higrométricas y c) datos del muestro de ruido, distribuidos en 21 elementos. La RNA-RP desarrollada consta de 4 capas: a) la primera capa de entrada está constituida por 20 neuronas receptoras estáticas, b) la segunda tiene 9 neuronas ocultas, c) la tercera dispone de una neurona dinámica y d) la capa final tiene una neurona estática. El porcentaje promedio de error en la estimación de ruido atenuado con paredes por la RNA-RP corresponde al 0,1477%. La prueba T-student de muestras independientes demostró que la RNA-RP genera una respuesta similar para estimar atenuación por ruido en comparación al método tradicional.

Palabras Claves: Ruido aéreo, Redes Neuronales Artificiales, Caja de impedancia, Simulación.

ABSTRACT

Nowadays, noise significantly impacts people's quality of life, influencing daily comfort and posing a risk to auditory health. Controlling sound pressure levels in workplace environments with attenuation walls involves engineering designs that require high costs, long construction times, and potential failure risks after fabrication. This study aimed to estimate the effectiveness of airborne noise attenuation in an impedance box with attenuation walls using Artificial Neural Networks (ANN). The researcher created an impedance box consisting of an emitter and a receiver. It was essential to traditionally evaluate the noise attenuation in the impedance box following ISO 9612:2009 standards for field sampling and IEC 61252 standards for equipment. Subsequently, the effectiveness of an ANN with a Backpropagation Algorithm (ANN-BP) was simulated in MATLAB®, using a matrix of input and output variables based on accurate attenuation data. The impedance box contained melamine wood and gypsum-cork materials for attenuation. The input and output variable matrix considered three dimensions: a) construction materials, b) thermo-hygrometric conditions, and c) noise sampling data distributed across 21 elements. The developed ANN-BP consists of four layers: a) the first input layer with 20 static receptor neurons, b) a second layer with nine hidden neurons, c) a third layer with one dynamic neuron, and d) a final output layer with one static neuron. The average error percentage in estimating noise attenuation with walls using the ANN-BP was 0.1477%. The independent samples T-test demonstrated that the ANN-BP generates similar results for estimating noise attenuation compared to the traditional method.

Keywords: Airborne Noise, Artificial Neural Networks, Impedance Box, Simulation.



Firmado electrónicamente por:
JESSICA MARIA
GUARANGA LEMA

Reviewed by:

Mgs. Jessica María Guaranga Lema

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0606012607

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el ruido se ha convertido en un desafío constante que afecta la calidad de vida de las personas, influyendo directamente en su bienestar físico y emocional (González, 2012). La diversidad de fuentes sonoras, desde el tráfico vehicular hasta las actividades industriales, ha intensificado la necesidad de abordar eficazmente el control del ruido en diversos entornos, este fenómeno no solo representa una amenaza para la comodidad diaria, sino que también ha sido identificado como un factor de riesgo para la salud auditiva (Rodríguez Casals, 2016). Por otro lado la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha calculado que aproximadamente 120 millones de personas en todo el mundo tienen problemas de audición discapacitantes y que alrededor de 500 millones de personas sufren por los altos niveles de ruido aéreo, de manera similar la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) también resalta la preocupación, señalando que 130 millones de personas están expuestas a un entorno sonoro superior a 65 dB (decibeles), causando efectos perjudiciales en la salud humana (Sandoval & -, 2005).

Existen muchas alternativas para control de ruido aéreo y una de las opciones más utilizadas son las paredes de atenuación con materiales insonorizantes. Históricamente, la construcción de paredes de atenuación ha sido una estrategia clave para mitigar los efectos del ruido. Sin embargo, este enfoque tradicional implica considerables costos de inversión y largos períodos de construcción (Reyes Reina et al., 2016). Además, en pocos casos, las paredes construidas cumplen con las especificaciones necesarias para lograr la atenuación acústica deseada (Camargo Muñoz & Sandoval Aceves). Estudios contemporáneos utilizan Redes Neuronales Artificiales (RNA) e inteligencia artificial para estimar cálculos complejos o prácticas de ingeniería que involucran tiempos extensos de fabricación y costos elevados (Sánchez Barreno, 2022). En ingeniería acústica los mejores resultados en estimaciones resultan del uso de RNA, aunque se requiera de una estructuración a partir de resultados reales del fenómeno que se quiere analizar (Bravo-Moncayo et al., 2016).

Parte fundamental de la elaboración de una RNA es determinar los algoritmos matemáticos adecuados que contralane: a) las entradas, b) el proceso y c) las salidas. La mayoría de las redes neuronales consideran múltiples entradas y una función matemática que está dentro del proceso en la capa oculta y ayuda al entrenamiento y aprendizaje autónomo de la RNA formada (Ponce, 2010). Aunque el uso de las RNA para estimación de fenómenos acústicos simplifica: a) cálculos, b) tiempo y c) recursos; se debe formar una matriz de

ensayos reales, considerando las dimensiones y elementos que controlan el fenómeno. Para conformar el escenario que replique el comportamiento del ruido aéreo atenuado con paredes insonorizantes se necesita construir un prototipo parecido a un tubo de impedancia que no deje escapar la energía acústica y genere reverberación (Del Rey et al., 2012).

Este trabajo aborda una perspectiva innovadora al explorar la aplicación de RNA entrenadas con el Algoritmos de Retro Propagación para minimizar los errores de estimación de ruido aéreo en condiciones controladas de una caja de impedancia con pared de atenuación de ruido compuesta con materiales de yeso en condiciones higrométricas de la ciudad de Riobamba.

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Descripción del Problema

A nivel mundial se estima que el 55 % de las personas que viven en zonas urbanas y están expuestas a niveles diarios de ruido aéreo sufren de otopatías por ruido ya que el promedio de ruido supera los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Díaz Saavedra & Tarrillo Vallejos, 2021).

En la actualidad se utilizan paredes de atenuación para reducir los niveles sonoros, sin embargo, la implementación de paredes de atenuación convencionales implica considerables tiempos de construcción y una carga significativa en términos de recursos financieros y humanos, además se sabe que el cálculo del ruido aéreo en el receptor atenuado con paredes insonorizantes conlleva métodos complicados, costosos y con alta probabilidad de fracaso, ya que si no se alcanza el nivel deseado la pared no se puede modificar (Robledo, 2014).

La etapa de construcción tradicional de barreras acústicas para controlar el ruido demanda una planificación extensa, licitaciones, procesos de construcción, y posteriormente, la validación de la efectividad de estas barreras, mediante pruebas y uso de software específico (R.V. María del Pilar et al., 2015). Este marco temporal extendido no solo genera inconvenientes para los residentes y comunidades afectadas, sino que también representa un obstáculo en la respuesta rápida y eficiente a problemas específicos de insonorización por ruido (Rovira Núñez, 2024).

Además, el problema se agrava por la necesidad de realizar cálculos detallados y precisos para determinar la eficacia anticipada de estas paredes de atenuación (Veiga, 2020).

Los métodos convencionales de evaluación acústica requieren un análisis exhaustivo de factores como: a) la geometría del terreno, b) la composición de las paredes, y c) las propiedades de los materiales utilizados (Arenas et al., 2013). Este proceso se caracteriza por su complejidad y a menudo implica la necesidad de ajustes continuos a medida que se obtienen datos específicos del entorno (Munuera, 2019).

La combinación de estos dos aspectos, el tiempo prolongado de construcción y el tiempo empleado en los cálculos, plantea un dilema significativo en la eficiencia y efectividad de las medidas tradicionales de atenuación de ruido mediante la construcción de paredes. Por lo tanto, es importante alinearse a los cambios y avances tecnológicos que reduzcan los costos y la complejidad de la estimación de la atenuación por ruido aéreo considerando el uso de RNA.

1.1.2 Formulación del Problema

¿La aplicación de RNA para estimar el nivel de ruido aéreo en un receptor atenuado con paredes insonorizantes puede ser más eficiente en comparación al método tradicional?

1.2 Delimitación

1.2.1 Delimitación de Contenido

El presente trabajo de investigación está inmerso en el campo de la Ingeniería Industrial, y dentro del ámbito de Seguridad y Salud Ocupacional.

1.2.2 Delimitación Temporal

El trabajo de investigación propuesto se desarrolló durante el periodo de abril de 2024 a septiembre del 2024.

1.2.3 Delimitación Espacial

El trabajo de investigación se llevará a cabo dentro de la ciudad de Riobamba.

1.3 Justificación

La creciente preocupación por el impacto del ruido en entornos exteriores e interiores ha generado la necesidad de abordar de manera eficiente y sostenible los desafíos asociados con la atenuación acústica (BARRIA, 2013). En este contexto, la construcción de paredes de atenuación ha sido una estrategia convencional para mitigar los efectos adversos del ruido (Mamani Cuayla & Quispe Pino, 2023). Sin embargo, este método tradicional se enfrenta a limitaciones sustanciales en términos de costos, tiempos de construcción prolongados y la

complejidad de los cálculos necesarios para garantizar la efectividad deseada de estas barreras acústicas (Kogan & Arenas, 2003). Considerando que el Decreto Ejecutivo 255 determina que las evaluaciones de riesgos y peligros laborales se debe realizar mediante el análisis de las condiciones de trabajo y aplicando metodologías reconocidas que sean nacionales e internacionales, sin embargo, es necesario analizar la alternativa de evaluación de riesgos en el trabajo empleando las RNA que permita reducir variables como: a) cálculos, b) tiempo y c) costos (Noboa, 2024). La utilización de a) equipos de medición de ruido, b) ecuaciones para cálculos de los niveles sonoros permisibles y c) recursos humanos empleados en la evaluación de riesgos físicos que producen efectos nocivos sobre la seguridad y salud de los trabajadores, hace que la situación se vuelva más difícil para los técnicos de Seguridad y Salud en el Trabajo de las empresas al momento de evaluar, controlar e implementar medidas preventivas (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 1991)

En la actualidad no existe un método que calcule de manera eficiente y precisa el nivel de ruido atenuado sin haber construido la pared y ejecutado pruebas de verificación, mediante las RNA se puede estimar el nivel de atenuación del ruido en función de características y especificaciones de la pared de atenuación, sin tener la necesidad de construir previamente (RAMOS, 2014).

Es considerable conocer las condiciones de las RNA en el ámbito del ruido, debido a que implica diseñar una matriz organizada en la que consten las variables de entrada y de salida de manera clara para cada caso en MATLAB®, destacando que una vez que este configurada la matriz se puede replicar en situaciones que resulten similares (ARAYA, 2009). Es importante determinar que la implementación de la RNA en la estimación de ruido atenuado con paredes genera una nueva oportunidad que permita resolver problemas de manera rápida minimizando tiempos (R. Salas, 2004).

La construcción de la caja de impedancia es factible porque se utiliza materiales accesibles y bajo costo, además no requiere dispositivos electrónicos para medir ruido en las cámaras ya que se usa adaptando un dosímetro de ruido.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Estimar el nivel de ruido atenuado con paredes utilizando redes neuronales artificiales, en lugar del método tradicional para minimizar el tiempo de cálculo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características cuantitativas para formar la red neuronal y estimar el nivel de ruido atenuado con paredes que será comparado con el método tradicional.
- Diseñar un modelo matemático basado en redes neuronales artificiales con algoritmo de retro propagación que estime el nivel de ruido atenuado con paredes empleando el MATLAB®.
- Comparar los valores estimados de ruidos atenuados con paredes calculados con redes neuronales artificiales y el método tradicional aplicando pruebas estadísticas.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Enfoque Teórico

2.1.1 Antecedentes

A continuación, se exponen algunas investigaciones que anteceden al trabajo que se va a realizar:

Estimación del ruido mediante el desarrollo de una red neuronal artificial en el área urbana de Jaén, Cajamarca, desarrollada por Wendy Diaz y Anapli Tarrillo de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de JAÉN, destaca lo siguiente: La investigación aborda el desarrollo de una Red Neuronal Artificial (RNA) destinada a la estimación del ruido ocasionado por el tráfico vehicular en el entorno urbano de la ciudad de Jaén. Para llevar a cabo este propósito, se recopilaron datos provenientes de dos investigaciones identificadas como T1-Burga Mendoza y T2-Cruzado Ancajima y Soto Medina, de las cuales se extrajeron matrices de datos. Se procedió a realizar un muestreo aleatorio con el fin de dividir cada matriz en porciones de 80% (para entrenamiento) y 20% (para validación). En el proceso de modelado de la RNA, se utilizó el software Weka y se aplicó el algoritmo de entrenamiento Perceptrón Multicapa (MLP).

Los resultados que obtuvieron fueron:

- La obtención de una RNA con arquitectura 6-19-1 para T1-Burga Mendoza y otra con arquitectura 6-15-1 para T2-Cruzado Ancajima y Soto Medina.
- La evaluación del rendimiento de las RNA se llevó a cabo utilizando indicadores como el coeficiente de correlación (R), el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE).

Se concluyo que las redes MLP tienen la capacidad de estimar el nivel de presión sonora, evidenciando valores de $R = 0.9927$ y $R^2 = 0.9854$ para T1-Burga Mendoza, y $R = 0.9989$ y $R^2 = 0.9978$ para T2-Cruzado Ancajima y Soto Medina (Díaz Saavedra & Tarrillo Vallejos, 2021).

Caracterización acústica de ambientes urbanos mediante el uso de redes neuronales, realizado por Martín Sequeira, Víctor Cortínez y Adrián Azzurro, en el año 2019, determinan lo siguiente:

Esta investigación establece que, según el Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada, Universidad Tecnológica Nacional, la contaminación sonora constituye un serio problema en las ciudades modernas. Entre las diferentes fuentes de ruido presentes en una zona urbana, el ruido del tráfico es, indudablemente, la fuente más molesta.

Ésta depende de diversos factores influyentes como las características del flujo vehicular y los aspectos arquitectónicos del espacio urbano, todos ellos muy dependientes de las particulares y hábitos locales. Debido al aumento de la densidad poblacional y la multiplicación de actividades, han incrementado en forma notable las fuentes de ruido en ambientes habitados. Sin embargo, a juicio de la mayoría de los investigadores, la fuente principal de ruido urbano corresponde al tráfico vehicular. Un enfoque alternativo en estos casos es el uso de metamodelos generados a partir de la técnica de Redes Neuronales Artificiales. Los metamodelos son, en general, elaborados a partir de valores obtenidos experimentalmente o datos simulados por técnicas computacionales robustas. De esta manera, el problema presentado consiste en analizar distintas configuraciones urbanas a partir de diferentes variables relacionadas con el flujo vehicular y las características del entorno y obtener estimaciones del nivel de ruido generado. Luego, estos datos se utilizan para ajustar una red neuronal, siendo esta última, básicamente una técnica de regresión no lineal que permiten relacionar las causas y efectos a partir de la información para el sistema dado (Sequeira et al., 2019).

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Ruido Industrial

Es el nivel de presión sonora continua equivalente ponderado en el tiempo. Es diez veces el logaritmo decimal del cociente del promedio temporal entre el cuadrado de la presión sonora ponderada durante un intervalo de tiempo y el cuadrado de un valor de referencia, es expresado en decibeles (dB) (Gomes et al., 2018). Ver ecuación (1).

$$L_{p,A,T} = L_{p,A,eqT} = 101g \left[\frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} P_A^2(t) dt}{P_0^2} \right] dB \quad (1)$$

Donde:

$L_{p,A,eqT}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A sobre un período T;

P_0 = es el valor de referencia correspondiente a $20\mu Pa$;

T = período de tiempo sobre el que se calcula un promedio.

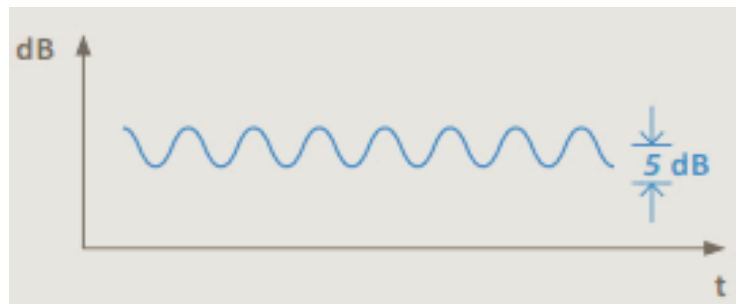
2.2.2 Tipos de ruido

Los diferentes tipos de ruidos pueden ser clasificados de diversas formas como: a) su naturaleza, b) nivel sonoro y c) dinámica temporal, entre otros aspectos. Con relación a su dinámica temporal, que es una de las situaciones más relevantes, se pueden identificar los siguientes tipos de ruido:

2.2.2.1 Ruido constante o estable: se refiere a aquel cuyo nivel de presión acústica ponderada A (LpA) se mantiene fundamentalmente constante. La variación entre los valores máximo y mínimo de LpA es inferior a 5 dB. Este tipo de sonido comúnmente se encuentra en procesos de producción ininterrumpidos, como las cadenas de producción continua. El ruido constante tiene la misma potencia en todas las frecuencias. (Romero Fernández & Carrascal García, 2005).

Figura 1

Gráfica del ruido constante

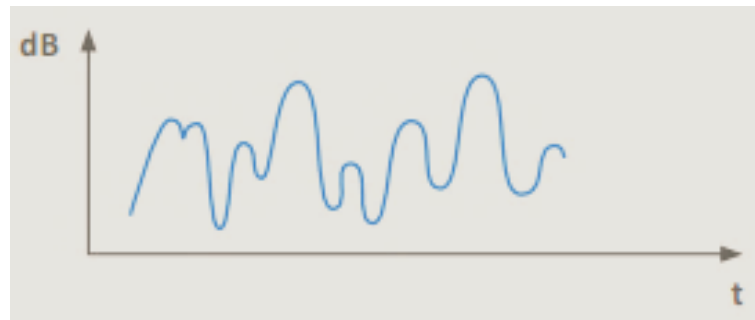


Nota. Adaptado de (Romero Fernández & Carrascal García, 2005).

2.2.2.2 Ruido variable aleatorio: Se refiere a aquel en el cual la variación entre los valores más altos y bajos del nivel de presión acústica ponderada A (LpA) es igual o excede los 5 dB, experimenta variaciones aleatorias a lo largo del tiempo. Este tipo de ruido muestra una densidad espectral de potencia constante en todas las frecuencias. (Solarte et al., 2014)

Figura 2

Gráfica del ruido variable aleatorio



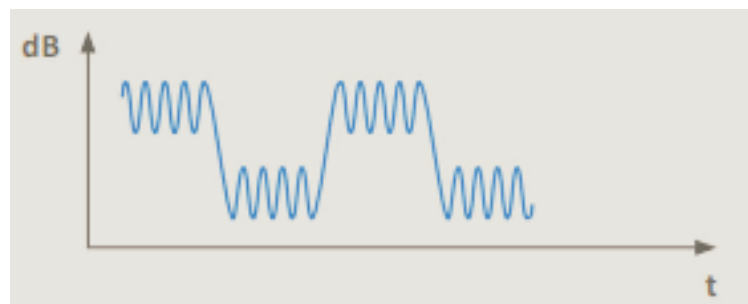
Nota. Adaptado de (Solarte et al., 2014).

2.2.2.3 Ruido intermitente: En esta situación, se ve interrumpido por intervalos de silencio y surge principalmente en labores realizadas al aire libre (Martínez et al., 2012).

2.2.2.4 Ruido variable periódico: Se trata de un sonido en el cual la discrepancia entre los valores más elevados y bajos de la presión acústica ponderada A (L_pA) es igual o excede los 5 dB y sigue un patrón cíclico. Su intensidad experimenta variaciones periódicas a lo largo del tiempo y, comúnmente, se origina en ruidos generados por maquinaria programada para llevar a cabo tareas cíclicas. Este tipo de ruido muestra una señal que se repite en intervalos regulares de tiempo. (Romero Fernández & Carrascal García, 2005).

Figura 3

Gráfica del ruido variable periódico



Nota. Adaptado de (Romero Fernández & Carrascal García, 2005).

2.2.2.5 Ruido de impacto o impulso: Su nivel de presión acústica disminuye de manera exponencial con el tiempo y tiene una duración inferior a un segundo. El lapso entre los picos sucesivos debe ser igual o superior a un segundo. Este tipo de ruido es causado por la vibración de las superficies, que se propaga a través del aire en forma de ondas sonoras

(Vidal, 2020). En la Figura 4 se observa la gráfica que representa como se genera el ruido de impacto.

Figura 4

Gráfica del ruido de impacto o impulso



Nota. Adaptado de (Vidal, 2020).

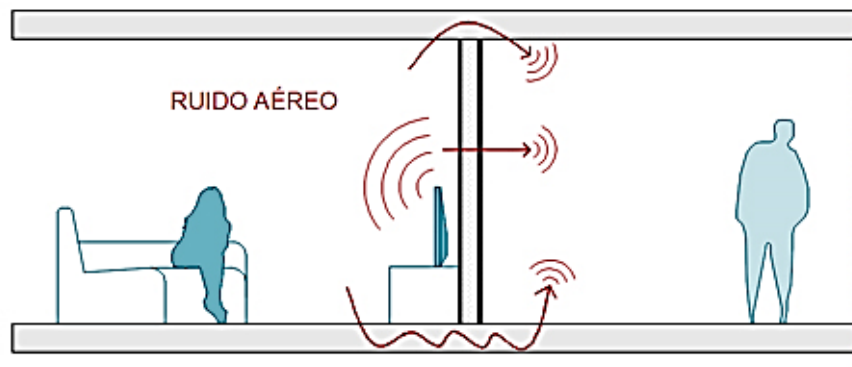
2.2.2.1 Ruido aéreo

En aislamiento acústico se considera como ruido aéreo a las vibraciones producidas por fuentes sonoras que se transmiten en el aire a otros espacios. La transmisión se produce cuando la onda acústica incide sobre una pared de la vivienda radiando energía a otro lado a través del aire (Sierra Pastor, 2020).

La propagación de esta perturbación está condicionada por la ausencia de aislamiento acústico en el punto de emisión, se considera que el ruido aéreo tiene una intensidad baja o media (Avilés López & PERERA MARTÍN, 2017). Actualmente, se incorporan materiales de aislamiento para los proyectos inmobiliarios, ya que estos permiten reducir la transmisión directa de ondas sonoras. Es importante resaltar que el confort acústico es un aspecto esencial para el bienestar de las personas en espacios como: a) hoteles, b) restaurantes, c) oficinas, d) entre otros (Romo-Orozco, 2014). En la Figura 5 se muestra una escena donde se visualiza como se produce el ruido aéreo.

Figura 5

Gráfica del ruido aéreo



Nota. Adaptado de (Romo-Orozco, 2014).

2.2.3 Instrumentación para medición de ruido

2.2.3.1 Exposímetros sonoros individuales

En la selección de la instrumentación incide la incertidumbre de las mediciones. Los exposímetros sonoros individuales también conocidos como dosímetros de ruido deben cumplir con las especificaciones establecidas en la Norma IEC 61252. Se sugiere emplear los exposímetros sonoros individuales que satisfagan los criterios de clase 1 de la Norma IEC 61672-1:2002, es recomendable el uso de este equipo en temperaturas bajas y cuando se consideren principalmente frecuencias de ruido elevadas (Gomes et al., 2018).

2.2.3.2 Verificación y ajuste de la calibración

La verificación y/o ajuste de calibración de los exposímetros sonoros individuales en campo se deben realizar con calibradores que cumplan con los criterios descritos para la clase 1 de la Norma IEC 60942:2003 (Cahueñas Caro, 2018). Es recomendable comprobar que el calibrador acústico y los sistemas de instrumentación establecidos con los requerimientos de la Norma IEC 61672-1 sean verificados en lapsos de tiempo menor a dos años, además se considera que en el informe de la medición debe constar en que laboratorio se ejecutó y la fecha de la última verificación periódica (Echeverri Londoño & González Fernández, 2011).

2.2.4 Efectos del ruido sobre la salud

La existencia de altos niveles de ruido ya sea en la vida cotidiana o en los ambientes de trabajo puede generar problemas a la salud, considerando que la probabilidad de sufrir la ausencia de audición se vuelve considerable a partir de un nivel diario equivalente ($L A_{eq,d}$)

de 80 dBA, siempre y cuando la exposición se mantenga durante intervalos de tiempo extensos (del Carmen Martínez, 1995).

El problema de contaminación acústica es común en la actualidad y con esta problemática se generan múltiples efectos como: a) malestar, b) interferencia con la comunicación, c) pérdida de atención, concentración y rendimiento, d) pérdida de capacidad auditiva, e) el estrés y sus manifestaciones y consecuencias, f) la habituación al ruido, y g) otros aspectos que engloban el ámbito social y económico (Miranda, 2006).

2.2.5 Aislamiento acústico en paredes

Los resultados de ingeniería y el diseño del sitio de trabajo correcto pueden disminuir significativamente la cantidad de exposición al ruido, considerando el material, dimensiones y forma de una pared. El método más eficaz para disminuir los niveles de ruido es utilizar materiales absorbentes y aislamiento acústico (Quintana Martínez, 2019).

La manera más eficiente de mejorar el aislamiento acústico es reflejando la energía absorbida, la eficacia del aislamiento acústico de los materiales depende de: a) la densidad superficial, b) el módulo de elasticidad y c) la homogeneidad del material de la pared, considerando la frecuencia de incidentes. La eficiencia del aislamiento en una pared se mide a través de la pérdida de transmisión del sonido (PTS), descrita de acuerdo a la ecuación (2) (Ahmadi et al., 2015).

$$PTS(dB) = 10 \log \frac{W_i}{W_t} \quad (2)$$

Donde:

W_i = Nivel de potencia sonora de la onda incidente;

W_t = Nivel de potencia sonora transmitida.

El principio del aislamiento acústico consiste en que los materiales utilizados en la construcción del cerramiento sean capaces de absorber las ondas sonoras generadas por perturbaciones en el entorno, para lograr un buen aislamiento acústico, las cámaras de los cerramientos deben llenarse con materiales absorbentes como: a) lana de roca, b) fibra de vidrio, c) fibra de poliéster o espuma, d) corcho e) entre otras (Martínez et al., 2012).

2.2.6 Impedancia acústica

Considerada como una resistencia que un medio opone a las ondas sonoras que se desplazan a través de él. Es de gran utilidad en cálculos que implican transferencia de ondas sonoras de un determinado medio a otro. La impedancia acústica (Z) está definida como el cociente entre la presión sonora (p) y el flujo de velocidad de las partículas de un material (v) (Criado Pallares & Franco Castillejo, 2019).

2.2.7 Caja o tubo de impedancia

En la actualidad se ha determinado que no existe un método estandarizado que facilite conocer las pérdidas por transmisión y caracterice acústicamente los diferentes tipos de materiales que constituyen las cajas o tubos de impedancia, sin embargo varios expertos se han basado en la creación de estos prototipos para establecer las pérdidas por transmisión de materiales o paneles (Del Rey et al., 2012).

La caja o tubo de impedancia debe ser diseñada en base a ciertos factores: a) de sección recta constante, b) con paredes rígidas, lisas y no porosas y c) sin aberturas ni grietas. Es recomendable que las paredes sean bastante compactas y pesadas, para evitar la vibración por acción de las señales acústicas y no permita reverberación de movimiento en el rango de frecuencia útil de la caja (Arnay Sarabia, 2014). Estos prototipos se construyen generalmente considerando dos segmentos, separados por una división en la que se coloca la pared de atenuación sea simple o compuesta. La caja o tubo debe ser suficientemente larga para permitir el desarrollo de las ondas planas en la fuente y en el receptor. Para ejecutar los ensayos la caja o tubo de impedancia debe ser previamente insonorizada con materiales absorbentes para evitar fugas de ruido, en uno de los extremos de la caja o tubo se coloca el altavoz (fuente de ruido) y en el otro extremo se sitúa la instrumentación que representa al receptor (Navas & Santander, 2011).

2.2.8 Paredes Insonorizantes

Para aumentar el aislamiento acústico de una pared sin tener que aumentar la masa superficial se puede utilizar paredes múltiples, esta pared está formada por capas delgadas con el objetivo de reducir el ruido a etapas (Castiñeira Ibáñez, 2015).

Al añadir una pared con una capa de masa superficial 1 a una pared con una capa de masa superficial 2 la atenuación de ruido es significativa porque se duplica la masa pero si la segunda capa se coloca separada de la primera, el aislamiento acústico es superior al de las paredes juntas por la cámara de aire o de material insonorizantes que las separa, sin

embargo el incremento exagerado del espesor de la cámara de aire tiene un limitante que se debe considerar en el diseño de las paredes de atenuación de ruido (Sendra, 1997). Para tener una mejor eficiencia en el diseño de paredes insonorizantes no se debe utilizar uniones rígidas en cada pared o puentes acústicos en cada pared ya que provocan acoplamientos directos entre ambas capas reduciendo notablemente el aislamiento. En el caso de que estos puentes sean inevitables deben ser relativamente blandos y ligeros para paredes pesadas y pesados para las paredes ligeras. Si una de las hojas es relativamente pesada y la otra ligera y se unen rígidamente el aislamiento será mejor cuando menor sea el número de ligazones de unión (López Marín, 2017). El uso de material absorbente en la cavidad puede provocar una importante reducción de acuerdo con el coeficiente de absorción acústica del mismo siendo mejor los materiales que tienen coeficiente de absorción reducido (Conesa, 2012). Según el fenómeno físico el proceso es reversible ósea el nivel de presión sonora equivalente en el local no se altera si se intercambia las posiciones de la fuente y el receptor, para obtener un buen rendimiento en paredes dobles se debe considerar: a) que las masas por unidades superficie de los materiales sean diferentes, b) que las frecuencias críticas de los materiales sean diferentes, c) evitar uniones rígidas, d) interponer zapatas elásticas entre el suelo y los tabiques y e) guarnecer las juntas entre los materiales (Robledo, 2014).

Las paredes insonorizantes en la actualidad son de uso común debido a que actúan como estructuras para reducir el nivel de ruido que se propaga de un área a otra ya sea interno o externo, se utilizan en una variedad de aplicaciones como: a) la construcción, b) la industria y c) la aeronáutica (Carrillo Miñano, 2018).

2.2.9 Diseño de paredes insonorizantes

Para diseñar las paredes insonorizantes se debe determinar: a) dimensiones del recinto, b) identificar el nivel de presión sonora permisible, c) calcular el aislamiento global de la pared, d) obtener el nivel de presión sonora equivalente o resultante en la fuente y el receptor, e) determinar cambios en el espectro para reducir ruido a un nivel aceptable, f) decir si se dispondrán otra pared para lograr el objetivo del aislamiento acústico (Suter, 2016)

2.2.10 Paredes de insonorización simples

Cuanto más básica e inflexible sea la pared, menos efectiva será en contener la propagación y transmisión del ruido, ya que su capacidad depende de la cantidad de masa que posea en un área específica ($kg \cdot m^{-2}$). Por esta razón, se recurre a una ley de masas que facilita el cálculo del índice de aislamiento (Esquerdo Lloret, 2016).

En una pared que es golpeada por una onda acústica de forma perpendicular, a través de las propiedades mecánicas se puede calcular la capacidad de aislamiento. De modo que la ley de masas para incidencia normal permite determinar dicha magnitud, considerando situaciones habituales (campo reverberante) y realizando una evaluación en tercios de octavos (Rougeron, 1977). La fórmula se define en la ecuación (3).

$$R = 20 \log (M * f) - 47 \quad (dB) \quad (3)$$

Donde:

M = Masa por unidad de superficie;

f = Frecuencia de la onda incidente.

La ley de masas expresa que el aislamiento en dB es proporcional al cuadrado de la masa por unidad de superficie de la pared (M) y también al cuadrado de la frecuencia (f), es decir el aislamiento aumenta con la densidad superficial de la pared y si la frecuencia del sonido es superior (Palomo Masquefa, 2014). Al duplicar la masa de la pared, el aislamiento aumentará en 6 dB y del mismo modo, dado un panel de masa (M), su aislamiento se incrementará en 6 dB al duplicar la frecuencia (Holgado Palacios, 2014). En un caso práctico se analiza una fuente sonora externa de 70 dB y 90 dB, considerando la aplicación de una pared acústica simple se logra atenuar las ondas sonoras que se transmiten a través del aire, disminuyendo 30 dB para ambas fuentes (ver Figura 6).

Figura 6

Diagrama de aislamiento acústico con paredes simples



Nota. Adaptado de (Rougeron, 1977).

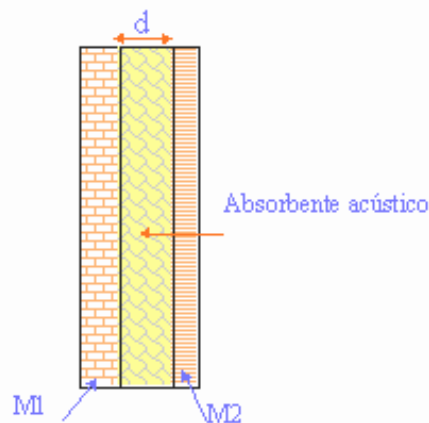
2.2.11 Paredes de insonorización múltiples

Las barreras delgadas y contra placadas, separadas por una distancia, pueden aumentar el aislamiento, debido a que no tienen contacto directo entre sí, esta configuración reduce la transferencia directa de vibraciones de sonido entre las superficies, lo que ayuda a minimizar la propagación del ruido a través de la estructura (Fernández, 2000). El contra placado añade masa y rigidez a la pared, lo que puede ayudar a absorber y dispersar el sonido, además, la separación entre los muros crea una especie de "cámara de aire" que actúa como una barrera adicional para el sonido, proporcionando una protección más efectiva contra la transmisión del ruido (Rastelli et al., 2017).

Las paredes múltiples permiten aumentar la capacidad de aislamiento, determinando que al duplicar la masa de las barreras acústicas la reverberación de ruido aéreo es inferior (Rebollo, 2011). Una pared de masa superficial (M), y otra compuesta por dos hojas separadas una distancia (d), con masas M_1 y M_2 , donde: $M = M_1 + M_2$ (Ver Figura 7). Al igual que en el caso de las paredes simples, es posible identificar diferentes zonas según la frecuencia, considerando que están separadas por frecuencias de resonancia (DE & DE PAREDES).

Figura 7

Diagrama de paredes dobles M_1 Y M_2 , separadas por una distancia



Nota. Adaptado de (Taborga Pérez & Benelux).

2.2.12 Materiales absorbentes de ruido en paredes acústicas

Los materiales absorbentes acústicos generalmente se destacan por convertir la energía sonora en otro tipo de energía para disminuir la transmisión de ruido aéreo, es decir

que las ondas sonoras se absorben para mitigar la reverberación en un entorno (Camacho Isaac, 2019). Los principales materiales utilizados para el tratamiento acústico son: a) espumas acústicas, b) lanas minerales, c) lana de poliéster, d) corcho y e) placas de yeso. Sin embargo, están distribuidos en dos grupos: 1) materiales porosos y 2) materiales resonantes (Montejano, 2006).

2.2.12.1 Materiales absorbentes porosos

Debido a la estructura porosa estos materiales resultan muy efectivos en la absorción de sonidos de frecuencias altas con tonalidades agudas, se dividen en dos clases: a) los esponjosos como la espumas y b) fibrosos como fibras de minerales, los cuales transforman energía sonora en calor durante el proceso de absorción debido a sus propiedades (Arenas Bermúdez et al., 2013). A mayor densidad mayor absorción debido a que el espesor del material está directamente relacionada con la capacidad de absorción (Castillo & Costa, 2012).

2.2.12.2 Materiales absorbentes resonantes

Estos materiales generan una absorción máxima en una frecuencia natural, el mecanismo de absorción se fundamenta en la conversión de energía sonora en energía mecánica. Para lograr la insonorización de un entorno se ubican paneles ranurados o perforados en las paredes deseadas. Generalmente estos materiales tipo resonador funcionan en base al principio de resonancia de Helmholtz (Isbert, 1998).

2.2.13 Neurona Artificial

Son elementos esenciales en el procesamiento de redes neuronales y sistemas de inteligencia artificial, son de manera similar a las neuronas biológicas, poseen un nivel de activación interno y reciben señales del entorno o de otras neuronas, estas provocan cambios en su estado, los cuales son controlados por una función de activación o transición (Isasi Vinuela & Galván León, 2004).

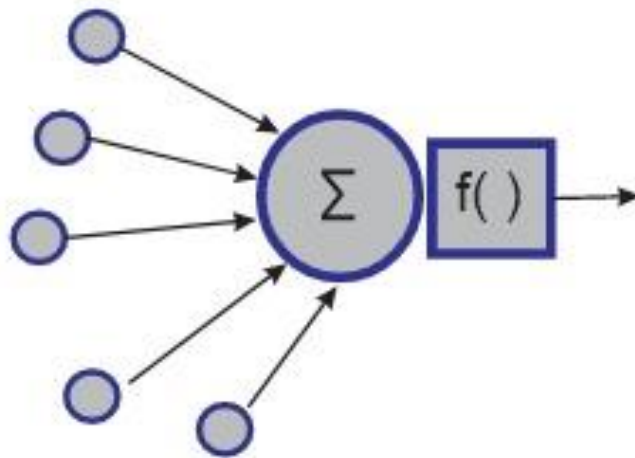
En una red neuronal los nodos se conectan por medio de sinapsis, la cual está dada por conexiones unidireccionales, la información fluye en una sola dirección (López & Fernández, 2008). Dependiendo de si son excitadoras o inhibitoras, determinan la relevancia de la entrada recibida por el soma neuronal (del Brío & Cinca, 1995). En una neurona artificial, cada entrada, que simboliza la salida de otra neurona, es multiplicada por su peso sináptico correspondiente durante el procesamiento, considerando que estos pesos son

ajustados durante el proceso de entrenamiento de la RNA, lo que permite almacenar información de forma similar a como sucede en las neuronas humanas (Olabe, 1998).

Existen tres tipos principales de neuronas artificiales que imitan las funciones de las neuronas biológicas: a) neuronas de entrada las cuales reciben información del exterior, b) neuronas ocultas aquellas que toman información de otras neuronas artificiales y c) neuronas de salida que obtienen la información procesada y arrojan los resultados al exterior (Serna, 2018). Véase la Figura 8.

Figura 8

Estructura de una neuronal artificial



Elaborado por: Autor

2.2.14 Tipos de neuronas artificiales

La capacidad de procesamiento y la potencia computacional de la red neuronal se derivan de las numerosas conexiones entre las neuronas artificiales, considerando que estas se pueden categorizar según los valores que requieran adquirir (López & Fernández, 2008). En este momento, es adecuado diferenciar entre dos tipos principales:

- a) Neuronas binarias
- b) Neuronas reales

Determinando que las neuronas binarias tienen la capacidad de adoptar valores únicamente en el intervalo $\{0, 1\}$ o $\{-1, 1\}$, mientras que las neuronas reales pueden hacerlo en el rango $[0, 1]$ o $[-1, 1]$. Por lo general, los pesos no están limitados a un intervalo

específico, aunque en ciertas aplicaciones puede ser necesario imponer restricciones (Díez et al., 2001)

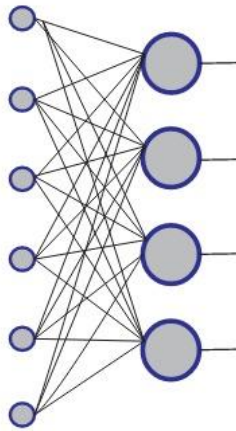
2.2.15 Redes Neuronales Artificiales

Una de las ramas más utilizadas dentro del ámbito de la inteligencia artificial es las redes neuronales las cuales son un modelo de computación distribuida que toma inspiración de la organización del sistema nervioso humano, la estructura de una red neuronal se configura al conectar varios procesadores elementales, constituyendo así un sistema adaptativo con un algoritmo diseñado para ajustar sus pesos (parámetros libres) (Díez et al., 2001). Este ajuste tiene como objetivo cumplir con los requisitos de rendimiento del problema en base a ejemplos representativos, la característica fundamental de las redes neuronales artificiales radica en su habilidad para adquirir conocimiento a partir de un conjunto de patrones de entrenamiento, es decir, tienen la capacidad de desarrollar un modelo que se ajuste a los datos (R. J. U. d. V. D. d. C. Salas, 2004).

Las RNA se utilizan ampliamente en diversos campos de estudio, se han convertido en una alternativa sólida desde el punto de vista teórico, su aplicación se ha vuelto muy popular en el campo de la ingeniería (Ponce, 2010). Su capacidad de aprendizaje a través de ensayos repetidos las ha convertido en herramientas populares para la predicción y resolución de problemas (Paliwal & Kumar, 2009). En la Figura 9 se observa la estructura de la distribución de las capas de entrada, ocultas y salida de una red neuronal artificial, las cuales son las encargadas de llevar a cabo el trabajo de la red, transmitiendo señales fuera del sistema.

Figura 9

Esquema de la capa de una red neuronal



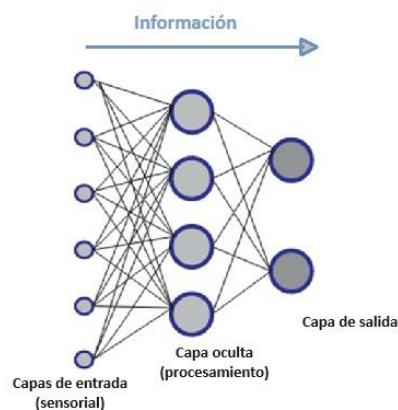
Elaborado por: Autor

2.2.16 Topología de las redes neuronales artificiales

La topología, a menudo conocida como arquitectura o estructura, describe cómo se organizan y posicionan las neuronas dentro de una red neuronal. Esto implica la formación de capas o agrupaciones de neuronas que varían en proximidad a las entradas y salidas de la red (Matich, 2001). Una red neuronal artificial se compone de neuronas organizadas e interconectadas en tres capas: a) capa de entrada (sensorial), b) capa oculta (procesamiento) y c) capa de salida (resultados) (Larranaga et al., 1997). Véase la Figura 10.

Figura 10

Arquitectura unidireccional de la red neuronal

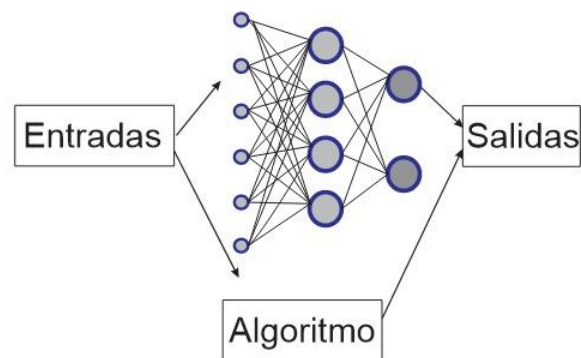


Elaborado por: Autor

La arquitectura de las redes RNA está determinada por cuatro factores clave: a) la cantidad de capas en el sistema, b) la cantidad de neuronas por capa, c) el nivel de conectividad entre las neuronas y d) el tipo de conexiones neuronales; los cuales son importantes dentro del proceso de funcionamiento de la red neuronal (López & Fernández, 2008). Véase la figura 11.

Figura 11

Esquema del proceso de una red neuronal



Elaborado por: Autor

2.2.17 Ventajas de una red neuronal artificial

Las redes neuronales artificiales, comparten varias características con el cerebro. Por ejemplo, poseen la habilidad de adquirir conocimiento a partir de la experiencia, extrapolar de situaciones previas a nuevos contextos y discernir las características fundamentales de la información, separándolas de elementos irrelevantes en las entradas (Matich, 2001). Esto ha llevado a su aplicación en diversas áreas, con ventajas que incluyen:

- **Aprendizaje Adaptativo:** suficiencia de ejecutar determinadas actividades mediante un proceso de entrenamiento (Pérez Ramírez & Fernández Castaño, 2007).
- **Autoorganización:** facilidad de ordenar y describir la información utilizada mediante una etapa de aprendizaje (Díez et al., 2001).
- **Tolerancia a fallos:** cuando una red sufre daños parciales, su estructura se ve afectada negativamente, pero aún puede conservar ciertas habilidades a pesar de haber sufrido grandes pérdidas (Matich, 2001).
- **Fácil intersección dentro de la tecnología existente:** posibilidad de adquirir chips diseñados para mejorar el rendimiento de la red neuronal en determinadas tareas,

simplificando la integración en sistemas ya establecidos de forma modular (Varela-Arregoces & Campbells, 2011).

- Operación en tiempo real: los cálculos neuronales pueden ejecutarse simultáneamente, mediante un hardware especializado para esta función (Asanza & Olivo, 2018).

2.2.18 Modos de aprendizaje de la red neuronal

Existen dos modos básicos para el aprendizaje de la red neuronal: aprendizaje supervisado y el no supervisado o autoorganizado.

- **Aprendizaje supervisado:** implica deducir una función a partir de datos de entrenamiento, que constan de pares de entrada y salida deseadas (Tang, 2014). El propósito es predecir con precisión la salida para cualquier nueva entrada proporcionada por un supervisor, durante el proceso de entrenamiento, la red ajusta sus pesos de forma iterativa utilizando información detallada sobre los errores cometidos en cada movimiento (del Brío & Cinca, 1995).
- **Aprendizaje no supervisado o autoorganizado:** se caracteriza por funcionar sin la supervisión directa de un agente externo, en el entrenamiento la red distribuye patrones utilizando densidades probabilísticas y extrae características basadas en la similitud con los datos de entrada (López & Fernández, 2008).

2.2.19 Algoritmo backpropagation

El método backpropagation es uno de los algoritmos más utilizados para el entrenamiento de los pesos de una red neuronal (Blanco, 2016), comúnmente empleado en redes con conexión hacia adelante, enfocado en un aprendizaje supervisado de gradiente descendente, que se divide en dos etapas claramente definidas: en primer lugar, se introduce un patrón de entrada que se propaga a través de las diversas capas de la red hasta generar la salida correspondiente, esta salida se compara con la salida esperada, lo que permite calcular el error de cada neurona en la capa de salida (Barrera, 2019). Cada neurona adquiere un error que es directamente proporcional al impacto en el error total de la red, con base al error recibido se procede a ajustar los pesos sinápticos de cada neurona (DOMINGUEZ, 2015).

2.2.20 Algoritmos de entrenamiento de la red neuronal

El proceso del algoritmo de aprendizaje backpropagation consta de dos fases: a) fase de propagación hacia adelante y b) fase de propagación hacia atrás. Ambas fases se ejecutan para cada patrón que se introduce en la sesión de entrenamiento.

A. Propagación hacia adelante

Esta inicia en el momento en que se presenta un patrón en la capa de entrada de la red, considerando que cada unidad de entrada corresponde a un elemento del vector del patrón de entrada; las unidades de entrada reciben el valor de su elemento correspondiente en el patrón de entrada, y se determina el valor de activación o nivel de salida de la primera capa. A continuación, las capas adicionales llevarán a cabo la fase de propagación hacia adelante, que establece el nivel de activación de las otras capas (Olabe, 1998).

La unidad procesadora j obtiene la cantidad S_j , ver ecuación (4):

$$S_j = \sum_i a_i W_{ji} \quad (4)$$

Y produce la salida o nivel de activación según la ecuación (5):

$$Salida = f(S_j) \quad (5)$$

La función f se clasifica como una función umbral genérica, destacándose entre ellas la función Sigmoide y la función Hiperbólica, también se considera que el valor de salida de la unidad j se envía a lo largo de todas las conexiones de salida de dicha unidad (Olabe, 1998).

Es importante destacar que las unidades procesadoras de la capa de entrada no efectúan cálculos con sus entradas ni utilizan funciones umbrales; simplemente consideran su salida como el valor del elemento correspondiente en el vector de entrada (Soria et al., 2022).

Algunas redes backpropagation utilizan unidades llamadas bias en las capas ocultas y en la capa de salida, estas mantienen un nivel de activación constante de 1, además están conectadas a todas las unidades de la capa superior inmediata, y los pesos de estas conexiones son ajustables a lo largo del proceso de entrenamiento (Olabe, 1998). La utilización de estas unidades tiene dos objetivos principales: mejorar las propiedades de

convergencia de la red y proporcionar un nuevo efecto umbral sobre la unidad activa (Díez et al., 2001).

B. Propagación hacia atrás

Una vez que se ha completado la fase de propagación hacia adelante, se procede a la fase de corrección, que se denomina fase de propagación hacia atrás (López & Fernández, 2008). Los cálculos para las modificaciones de los pesos de las conexiones inician en la capa de salida y continúan retrocediendo a través de todas las capas de la red hasta alcanzar la capa de entrada (Ponce, 2010). Los ajustes de pesos se pueden dividir en dos categorías: el ajuste de las unidades procesadoras de la capa de salida y el ajuste de las unidades procesadoras de las capas ocultas (Olabe, 1998).

2.2.21 Algoritmo de Levenberg-Marquardt

Se aplica con frecuencia a redes neuronales multicapa que contienen un elevado número de patrones, ya que ofrece una velocidad de convergencia del Error Cuadrado Medio (MSE) superior en problemas de aproximación de funciones, a pesar de que su complejidad en términos de cálculos es mayor, superando al enfoque de Retro propagación (Serna, 2018). Este algoritmo emplea la matriz Hessiana con el fin de optimizar la red, donde los elementos de dicha matriz corresponden a las derivadas cuadráticas de la función de error en relación con los pesos (Rodríguez-Toro et al., 2011).

2.2.22 MATLAB®

Es un programa informático ampliamente utilizado en ingeniería y técnicas de diseño, destacándose por su capacidad para resolver problemas complejos mediante cálculos matemáticos precisos y avanzados, observados a través de gráficos generados por el software (Asanza & Olivo, 2018). También considerado como un sistema interactivo cuyo elemento de datos básico es un array que no requiere acotación, lo que permite resolver el desarrollo de problemas que involucran operaciones con vectores, matrices y otros cálculos matemáticos complejos (Matlab, 2012). Funciona como un lenguaje de programación de alto rendimiento y disponiendo de una amplia biblioteca que incluye diversos algoritmos matemáticos y funcionalidades esenciales (Cortés, 2012).

2.2.22.1 Ejecución de RNA con MATLAB®

Matlab utiliza una estructura particular que facilita el acceso a todas las propiedades de la red neuronal, sin considerar su tipo. A través de esta propiedad, se pueden modificar las entradas, capas, conexiones, pesos, y demás componentes (Plata Cheje, 2008).

2.2.23 Condiciones termo higrométricas

Según la norma UNE-EN-ISO-7243:2017 (Ambientes calurosos) para ambientes homogéneos se deben tomar tres datos de temperatura húmeda, de globo y del aire a la altura del pecho del receptor, además de la presión ambiental y la humedad relativa (Alonso, 2023) En este trabajo de investigación se realizaron un promedio de tres mediciones diarias por 51 días en la ciudad de Riobamba.

2.2.24 Descripción de la zona del desarrollo de la investigación

La zona donde se ejecutó la investigación es el Cantón Riobamba, la cual está ubicada una altitud de 2 754 m s. n. m. y con una superficie de 982,69 kilómetros cuadrados, su clima es templado seco, la temperatura promedio es de 14°C. Consta de una población de 260 882 habitantes, representando el 47,9% del total de la Provincia de Chimborazo (Santellán Naulasaca, 2018).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo de investigación

El presente proyecto de investigación se enmarca en una investigación aplicada, porque busca implementar un modelo innovador para resolver un problema concreto en el ámbito de la estimación de ruido atenuado. Se estructuró teóricamente con el objetivo principal de analizar el comportamiento de la variable dependiente, es decir, el ruido atenuado, en función de la variable independiente, que corresponde al número de iteraciones y observaciones estimadas por la red neuronal artificial. Para ello, se compararon los datos obtenidos mediante el método tradicional de estimación del ruido atenuado con aquellos generados a través de una red neuronal artificial diseñada en el software MATLAB®. La comparación permitió determinar el porcentaje promedio de error relativo entre ambos enfoques, con el fin de evaluar la eficacia y precisión del modelo propuesto.

3.2 Diseño de la Investigación

Para el desarrollo de esta investigación, se seleccionó un diseño experimental, adoptando un enfoque cuantitativo, debido a que el estudio requiere la manipulación controlada de variables y la construcción de un prototipo de ensayo. En este contexto, se diseñó y desarrolló una matriz de entrada que considera los factores clave en la estimación del ruido atenuado, lo que permitió la configuración de una Red Neuronal Artificial (RNA). Esta RNA fue diseñada y entrenada utilizando el software MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA) con el objetivo de evaluar la viabilidad de su implementación en el proceso de estimación del ruido atenuado. Además, se adoptó un diseño prospectivo, que permitió analizar tendencias y crear escenarios futuros que faciliten la toma de decisiones sobre la aplicabilidad y el rendimiento del modelo propuesto en contextos reales.

3.3 Técnicas e Instrumentos de Investigación

Para la recolección de información, datos y registros se aplicó las siguientes técnicas e instrumentos:

3.3.1 Técnicas

3.3.1.1 Revisión bibliográfica

La información obtenida se deriva de libros, tanto en formato físico como digital, investigaciones, proyectos de titulación y documentos que abordan la atenuación del ruido. Estos recursos resultaron esenciales para la creación de la matriz en el software MATLAB® y para realizar el proceso de estimación del ruido atenuado con paredes.

3.3.1.2 Hoja de recolección de datos

Para el desarrollo del estudio, se creó una matriz en Excel con el fin de compilar y organizar los datos que se introducirán en la Red Neuronal Artificial (RNA). Esta matriz incluye tanto los parámetros de entrada como el de salida necesarios para el análisis posterior utilizando el software MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA). La estructuración de la matriz permitió una fácil visualización y manipulación de los datos. Para completar la información requerida en la matriz, se empleó un enfoque experimental, se diseñó y construyó una caja de impedancia, la cual fue esencial para realizar las pruebas necesarias bajo condiciones controladas utilizando el método tradicional para estimar el ruido atenuado.

3.3.2 Instrumentos

Por la facilidad de manipulación dentro de la caja de impedancia se utilizó un dosímetro de ruido y un medidor WBGT para determinar las condiciones termo higrométricas. Las especificaciones de los equipos utilizados se describen en la Tabla 1.

Tabla 1

Especificaciones de los equipos utilizados

Equipo	Especificaciones
Dosímetro de ruido	<ul style="list-style-type: none">• Marca: CRIFFER• Modelo: Sonus-2 Plus• Micrófono de ½” con entrada auxiliar tipo P2 para insertar señales eléctricas• Rango: 40 a 140 Db• 3 canales preconfigurados OSHA, NIOSH y User (Usuario)• Frecuencia de muestreo: 1 a 60 segundos

	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 90 x 57 x 22 mm • Peso: 79g
Medidor WBGT	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: Reed Instruments • Modelo: Medidor de estrés térmico WBGT - R6200 • Voltaje: 9 voltios • Pantalla LCD • Tiempo de respuesta de 1 segundo y los usuarios pueden seleccionar la pieza de temperatura (Celsius o Fahrenheit). • Dimensiones: 4,5 x 3,1 x 11,6 pulgadas • Peso: 0,16 Onzas

Nota. Especificaciones de los equipos extraídas de las páginas web TechEcuador Industrial S.A.S y Amazon.

3.4 Población y Muestra

Dado que no existen estudios previos relacionados con la estimación de ruido atenuado, la población de estudio está constituida por las 130 pruebas de atenuación de ruido, este número se considera adecuado para llevar a cabo el análisis requerido. Se trabajará con toda la población, por lo que no será necesaria la selección de una muestra.

3.5 Hipótesis

La estimación de ruido aéreo en el receptor atenuado con paredes insonorizantes con el uso de RNA permite una eficacia anticipada a problemas de insonorización generando un resultado similar en comparación al método tradicional.

3.5.1 Identificación de Variables

- **Variable independiente:** Redes Neuronales Artificiales
- **Variable dependiente:** Ruido atenuado

3.6 Operacionalización de Variables

Tabla 2

Operacionalización de Variable Independiente

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Redes Neuronales artificiales	Son un modelo computacional inspirado en el funcionamiento del cerebro humano. Estas redes están compuestas por nodos llamados neuronas artificiales, que están interconectadas y transmiten señales entre sí para procesar información y resolver problemas específicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura de la red neuronal • Código de programación 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de los elementos de la estructura de la RNA-RP creada/ Número de los elementos de la estructura de la RNA-RP planificada • Número de líneas de programación del código de la RNA-RP creada/ Número de líneas de programación del código de la RNA-RP planificada 	<p>Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observación • Experimentación • Medidor WGTB

Elaborado por: Autor

Tabla 3

Operacionalización de Variable Dependiente

Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Ruido atenuado	Se refiere a un sonido que ha sido reducido o disminuido en intensidad. Puede haber varias razones por las que se atenúa el ruido, como el uso de protectores auditivos o el diseño de equipos o dispositivos que reducen la emisión de ruido.	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura de la caja de impedancia • Niveles de ruido atenuados 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de los elementos de la estructura de la caja de impedancia creada/ Número de los elementos de la caja de impedancia planificada • Porcentaje de Ruido Atenuado 	<p>Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observación • Experimentación <p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cámara fotográfica • Dosímetro de ruido

Elaborado por: Autor

3.7 Procedimiento de la investigación

La presente investigación se desarrollo de la siguiente manera:

- a) Se realizo una revisión bibliográfica sobre la atenuación de ruido y el prototipo a construir.
- b) Se analizo y determino 3 dimensiones necesarias para ingresar a la RNA: a) condiciones de la caja de impedancia, b) condiciones termo higrométricas y c) datos para pruebas de atenuación de ruido.
- c) Se selecciono el diseño de la caja de impedancia y los materiales adecuados que se utilizaran, además se determinó el prototipo de pared de insonorización.
- d) Se construyó la caja de impedancia, insonorizándola con corcho para evitar reverberación de ruido.
- e) Se ejecuto 130 pruebas de atenuación de ruido aplicando el método tradicional que tomo 60 días para su ejecución, para lo cual se utilizó la caja de impedancia, teniendo en cuenta las condiciones termo higrométricas con la ayuda de un medidor WGTB y aplicando un dosímetro para obtener el valor del nivel de ruido.
- f) La información obtenida se registró en una matriz, en la cual se detalla los valores de cada una de las variables medidas y que posteriormente ingresaran a la RNA, en las columnas se determinó las 130 muestras recolectadas y en las filas se colocaron las variables codificadas con letras mayúsculas del alfabeto incluyendo la variable de salida (nivel de ruido aéreo atenuado).
- g) Se elaboro una matriz de ingreso de datos de variable de entrada y salida utilizando el software MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, EE. UU.), para lo cual es importante separar los datos de entrada, los cuales se codificaron de la siguiente manera: altura de la cámara (A); longitud de la cámara (B); ancho de la cámara (C); presión atmosférica (D); temperatura seca del aire (E); temperatura bulbo húmedo (F); temperatura de globo (G); humedad relativa (H); distancia del emisor (I); distancia del receptor (J); altura del emisor (K); altura del receptor (L); altura de la pared de insonorización (M); espesor de material de pared insonorizada 1 (N); espesor de material de pared insonorizada 2 (\tilde{N}); masa superficial de la pared insonorizada 1 (O); masa superficial de pared insonorizada 2 (P); distancia entre capas de material de pared (Q); nivel de ruido en el emisor (R); nivel de ruido en el

receptor (S) y el dato de salida: nivel de ruido atenuado (Z) y en las columnas los 130 casos de experimentación realizados.

- h) Se diseño la RNA con algoritmo de retro propagación para estimar el valor de salida (Z), teniendo en cuenta que los valores de entrada fueron tomados de los resultados obtenidos al ejecutar la experimentación de atenuación de ruido en la caja de impedancia.
- i) Se ejecuto el entrenamiento y ajuste de la RNA-RP.
- j) Se proceso los datos de las predicciones del nivel de ruido atenuado.
- k) Se elaboro una tabla de registro de datos obtenidos, considerando que el número de columnas representa las 130 pruebas. También se presentan los valores obtenidos del nivel de atenuación de ruido aéreo con paredes aplicando el método tradicional y los valores obtenidos mediante el software MATLAB®.
- l) Se calculo el porcentaje de error relativo obtenido entre ambos métodos analizados, conseguido entre la diferencia del valor real y el valor estimado dividido sobre el valor real por 100%.
- m) Para determinar la eficacia del modelo de RNA se utilizó la herramienta SPSS para comprobar la hipótesis aplicando la prueba T-student para muestras independientes, que permitió comparar los valores estimados con los valores reales.

3.8 Recolección de la información

La información fue recabada al realizar las pruebas de atenuación de ruido. La información de las variables de entrada se dispuso en una matriz, en la cual se detalla los valores de cada una de las variables medidas y que posteriormente ingresaran a la red neuronal artificial, en las columnas se determinó las 130 muestras recolectadas y en las filas se colocaron las variables codificadas con letras mayúsculas del alfabeto incluyendo la variable de salida. Ver Tabla 4.

Para ingresar los datos en la matriz del software MATLAB®, es necesario identificar los valores de entrada: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, Ñ, O, P, Q, R, S y el dato de salida Z, considerando los 130 valores de salida de los niveles de ruido aéreo atenuado.

Tabla 4

Matriz de ingreso a MATLAB®

UNIDAD	VARIABLE	CÓDIGO	1	2	3	*130
Centímetros	Altura de la cámara	A				
Centímetros	Longitud de la cámara	B				
Centímetros	Ancho de la cámara	C				
HPa	Presión atmosférica	D				
°C	Temperatura seca del aire	E				
°C	Temperatura de bulbo húmedo	F				
°C	Temperatura de globo	G				
%	Humedad relativa	H				
Centímetros	Distancia del emisor (X1)	I				
Centímetros	Distancia del Receptor (X2)	J				
Centímetros	Altura del Emisor (Y1)	K				
Centímetros	Altura del receptor (Y2)	L				
Centímetros	Altura de la pared de insonorización (Y3)	M				
Centímetros	Espesor de material de pared de insonorización 1	N				
Centímetros	Espesor de material de pared de insonorización 2	Ñ				
kg/m ²	Masa superficial de pared de insonorización 1	O				
kg/m ²	Masa superficial de pared de insonorización 2	P				
Centímetros	Distancia entre capas de material de pared	Q				
dB	Nivel de ruido en la fuente (Leq1)	R				
dB	Nivel de ruido en el receptor (Leq2)	S				
dB	Nivel de ruido aéreo atenuado (Leq3)	Z				

Elaborado por: Autor

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Diseño de la caja de impedancia

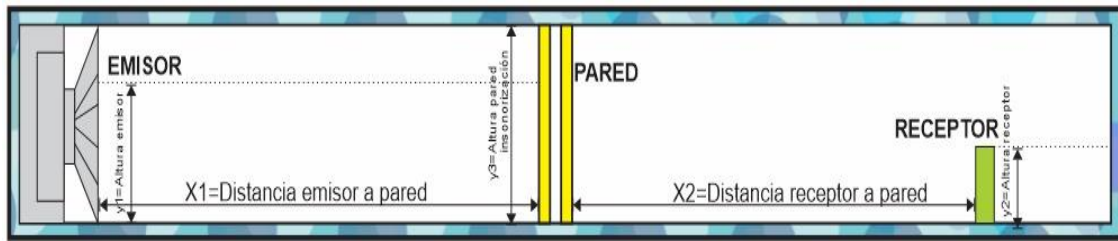
Para probar la atenuación de ruido es necesario construir un prototipo en condiciones controladas de laboratorio. Aunque la mayoría de los estudios relacionados por atenuación por ruido con paredes compuestas utilizan tubos de impedancia se puede utilizar cajas de impedancia (Navas & Santander, 2011). La construcción de la caja de impedancia para este estudio considera: a) Costo de construcción, b) Fácil montaje, c) Eficiencia, d) Materiales insonorizantes.

Además, como materiales se usó melamina color blanco de 15mm, debido a que este material es liso, rígido y su textura no es porosa. En cuanto a la geometría del diseño como recomienda Del Rey et al. (2012), en su trabajo se tomó las siguientes dimensiones: a) altura de 26 centímetros, b) longitud de 3,02 metros y c) un ancho de 30 centímetros, como se muestra en el plano de caja de impedancia (ver Anexo 6). La mayoría de las cajas de impedancia están compuestas por dos segmentos, como se muestra en el esquema de la Figura 12, que ilustra la distribución de las variables en el prototipo diseñado (ver Anexo 7). En esta investigación la sección del emisor ocupa una distancia de 1,51 m. a la pared de atenuación, y la dimensión de la sección del receptor ocupa una distancia similar.

Para lograr atenuar el nivel de ruido es propicio la creación de barreras acústicas con las especificaciones adecuadas para cada caso (Freire Chanaluisa, 2024). Para la optimización estructural y acústica en la experimentación de esta investigación se optó por la creación de una barrera acústica formada por dos placas de yeso, considerando una distancia de absorción entre capas. Se utilizó barreras acústicas con un espesor de 12mm, un ancho de 27cm y la altura variada entre un rango de 17 a 25cm. Finalmente se considera que la sección del receptor fue insonorizada con corcho para evitar reverberación de ruido.

Figura 12

Esquema de la caja de impedancia



Elaborado por: Autor

4.2 Estimación del nivel de ruido aéreo atenuado con paredes aplicando el método tradicional

Para desarrollar la red neuronal y estimar el nivel de ruido aéreo atenuado es necesario completar una matriz de variables de entrada, considerando dimensiones macroscópicas del fenómeno. Según Córdova-Suárez et al. (2019) recomienda utilizar como entradas elementos del fenómeno a estudiar: a) condiciones ambientales, b) datos del fenómeno estudiado, c) resultados obtenidos con la técnica tradicional. Para este estudio se seleccionaron las siguientes variables: a) condiciones de la caja de impedancia; b) condiciones termo higrométricas y c) datos para pruebas de atenuación de ruido (distancias y alturas del emisor y receptor, espesores y masas superficiales).

Al ejecutar las pruebas aplicando el método tradicional de medición de ruido que servirán para alimentar la matriz de red neuronal se debe tener en cuenta medir el nivel de ruido en la fuente (Leq_1) y en el receptor (Leq_2), para conocer el nivel de atenuación real obtenido. En cada uno de los casos se empieza determinando la distancia del emisor y del receptor en base a la pared de atenuación ubicada en la parte intermedia de la caja de impedancia, es importante considerar que al efectuar las pruebas la esta debe estar completamente cerrada para evitar la reverberación de ruido. La primera medición se la realiza en el emisor, durante un minuto porque son condiciones controladas y ruido aéreo homogéneo (Sanchidrián et al.). Luego se realiza otra medición en el receptor, por el mismo intervalo de tiempo. Al final se toman los datos de dimensiones de ubicación del emisor y receptor, las dimensiones del prototipo y las condiciones termo higrométricas. Para descargar el detalle de las mediciones de ruido y el valor promediado de toda la exposición se utilizó el software CrifferSuite (Ver anexo 13 y 14). Al final se registran los valores

obtenidos de cada una de las variables y se realiza una resta entre el nivel de ruido obtenido en el emisor y en el receptor para conocer la estimación del nivel de ruido aéreo atenuado con paredes (Leq_3).

El procedimiento descrito se replicará 130 veces para tener un valor representativo del fenómeno estudiado en la matriz de red neuronal.

La Tabla 5 hace referencia a la matriz completa con los datos registrados de las 130 pruebas experimentales para estimar el nivel de ruido atenuado con paredes, realizadas en el laboratorio Ingeniería Industrial de la Unach. Esta matriz ingresara al software MATLAB® para crear la RNA.

Tabla 5

Matriz completada con las 130 pruebas de estimación del nivel de ruido atenuado

Parametro	Unidad	Variables de entrada	Código	NÚMERO DE MEDICIONES							
				1	2	3	4	5	6	7	130*
Condiciones de la caja de impedancia	Centímetros	Altura de la cámara	A	26	26	26	26	26	26	26	
	Centímetros	Longitud de la cámara	B	300	300	300	300	300	300	300	
	Centímetros	Ancho de la cámara	C	30	30	30	30	30	30	30	
Condiciones termo higrométricas	hPa	Presión atmosférica	D	1032	1019	1020	1026	1025	1016	1028	
	°C	Temperatura seca del aire	E	21.7	22.56	19.5	21.7	18.5	22.6	22.01	
	°C	Temperatura bulbo húmedo	F	16.2	16.9	14.5	16.03	14.01	17.45	17.14	
	°C	Temperatura de globo	G	21.8	22.6	19.7	21.8	18.6	22.8	22.3	
	%	Húmedad relativa	H	50	57	52	49	51	51	53	
Datos para pruebas de atenuación de ruido	Centímetros	Distancia del emisor (X1)	I	146	15	30	90	60	70	70	
	Centímetros	Distancia del Receptor (X2)	J	4	4	6	13	25	13	26	
	Centímetros	Altura del Emisor (Y1)	K	0	0	1	2	0	0	0	
	Centímetros	Altura del receptor (Y2)	L	0	0	0	0.5	2	1	1	
	Centímetros	Altura de la pared de insonorización (Y3)	M	25	25	20	20	20	25	25	
	Centímetros	Espesor de material de pared insonorizada 1	N	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
	Centímetros	Espesor de material de pared insonorizada 2	Ñ	1.2	1.2	1.2	1.2	0	1.2	1.2	
	kg/m2	Masa superficial de pared insonorizada 1	O	960	960	960	960	960	960	960	
	kg/m2	Masa superficial de pared insonorizada 2	P	960	960	960	960	0	960	960	
	Centímetros	Distancia entre capas de material de pared	Q	2	2	2	2	0	2	2	
	dB	Nivel de ruido en el emisor (Leq1)	R	100.06	95.61	99.69	103.61	103.52	102.35	102.35	
dB	Nivel de ruido en el receptor (Leq2)	S	92.31	92.22	94.78	90.06	92.34	92.33	92.53		
Salida	dB	Nivel de ruido atenuado (Leq3)	Z	7.75	3.39	4.91	13.55	11.18	10.02	9.82	

NÚMERO DE MEDICIONES

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	130*
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
1025	1025	1029	1023	1025	1030	1032	1019	1020	1020	1025	1028	1025	1026	1028	
22.12	22.5	21.9	16.5	16.7	16.15	16.6	20.1	19.7	19.96	20.1	20.7	21.4	21.5	21.5	
17.09	17.8	17.01	14.3	14.7	14.65	14.75	16.65	15.68	16.14	16.84	16.05	16.3	16.4	16.4	
22.35	22.7	22	16.78	16.9	16.3	16.8	20.3	19.84	20	20.4	20.9	21.5	21.6	21.6	
55	60	56	47	49	51	53	58	59	60	63	45	51	52	54	
70	70	70	120	120	120	120	20	20	20	20	100	100	100	100	
50	80	110	40	70	120	145	8	25	90	130	12	50	80	100	
0	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	0	0	3	3	3	3	
0	1	0	1.5	1.5	1.5	1	1	1	0	2	0	1.5	2	1	
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	20	20	20	20	
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	
960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
102.35	102.35	102.35	104.32	104.32	104.32	104.32	105.35	105.35	105.35	105.35	104.45	104.45	104.45	104.45	
92.53	89.8	87.74	90.38	89.08	87.48	92.52	95.14	89.32	95.49	90.28	93.55	96.94	99.53	98.34	
9.82	12.55	14.61	13.94	15.24	16.84	11.80	10.21	16.03	9.86	15.07	10.90	7.51	4.92	6.11	

NÚMERO DE MEDICIONES

23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	130*
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
1031	1031	1033	1032	1027	1029	1031	1033	1019	1021	1027	1030	1030	1032	1020	
17.4	17.6	17.16	17.22	21.5	21.5	21.76	21.58	22.6	22.5	19.89	19.27	19.7	19.7	19.53	
14.6	14.91	14.05	14.08	16.2	16.22	16.34	16.28	17.4	17.45	14.71	14.21	14.6	15.9	15.67	
17.5	17.8	17.28	17.3	21.6	21.6	21.9	21.71	22.8	22.6	19.9	19.36	19.8	19.8	19.66	
58	60	65	69	71	73	72	74	49	55	55	60	54	58	59	
45	45	45	45	10	10	10	10	90	90	140	140	55	55	55	
30	50	120	145	120	35	140	65	75	105	95	10	10	65	85	
0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	1	1	1	
0.5	1	2	2	0	3	3	3	1	0	3	0.5	0	1	0	
20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25	25	20	20	20	
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2	
0	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
960	960	960	960	960	960	960	960	0	0	0	0	960	960	960	
0	0	0	0	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	
0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	
106.67	106.67	106.67	106.67	108.5	108.5	108.5	108.5	94.25	94.25	103.25	103.25	106.58	106.58	106.58	
96.58	97.36	94.70	94.37	93.30	93.13	94.86	95.32	91.68	91.23	91.82	94.42	98.35	95.32	93.16	
10.09	9.31	11.97	12.30	15.20	15.37	13.64	13.18	2.57	3.02	11.43	8.83	8.23	11.26	13.42	

NÚMERO DE MEDICIONES

38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	130*
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
1025	1026	1023	1028	1031	1019	1020	1027	1030	1019	1027	1026	1026	1020	1021	
19.6	21.8	21.32	20.96	20.96	17.98	18.3	18.5	22.7	21.58	21.7	21.6	21.76	20.98	20.4	
15.7	16.04	15.98	15.8	15.8	14.25	14.6	14.8	17.65	17.35	17.56	17.48	17.55	20.56	20.6	
19.73	21.9	21.4	21.08	21.08	18.06	18.43	18.6	22.92	21.7	21.8	21.83	21.85	20.97	20.6	
62	50	50	54	56	59	57	56	60	60	59	57	58	45	45	
55	85	85	85	85	5	5	5	25	25	25	25	25	40	40	
110	5	60	100	140	25	90	120	75	25	45	110	135	10	25	
1	0	0	0	0	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	
0.5	2	2	1.5	1	1	3	3	1	0	0	1	1.5	2	2	
20	25	25	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20	
1.2	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0	
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
960	0	0	0	0	960	960	960	960	960	960	960	960	0	0	
960	960	960	960	960	0	0	0	960	960	960	960	960	960	960	
2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0	
106.58	103.8	103.8	103.8	103.8	107.35	107.35	107.35	102.54	102.54	102.54	102.54	102.54	105.34	105.34	
91.20	97.87	94.56	93.58	90.08	99.07	98.62	96.32	93.64	96.85	96.01	92.68	91.15	97.13	96.58	
15.38	5.93	9.24	10.22	13.72	8.28	8.73	11.03	8.90	5.69	6.53	9.86	11.39	8.21	8.76	

NÚMERO DE MEDICIONES

53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	130*
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
1023	1027	1030	1019	1030	1032	1029	1027	1028	1030	1027	1020	1020	1026	1030	
20.19	20.53	18.6	18.65	18.94	19.49	19.61	19.5	19.98	22.3	22.54	22.85	23.05	23.4	23.6	
20.32	20.2	14.7	14.98	15.03	15.65	15.8	15.83	16.01	17.3	17.6	17.9	18.13	18.5	18.65	
20.39	20.98	18.7	18.85	19.01	19.6	19.8	19.67	20.08	22.5	22.7	22.98	23.2	23.6	23.75	
46	48	58	58	59	57	60	61	60	58	58	45	46	45	45	
40	40	65	65	65	130	130	130	130	80	80	80	110	110	110	
95	120	30	65	95	20	60	100	145	35	85	135	10	50	105	
0	0	0.5	0.5	0.5	2	2	2	2	0	0	0	1.5	1.5	1.5	
1	0	3	0	2	1.5	0	0	1	1	1.5	0	1	1.5	2	
20	20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	20	20	20	
0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0	0	
1.2	1.2	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
0	0	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	0	0	0	
960	960	0	0	0	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	
0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	
105.34	105.34	103.68	103.68	103.68	106.03	106.03	106.03	106.03	104.56	104.56	104.56	105.35	105.35	105.35	
94.72	91.48	93.45	95.73	95.01	92.34	91.05	90.25	89.98	94.86	94.04	92.15	94.56	93.65	92.41	
10.62	13.86	10.23	7.95	8.67	13.69	14.98	15.78	16.05	9.70	10.52	12.41	10.79	11.70	12.94	

NÚMERO DE MEDICIONES

68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	130*
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
1031	1033	1020	1019	1028	1031	1027	1027	1031	1033	1020	1026	1026	1028	1030	
23.71	23.7	23.84	23.87	23.9	24.01	24.1	24.3	24.32	22.6	22.6	22.85	22.9	24.78	24.8	
18.84	18.8	18.91	18.96	19.03	19.4	19.5	19.5	19.53	17.6	17.8	17.92	18.11	19.56	19.63	
23.8	23.8	23.96	23.97	24.1	24.18	24.3	24.5	24.51	22.8	22.9	22.97	23.01	24.8	24.95	
46	62	62	65	69	70	70	72	75	70	70	72	75	68	65	
110	130	130	130	130	50	50	50	50	145	145	145	145	134	130	
130	40	75	90	125	50	85	115	145	20	65	100	140	40	40	
1.5	3	3	3	3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	
0	1.5	2	1	0.5	1	2	2	0	1.5	1.5	2	3	3	3	
20	25	25	25	25	20	20	20	20	25	25	25	25	20	20	
0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
0	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	
960	960	960	960	960	0	0	0	0	960	960	960	960	960	960	
0	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	
105.35	103.96	103.96	103.96	103.96	106.03	106.03	106.03	106.03	102.63	102.63	102.63	102.63	105.09	105.1	
91.02	94.26	93.54	92.88	92.02	96.10	95.84	93.95	92.32	95.67	94.19	93.24	91.20	94.1	94.15	
14.33	9.70	10.42	11.08	11.94	9.93	10.19	12.08	13.71	6.96	8.44	9.39	11.43	10.99	10.95	

NÚMERO DE MEDICIONES

83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	130*
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
1031	1031	1032	1031	1032	1030	1031	1028	1032	1031	1027	1030	1030	1031	1033	
24.75	24.8	24.9	23.54	23.68	23.65	23.75	23.46	23.5	23.67	22.97	22.85	22.56	22.83	23.05	
19.58	19.72	19.73	18.68	18.73	18.71	18.82	18.59	18.61	18.75	17.96	17.8	17.56	17.77	18.15	
24.8	24.9	24.95	23.6	23.75	23.73	23.8	23.5	23.63	23.7	23.05	22.91	22.62	22.9	23.1	
65	69	70	75	74	71	67	65	70	70	68	56	54	55	68	
120	125	100	25	40	40	10	117	148	13	27	140	132	60	60	
40	54	54	75	75	100	140	10	5	20	130	140	60	120	135	
0	0	0	3	4	4	4	0	0	0.5	0.5	1	1.5	1.5	2	
0	0	2	1.5	0.5	1	2	4	3	0	1.5	0	4	0	2	
20	20	23	23	23	25	25	25	25	17	17	17	20	20	20	
1.2	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	1.2	1.2	0	
1.2	1.2	1.2	1.2	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
960	0	960	960	960	960	960	960	960	960	960	0	960	960	0	
960	960	960	960	0	0	0	0	960	960	960	960	960	960	960	
2	0	2	2	0	0	0	0	2	2	2	0	2	2	0	
105.65	103.65	103.78	103.86	103.82	103.79	103.45	104.12	106.78	106.78	104.67	104.78	104.67	103.4	104.5	
95.45	96.65	95.7	96.58	97.85	98.87	99.76	95.77	92.34	98.47	96.54	94.34	97.3	97.73	96.34	
10.20	7.00	8.08	7.28	5.97	4.92	3.69	8.35	14.44	8.31	8.13	10.44	7.37	5.67	8.16	

NÚMERO DE MEDICIONES

99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	130*
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
1032	1033	1030	1030	1031	1025	1031	1032	1033	1028	1026	1028	1030	1025	1030	1030	
22.65	22.86	23.01	22.83	22.56	22.8	23.63	23	23.54	24.9	24	24.75	24.82	24.78	22.9	22.85	
17.54	17.84	18.3	17.76	17.54	17.7	18.45	18.01	18.6	19.21	19.02	19.83	19.9	19.85	17.92	17.89	
22.72	22.9	23.2	22.91	22.6	22.87	23.7	23.07	23.6	24.96	24.1	24.8	24.85	24.86	23.01	22.9	
67	66	50	52	60	65	70	69	70	74	73	74	74	75	67	59	
42	42	54	54	54	20	20	20	110	110	110	135	135	135	75	75	
140	42	30	70	100	130	20	80	120	135	5	140	70	35	75	100	
2	1	4	2.5	0	0	0.5	1	1	0	0	3	2.5	2.5	3	4	
0.5	0	1	2	1.5	4	3.5	0	3	2.5	0	3	0	2.5	2.5	1.5	
25	25	20	20	20	25	25	25	17	17	17	23	23	23	20	20	
1.2	0	1.2	1.2	1.2	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0	
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0	0	1.2	1.2	
960	0	960	960	960	0	0	0	960	960	960	960	960	960	0	0	
960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	0	0	0	960	960	
2	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	
105.14	104.36	104.56	104.56	104.56	102.68	102.69	102.7	105.87	105.87	105.87	102.85	102.85	102.85	103.4	103.4	
97.2	99.89	98.93	97.35	96.4	96.08	99.8	98.35	96.23	94.9	98.75	93.68	95.79	97.14	98.45	97.15	
7.94	4.47	5.63	7.21	8.16	6.60	2.89	4.35	9.64	10.97	7.12	9.17	7.06	5.71	4.95	6.25	

NÚMERO DE MEDICIONES

116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
1032	1031	1028	1030	1028	1028	1025	1025	1019	1020	1022	1025	1028	1032	1032
22.6	24.32	24.3	24.01	24.1	23.84	23.87	23.82	23.7	22.5	23.45	23.73	24.32	24.3	24.01
17.6	19.4	19.38	19.1	19.16	18.8	18.84	18.78	18.64	17.6	18.5	18.69	19.4	19.38	19.11
22.73	24.4	24.38	24.2	24.19	23.9	23.93	23.9	23.82	22.71	23.5	23.84	24.4	24.43	24.14
58	72	71	70	70	68	68	68	67	60	62	67	72	72	70
119	119	119	50	50	50	85	85	85	60	60	60	95	95	140
10	120	145	50	100	147	35	95	130	120	30	90	100	40	130
0	0	2	3	2.5	4	0	1.5	2	4	0.5	3	2.5	1.5	0
1	4	2	0	0.5	2.5	1	0	3	0.5	1.5	2.5	3	3.5	2
20	20	20	25	25	25	17	17	17	23	23	23	25	25	25
1.2	1.2	1.2	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0	0	1.2	1.2	1.2
960	960	960	0	0	0	960	960	960	960	960	960	960	960	960
960	960	960	960	960	960	960	960	960	0	0	0	960	960	960
2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2
106.13	106.13	106.13	101.54	101.54	101.54	105.3	105.3	105.3	104.75	104.75	104.75	103.86	103.86	105.09
99.98	94.89	93.7	97.94	96.75	95.28	100.03	99.23	97.84	98.06	99.87	99.8	94.67	97.18	93.45
6.15	11.24	12.43	3.60	4.79	6.26	5.27	6.07	7.46	6.69	4.88	4.95	9.19	6.68	11.64

Elaborado por: Autor

4.3 Diseño de la red neuronal artificial

Para estimar el valor de salida Z (nivel de ruido aéreo atenuado) se desarrolló un modelo de Red Neuronal Artificial (RNA). Los valores de entrada se establecieron de acuerdo con tres dimensiones fundamentales: a) condiciones de la caja de impedancia, que son críticas para establecer un entorno de prueba controlado y asegurar la consistencia de los resultados, b) condiciones termo higrométricas, que influyen directamente en la propagación del sonido por lo tanto, deben ser controladas para lograr una evaluación precisa, y c) datos para pruebas de atenuación de ruido, que son esenciales para analizar cómo diferentes configuraciones y materiales impactan en la atenuación del ruido.

En la Tabla 6 se presenta los rangos y criterios correspondientes a las variables de cada una de las dimensiones analizadas en esta investigación.

Tabla 6

Rangos y criterios de las variables

Dimensión	Variable	Rango	Criterio
Condiciones de la caja de impedancia	Altura de la cámara	26 cm	Medidas optadas por comodidad, costos y fácil manipulación para ejecutar ensayos.
	Longitud de la cámara	302 cm	
	Ancho de la cámara	30 cm	
Condiciones termo higrométricas	Presión atmosférica	1019 -1033 hPa	Afecta la densidad del aire, alterando la velocidad del sonido.
	Temperatura seca del aire	16,15 – 24,9 °C	Rango ambiental normal, crítico para la medición.
	Temperatura bulbo húmedo	14,01 – 20,06 °C	Influye la humedad y el confort en la prueba.
	Temperatura de globo	16,03 – 24,96 °C	Indicador importante del calor radiante en las mediciones acústicas.
	Humedad relativa	45 – 75 %	Afecta la absorción y reflexión del sonido.
Datos para pruebas de atenuación de ruido	Distancia del emisor (X1)	0 – 148 cm	Impacta en la atenuación del sonido en diferentes configuraciones.

Distancia del Receptor (X2)	0 – 147 cm	Variable clave para la recepción del sonido.
Altura del Emisor (Y1)	0 – 4 cm	Afecta la dispersión del sonido y su interacción con el entorno.
Altura del receptor (Y2)	0 – 4 cm	Influye en la recepción del sonido en diferentes posiciones.
Altura de la pared de insonorización (Y3)	17 – 25 cm	Define la eficacia de insonorización.
Espesor de material de pared insonorizada 1	0 – 1,2 cm	Determina el nivel de atenuación del sonido
Espesor de material de pared insonorizada 2	0 – 1,2 cm	
Masa superficial de pared insonorizada 1	0 – 960 kg/m^2	Afecta la densidad y la atenuación del sonido.
Masa superficial de pared insonorizada 2	0 – 960 kg/m^2	
Distancia entre capas de material de pared	0 – 2 cm	Influye la interacción de las capas de material y su capacidad de atenuación.
Nivel de ruido en el emisor (Leq1)	94,25 – 108,5 dB	Mide la emisión del ruido en la fuente.
Nivel de ruido en el receptor (Leq2)	87,48 – 100,03 dB	Permite comparar la reducción del ruido en el receptor en relación con el emisor.

Elaborado por: Autor

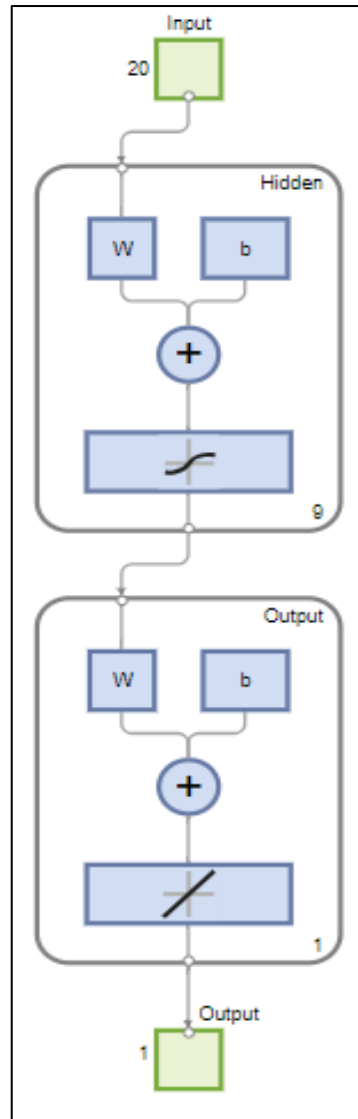
Las variables que resultan más significativas en la red son: a) altura de la pared de insonorización, b) espesor de la pared de insonorización, c) distancia del emisor, d) distancia del receptor, e) nivel de ruido en el emisor y f) nivel de ruido en el receptor. Esto se debe a que cualquier modificación en el valor de alguna de estas variables provoque un cambio significativo en el valor de atenuación de ruido.

La RNA creada en MATLAB® se observa en la Figura 13. En la red neuronal se visualiza la presencia de cuatro capas, la primera capa de entrada está compuesta por 20 neuronas receptoras estáticas, mientras que, en la segunda capa, identificada como oculta, se

encuentran 9 neuronas ocultas, la tercera capa, de notable relevancia, incorpora una neurona dinámica, y finalmente, la capa última presenta una neurona de salida estática.

Figura 13

Diseño de la red neuronal artificial



Nota. Extraído de MATLAB®.

4.4 Entrenamiento de la red neuronal

En el entrenamiento de RNA se manipulo la variable Layer Size considerando que esto facilitó el análisis de tendencias y la generación de escenarios futuros. Para iniciar el entrenamiento de la red, se realizan varias pruebas a la red neuronal con la finalidad de

obtener los resultados que sean mejores. La configuración que produjo los mejores resultados fue aquella en la que se ajustó en el Layer Size (tamaño de capa) de 9 ubicadas en la capa oculta, para iniciar el entreno se debe presionar TRAIN (entrenar) en el software, de manera inmediata este arroja que el Stopped value (valor de para) fue de 10, como se ilustra en la Figura 14. Además, el tiempo que se toma la red en generar los resultados es de 0 segundos, debido a que no se demora en aprender.

Figura 14

Entrenamiento de la RNA

Training Progress			
Unit	Initial Value	Stopped Value	Target Value
Epoch	0	10	1000
Elapsed Time	-	00:00:00	-
Performance	39.8	4.76e-19	0
Gradient	95.5	1.51e-08	1e-07
Mu	0.001	1e-11	1e+10
Validation Checks	0	2	6

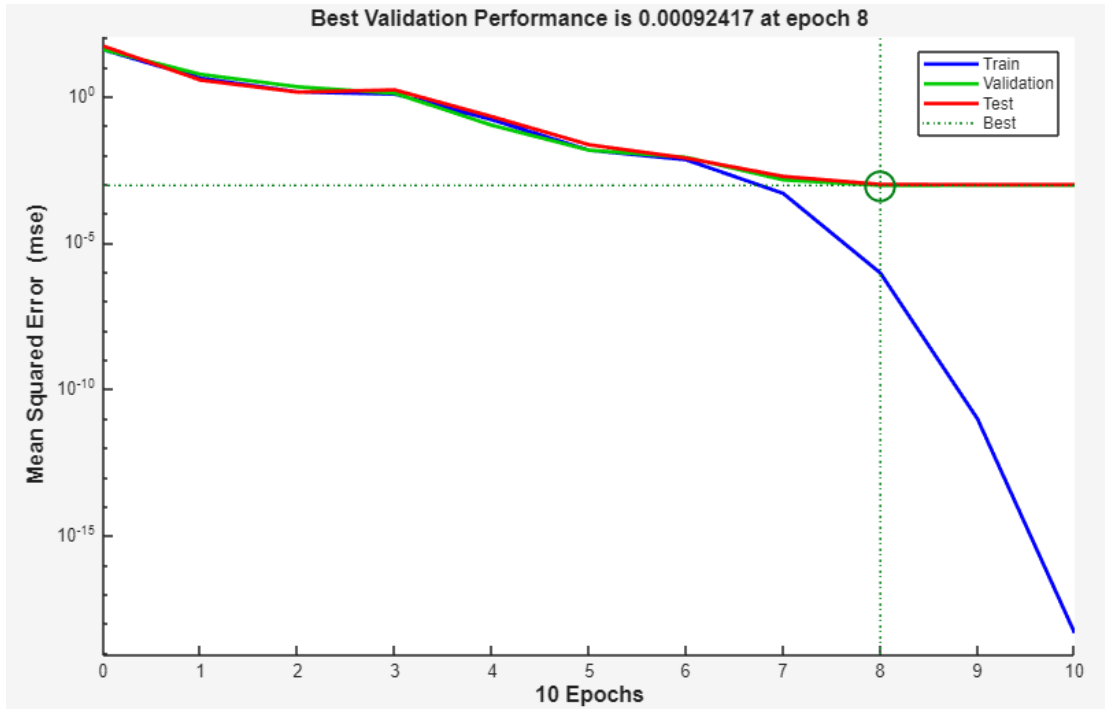
Nota. Extraído de MATLAB®.

El progreso del entrenamiento de la RNA proporciona información sobre las épocas, que representan las vueltas que hizo el algoritmo de retro propagación para entrenar la red, de tal manera se muestra cuántas veces se presentan datos a la red neuronal.

Para explicar el rendimiento de la RNA durante el entrenamiento (ver Figura 15) se aplica (performance) presentando cada uno de los conjuntos de entrenamiento, validación y prueba, mediante un gráfico que muestra los valores de error del registro de entrenamiento en base al número de épocas de entrenamiento. En términos generales presenta el rendimiento de la RNA en función al error medio cuadrado (MSE), es decir el error tiende a disminuir después de más épocas de entrenamiento, pero podría comenzar a aumentar en el conjunto de datos de validación a medida que la red empieza a sobre ajustarse a los datos de entrenamiento. En la configuración predeterminada, el entrenamiento se detiene después de seis aumentos consecutivos en el error de validación, y se selecciona el mejor rendimiento de la época con el error de validación más bajo. Se determina que para este caso el MSE más aceptable fue en la iteración 8 con un valor de 0,00092417, debido a es el error de validación bajo.

Figura 15

Gráfico del rendimiento de entrenamiento

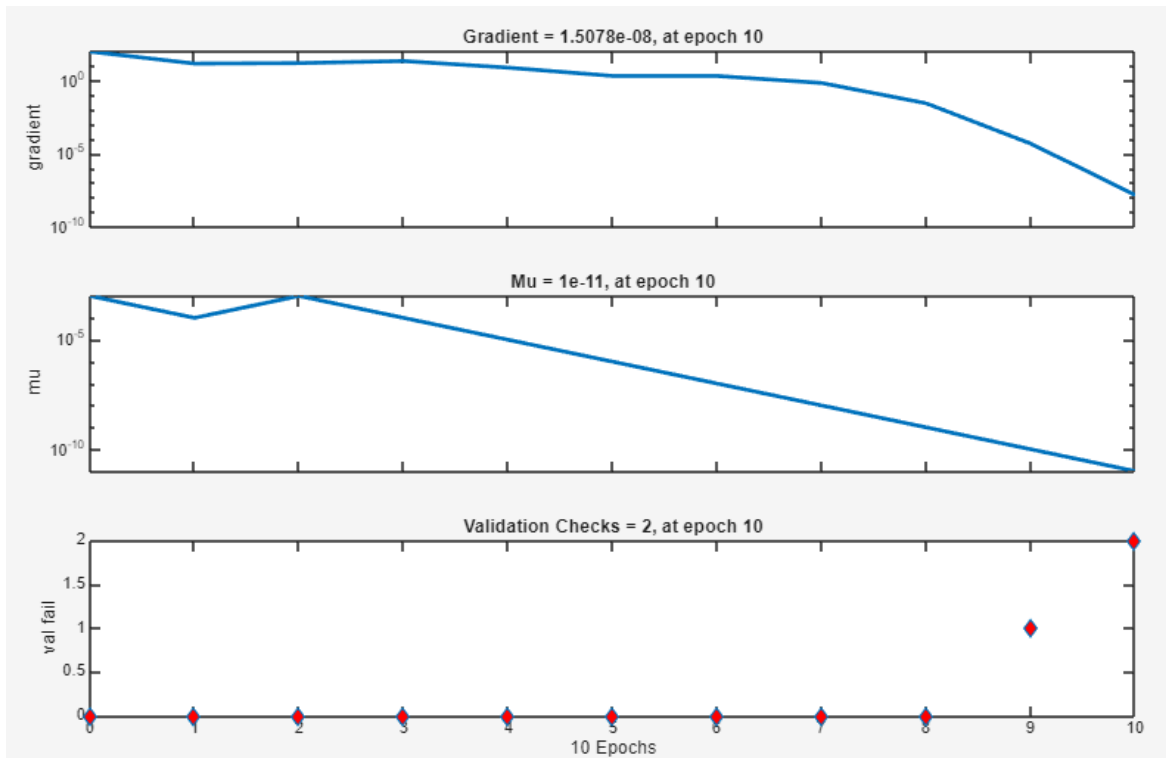


Nota. Extraído de MATLAB®.

La representación del estado de entrenamiento (Ver Figura 16) según un registro de entrenamiento, genera algunas estadísticas de entreno en las cuales se puede observar el descenso de gradiente en el cual el error de la red va disminuyendo, teniendo su tendencia a 0. El gradiente representa el valor de la propagación hacia atrás en cada iteración en una escala logarítmica, teniendo en cuenta que debe resultar ser lo más reducido posible, para este caso la gradiente tiene un valor de $1,5078e-08$ lo que indica que se alcanzado el mínimo de la función objetivo. La validación falla cuando el número de iteraciones incrementa el valor del MSE. Un elevado número de fallos indica sobre entrenamiento, pero para esta situación no es una problemática ya que el software MATLAB® detiene automáticamente el entrenamiento después de seis fallos consecutivos. El Mu representa el remanente del gradiente, es decir que actúa como un parámetro de control del algoritmo anteriormente mencionado, adquiriendo un valor de $1e-11$. La validation check muestra cuantas iteraciones seguidas lleva degradándose el valor el MSE, indicando que se validó con dos pasadas de las 6 que realizó la red neuronal para que aprendiera.

Figura 16

Gráfico del estado de entrenamiento de la RNA-RP

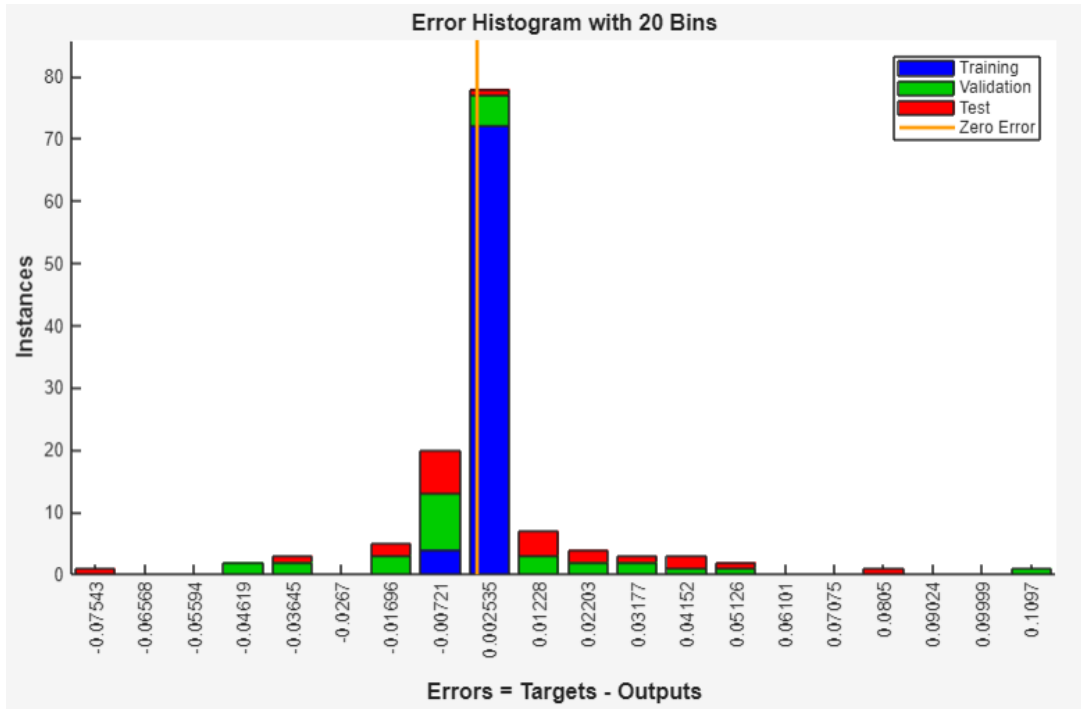


Nota. Extraído de MATLAB®.

La figura 17 muestra el histograma del error generado durante las fases de entrenamiento, validación y prueba de la RNA-RP, las cuales están establecidas con 20 rectángulos (Bins) de cada una de las etapas anteriormente mencionadas. En la gráfica se puede visualizar que los errores muestran una distribución normal, encontrándose la mayoría cerca de cero.

Figura 17

Histograma de error de la RNA-RP

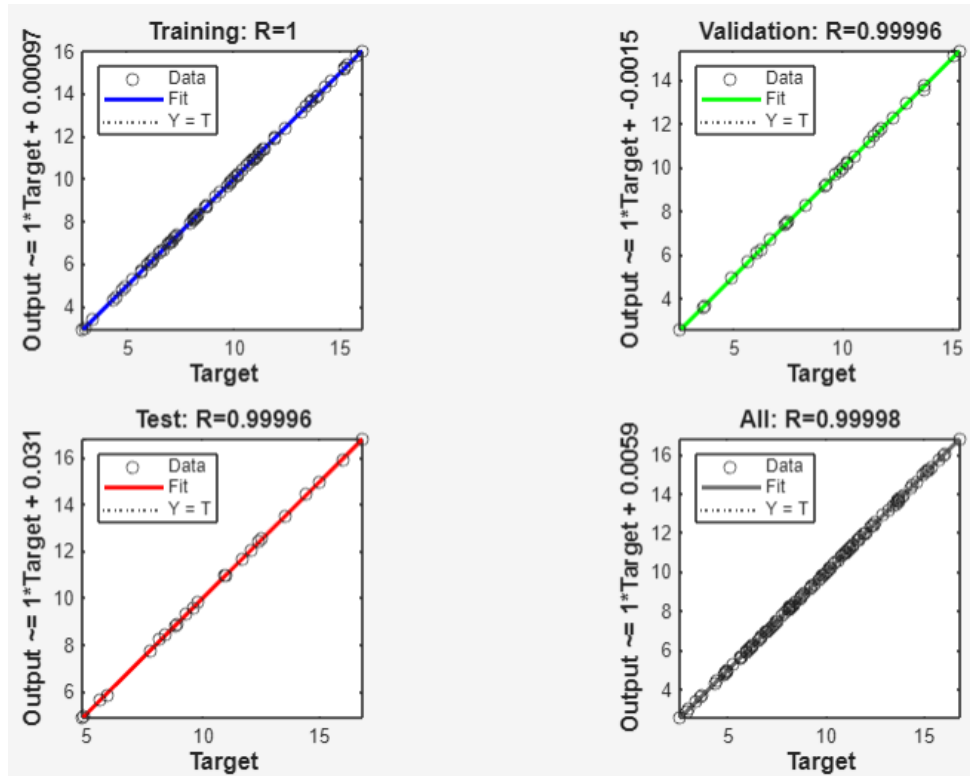


Nota. Extraído de MATLAB®.

Para validar la red se generan gráficos de regresión que permitan observar la relación entre las salidas de la red y los objetivos (ver Figura 18). Estas graficas muestran la correlación que existe entre los datos introducidos y los proporcionados por la red, cuanto más cerca se este de la línea recta mejores serán los resultados. En la ilustración presentada se visualizan cuatro gráficas de regresión, tres para cada una de las fases mencionadas en el histograma y la última para todas las fases en conjunto. La línea discontinua en cada gráfico indica el resultado ideal: salidas = objetivos. Por el contrario, la línea continua representa la mejor recta de regresión lineal que se ajusta entre las salidas y los objetivos.

Figura 18

Diagrama de regresión del entrenamiento de la RNA-RP



Nota. Extraído de MATLAB®.

Los valores de R obtenidos en este caso se determinan en la Tabla 7. Se puede determinar que se tiene una tendencia lineal exacta para la fase de entrenamiento, y para las fases de validación, prueba y conjunto de fases una relación lineal casi perfecta ya que el valor de R tiende a acercarse a 1. De forma general se establece que se tiene una correlación positiva en cada una de las etapas de la RNA-RP.

Tabla 7

Coefficientes de correlación de las fases de la RNA-RP

Fase	R
Entrenamiento	1
Validación	0,99996
Test (prueba)	0,99996
Conjunto de fases	0,99998

Nota. Extraído de MATLAB®

Considerando que, de las ciento treinta pruebas de ruido atenuado, el 58% se ha destinado al entrenamiento (76 datos), el 24% a la validación (31 datos) y finalmente el 18% al test (23 datos). En la Figura 19 se observan los errores cuadráticos medios (MSE) de cada una de las fases de la red, considerando que estos errores resultan ser iguales a 1.

Figura 19

MSE obtenido de la RNA

	Observations	MSE	R
Training	76	0.0000	1.0000
Validation	31	0.0009	1.0000
Test	23	0.0010	1.0000

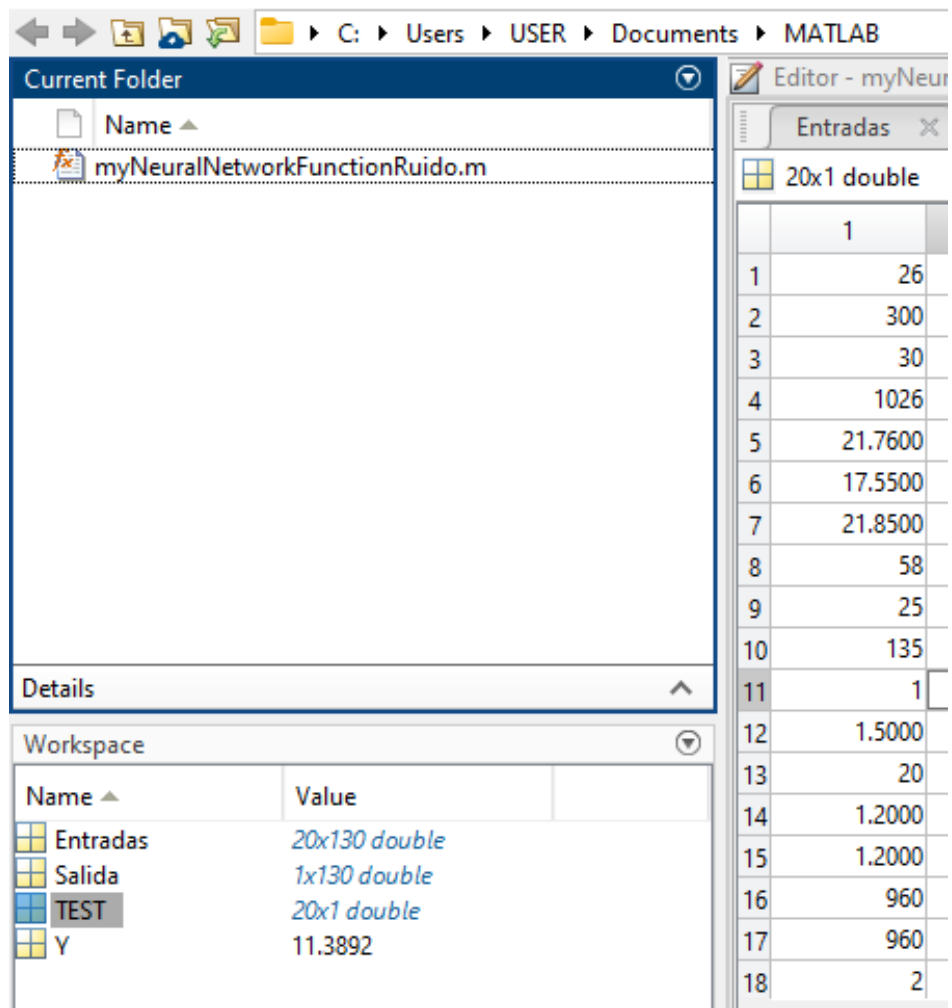
Nota. Extraído de MATLAB®

Se establece que, para culminar el entrenamiento de la RNA, el software de MATLAB® permite generar un script en el que se almacena la función o lenguaje de programación que contiene los pesos de las neuronas y la simulación de las capas, para el correcto funcionamiento al momento de ejecutar la red neuronal.

Se exportan los datos de la red entrenada creando el script *myNeuralNetworkFunctionRuido* (ver Anexo 17). Posteriormente en el Workspace se crea una nueva variable denominada *Test*, para ingresar los datos recopilados en campo, (ver Figura 20) para este estudio se ejecutaron 130 pruebas aplicando el método convencional.

Figura 20

Ingreso de datos para pruebas de la RNA-RP

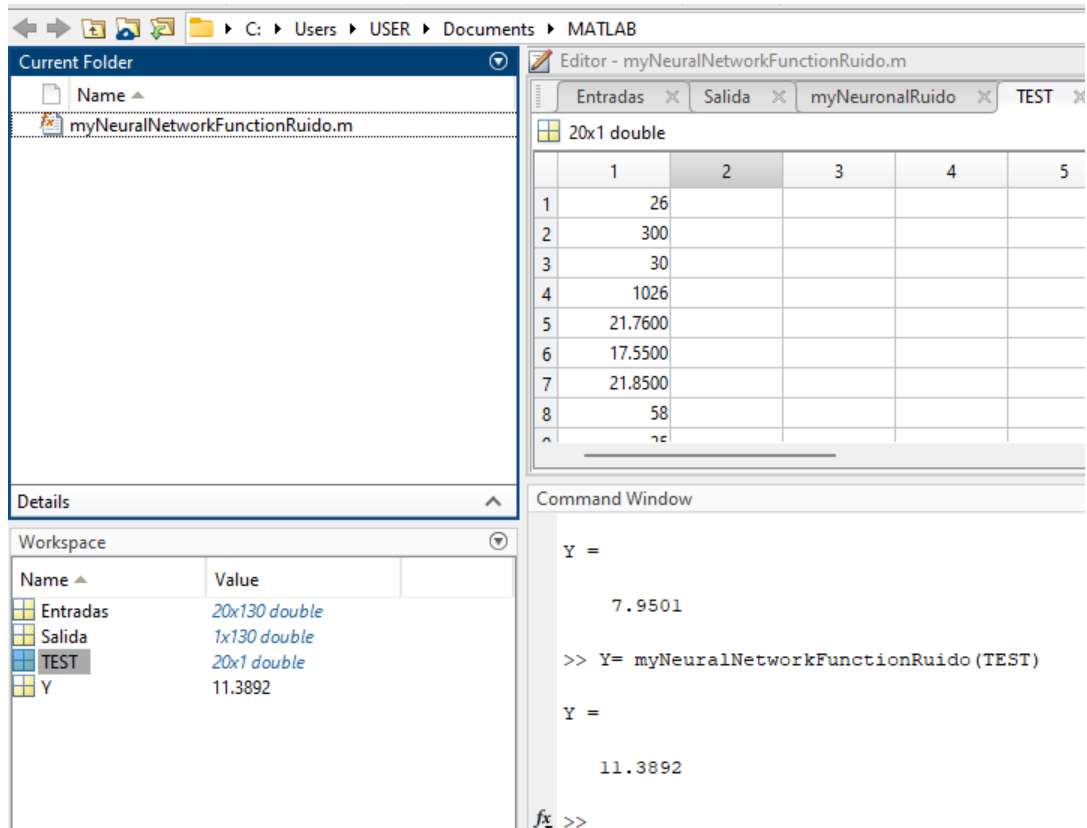


Nota. Extraído de MATLAB®.

Finalmente se utiliza la programación de *myNeuralNetworkFunctionRuido* para realizar las pruebas en cada caso, permitiendo estimar el nivel de atenuación de ruido aéreo requerido en esta investigación, considerando que “Y” es el valor de salida (Ver Figura 21).

Figura 21

Programación de la función myNeuralNetworkFunctionRuido



Nota. Extraído de MATLAB®.

4.5 Pronóstico de la red neuronal en la estimación de ruido atenuado

En la Tabla 8 se muestran los resultados de cada prueba de estimación del nivel de ruido atenuado con paredes, en la segunda columna se encuentran los valores obtenidos aplicando el método tradicional, en la tercera columna los valores estimados por la RNA y la última columna hace referencia al porcentaje de error relativo conseguido entre la diferencia del valor real y el valor estimado sobre el valor real por el 100%.

Se determina que el porcentaje de error obtenido es menor o igual al 1,17% en las 130 pruebas ejecutadas, determinando que la RNA estima de manera correcta los datos analizados.

Tabla 8

Recopilación de los resultados obtenidos aplicando el método tradicional y MATLAB®

N°	Valor real del nivel de ruido atenuado (dB)	Valor estimado del nivel de ruido atenuado (dB)	% error
1	7,75	7,76	-0,13
2	3,39	3,39	0,00
3	4,91	4,91	0,00
4	13,55	13,50	0,37
5	11,18	11,17	0,09
6	10,02	9,97	0,50
7	9,82	9,82	0,00
8	9,82	9,81	0,10
9	12,55	12,55	0,00
10	14,61	14,60	0,07
11	13,94	13,93	0,07
12	15,24	15,23	0,07
13	16,84	16,81	0,18
14	11,80	11,83	-0,25
15	10,21	10,19	0,20
16	16,03	15,95	0,50
17	9,86	9,86	0,00
18	15,07	15,11	-0,27
19	10,90	10,89	0,09
20	7,51	7,51	0,00
21	4,92	4,91	0,20
22	6,11	6,10	0,16
23	10,09	10,08	0,10
24	9,31	9,31	0,00
25	11,97	11,96	0,08
26	12,30	12,30	0,00

27	15,20	15,19	0,07
28	15,37	15,35	0,13
29	13,64	13,63	0,07
30	13,18	13,17	0,08
31	2,57	2,54	1,17
32	3,02	3,02	0,00
33	11,43	11,45	-0,17
34	8,83	8,83	0,00
35	8,23	8,22	0,12
36	11,26	11,25	0,09
37	13,42	13,41	0,07
38	15,38	15,37	0,07
39	5,93	5,87	1,01
40	9,24	9,20	0,43
41	10,22	10,22	0,00
42	13,72	13,76	-0,29
43	8,28	8,27	0,12
44	8,73	8,73	0,00
45	11,03	11,02	0,09
46	8,90	8,90	0,00
47	5,69	5,71	-0,35
48	6,53	6,52	0,15
49	9,86	9,85	0,10
50	11,39	11,38	0,09
51	8,21	8,21	0,00
52	8,76	8,76	0,00
53	10,62	10,62	0,00
54	13,86	13,86	0,00
55	10,23	10,21	0,20
56	7,95	7,95	0,00
57	8,67	8,66	0,12
58	13,69	13,68	0,07

59	14,98	14,98	0,00
60	15,78	15,77	0,06
61	16,05	16,04	0,06
62	9,70	9,71	-0,10
63	10,52	10,53	-0,10
64	12,41	12,40	0,08
65	10,79	10,79	0,00
66	11,70	11,68	0,17
67	12,94	12,94	0,00
68	14,33	14,32	0,07
69	9,70	9,69	0,10
70	10,42	10,41	0,10
71	11,08	11,07	0,09
72	11,94	11,93	0,08
73	9,93	9,92	0,10
74	10,19	10,18	0,10
75	12,08	12,04	0,33
76	13,71	13,59	0,88
77	6,96	6,95	0,14
78	8,44	8,46	-0,24
79	9,39	9,38	0,11
80	11,43	11,42	0,09
81	10,99	10,97	0,18
82	10,95	10,94	0,09
83	10,20	10,19	0,10
84	7,00	6,99	0,14
85	8,08	8,07	0,12
86	7,28	7,27	0,14
87	5,97	5,96	0,17
88	4,92	4,91	0,20
89	3,69	3,69	0,00
90	8,35	8,34	0,12

91	12,11	12,10	0,08
92	7,04	7,03	0,14
93	8,13	8,12	0,12
94	10,44	10,44	0,00
95	7,37	7,36	0,14
96	5,67	5,67	0,00
97	8,16	8,24	-0,98
98	4,93	4,93	0,00
99	7,94	7,93	0,13
100	4,47	4,47	0,00
101	5,63	5,63	0,00
102	7,21	7,20	0,14
103	8,16	8,15	0,12
104	6,60	6,60	0,00
105	2,89	2,89	0,00
106	4,35	4,35	0,00
107	9,64	9,60	0,41
108	10,97	10,95	0,18
109	7,12	7,11	0,14
110	9,17	9,16	0,11
111	7,06	7,05	0,14
112	5,71	5,70	0,18
113	4,95	4,98	-0,61
114	6,25	6,25	0,00
115	7,37	7,37	0,00
116	6,15	6,14	0,16
117	11,24	11,21	0,27
118	12,43	12,41	0,16
119	3,60	3,60	0,00
120	4,79	4,79	0,00
121	6,26	6,21	0,80
122	5,27	5,26	0,19

123	6,07	6,07	0,00
124	7,46	7,45	0,13
125	6,69	6,68	0,15
126	4,88	4,86	0,41
127	4,95	4,95	0,00
128	9,19	9,18	0,11
129	6,68	6,71	-0,45
130	11,64	11,64	0,00

Elaborado por: Autor

4.6 Análisis estadístico

Para calcular la eficacia del modelo de red neuronal como método de estimación del ruido aéreo atenuado con paredes se emplea la Prueba T-student para muestras independientes, utilizando el programa estadístico informático SPSS Statistics 27.

4.6.1 Análisis de la hipótesis

Con el fin de comparar los valores obtenidos aplicando el método tradicional con los valores experimentales obtenidos en la simulación de la RNA. Se empieza creando dos variables para ingresar los valores reales obtenidos por el método tradicional y los valores estimados por la RNA, para adquirir la prueba de normalidad y verificar que los datos provengan de una distribución normal.

Formulación del Problema

¿La aplicación de RNA para estimar el nivel de ruido aéreo en un receptor atenuado con paredes insonorizantes puede ser más eficiente en comparación al método tradicional?

Hipótesis:

La estimación de ruido aéreo en el receptor atenuado con paredes insonorizantes con el uso de RNA permite una eficacia anticipada a problemas de insonorización generando un resultado similar en comparación al método tradicional.

Análisis de datos

En la Tabla 9 se muestran los estadísticos descriptivos que ofrecen una visión clara para comparar los valores obtenidos por cada método analizado, considerando que no existe una diferencia significativa entre medias.

Tabla 9

Datos estadísticos de los tiempos empleados por cada método

			Descriptivos	
			Estadístico	Error estándar
Valor Real	Media		9,3945	,29298
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8,8148	
		Límite superior	9,9741	
	Media recortada al 5%		9,3750	
	Mediana		9,5150	
	Varianza		11,159	
	Desviación estándar		3,34053	
	Mínimo		2,57	
	Máximo		16,84	
	Rango		14,27	
	Rango intercuartil		4,76	
	Asimetría		,120	,212
	Curtosis		-,678	,422
	Valor Estimado	Media		9,3864
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	8,8073	
		Límite superior	9,9655	
Media recortada al 5%		9,3677		
Mediana		9,4900		
Varianza		11,136		
Desviación estándar		3,33704		
Mínimo		2,54		
Máximo		16,81		

Rango	14,27	
Rango intercuartil	4,76	
Asimetría	,118	,212
Curtosis	-,679	,422

Elaborado por: Autor

Prueba de normalidad:

H_i = Los datos no provienen de una distribución normal.

H_0 = Los datos provienen de una distribución normal.

En la Tabla 10 se visualiza la prueba de normalidad, en base a estos datos se puede establecer que debido a que la muestra es inferior a 50 se debe considerar la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Siendo el **SIG BILATERAL DE 0,200** mayor a 0,05 se acepta H_0 y se rechaza H_i , es decir que los datos provienen de una distribución normal, por lo tanto, son datos homogéneos; en consecuencia, se sugiere emplear estadística paramétrica, como la prueba T-student para muestras independientes.

Tabla 10

Prueba de Normalidad para comparar métodos

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ValorReal	,044	130	,200*	,985	130	,166
ValorEstimado	,044	130	,200*	,985	130	,169

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Elaborado por: Autor

Se procede a realizar una prueba paramétrica de dos muestras independientes, de manera que se debe crear una variable denominada PRUEBA de medida escalar para agrupar

los 260 datos de las pruebas de estimación del nivel de ruido atenuado en una sola columna. Posteriormente se establece otra variable nombrada ValorRuidoAtenuado de medida nominal, considerando que las etiquetas de valor están dadas de la siguiente manera: Valor Real (1); Valor Estimado (2) (ver Anexo 20).

Formulación de hipótesis:

U_1 = Método tradicional

U_2 = Método RNA

$$H_i: U_1 \neq U_2$$

$$H_o: U_1 = U_2$$

Tabla 11

Prueba T-student para muestras independientes

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas				prueba t para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior	Superior
ValorRuido Atenuado	Se asumen varianzas iguales	,000	,988	,020	258	,984	,00808	,41413	- ,80742	,82357

No se asumen varianzas iguales			,02 0	258,0 00	,984	,00808	,41413	- ,8074 2	,82357
---	--	--	----------	-------------	------	--------	--------	-----------------	--------

Elaborado por: Autor

De acuerdo con la Tabla 11 se puede establecer que siendo el **SIG BILATERAL DE 0,258** mayor a 0,05 se acepta H_0 y se rechaza H_i , es decir que las medias son iguales ($U_1 = U_2$) por lo tanto, se acepta la hipótesis (Ver Tabla 12).

Tabla 12

Comparación de las medias de los tiempos por método

Descriptivos	Método tradicional (Valor Real)	Método de RNA (Valor Estimado)
Media	9,3945	9,3864

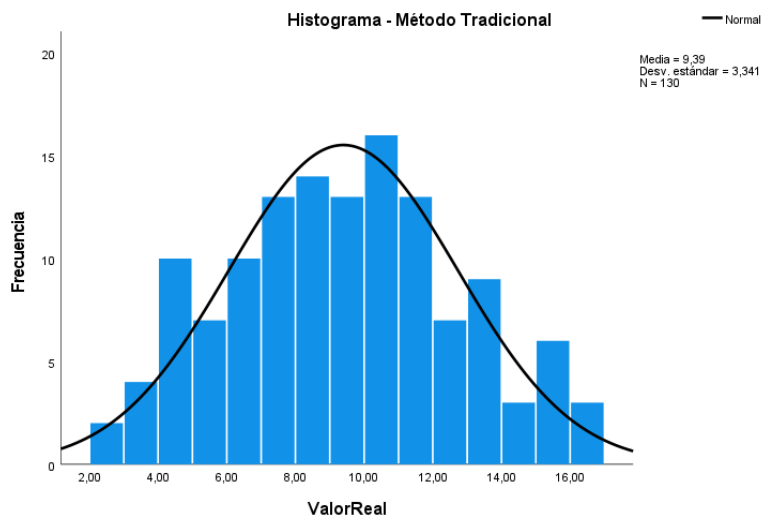
Elaborado por: Autor

Con base en los datos obtenidos, se concluye que no hay una diferencia significativa entre los medios de los métodos analizados. Por lo tanto, se puede afirmar que tanto el método basado en redes neuronales como el método tradicional, que utiliza equipos de medición y la construcción real de la pared, producen resultados similares en el cálculo del ruido aéreo en el receptor atenuado con paredes insonorizantes.

Para un mejor entendimiento se coloca los histogramas de los valores reales del método tradicional (ver Figura 22) y los valores estimados del método de las RNA (ver Figura 23) se puede determinar que los datos presentan una distribución normal. En este contexto, la curva de Gauss indica que la mayoría de los valores se concentran alrededor de la media y la frecuencia disminuye gradualmente hacia los extremos.

Figura 22

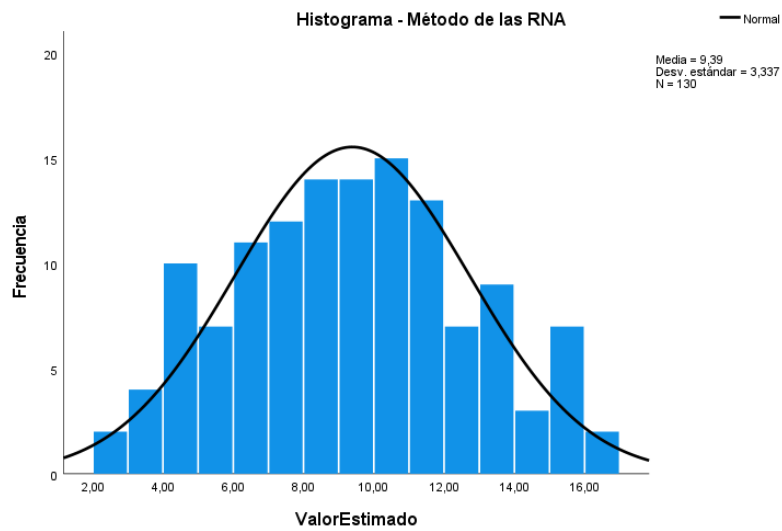
Histograma relacionado a los valores del método tradicional



Fuente: Extraído de SPSS Statistics 27.

Figura 23

Histograma relacionado a los valores del método de la RNA



Fuente: Extraído de SPSS Statistics 27.

Para comparar los valores obtenidos en la estimación de ruido atenuado entre el método tradicional y el método basado en Redes Neuronales Artificiales (RNA), se utilizó un diagrama de cajas y bigotes (ver Figura 24).

Tabla 13

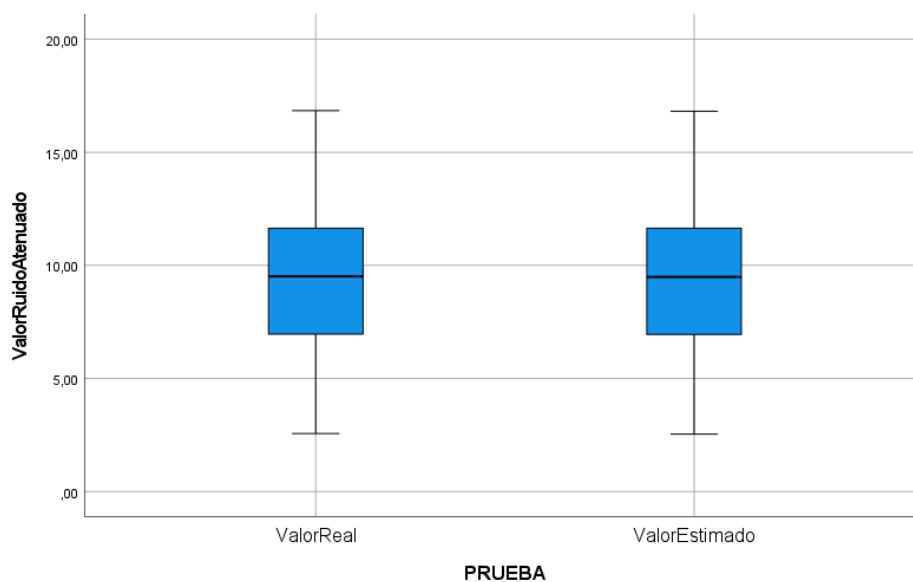
Datos de las frecuencias estadísticas de los métodos utilizados

		Estadísticos	
		Valor Real	Valor Estimado
N	Válido	130	130
	Perdidos	130	130
Mínimo		2,57	2,54
Máximo		16,84	16,81
Percentiles	25	6,8925	6,8900
	50	9,5150	9,4900
	75	11,6550	11,6500

Elaborado por: Autor

Figura 24

Diagrama de cajas y bigotes de los métodos analizados



Fuente: Extraído de SPSS Statistics 27.

Según el gráfico de la Figura 24, se puede establecer que la línea dentro de cada caja representa la mediana de cada grupo, siendo aproximadamente 9.5150 para el método tradicional y 9.49 para las RNA. Los extremos de las cajas, correspondientes al percentil 25 (inferior) y al percentil 75 (superior), muestran que la mitad de los resultados del método tradicional se distribuyen entre 6.8925 y 11.6550, mientras que, para las RNA, la mitad de los resultados se encuentran entre 6,89 y 11,65. A partir de este análisis, se puede concluir que ambos métodos son similares con varianzas poco significativas.

4.7 Tiempo empleado en cada método analizado

En la Tabla 14 se muestra los tiempos requeridos para determinar el nivel de ruido atenuado con paredes aplicando el método tradicional y las RNA. Para visualizar de una manera detallada ver Anexo 1.

Tabla 14

Tiempo empleado por las metodologías analizadas

Tiempo método tradicional	Tiempo RNA
585 horas	3,14 horas

Elaborado por: Autor

4.8 Recursos financieros empleados en cada método analizado

En la Tabla 15 se muestra los recursos financieros necesarios para cada metodología analizada para determinar el nivel de ruido atenuado con paredes. Para ver de manera detallada ver Anexo 2.

Tabla 15

Comparación de recursos financieros empleados

Costos	
Método tradicional	Método RNA
\$ 1098,42	\$ 90,00

Elaborado por: Autor

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Para formar la RNA-RP se determinan 21 características cuantitativas: a) altura de la cámara; b) longitud de la cámara; c) ancho de la cámara; d) presión atmosférica; e) temperatura seca del aire; f) temperatura bulbo húmedo; g) temperatura de globo; h) humedad relativa; i) distancia del emisor; j) distancia del receptor; k) altura del emisor; l) altura del receptor; m) altura de la pared de insonorización; n) espesor de material de pared insonorizada 1; ñ) espesor de material de pared insonorizada 2; o) masa superficial de la pared insonorizada 1; p) masa superficial de pared insonorizada 2; q) distancia entre capas de material de pared; r) nivel de ruido en el emisor; s) nivel de ruido en el receptor y t) nivel de ruido atenuado. Además, se establecieron 3 dimensiones distribuidas de la siguiente manera: a) condiciones de la caja de impedancia, b) condiciones termo higrométricas y c) datos para pruebas de atenuación de ruido.
- El diseño del modelo matemático basado en redes neuronales para estimar el nivel de ruido atenuado en el software MATLAB®, demostró ser una metodología efectiva, la RNA-RP diseñada en este software utilizó el algoritmo backpropagation, el cual determinó una red de 4 capas: a) la primera capa de entrada está compuesta por 20 neuronas receptoras estáticas; b) la segunda capa se encuentran 9 neuronas ocultas; c) la tercera capa dispone de una neurona dinámica y d) la capa final presenta una neurona de salida estática, considerando que se obtuvo un promedio de errores de cálculo de 0,1477% . Esta alternativa logra reducir el tiempo de cálculo en cada prueba realizada, considerando que con esta nueva metodología tarda menos de un minuto en estimar el nivel de ruido atenuado en comparación con los 270 minutos necesarios aplicando el método tradicional.
- La comparación entre los valores estimados utilizando redes neuronales y el método tradicional permitió evaluar la efectividad del enfoque neuronal en relación con los métodos convencionales. Esta comparación se evidencia al realizar la recopilación de datos mediante la prueba T-student para muestras independientes con un nivel de confianza del 95%, obteniendo como resultado un sig bilateral igual a 0,000, es decir que se acepta la hipótesis del investigador. La tasa de fiabilidad alcanza el 99,99% al comparar las respuestas obtenidas de la red neuronal artificial con los valores reales

aplicando el método tradicional, considerando que la teoría de que, si las medias son iguales, no estadísticamente diferentes, es propicio para determinar la eficiencia de que la estimación del nivel de ruido atenuado con paredes mediante el uso de redes neuronales.

- Con la ejecución de las ciento treinta pruebas de atenuación de ruido a través de la metodología tradicional se determinó que esta práctica tiene un costo de \$ 1098,42, considerando los costos de construcción del prototipo, adquisición de la pared de atenuación y alquiler de los equipos. Por el contrario, la metodología de RNA empleó un costo de \$ 90, lo que permite concluir que este método es más eficiente en términos de recursos financieros.

5.2 Recomendaciones

- Se considera que, para mejorar los resultados obtenidos en la experimentación de esta investigación, se aplique la Red Neuronal Artificial con algoritmos más eficientes como es el genético para minimizar el nivel de error.
- Se considera emplear gráficos de dispersión y líneas de tendencia para representar la exactitud de las estimaciones.
- Se recomienda utilizar redes neuronales artificiales (RNA) para estimar el nivel de ruido atenuado por paredes insonorizantes, ya que este enfoque resulta significativamente más eficiente en términos de tiempo y costos. Las RNA permiten realizar las estimaciones en un tiempo de tan solo 3,14 horas y con un costo de \$90,00. En contraste, el método tradicional, que implica el uso de equipos de medición y la construcción física de las paredes, requiere 585 horas de trabajo y un costo de \$1,098.42. Esta diferencia resalta la ventaja de las RNA como una alternativa más económica y rápida, lo que podría representar una solución más viable y rentable para la evaluación acústica en proyectos de insonorización.
- Además, es aconsejable que, para ejecutar la estimación del nivel de ruido atenuado con paredes, aplicando datos para una Red Neuronal Artificial se debe variar las posiciones de la fuente y el receptor.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmadi, S., Nassiri, P., Ghasemi, I., & Esmailpoor, M. R. M. (2015). Sound transmission loss through nanoclay-reinforced polymers. *Iranian polymer journal*, 24, 641-649.
- Alonso, L. B. (2023). Evaluación del riesgo de estrés térmico: Índice WBGT. *España: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), OA, MP.*
- ARAYA, V. E. M. (2009). *Estudio de aplicación de redes neuronales en la evaluación de riesgo crediticio* PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO].
- Arenas Bermúdez, J. P., Alba Fernández, J., del Rey Tormos, R., Ramis Soriano, J., & Suárez Silva, E. (2013). *Materiales absorbentes ecológicos para pantallas acústicas*. Universidad de Alicante.
- Arenas, B. J. P., Alba Fernández, J., del Rey Tormos, R., Ramis Soriano, J., & Suárez Silva, E. (2013). *Materiales absorbentes ecológicos para pantallas acústicas*. Universidad de Alicante.
- Arnay Sarabia, H. (2014). *Estudio de la precisión en la determinación del coeficiente de absorción acústica en tubo de impedancia* ETSIS [Telecomunicacion].
- Asanza, W. R., & Olivo, B. M. (2018). Redes neuronales artificiales aplicadas al reconocimiento de patrones. *Editorial UTMACH*, 1(4), 5.
- Avilés López, R., & PERERA MARTÍN, R. (2017). *Manual de acústica ambiental y arquitectónica*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Barrera, J. T. (2019). Redes Neuronales. *Universidad de Guadalajara Disponible en: http://www.cucei.udg.mx/sites/default/files/pdf/toral_barrera_jamie_areli.pdf [Visitada en octubre de 2016].*
- BARRIA, P. C. C. (2013). *Análisis y Recomendaciones para una Construcción Sustentable En Edificios En General* Universidad Austral de Chile].
- Blanco, P. A. (2016). Algoritmo de retropropagación. *Recuperado de http://www.cs.us.es/~fsancho/ficheros/IAML/2016/Sesion04/seminario_BP.pdf.*
- Bravo-Moncayo, L. A., Lucio-Naranjo, J., & Pavón García, I. (2016). Uso de redes neuronales artificiales en la valoración económica de ruido de tráfico.
- Cahueñas Caro, R. V. (2018). Diseño de una cabina insonorizada para un laboratorio de calibración de equipos de monitoreo de ruido.
- Camacho Isaac, J. A. (2019). *Cálculo del coeficiente de absorción acústica de diversos materiales* Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Empresariales].

- Camargo Muñoz, F. J., & Sandoval Aceves, G. Propuesta de acondicionamiento, aislamiento y refuerzo sonoro del auditorio N° 1 del Centro Cultural “Futurama”.
- Carrillo Miñano, J. (2018). Atenuación del ruido utilizando metodologías de impresión 3D.
- Castillo, J., & Costa, A. (2012). Características físicas de materiales absorbentes sonoros porosos. *Cátedra Fundamentos de Acústica y Electroacústica, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.*
- Castiñeira Ibáñez, S. (2015). *Análisis y modelado de la fenomenología ondulatoria asociada al diseño de barreras acústicas basadas en conjuntos de dispersores aislados. Homologación de dispositivos* Universitat Politècnica de València].
- Conesa, C. A. (2012). Métodos de control de ruido en el ambiente laboral. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.[Online].*
- Córdova-Suárez, M., Tigre-Ortega, F., Carrillo-Ríos, S., Quesada-Revelo, D., & Tapiavasco, L. (2019). Estimación del tiempo de evacuación ante una emergencia en un centro educativo basado en un enfoque de red neuronal. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação(E23)*, 28-39.
- Cortés, F. R. (2012). *Matlab: aplicado a robótica y mecatrónica.* Alpha Editorial.
- Criado Pallares, D. J., & Franco Castillejo, W. (2019). Diseño y construcción de un tubo de impedancia basado en la norma ISO 10534-2: 2001 para la determinación del coeficiente de absorción acústica para materiales aislantes.
- DE, R. D. M. D. P., & DE PAREDES, A. A. MASTER EN INGENIERÍA ACÚSTICA Y VIBRACIONES.
- del Brío, B. M., & Cinca, C. S. (1995). Fundamentos de redes neuronales artificiales: hardware y software. *Scire: representación y organización del conocimiento*, 103-125.
- del Carmen Martínez, M. J. E. d. M. J. M. V., UCV, Caracas, Venezuela. (1995). Efectos del ruido por exposición laboral.
- Del Rey, R., Alba, J., Bertó, L., Hervás, C., & Sanchís, V. (2012). Construcción de un tubo de impedancia para la medida de las pérdidas por transmisión. VIII Congreso Ibero-Americano de Acústica,
- Díaz Saavedra, W. L., & Tarrillo Vallejos, A. (2021). Estimación del Ruido Mediante el Desarrollo de una Red Neuronal Artificial en el Área Urbana de Jaén, Cajamarca.

- Díez, R. P., Gómez, A. G., & de Abajo Martínez, N. (2001). *Introducción a la inteligencia artificial: sistemas expertos, redes neuronales artificiales y computación evolutiva*. Universidad de Oviedo.
- DOMINGUEZ, O. C. (2015). Inteligencia artificial aplicada a determinación de ubicaciones de mercancía en sistema de venta al menudeo.
- Echeverri Londoño, C. A., & González Fernández, A. E. (2011). Protocolo para medir la emisión de ruido generado por fuentes fijas. *Revista ingenierías universidad de Medellín*, 10(18), 51-60.
- Esquerdo Lloret, T. V. (2016). *Desarrollo de modelos de comportamiento acústico y caracterización experimental de materiales elaborados con aligerantes para la construcción. aplicación a sistemas de control de ruido* [Universitat Politècnica de València].
- Fernández, J. A. (2000). *Algoritmos de modelado de particiones multicapa para la predicción de su aislamiento acústico a ruido aéreo*. Universidad Politécnica de Valencia (Spain).
- Freire Chanaluisa, C. Y. (2024). *Gestión de ruido laboral en la empresa talleres Barriga Sanchez "TABSA"* Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas ...].
- Gomes, V. C., Rodrigues, C. C., & de Lisboa, E. (2018). NP EN ISO 9612: 2011- APLICABILIDADE PRÁTICA. FIA 2018 XI Congreso Iberoamericano de Acústica-Tecniacústica: 49º Congreso Español de Acústica y X Congreso Ibérico de Acústica,
- González, A. E. J. S. I. D. h. e. l. p. p., No. 2. (2012). Contaminación sonora y derechos humanos.
- Grajales, T. J. O. l. R. e. (2000). Tipos de investigación. 14, 112-116.
- Holgado Palacios, E. (2014). *Diseño de laboratorio para la evaluación de silenciadores" in situ"* [ETSIS_Telecomunicacion].
- NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos, (1991).
- Isasi Vinuela, P., & Galván León, I. M. (2004). Redes de neuronas artificiales: Un enfoque práctico.

- Isbert, A. C. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos* (Vol. 4). Univ. Politèc. de Catalunya.
- Kogan, P., & Arenas, J. P. (2003). Medición de la Atenuación Producida por una Barrera Acústica Mediante un Modelo a Escala. *Seminario Panamericano Vial Ambiental, U. Austral de Chile*, 22.
- Larranaga, P., Inza, I., & Moujahid, A. J. R. N., U. del P. Vasco. (1997). Tema 8. redes neuronales. *12*, 17.
- López Marín, M. (2017). Diseño de un laboratorio de producción digital.
- López, R. F., & Fernández, J. M. F. (2008). *Las redes neuronales artificiales*. Netbiblo.
- Mamani Cuayla, R., & Quispe Pino, M. (2023). Aplicación de paredes acústicas basadas en residuos orgánicos para la disminución de la contaminación sonora, en Perú: Revisión sistemática 2015-2021.
- Martínez, M. G., García, J. J. J., Ceballos, L. Y., Valencia, A. M., Zapata, M. A. V., & Trespacios, E. M. V. J. R. C. S. P. (2012). Ruido industrial: efectos en la salud de los trabajadores expuestos. *3*(2), 174-183.
- Matich, D. J. J. U. T. N., México. (2001). Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones. *41*, 12-16.
- Matlab, S. (2012). Matlab. *The MathWorks, Natick, MA*, 9.
- Miranda, J. R. C. J. R. c. y. t. (2006). Ruido: Efectos sobre la salud y criterio de su evaluación al interior de recintos. *8*(20), 42-46.
- Montejano, R. (2006). Materiales acústicos. *Recuperado el*, 30.
- Munuera, O. P. J. (2019). Desarrollo e implementación de una metodología de caracterización del comportamiento acústico de silenciadores reactivos y disipativos mediante Ansys Workbench.
- Navas, G., & Santander, N. (2011). Diseño y construcción de un tubo de impedancia, para la evaluación de la absorción sonora de materiales utilizados en la construcción. *SONAC*, 2(1), 55-65.
- Nieto, E. J. U. S. D. d. G. (2018). Tipos de investigación. 2.
- Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, 43 (2024).
- Olabe, X. B. (1998). Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones. *Publicaciones de la Escuela de Ingenieros*.
- Paliwal, M., & Kumar, U. A. (2009). Neural networks and statistical techniques: A review of applications. *Expert systems with applications*, 36(1), 2-17.

- Palomo Masquefa, A. (2014). Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro. *Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Ambiental* (pp. 99).
- Pérez Ramírez, F. O., & Fernández Castaño, H. (2007). Las redes neuronales y la evaluación del riesgo de crédito. *Revista ingenierías universidad de Medellín*, 6(10), 77-91.
- Plata Cheje, R. W. (2008). MatLab & Redes Neuronales. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*, 96.
- Ponce, P. (2010). *Inteligencia artificial: con aplicaciones a la ingeniería*. Alpha Editorial.
- Quintana Martínez, I. (2019). *Medida, análisis y control del ruido industrial* Industriales].
- R.V. María del Pilar, G.U. Beatriz Janeth, , E. M. N. J., & , P. M. E. (2015). El proceso de diseño de una barrera acústica aplicado al sector hospitalario. *Revista Ingeniería Biomédica*, 9.
- RAMOS, S. E. M. (2014). PROPUESTA DE GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL RUIDO Y LA VIBRACIÓN GENERADOS EN TRONADURAS.
- Rastelli, V. H., Rastelli, V., & Montbrun, N. (2017). Control de ruido aéreo de enfriadores a través de paredes dobles para habitación en hotel de cinco estrellas en Caracas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 40(2), 113-122.
- Rebollo, B. P. (2011). Aislamiento a ruido aéreo entre locales. Estimación de la incertidumbre de medida.
- Reyes Reina, K. M., Otero Tobón, M. C., & Soto Serna, D. F. (2016). Correlación entre casos posibles de HNIR y la exposición a altos niveles de presión sonora en una empresa del sector metalmeccánico de Antioquia a marzo del 2016 e intervención del proceso de pulido de bidones metálicos.
- Robledo, F. H. (2014). *Riesgos físicos I: Ruido, vibraciones y presiones anormales*. Ecoe Ediciones.
- Rodriguez-Toro, V. A., Garzón, J. E., & López, J. A. (2011). Control neuronal por modelo inverso de un servosistema usando algoritmos de aprendizaje Levenberg-marquardt y Bayesiano. *arXiv preprint arXiv:1111.4267*.
- Rodríguez Casals, C. J. U. d. Z. (2016). El problema de la contaminación acústica en nuestras ciudades: evaluación de la actitud que presenta la población juvenil de grandes núcleos urbanos: el caso de Zaragoza.
- Romero Fernández, A., & Carrascal García, M. T. (2005). La ley del ruido y sus implicaciones en la edificación.

- Romo-Orozco, J. M. (2014). Evaluación de los costes y beneficios de la implementación del aislamiento acústico en el mercado residencial de nueva planta en Barcelona.
- Rougeron, C. (1977). *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. Reverte.
- Rovira Núñez, A. (2024). *Área de descanso en un aeropuerto internacional tipo hub* [Universitat Politècnica de Catalunya].
- Salas, R. (2004). Redes neuronales artificiales. *Universidad de Valparaíso. Departamento de Computación*, 1(1), 1-7.
- Salas, R. J. U. d. V. D. d. C. (2004). Redes neuronales artificiales. 1(1), 1-7.
- Sánchez Barreno, N. V. (2022). *Estimación de la humedad crítica para el secado de manzanas (Pyrus malus) utilizando redes neuronales artificiales* [Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos ...].
- Sanchidrián, C. D., González, A. P., & de Herrera, A. J. MEDICIONES IN SITU DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO Y DE IMPACTOS ENTRE LOCALES SUPERPUESTOS.
- Sandoval, A. M. J. R. d. E., & -, A. E.-I.-I. (2005). Ruido por tráfico urbano: conceptos, medidas descriptivas y valoración económica. 2(1).
- Santellán Naulasaca, W. D. (2018). *Gestión de la información para la difusión de las primicias de la ciudad de Riobamba* [Universidad Nacional de Chimborazo, 2018].
- Sendra, J. (1997). *El problema de las condiciones acústicas en las iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación* (Vol. 5). Universidad de Sevilla.
- Sequeira, M. E., Cortínez, V. H., & Azzurro, A. P. J. M. C. (2019). Caracterización Acústica de Ambientes Urbanos Mediante el Uso de Redes Neuronales. 37(5), 97-105.
- Serna, E. (2018). Desarrollo e innovación en ingeniería. *ANTIOQUIA: INSTITUTO ANTIOQUEÑO DE INVESTIGACION*. Recuperado el, 12.
- Sierra Pastor, J. (2020). *Desarrollo de software para el cálculo de aislamiento acústico a ruido aéreo de particiones* [Universitat Politècnica de València].
- Solarte, K., Sánchez, L., & Ordonez, J. J. R. I. U. (2014). Reducción de Ruido en Imágenes Satelitales usando Métodos Montecarlo Secuencial. 21(2), 35-42.
- Soria, E., Rodríguez, P., García, Q., Vaquer, F., Vicent, J., & Vila, J. (2022). *Inteligencia artificial*. Ra-Ma Editorial.
- Suter, A. H. (2016). La omnipresencia del ruido en el trabajo.
- Taborga Pérez, M., & Benelux, A. Metamaterial 3D para el aislamiento a ruido aéreo.

- Tang, Z. (2014). Un algoritmo de aprendizaje supervisado por múltiples capas de redes neuronales. *Neural Computation*, 1125-1142.
- Varela-Arregoces, E., & Campbells, E. (2011). Redes Neuronales Artificiales: una revisión del estado del arte, aplicaciones y tendencias futuras. *Investigación y Desarrollo en TIC*, 2(1), 18-27.
- Vargas, Y. E. P., Suárez, M. A. C., & Valle, D. A. C. (2022). Estimación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en aguas residuales de las empresas de jeans de la ciudad de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales. *ConcienciaDigital*, 5(3.1), 406-423.
- Veiga, J. M. F. (2020). *Ruido Ruido Ruido: El enemigo invisible. Sobrepassando los límites*. José Manuel Ferro Veiga.
- Vidal, D. F. (2020). *Estudio del Ruido Impulsivo* UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO].

ANEXOS

Anexo 1

Análisis de tiempos de cada metodología

En la Tabla 16 se detalla los tiempos empleados por la metodología tradicional, considerando la construcción del prototipo y pruebas.

Tabla 16

Tiempo empleado por el método tradicional

Actividad	Prueba 1	Prueba 2
	Tiempo (min)	Tiempo (min)
Compra de materiales para prototipo	60	0
Construcción de la caja de impedancia	320	0
Adquisición de las paredes de atenuación	30	0
Insonorización de la caja	50	0
Atenuación de ruido	30	16
Descarga de datos	20	14
Total	510	30
Tiempo promedio diario		270

Elaborado por: Autor

Para determinar el tiempo total que toma aplicar la metodología tradicional en estimación de ruido, se multiplica el tiempo promedio diario por el número de prácticas realizadas.

$$\mathbf{T tiempo total} = \mathbf{T tiempo promedio diario} * \mathbf{número de pruebas}$$

$$\mathbf{T tiempo total} = 270 * 130$$

$$\mathbf{T tiempo total} = \mathbf{585 horas}$$

La Tabla 17 muestra los tiempos para determinar el nivel de ruido atenuado al aplicar la metodología de RNA.

Tabla 17

Tiempo empleado por la RNA

Actividad	Tiempo (min)
Tutoría de RNA	120
Instalación del software MATLAB®	35
Creación de variables de entradas y salida	2
Importar datos	1
Entrenamiento	0,5
Test	30
Total	188,5 = 3,14 horas

Elaborado por: Autor**Anexo 2****Costos empleados por cada metodología analizada en el estudio**

El método tradicional exige una inversión de recursos: a) materiales, b) económicos y c) humanos. Ver Tabla 18.

Tabla 18

Recursos financieros empleados por el método tradicional

Descripción	Costo (USD)
Madera melaminica	\$ 40,91
Material Insonorizantes (corcho)	\$ 30,00
Pared de atenuación (yeso)	\$ 11,50
Accesorios de montaje	\$ 16,01
Alquiler de equipos de medición*	\$ 1000
Total	\$ 1098,42

Nota. * Los equipos utilizados son: medidor WBGT y un dosímetro de ruido. La medición se realizó utilizando normas ISO en ambos casos.

La Tabla 19 hace referencia a los recursos financieros empleados en el método de las RNA.

Tabla 19

Recursos financieros empleados por el método de las RNA

Descripción	Costo (USD)
Adquisición e instalación del software MATLAB®	\$ 30,00
Tutoría de la RNA	\$ 60,00
Total	\$ 90,00

Elaborado por: Autor

Anexo 3

Construcción del prototipo



Anexo 4

Insonorización de la caja de impedancia



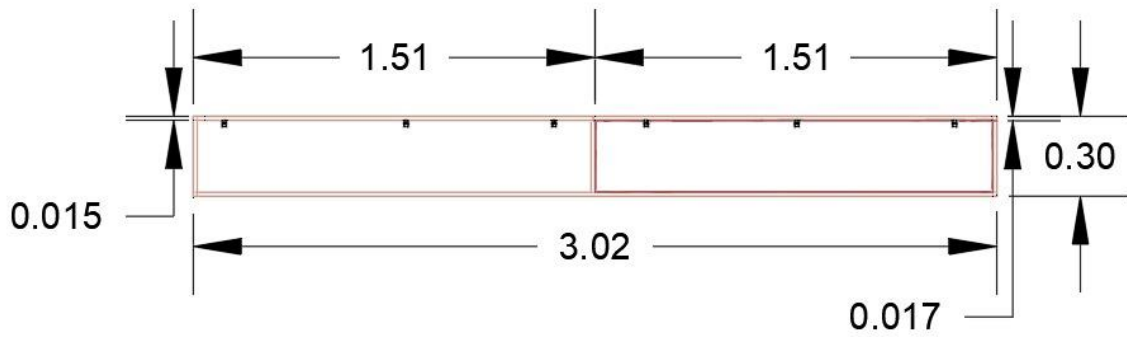
Anexo 5

Colocación de las paredes de atenuación (placas de yeso)



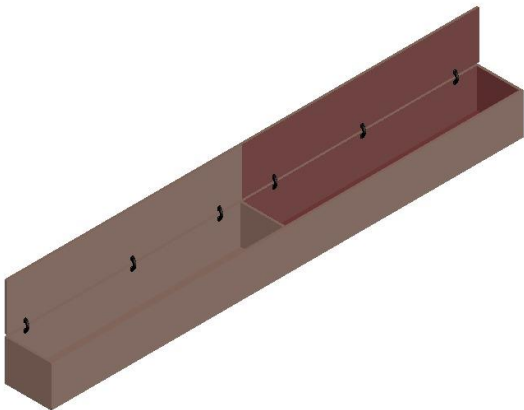
Anexo 6

Plano con cotas de la caja de impedancia



Anexo 7

Diseño de la caja de impedancia



Anexo 8

Medición de las condiciones higrométricas



Anexo 9

Medición del nivel de ruido en el emisor (altavoz)



Anexo 10

Medición del nivel de ruido en el receptor



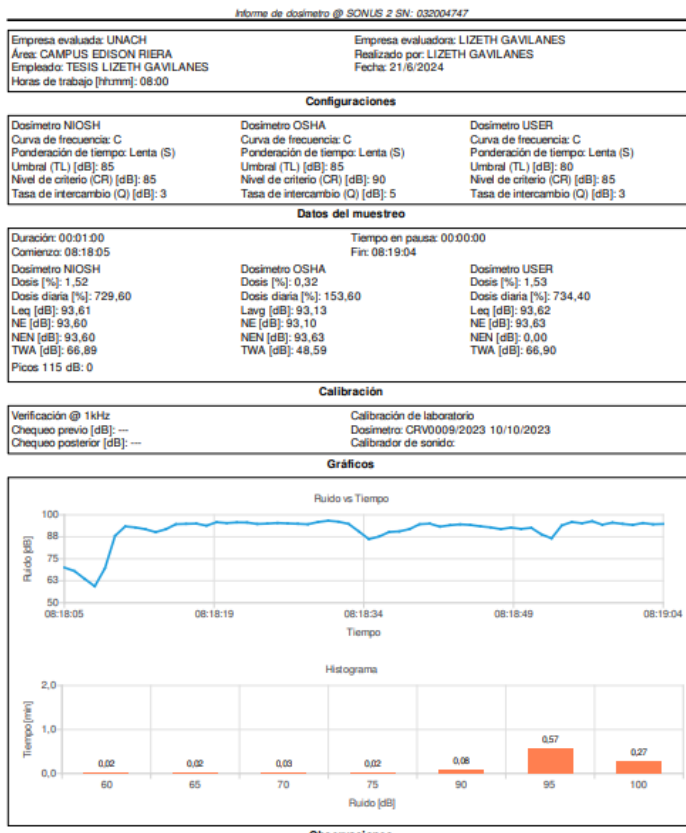
Anexo 11

Descarga y registro de los datos obtenidos en la matriz



Anexo 12

Formato de informe generado por el dosímetro para cada prueba



Anexo 13

Dato del nivel de ruido en el emisor descargado en el software



Anexo 14

Dato del nivel de ruido en el receptor descargado en el software

CRIFTER

SONUS 2 - RESULTADOS

Evento: 1	Duración: 00:01:00	Ponderación de tiempo: Lenta (S)	Chequeo previo [dB]: ---
Muestreo: Exp01	Tiempo en pausa: 00:00:00	Ponderación de frecuencia: C	Chequeo posterior [dB]: ---
Fecha: 20/6/2024 10:33	Tiempo de la muestra [s]: 1	Análisis de octavas: 1/1	

Hora	Nivel [dB]
10:33:56	100,43
10:33:57	100,83
10:33:58	99,66
10:33:59	100,39
10:34:00	101,23
10:34:01	100,99
10:34:02	99,22
10:34:03	98,67
10:34:04	97,13
10:34:05	99,32
10:34:06	101,22
10:34:07	104,12
10:34:08	101,58
10:34:09	103,26
10:34:10	101,52
10:34:11	98,96
10:34:12	95,77
10:34:13	95,98
10:34:14	98,62
10:34:15	99,96
10:34:16	98,26
10:34:17	101,64
10:34:18	99,59

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
NPS [dB(A)]:	81,05	88,47	86,28	85,04	80,71	68,11	64,24
Atenuación [dB]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desviación [dB]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPSp [dB(A)]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

NPS Total [dB(A)]: **92,31**

NPSp Total [dB(A)]: **0,00**

Tipos: ANSI S12.6 (Method-B); NBR 16076; ISO/TS 4869-5

ANSI 12.6 (Method-A); ANSI S3.19; ISO 4869-1

Tipos:

Recalcular

Horas de trabajo [hh:mm]

08:00

Anexo 15

Matriz de recopilación de datos

Parametro	Unidad	Variables de entrada	Código	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Condiciones de la caja de impedancia	Centímetros	Altura de la cámara	A	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Centímetros	Longitud de la cámara	B	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	Centímetros	Ancho de la cámara	C	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Condiciones higrométricas	hPa	Presión atmosférica	D	1032	1019	1020	1026	1025	2016	1028	1025	1025	1029	1023	1025	1030	1032	1019	1020	1020	1025	1028	1025	1026	1028	1031	1031	1031
	°C	Temperatura seca del aire	E	21,7	22,56	19,5	21,7	18,5	22,6	22,01	22,12	22,5	21,9	16,5	16,7	16,15	16,6	20,1	19,7	19,96	20,1	20,7	21,4	21,5	21,5	17,4	17,6	17,9
	°C	Temperatura de bulbo húmedo	F	16,2	16,3	14,5	16,03	14,01	17,45	17,14	17,09	17,8	17,01	14,3	14,7	14,65	14,75	16,85	16,68	16,14	16,84	16,05	16,3	16,4	16,4	14,6	14,91	14,0
	°C	Temperatura de globo	G	21,8	22,6	19,7	21,8	18,6	22,8	22,3	22,36	22,7	22	16,78	16,9	16,3	16,8	20,3	19,84	20	20,4	20,9	21,5	21,6	21,6	17,5	17,8	17,2
%	Humedad relativa	H	50	57	52	49	51	51	53	55	60	56	47	49	51	53	58	59	60	63	45	51	52	54	58	60	65	
Condiciones de insonorización	Centímetros	Distancia del emisor (Y1)	I	146	15	30	90	60	70	70	70	70	70	120	120	120	20	20	20	100	100	100	100	45	45	45	45	
	Centímetros	Distancia del Receptor (Y2)	J	4	4	6	13	25	13	26	50	90	100	40	70	120	145	8	25	90	130	12	90	90	100	30	50	120
	Centímetros	Altura del Emisor (Y1)	K	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	15	15	15	15	0	0	0	0	3	3	3	3	0	0	
	Centímetros	Altura del receptor (Y2)	L	0	0	0	0,5	2	1	1	0	1	0	15	15	15	1	1	1	0	2	0	15	2	1	0,5	1	2
Datos para pruebas de atenuación de ruido	Centímetros	Altura de la pared de insonorización (Y3)	M	25	25	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	
	Centímetros	Espesor de material de pared insonorizada 1	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Centímetros	Espesor de material de pared insonorizada 2	O	12	12	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	
	kg/m2	Masa superficial de pared insonorizada 1	P	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	
	kg/m2	Masa superficial de pared insonorizada 2	Q	960	960	960	960	0	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	
	Centímetros	Distancia entre capas de material de pared	R	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	
Salida	dB	Nivel de ruido en la fuente (Leq1)	R1	100.06	95.61	99.69	102.61	102.52	102.35	102.35	102.35	104.32	104.32	104.32	104.32	104.32	105.35	105.35	105.35	105.35	104.45	104.45	104.45	104.45	106.67	106.67		
	dB	Nivel de ruido en el receptor (Leq2)	S	92.31	92.22	94.78	90.06	92.34	92.33	92.53	89.8	87.74	90.38	89.08	87.49	92.52	95.14	89.32	95.49	90.28	93.55	96.94	93.53	98.34	96.58	97.36		
dB	Nivel de ruido atenuado (Leq3)	T	7.75	3.39	4.91	13.55	11.18	10.02	9.82	9.82	12.55	14.61	13.94	15.24	16.84	11.80	10.21	16.03	9.86	15.07	10.90	7.51	4.92	6.11	10.09	9.31		
NIVEL DE ATENUACION ESTIMADO POR LA RED				7.80	3.39	4.90	13.54	11.01	10.01	9.81	9.79	12.55	14.61	13.94	15.24	16.83	11.80	10.20	16.02	9.85	15.07	10.89	7.41	4.91	6.16	10.09	9.31	
ERROR				-0.05	0.00	0.01	0.01	0.17	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.10	0.01	-0.05	0.00	0.00	

Anexo 16

Entrada de las variables a MATLAB®

The screenshot shows the MATLAB interface with the 'Variables - entradas' window open. The window displays a 20x80 double matrix. The first row contains values from 1 to 13, and the second row contains values from 26 to 33. The matrix is filled with numerical data. The workspace on the left shows variables: 'entradas' (20x80 double), 'salida' (1x80 double), 'test' (20x1 double), and 'Y' (13.5498).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
3	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
4	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
5	1032	1019	1020	1026	1025	2016	1028	1025	1025	1029	1023	1025	1025
6	21.7000	22.5600	19.5000	21.7000	18.5000	22.6000	22.0100	22.1200	22.5000	21.9000	16.5000	16.7000	16.15
7	16.2000	16.9000	14.5000	16.0300	14.0100	17.4500	17.1400	17.0900	17.8000	17.0100	14.3000	14.7000	14.65
8	21.8000	22.6000	19.7000	21.8000	18.6000	22.8000	22.3000	22.3500	22.7000	22	16.7800	16.9000	16.30
9	50	57	52	49	51	51	53	55	60	56	47	49	
10	146	15	30	90	60	70	70	70	70	70	120	120	1
11	4	4	6	13	25	13	26	50	80	110	40	70	1
12	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1.5000	1.5000	1.50
13	0	0	0	0.5000	2	1	1	0	1	0	1.5000	1.5000	1.50
14	25	25	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25	25
15	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.2000	1.20
16	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	9
17	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	9
18	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
19	100.0600	95.6100	99.6900	103.6100	103.5200	102.3500	102.3500	102.3500	102.3500	102.3500	104.3200	104.3200	104.32
20	92.3100	92.2200	94.7800	90.0600	92.3400	92.3300	92.5300	92.5300	89.8000	87.7400	90.3800	89.0800	87.48

Anexo 17

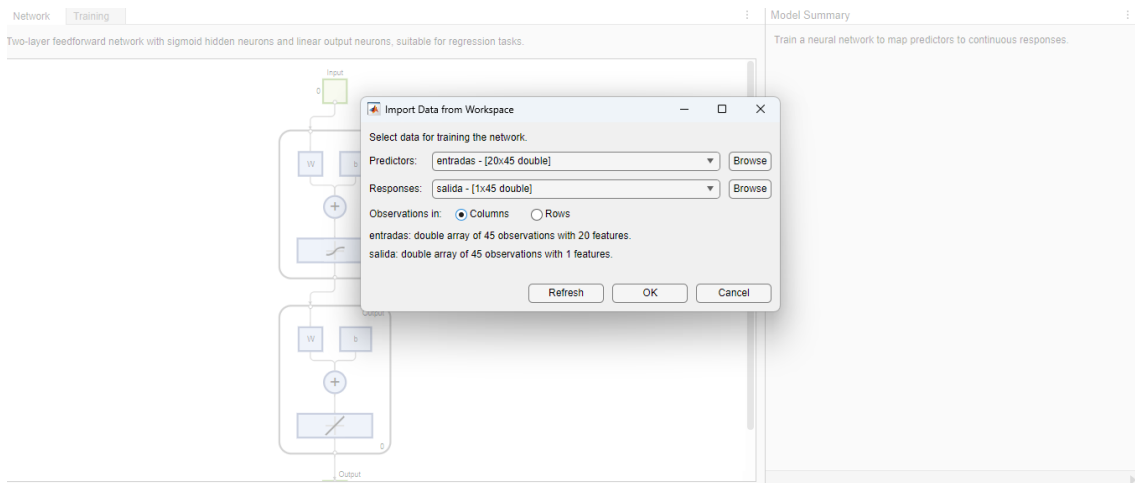
Ingreso de la salida a MATLAB®

The screenshot shows the MATLAB interface with the 'Variables - salida' window open. The window displays a 1x80 double matrix. The first row contains values: 7.7500, 3.3900, 4.9100, 13.5500, 11.1800, 10.0200, 9.8200, 9.8200, 12.5500, 14.6100, 13.9400, 15.2400, 16.84. The workspace on the left shows variables: 'entradas' (20x80 double), 'salida' (1x80 double), 'test' (20x1 double), and 'Y' (13.5498).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	7.7500	3.3900	4.9100	13.5500	11.1800	10.0200	9.8200	9.8200	12.5500	14.6100	13.9400	15.2400	16.84

Anexo 18

Número de entradas y salidas de la RNA-RP creada



Anexo 19

Programación de la RNA-RP en MATLAB®

```
untitled3*  myNeuralNetworkFunctionRuido.m  +
1  function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,~,~)
2  %MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
3  %
4  % Auto-generated by MATLAB, 10-Nov-2024 12:03:07.
5  %
6  % [Y] = myNeuralNetworkFunction(X,~,~) takes these arguments:
7  %
8  % X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
9  % Each X{1,ts} = 20xQ matrix, input #1 at timestep ts.
10 %
11 % and returns:
12 % Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
13 % Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
14 %
15 % where Q is number of samples (or series) and TS is the number of timesteps.
16
17 %#ok<*RPMT0>
18
19 % ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====
20
21 % Input 1
22 x1_step1.keep = [4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20];
23 x1_step2.xoffset = [1016;16.15;14.01;16.3;45;5;4;0;0;17;0;0;0;94.25;87.48];
24 x1_step2.gain = [0.117647058823529;0.228571428571429;0.303490136570561;0.23094688221709;0.0666666666666667;0.013986013986014];
25 x1_step2.ymin = -1;
26
```

Anexo 20

VARIABLES PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

	ValorReal	ValorEstimado	PRUEBA	ValorRuido	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	7,75	7,76	1,00	7,75												
2	3,39	3,39	1,00	3,39												
3	4,91	4,91	1,00	4,91												
4	13,55	13,50	1,00	13,55												
5	11,18	11,17	1,00	11,18												
6	10,02	9,97	1,00	10,02												
7	9,82	9,82	1,00	9,82												
8	9,82	9,81	1,00	9,82												
9	12,55	12,55	1,00	12,55												
10	14,61	14,60	1,00	14,61												
11	13,94	13,93	1,00	13,94												
12	15,24	15,23	1,00	15,24												
13	16,84	16,81	1,00	16,84												
14	11,80	11,83	1,00	11,80												
15	10,21	10,19	1,00	10,21												
16	16,03	15,95	1,00	16,03												
17	9,86	9,86	1,00	9,86												
18	15,07	15,11	1,00	15,07												
19	10,90	10,89	1,00	10,90												
20	7,51	7,51	1,00	7,51												
21	4,92	4,91	1,00	4,92												

Anexo 21

PRUEBA T PARA UNA MUESTRA

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
P_ERROR	80	,1539	,27778	,03106

Prueba para una muestra
Valor de prueba = 5

	t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				Inferior	Superior
P_ERROR	-156,039	79	<,001	-4,84612	-4,9079

Tamaños de efecto de una muestra

P_ERROR	Standardizar ^a	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95%	
			Inferior	Superior
d de Cohen	,27778	-17,446	-20,166	-14,720
corrección de Hedges	,28046	-17,279	-19,974	-14,579

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto. La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra. La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra, más un factor de corrección.