UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

Evaluación de los niveles de ruido con y sin jardines verticales en un entorno controlado en el laboratorio de operaciones unitarias

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Industrial

Autor:
España Bastidas, Kevin Joan
Moyano Fuentes, Kevin Ariel

Tutor:
Ing. Mario Vicente Cabrera Vallejo, PhD.

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Kevin Joan España Bastidas con cedula de ciudadanía **2200152987** y Kevin Ariel Moyano Fuentes, con cédula de ciudadanía **0604893065**, autores del trabajo de investigación titulado: Evaluación de los niveles de ruido con y sin jardines verticales en un entorno controlado en el laboratorio de operaciones unitarias, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos 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 (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, **29 de mayo de 2025**

Kevin Joan España Bastidas
C.I: 2200152987

Kevin Ariel Moyano Fuentes
C.I: 0604893065

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Mario Vicente Cabrera Vallejo, PhD; catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Evaluación de los niveles de ruido con y sin jardines verticales en un entorno controlado en el laboratorio de operaciones unitarias, bajo la autoría de Kevin Joan España Bastidas y Kevin Ariel Moyano Fuentes; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 29 días del mes de mayo de 2025.

Ing. Mario Vicente Cabrera Vallejo, PhD.

C.I: 0602127052

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO CON Y SIN JARDINES VERTICALES EN UN ENTORNO CONTROLADO EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**, presentado por Kevin Joan España Bastidas, con cédula de identidad número 2200152987 y Kevin Ariel Moyano Fuentes con cédula de identidad número 0604893065, bajo la tutoría de Ing. Mario Vicente Cabrera Vallejo, PhD; 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 sus autores; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 29 de mayo de 2025.

Ing. Fidel Ernesto Vallejo Gallardo, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Manolo Alexander Córdova Suárez, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Fabián Fernando Silva Frey, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

CERTIFICACIÓN

Que, **KEVIN JOAN ESPAÑA BASTIDAS** con CC: **2200152987** y **KEVIN ARIEL MOYANO FUENTES** con CC: **0604893065**, estudiantes de la Carrera de **INGENIERIA INDUSTRIAL**, Facultad de **INGENIERIA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO CON Y SIN JARDINES VERTICALES EN UN ENTORNO CONTROLADO EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**", cumple con el **5 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO MAGISTER**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 19 de mayo de 2025

Ing. Mario Vicente Cabrera Vallejo, PhD.
TUTOR

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi refugio y fortaleza en cada paso que he venido dando. Tu presencia en mi vida me ha dado valentía y certeza en cada decisión que he tomado.

A mis padres, Rocío Bastidas y Edgar España, quienes con su amor infinito y paciencia han sido mi fuente de apoyo y dueños de cada uno de mis triunfos. Personas ejemplares que con su esfuerzo, sacrificio y dedicación me han enseñado a valorar el trabajo honesto y constante. Gracias, padres, por sus sabios consejos y por ser ese pilar inquebrantable en mi vida. Sus palabras de aliento, ejemplo de disciplina y fortaleza me han inspirado a dar siempre lo mejor de mí, a no rendirme y a enfrentar cada desafío con valentía.

Kevin Joan España Bastidas

A Dios, por haberme dado la fuerza, la sabiduría y la perseverancia para continuar incluso cuando el camino se volvió difícil. Por abrir puertas, iluminar mi mente y sostenerme en los momentos de duda y cansancio.

A mi madre, Marcia Fuentes, cuyo amor incondicional, sacrificio y ejemplo de lucha me han guiado y fortalecido en cada etapa de mi vida. A mi hermana, Karen, por ser mi apoyo constante, mi amiga y mi compañera incondicional, siempre dispuesta a ofrecerme una palabra de aliento o una sonrisa en el momento justo.

A ellas, que han sido mi refugio, mi impulso y mi mayor inspiración, les dedico con todo mi corazón este logro, que también es suyo.

Kevin Ariel Moyano Fuentes

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la sabiduría, la paciencia y la perseverancia necesarias para superar cada obstáculo. Su amor incondicional me ha sostenido en los momentos más difíciles y me ha iluminado cuando el camino parecía incierto.

A mi madre, por enseñarme que nada es imposible, sin importar cuán complejo parezca, y que nunca es tarde para empezar de nuevo. Mujer virtuosa y sabia, que con esfuerzo, amor y ejemplo me ha formado con valores y perseverancia. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Todo lo que soy y he logrado, te lo debo a ti.

A mi padre, un hombre trabajador e incansable, que siempre ha estado dispuesto a apoyarme en cada meta que me he propuesto. Gracias, papá, por tu respaldo incondicional, por tus consejos siempre oportunos y por motivarme a seguir creciendo. Tu presencia firme ha sido un pilar fundamental en este camino.

Gracias a ambos, mamá y papá, por estar siempre a mi lado, por sus risas que han alegrado mis días, por su apoyo en los momentos difíciles y por recordarme que soy capaz de lograr lo que me proponga. Este logro es también de ustedes.

A la persona que ha estado a mi lado en este camino, Coraima Malucin, mi compañera en esta etapa universitaria y en la vida. Gracias por tu apoyo constante, por tu paciencia en los momentos difíciles, y por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba. Tu presencia ha sido un pilar fundamental durante todo este proceso; tus palabras de aliento, tu comprensión y tu compañía hicieron más llevadero cada desafío. Este logro también es tuyo, porque mucho de lo que he alcanzado ha sido posible gracias a ti.

Kevin Joan España Bastidas

A Dios, por su guía constante, por darme la fuerza en los momentos más difíciles y por recordarme que con fe y perseverancia todo es posible.

Con profundo amor y gratitud, agradezco a mi madre, Marcia, quien ha sido el pilar más firme en mi vida. Su incansable apoyo, su fe inquebrantable en mí y su inmenso corazón me han sostenido en cada paso de este camino. Su fortaleza, valentía, entrega y sabiduría han sido mi mayor ejemplo y mi motor para seguir adelante incluso cuando las fuerzas parecían agotarse. Gracias por enseñarme a no rendirme, a luchar con dignidad y a confiar en mí mismo. Este logro es reflejo de tu amor, tu sacrificio y tu constancia. Sin ti, no sería la persona que soy hoy.

A mi hermana, Karen, por ser luz en los días grises, por tu alegría contagiante y tu compañía fiel. Gracias por estar siempre dispuesta a escuchar, por tus consejos sinceros, por tu cariño que tantas veces me reconfortó, y por tu forma única de levantarme el ánimo cuando más lo necesitaba. Tu apoyo constante y tu presencia han sido fundamentales para mí.

A mis primos y tíos, por sus muestras de cariño, por sus buenos deseos y por estar presentes con su afecto y apoyo incondicional.

A mis amigos, compañeros y docentes, quienes, con su compañía, palabras de aliento y momentos compartidos hicieron de este proceso algo más llevadero. Gracias por su sinceridad, paciencia y amistad verdadera.

A mi persona especial, Allison, gracias por acompañarme en cada etapa de este proceso con amor, paciencia y comprensión. Por estar presente en los momentos buenos y, sobre todo, en los más difíciles. Tu apoyo constante, tus palabras de aliento y tu fe en mí han sido un sostén invaluable que me impulsó a seguir adelante.

A todos ustedes, gracias por ser parte esencial de este logro.

Kevin Ariel Moyano Fuentes

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORIA
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL
CERTIFICADO ANTIPLAGIO
DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
ÍNDICE GENERAL
ÍNDICE DE TABLAS
ÍNDICE DE FIGURAS
RESUMEN
ABSTRACT
CAPÍTULO I. 19
1. Introducción 19
1.1 Situación Problemática 19
1.2 Formulación del problema 21
1.2.1 Problema general 21
1.3 Justificación 21
1.4 Objetivos de la Investigación 23
1.4.1 Objetivo General 23
1.4.2 Objetivo Específicos 23
CAPÍTULO II. 24
2. MARCO TEÓRICO 24
2.1 Jardines Verticales 24
2.1.1 Tipos de jardines verticales según la presencia y tipo de sustrato 25
2.1.2 Tipos de jardines verticales según el diseño y funcionalidad 26

2.1.3 Formas de evolución y componentes de un jardín vertical 28
2.1.4 Jardines verticales como barreras acústicas 30
2.1.5 Evaluación y normativas para la medición de ruido 30
2.1.6 Impacto de los jardines verticales en la reducción del ruido 30
2.1.7 Importancia del cumplimiento normativo 31
2.1.8 Normativa para la evaluación de niveles de ruido permitidos en las industrias 31
2.1.9 Tela de lona impermeable de carpas 31
2.1.10 Tela jean para los bolsillos 32
2.1.11 Helecho caballero 32
2.1.12 Características morfológicas 33
2.1.13 Crecimiento y desarrollo 33
2.1.14 Abono orgánico 33
2.1.15 Reducción de ruido con jardines verticales 34
2.1.16 Motor de 3 velocidades bull 34
2.1.17 Ruido generado 35
2.1.18 Sonómetro para la medición del ruido 35
2.1.19 Tacómetro digital 36
2.1.20 Tipos de tacómetros digitales 36
2.1.21 Aplicaciones 36
2.1.22 Consideraciones 37
2.1.23 Otros beneficios de los jardines verticales 37
2.2 Antecedentes de Investigación 37
2.3 Marco Legal (Conceptual) 38
2.3.1 Requisitos de los equipos de medición 38

2.3.2 Ubicación del sonómetro 38
2.3.3 Medida para prevención y control de ruido en equipo portuario 38
2.4 Fundamentos Teóricos 39
2.4.1 Jardín vertical 39
2.4.2 Hojarasca 40
2.4.3 Helecho caballero (nephrolepis exaltata) 40
2.4.4 Tela de lona impermeable 40
2.4.5 Tela jean 40
2.4.6 Sustrato 40
2.4.7 Reducció3n de ruido 40
2.4.8 Sonómetro 40
2.4.9 Normativa acústica 41
CAPÍTULO III. 42
3. METODOLOGIA 42
3.1 Enfoque: Cuantitativa 42
3.2 Tipo de Investigación: Explicativa 42
3.3 Modalidad de Investigación: Campo 42
3.4 Técnica de recolección de datos 42
3.4.1 Normativas de seguridad aplicadas 43
3.4.2 Justificación del desarrollo 51
3.5 Tipo de investigación: Cuasiexperimental 52
3.6 Población de estudio y tamaño de la muestra 52
3.7 Instrumento de investigación 52
3.8 Hipótesis 52

3.8.1 Hipótesis general 52
3.9 Operacionalización de las variables 53
3.10 Procedimiento 55
3.10.1 Primera etapa: diseño y construcción de cabinas de ensayo para la experimentación y ubicación del sonómetro. 55
3.10.2 Segunda etapa: determinación de las plantas más adecuadas que permiten condiciones ambientales favorables 59
3.10.3 Tercera etapa: selección y colocación del sustrato y plantas 60
CAPÍTULO IV 61
4. Análisis, interpretación y discusión de resultados 61
4.1 Resultados de la construcción de la cabina de prueba 61
4.2 Materiales utilizados 61
4.2.1 Lona impermeable 61
4.2.2 Bolsillos de tela jean 61
4.2.3 Estructura metálica 62
4.2.4 Descripción del tipo de jardín vertical utilizado en la estructura 63
4.2.5 Dimensiones y diseño 64
4.2.6 Finalización y características de la cabina de prueba experimental 64
4.3 Justificación científica de la vegetación seleccionada para el jardín vertical 65
4.4 Resultados de la toma de datos con y sin jardines verticales 66
4.4.1 Toma de datos sin jardines verticales para establecer la línea base 66
4.4.2 Toma de datos con jardines verticales 68
4.5 Análisis con y sin jardines verticales por cada RPM 69
4.6 Límites Permisibles de Niveles de Ruido Ambiente para fuentes fijas y Fuentes Móviles ... 73
4.6.1 Cálculos con la ley del cuadro inverso sin jardines verticales 73

4.6.2 Cálculos con la ley del cuadro inverso con jardines verticales 74
4.7 Análisis comparativo aplicando la ley del cuadro inverso 75
4.8 Comparación de resultados con estudios previos 75
4.9 Prueba de Hipótesis 76
4.9.1 Hipótesis general 76
4.10 Análisis estadísticos mediante la prueba T-student de dos muestras relacionadas 77
4.11 Análisis de la variable 77
4.12 Planteamiento de la hipótesis 87
4.13 Interpretación de resultados 89
CAPÍTULO V. 91
5. CONCLUSIONES 91
5.1 RECOMENDACIONES 92
6. BIBLIOGRÁFIA 93
7. ANEXOS 96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Cuadro causa efecto* 20
Tabla 2 *Niveles máximos de ruido permisibles* 22
Tabla 3 *Máximos niveles sonoros equivalentes permisibles según equipo* 39
Tabla 4 *Análisis del cumplimiento de la ISO 11957:2010* 44
Tabla 5 *Análisis del cumplimiento de la ISO 1680:2010* 48
Tabla 6 *Operacionalización de las variables* 53
Tabla 7 *Tabla resumen del jardín vertical* 60
Tabla 8 *Establecimiento de la línea base mediante el registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de helechos en las 3 velocidades (rpm)* 67
Tabla 9 *Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de helechos en las 3 velocidades (rpm)* 68
Tabla 10 *Datos con y sin jardín vertical a 10000 rpm* 69
Tabla 11 *Datos con y sin jardín vertical a 15000 rpm* 70
Tabla 12 *Datos con y sin jardín vertical a 20000 rpm* 71
Tabla 13 *Tabla general con y sin jardines verticales en sus 3 velocidades* 71
Tabla 14 *Resultados generales basados en la ley del cuadrado inverso* 75
Tabla 15 *Comparación con estudios previos* 76
Tabla 16 *Estadísticos prueba T student sin jardines verticales* 77
Tabla 17 *Estadísticos prueba T student con jardines verticales* 81
Tabla 18 *Descriptivos con y sin jardines a 10000 rpm* 84
Tabla 19 *Prueba de normalidad con y sin jardines a 10000 rpm* 85
Tabla 20 *Descriptivos con y sin jardines a 15000 rpm* 85
Tabla 21 *Prueba de normalidad con y sin jardines a 15000 rpm* 86
Tabla 22 *Descriptivos con y sin jardines a 20000 rpm* 86
Tabla 23 *Prueba de normalidad con y sin jardines a 20000 rpm* 87
Tabla 24 *Estadísticas de muestras emparejadas* 88
Tabla 25 *Correlaciones de muestras emparejadas* 88
Tabla 26 *Prueba de muestras emparejadas* 89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Sistemas con sustratos* 25
Figura 2 *Sistemas sin sustrato* 26
Figura 3 *Jardines verticales de dos caras* 26
Figura 4 *Jardines verticales pasivos* 27
Figura 5 *Jardín vertical activo* 28
Figura 6 *Clasificación de los sistemas vegetales verticales Ottelé y A. Mir* 29
Figura 7 *Diseño sólido de la cabina de prueba* 55
Figura 8 *Distribución de las plantas en las bandejas con un solo tipo de planta* 56
Figura 9 *Construcción de la cabina* 57
Figura 10 *Diseño de la estructura de los prototipos de jardín vertical* 57
Figura 11 *Colocación de lona impermeable con bolsillos de tela jean* 58
Figura 12 *Ubicación del motor y el sonómetro en la cabina experimental* 58
Figura 13 *Lona impermeable para la cabina experimental* 61
Figura 14 *Bolsillos de tela jean para helechos* 62
Figura 15 *Diseño estructural de la cabina de prueba* 62
Figura 16 *Estructura de la bandeja para jardines verticales* 63
Figura 17 *Jardín vertical de dos caras con un espacio de aislamiento acústico* 63
Figura 18 *Vista final de la cabina de prueba* 64
Figura 19 *Diagrama de flujo del diseño y construcción de la cabina experimental* 66
Figura 20 *Comparación de los niveles de ruido sin jardín vertical* 67
Figura 21 *Comparación de los niveles de ruido con jardín vertical* 68
Figura 22 *Comparación de los niveles de ruido con jardín vertical* 69
Figura 23 *Comparación de los niveles de ruido con jardín vertical* 70
Figura 24 *Comparación de los niveles de ruido con y sin jardín vertical* 71
Figura 25 *Niveles de ruido con y sin jardines verticales a 10000, 15000 y 20000 rpm* 72
Figura 26 *Frecuencia sin jardines a 10000 rpm* 78
Figura 27 *Frecuencia sin jardines a 15000 rpm* 79
Figura 28 *Frecuencia sin jardines a 20000 rpm* 80

Figura 29 *Frecuencia con jardines a 10000 rpm* 81
Figura 30 *Frecuencia con jardines a 15000 rpm* 82
Figura 31 *Frecuencia con jardines a 20000 rpm* 83

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centró en la evaluación de los niveles de ruido con y sin jardines verticales en un entorno controlado, con el objetivo de mitigar la contaminación acústica. La investigación se realizó en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo, espacio especializado que brindo las condiciones necesarias para una evaluación precisa.

La metodología aplicada se basó en un enfoque cuantitativo y un diseño explicativo, ya que se buscó comprender la relación causa-efecto entre la implementación de jardines verticales y la reducción del ruido. Para ello, se optó por una investigación de campo, en la cual se realizaron mediciones acústicas en dos escenarios: con y sin jardines verticales. Se utilizaron instrumentos especializados, como sonómetros y tacómetros digitales, que garantizaron la precisión y confiabilidad de los datos recolectados.

Los resultados obtenidos demostraron que, en todos los casos, se logró una reducción del ruido de aproximadamente 16,5 dB y 16,2 dB al instalar los jardines verticales. Asimismo, la prueba T arrojo valores que evidenciaron una diferencia significativa entre los escenarios con y sin jardines. Estos resultados confirman la efectividad de los jardines verticales como solución para la disminución del ruido.

Palabras claves: Jardín vertical, decibeles, niveles de ruido, sonómetro, cabina experimental.

ABSTRACT

The main objective of the present research study focused on the evaluation of noise levels with and without vertical gardens in a controlled environment, with the objective of mitigating noise pollution. The research was carried out in the laboratory of Unit Operations of the National University of Chimborazo, a specialized space that provided the necessary conditions for an accurate evaluation. The methodology applied was based on a quantitative approach and an explanatory design, since we sought to understand the cause-effect relationship between the implementation of vertical gardens and noise reduction. For this purpose, a field research was chosen, in which acoustic measurements were taken in two scenarios: with and without vertical gardens. Specialized instruments, such as sound level meters and digital tachometers, were used to ensure the accuracy and reliability of the data collected. The results obtained showed that, in all cases, a noise reduction of approximately 16.5 dB and 16.2 dB was achieved when the vertical gardens were installed. In addition, the t-test yielded values that showed a significant difference between the scenarios with and without gardens. These results confirm the effectiveness of vertical gardens as a solution for noise abatement.

Keywords: Vertical garden, decibels, noise levels, sound level meter, experimental cabin.

MARCO ANTONIO AQUINO ROJAS

Reviewed by:
Marco Antonio Aquino
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 1753456134

CAPÍTULO I.

1. Introducción

La preocupación de la sociedad por el medio ambiente y por la sostenibilidad urbana es cada vez más evidente. En este contexto la jardinería vertical constituye una nueva corriente, en ocasiones cargada de glamur, que se presenta como una alternativa a los sistemas de ajardinamiento y construcción tradicionales, y que básicamente consiste en el diseño y construcción de superficies ajardinadas en un plano vertical. (Fernández-Cañero et al., 2008)

En las últimas décadas las estrategias para mitigar y controlar la contaminación acústica urbana en áreas sensibles reúnen diversos enfoques teóricos y metodológicos que se traducen en propuestas concretas, muchas veces acompañadas por incentivos normativos. La saturación aplicada a la fachada, conocida como sistema de jardín vertical (SJV), resulta una práctica innovativa que, además de incrementar el espacio verde urbano, ofrece un conjunto de servicios ecosistémicos al edificio entre los que se encuentra la reducción del ruido. El uso de material vivo en la fachada, reemplazando las tradicionales superficies duras y altamente reflectantes del sonido, permite mitigar el ruido y aportar una interesante cuota de sostenibilidad ambiental. (Ana, 2022)

A pesar del creciente interés por los jardines verticales como barreras acústicas, persisten vacíos en la investigación científica, especialmente en cuanto a su efectividad en entornos controlados. La mayoría de los estudios disponibles se centraron en contextos urbanos abiertos, por lo que existe una necesidad de evaluar el impacto real de estos sistemas en condiciones controladas y replicables. En este sentido, el presente estudio constituyó un aporte novedoso al enfocarse en la implementación y evaluación experimental de jardines verticales dentro de un laboratorio, lo cual permitió aislar variables externas y obtener resultados precisos.

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo, un entrono que ofreció las condiciones ideales para el desarrollo de pruebas rigurosas. En este espacio se construyó una cabina de prueba equipada con un generador de ruido y jardines verticales con sustrato y plantas ornamentales. Las mediciones se realizaron utilizando equipos especializados para comparar los niveles de ruido con y sin la presencia del sistema vegetal.

La novedad de este estudio radicó en la combinación de diseño experimental, análisis estadísticos y aplicación práctica en un entorno educativo e industrial. Se generó evidencia empírica sobre la capacidad de los jardines verticales para actuar como barreras acústicas, lo cual puede sentar las bases para su implementación en contextos urbanos, educativos e industriales que busquen soluciones sostenibles y efectivas para reducir la contaminación acústica. Además, esta investigación fortaleció el conocimiento sobre la eficiencia de estos sistemas en condiciones específicas, aportando datos útiles para futuras intervenciones y diseños en infraestructura verde.

1.1 Situación Problemática

El proyecto se desarrollará en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo, un espacio especializado en experimentación dentro del área de

ingeniería. Este laboratorio cuenta con la infraestructura y el equipamiento necesarios para realizar evaluaciones precisas en procesos físicos a nivel industrial. Gracias a su ambiente controlado, el laboratorio permite replicar condiciones específicas, como las de un entorno urbano o industrial, ideales para el estudio experimental propuesto.

Es así como, en Perú, los centros de educación como escuelas, colegios y universidades son considerados como zona de protección especial, cuyo nivel máximo de ruido debe ser de 50 dB, donde los niveles de ruido ambiental en el campus de la UNTRM superan los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido Ambiental por ser zona de protección especial (<50 dB). Las causas fueron el desarrollo de actividades de construcción, el uso de maquinaria y el tráfico vehicular en sus dos ingresos. (Mendoza et al., 2016)

Las condiciones actuales de contaminación por ruido en la Universidad técnica de Manabí son elevadas, de mantenerse, se corre el riesgo de quedar rezagada de otras universidades que están aplicando normas de seguridad, condiciones del buen vivir y calidad ambiental en su entorno, que inciden en el proceso enseñanza aprendizaje y en la acreditación, por la alta demanda de estudiantes y que sus predios se generan problemas de contaminación por ruido, por la movilidad interna tanto de peatones, vehículos y por otras actividades propias de estas instituciones. (Delgado, 2013)

Diversos estudios han demostrado que las superficies vegetales, como los muros verdes, tienen la capacidad de atenuar el sonido al absorber parte de la energía acústica. En este contexto, Azkorra et al. (2015) evaluaron la efectividad de los jardines verticales como una medida pasiva de aislamiento acústico en edificaciones. Su investigación arrojó un coeficiente de absorción sonora ponderado de 0,40, lo que evidencia una reducción significativa del ruido, especialmente en frecuencias medias y altas. Este tipo de solución vegetal no solo aporta beneficios estéticos y ambientales, sino que también contribuye al confort acústico en espacios urbanos, posicionándose como una alternativa funcional frente a los materiales convencionales de aislamiento acústico. (pp. 46-56)

Tabla 1

Cuadro causa efecto

CAUSA	EFECTO	SOLUCIÓN
Funcionamiento de maquinaria y compresores en el laboratorio	Elevados niveles de ruido que pueden superar los límites recomendados, afectando la salud y el rendimiento de los docentes y estudiantes del laboratorio.	Implementar jardines verticales en el laboratorio para absorber y reducir los niveles de ruido de forma sostenible

Espacios con superficies duras y reflectantes	El sonido rebota en paredes y superficies, intensificando la contaminación acústica en el laboratorio.	Colocar jardines verticales en las paredes para reducir el eco y reflejo del sonido.
Falta de barreras de sonido en entorno del laboratorio	Menor capacidad para absorber el ruido, aumentando su percepción en el ambiente.	Añadir jardines verticales y plantas ornamentales para incrementar la absorción del sonido en el laboratorio.
Inexistencia de datos sobre el impacto de jardines verticales en el laboratorio de operaciones unitarias.	No se cuenta con datos históricos como evidencia para justificar el uso de jardines verticales como barreras de ruido,	Realizar un estudio experimental en el laboratorio para medir la efectividad de los jardines verticales en la reducción de ruido.

En el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo, el ruido de la maquinaria y los compresores excede los niveles recomendados, afectando el bienestar y rendimiento de sus usuarios. Las superficies reflectantes del laboratorio amplifican este ruido, y actualmente no existen datos históricos sobre el impacto de posibles soluciones acústicas. Como respuesta, se propone construir una cabina de pruebas con jardines verticales de plantas ornamentales, que actúen como barreras acústicas para reducir el ruido. Este estudio experimental generará datos clave que no solo evaluarán la efectividad de los jardines verticales en la mitigación del ruido, sino que también respaldarán su aplicación en el urbanismo sostenible para mejorar la calidad acústica en espacios laborales y urbanos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo los jardines verticales influyen en la reducción de los niveles de ruido en un entorno controlado en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo?

1.3 Justificación

El ruido es uno de los problemas que existe en las grandes ciudades, un método para reducir o inhibir el ruido es la plantación de árboles, hay estudios que avalan que las características de la plantas son factores importantes como las hojas, volumen, tamaño y el follaje para los beneficios ambientales que brindan como la reducción de ruido, embellecimiento y climatización, este método ayudara comprobar el nivel de reducción de ruido por una fuente puntual gracias, a la amortiguación de la barrera con las plantas ornamentales. (Fernández-Cañero et al., 2008)

Es por ello por lo que esta investigación se llevará a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo, un espacio especializado que proporciona las condiciones ideales para la evaluación precisa y controlada de diversas variables. Este laboratorio permite realizar experimentos rigurosos que simulan condiciones reales, lo que garantiza la obtención de datos confiables y útiles para la toma de decisiones en el ámbito urbano. La investigación es crucial, ya que busca contribuir al desarrollo urbano sostenible, dado que el ruido ambiental tiene efectos adversos en la salud física y mental de las personas. Evaluar los niveles de ruido en entornos con y sin jardines verticales no solo ofrecerá datos concretos que podrán respaldar futuras intervenciones urbanísticas, sino que también sensibilizará sobre la importancia de integrar la naturaleza en los entornos urbanos.

Con la ayuda de la normativa de seguridad y salud en el trabajo en las mismas tenemos el decreto ejecutivo 2393 de la Dirección del Seguro General de Riesgos de Trabajo en el Anexo VA, el punto 4.1 donde nos habla de los límites permisibles en linderos de instalaciones portuarias, donde tenemos la siguiente tabla de los niveles de ruido permisibles según uso del suelo

Tabla 2

Niveles máximos de ruido permisibles

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	**NIVEL DE PRESION SONORA EQUIVALENTE NPS EQ IDB(A)**	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona residencial	50	40
Zona residencial mixta	55	45
Zona comercial	60	50
Zona comercial mixta	65	55
Zona industrial	70	65

Nota. Adaptado por el Decreto Ejecutivo No. 418, publicado el 16 de enero del 2015

Al medir el ruido generado por las máquinas en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo, compararemos los resultados con los límites establecidos en la Tabla 1, como por ejemplo: los 70 dB permitidos en zonas industriales entre las 6:00 y las 20:00, utilizaremos esta tabla en nuestro proyecto porque establece los niveles de ruido aceptables según el tipo de zona, lo que nos permite evaluar si los jardines verticales pueden ser una solución eficaz para reducir el ruido a niveles permitidos en áreas industriales y comerciales. Esta tabla nos ofrece un marco de referencia claro para evaluar si el ruido excede los niveles permitidos en áreas industriales y comerciales, utilizando este entorno controlado es clave para comprobar si los

jardines verticales pueden reducir el ruido a niveles aceptables, proporcionando una solución práctica y sostenible para mejorar la calidad de vida en entornos urbanos, finalmente, este estudio proporcionará una base científica sólida para futuras investigaciones y proyectos, promoviendo el uso de los jardines verticales como una estrategia efectiva para mejorar la calidad de vida en las ciudades.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Evaluar los niveles de ruido con y sin jardines verticales en un entorno controlado para la determinación de la efectividad del uso de jardines verticales en la mitigación de ruido.

1.4.2 Objetivo Específicos

- Construir una cabina de prueba utilizando materiales adecuados para simular un entorno con ruido.
- Medir los niveles de ruido utilizando equipamiento especializado para establecer una línea base sin jardines verticales y, posteriormente, realizar nuevas mediciones tras su implementación para poder comparar y analizar los resultados frente a la línea base establecida.
- Comparar los resultados obtenidos utilizando técnicas estadísticas para determinar la influencia de los jardines verticales en la reducción de los niveles de ruido en un entorno controlado.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Jardines Verticales

A lo largo de la historia, la vegetación ha sido usada en la arquitectura tanto con fines estéticos como funcionales.

Ya en el antiguo Egipto se han hallado las primeras evidencias de jardines ornamentales en pinturas de tumbas. Estos jardines constaban principalmente de un estanque central, cuadrado o rectangular, con peces, plantas acuáticas y flores de loto. El conjunto estaba decorado con estatuas y columnas. El estanque estaba rodeado por un muro perimetral o una sucesión de columnas por donde trepaba una vid. Los míticos jardines colgantes de babilonia fueron construidos en el sigo VI a.c, siendo un regalo del rey de los Caldeos a su esposa. Esta arquitectura presentaba árboles y palmeras en las terrazas. Fueron construidas a orillas del rio Éufrates. (Poza, 2017)

Los jardines verticales han demostrado ser una solución eficaz para mejorar el ambiente urbano, proporcionando una serie de beneficios tanto funcionales como estéticos. Diferentes investigaciones, estos sistemas optimizan el uso del espacio al mismo tiempo que contribuyen a mejorar la calidad del aire y reducir la huella de carbono en las ciudades. Además, se ha comprobado que las superficies vegetales verticales ayudan a disminuir la contaminación acústica al absorber y reflejar las ondas sonoras, favoreciendo la calidad del entorno sonoro. (Ottelé et al., 2011)

Los jardines verticales pueden clasificarse en diferentes tipos, entre ellos: modulares, hidropónicos y sistemas con sustratos orgánicos. Los sistemas modulares suelen estar compuestos por paneles independientes con sustratos que facilitan el crecimiento de las plantas y permiten mantenimiento individualizado. Por otro lado, los sistemas hidropónicos utilizan soluciones nutritivas líquidas en lugar de sustratos sólidos, optimizando el uso de agua y nutrientes, siendo ideales para proyectos sostenibles en entornos con espacio limitado (Francis & Lorimer, 2011).

El uso de jardines verticales como barreras acústicas ha sido ampliamente estudiado en los últimos años. Investigaciones han demostrado la capacidad de estos sistemas para reducir significativamente el ruido en ambientes urbanos. Por ejemplo, un estudio realizado por Wong et al. (2010) analizó el rendimiento acústico de muros verdes en zonas urbanas y encontró que las estructuras vegetales lograron reducir los niveles de ruido entre 5 dB y 8 dB, dependiendo de la densidad de la vegetación y la configuración del sistema utilizado. (pp. 411-420)

Históricamente, la integración de vegetación en estructuras arquitectónicas ha sido aplicada para mejorar tanto la estética como la funcionalidad de los espacios. Desde civilizaciones antiguas como Babilonia, con los emblemáticos Jardines Colgantes, hasta proyectos modernos en ciudades como París o Singapur, la utilización de jardines verticales ha buscado mitigar los efectos

negativos del crecimiento urbano, como el aumento de temperatura y la contaminación del aire (Köhler, 2008).

Actualmente, los jardines verticales se consideran elementos clave dentro de la arquitectura verde y el desarrollo urbano sostenible, destacando su contribución a la creación de ciudades más resilientes y saludables. Esto se debe a su capacidad de mejorar la calidad ambiental, promover la biodiversidad y reducir el impacto ambiental de las edificaciones (Perini & Rosasco, 2013).

Según Gallardo (1999, citado en Ledesma, 2020) los muros verdes son sistemas conformados por una cubierta vegetal vertical o ligeramente inclinado en superficies y/o lugar, es por ello que hoy en día se han convertido en elementos arquitectónicos originales que se está usando en la nueva arquitectura ecosostenible, ya que se puede adecuar a cualquier forma y tener diseños y texturas que dan vida a fachadas y muros exteriores e interiores, en todo tipo de inmuebles industriales, comerciales y residenciales. (pp. 32-33)

2.1.1 Tipos de jardines verticales según la presencia y tipo de sustrato

De acuerdo con Ledesma (2020), los sistemas de jardines verticales pueden dividirse en dos categorías principales:

1) Sistemas con sustrato (orgánico)

La característica más importante en este tipo de sistemas es que poseen un sustrato, es decir un terreno de cultivo en el que las raíces crecen en un medio granular con un porcentaje orgánico que se lo otorga los componentes que se decidan utilizar (fibra de coco, humus, perlita, espumas técnicas, etc.). Este sustrato les confiere la capacidad de retener agua, de aportar importantes capacidades de aislamiento térmico y acústico, y además de descontaminación del aire.

Figura 1

Sistemas con sustratos

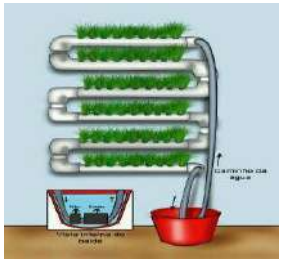
Nota. Muestra de un sistema con sustratos. Adaptado por (Alicante,2016)

2) Sistemas sin sustrato (hidropónico)

Los sistemas de cultivo hidropónico no poseen sustrato, al puesto de un medio granular disponen de un medio inerte en el que crecen las raíces (polietileno, poliéster, lana de roca, espumas técnicas, etc.), junto con un aporte de nutrientes mediante una solución mineral que se distribuye a través de los tubos del sistema de riego. A este método de nutrición y riego se le llama fertiirrigación. (pp. 46-58)

Figura 2

Sistemas sin sustrato



Nota. Muestra de un sistema sin sustrato. Adaptado por (Agriexpo,2025)

2.1.2 Tipos de jardines verticales según el diseño y funcionalidad

Según Vintimilla (2013), considera que se pueden clasificar en 3 tipos de jardines verticales, dependiendo de su diseño y funcionalidad.

a) Jardines Verticales de dos caras

Utilizando a modo de tapia de separación de espacios o a veces como paredes de sombra y humedad destinadas a crear u clima agradable en un espacio como puede ser una pérgola, cenador o simplemente un banco que de otra forma quedaría en peor situación climática.

Figura 3

Jardines verticales de dos caras

Nota. Jardín vertical de dos caras. Adaptado por (Alicante,2016)

a) Jardines verticales pasivos

Son los más habituales. “Tapizan” de verde una pared vertical, es decir son iguales a los anteriores, pero con una sola cara, pueden ser instalados tanto en interior como en exterior, y parte de su belleza aportan beneficios ambientales y energéticos, pues aumentan el aislamiento térmico del muro donde se encuentra y en consecuencia ahorran energía, tanto por reducir la ventilación necesaria al actuar como biofiltro del aire, como el templar el aire de su entorno.

Figura 4

Jardines verticales pasivos

Nota. Diseño de Jardines verticales pasivos. Adaptado por (Alicante,2016)

b) Jardín vertical Activo

Se utilizan tanto en el interior como en el exterior, componente auxiliar de la ventilación y climatización de los edificios, actuando como sistemas ecológicos de acondicionamiento y biofiltro de aire en combinación con los sistemas de climatización y ventilación convencionales de los edificios.

Situado en el propio interior de la edificación, La pared verde funciona es como un gigantesco filtro de aire que no solo humidifica y refresca, sino que además lo filtra de impurezas y oxigena. Esta solución ecológica es propugnada por la joven compañía Terapia Urbana, que como su nombre indica ha nacido con la vocación de “sanar" las ciudades mediante la "cirugía verde" (pp. 58-67)

Figura 5

Jardín vertical activo

Nota. Jardín vertical activo. Adaptado por (Alicante,2016)

2.1.3 Formas de evolución y componentes de un jardín vertical

Según Ledesma (2020) los jardines verticales en su composición tienen 3 tipos de componentes independientes del tipo de sistema que va a utilizar, estos componentes son importantes para que funcione perfectamente:

- **Componentes Activos:** Son todos aquellos que están expuestos a los distintos cambios físicos – químicos asimismo su trabajo es cumplir el trabajo en su vida útil del sistema por ello también son elementos biológicos del sistema vertical.

- **Componentes Estables:** Componentes inertes del jardín vertical que deben mantener estabilidad química y física para cumplir sus funciones durante la vida útil del sistema. Son aquellos elementos fabricados que cumplen determinadas funciones en el sistema: Membranas de impermeabilización, barreras anti-raíces, barreras filtrantes, medios de drenaje, elementos del sistema de irrigación, La durabilidad de los componentes estables depende de la capacidad de estos para resistir con éxito a las condiciones ambientales, la humedad y los agentes orgánicos tales como microorganismos y hongos

- **Elementos Auxiliares:** Elementos inertes estables que cumplen funciones específicas para adaptar correctamente una sección típica de sistema de jardín vertical a la estructura de un inmueble, tales como: separación, confinamiento, protección, evacuación de agua, tránsito, riego, iluminación etc.

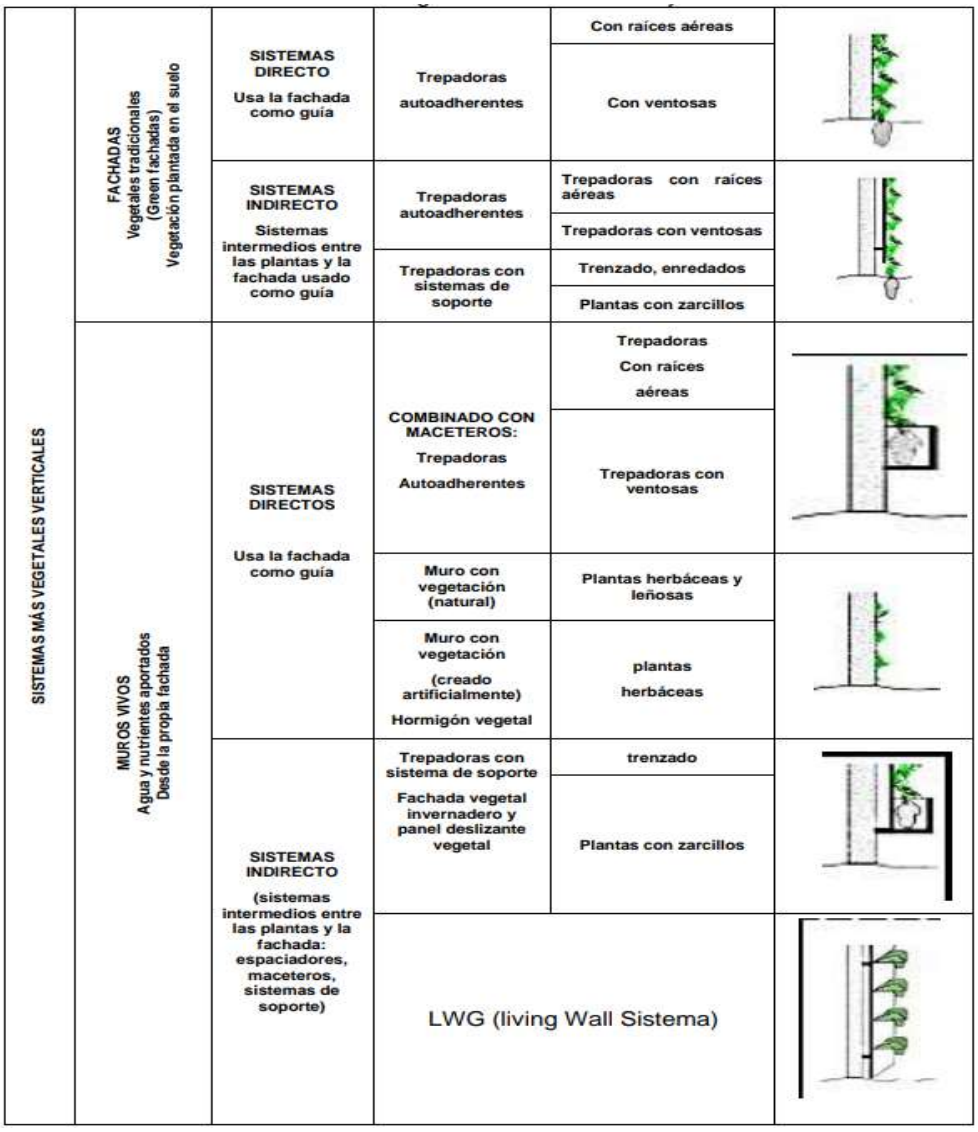
-

Clasificación de los sistemas

Para la clasificación de los variados tipos de jardines verticales encontramos la primera división: fachadas vegetales tradicionales (Green faciales) Asimismo. que son todas las plantas que crecen en el sustrato directamente plantado en el suelo. (figura 6)

Figura 6

Clasificación de los sistemas vegetales verticales Ottelé y A. Mir



Nota. Clasificación de los sistemas vegetales verticales. Adaptado por Ledesma (2020)

2.1.4 Jardines verticales como barreras acústicas

Los jardines verticales han demostrado ser soluciones sostenibles y eficaces para la mitigación del ruido en entornos urbanos e industriales. Su efectividad se debe a la combinación de propiedades físicas y biológicas que permiten la atenuación del sonido mediante mecanismos de absorción, reflexión y dispersión de las ondas acústicas. En un estudio realizado por Azkorra et al. (2015), se evaluó el rendimiento acústico de muros verdes modulares mediante pruebas de laboratorio estandarizadas. Los resultados indicaron que estos sistemas pueden alcanzar un índice de reducción sonora ponderado (Rw) de hasta 15 dB y un coeficiente de absorción acústica de 0.40, dependiendo del diseño, los materiales empleados y las especies vegetales utilizadas. Estos hallazgos posicionan a los jardines verticales no solo como elementos estéticos y ambientales, sino también como una estrategia funcional en el diseño urbano sostenible. (p. 56)

Mecanismos de Reducción Acústica

- **Absorción Sonora:** Las hojas, tallos y el sustrato actúan como materiales porosos que absorben las ondas sonoras, reduciendo su energía.
- **Reflexión y Dispersión:** Las irregularidades de las plantas desvían las ondas sonoras, dificultando su propagación directa.
- **Atenuación por Masa:** El peso y la densidad de los sistemas de jardines verticales contribuyen a disminuir las vibraciones que generan ruido.

Factores que Afectan la Eficiencia Acústica

- **Especies Vegetales:** Plantas con hojas grandes y densas mejoran la capacidad de absorción acústica.
- **Diseño del Sistema:** Sistemas con mayor espesor y cámaras de aire aumentan la reducción del ruido.
- **Condiciones Ambientales:** La temperatura, la humedad y el nivel de ruido inicial también influyen en el desempeño.

2.1.5 Evaluación y normativas para la medición de ruido

La correcta evaluación del ruido en entornos controlados o industriales requiere no solo del cumplimiento de normas específicas, sino también de una metodología estandarizada que garantice resultados reproducibles y comparables.

2.1.6 Impacto de los jardines verticales en la reducción del ruido

Estudios han demostrado ser soluciones sostenibles y eficaces para la mitigación del ruido en entornos urbanos e industriales. Su efectividad se debe a la combinación de propiedades físicas y biológicas que permiten la atenuación del sonido mediante mecanismos de absorción, reflexión y dispersión de las ondas acústicas. Un estudio realizado por Wong et al. (2010) evaluó el

rendimiento acústico de ocho sistemas de vegetación vertical instalados en HortPark, Singapur. Los resultados indicaron que cinco de estos sistemas lograron reducir los niveles de ruido en aproximadamente 5 a 10 decibelios en el rango de frecuencias bajas a medias. En ambientes controlados, como laboratorios, estos sistemas pueden proporcionar datos valiosos sobre su efectividad para mitigar el ruido y su integración en proyectos de urbanismo sostenible. (pp. 411-420)

2.1.7 Importancia del cumplimiento normativo

El uso de normativas internacionales y nacionales, como la ISO 1996-1 y el Decreto Ejecutivo 2393 de Ecuador, asegura que las mediciones de ruido sean válidas y aplicables para tomar decisiones informadas. Además, estas normativas proporcionan una referencia clara para comparar los resultados obtenidos con los límites permisibles según el tipo de zona evaluada (residencial, comercial o industrial).

2.1.8 Normativa para la evaluación de niveles de ruido permitidos en las industrias

La evaluación de niveles de ruido en las industrias debe cumplir con una serie de normas y estándares internacionales y nacionales para garantizar que las mediciones sean precisas y las condiciones laborales seguras. Estas normativas incluyen:

- **Norma ISO 1996 – Acústica**

Para la evaluación de los niveles de ruido ambiental en un entorno controlado, se emplearon procedimiento establecidos en la Norma ISO 1996-2:2017, que especifica las metodologías de medición del ruido en exteriores, así como las condiciones de posicionamiento del equipo, duración de las mediciones y características del entorno. (ISO, 2017)

- **Norma IEC 61672 - Sonómetros:**

Se empleo un sonómetro de clase 1, el cual cumple con los requisitos de desempeño definidos por la Norma IEC 61672-1:2013. Esta norma internacional establece las especificaciones técnicas que deben cumplir los sonómetros en cuanto a precisión, respuesta en frecuencia y linealidad de medición. (IEC, 2013)

2.1.9 Tela de lona impermeable de carpas

La lona impermeable es un material esencial en la construcción de jardines verticales, especialmente en sistemas modulares que requieren una barrera eficaz contra la humedad. Este material, comúnmente compuesto por una base de poliéster recubierta con PVC, ofrece propiedades destacadas como alta resistencia a la tracción, durabilidad y resistencia al desgarro, lo que lo hace adecuado para aplicaciones exigentes en exteriores. Además, su revestimiento de PVC proporciona impermeabilidad, protegiendo las estructuras subyacentes de la filtración de agua y prolongando su vida útil.

Un estudio realizado por Ghezal et al. (2022) investigó las propiedades de impermeabilidad y transpirabilidad de tejidos recubiertos con una mezcla de resinas acrílicas y fluoro carbonadas. Aunque el estudio se centró en tejidos de punto doble cara, los resultados son relevantes para comprender el comportamiento de los recubrimientos en la tela de lona impermeable. El estudio encontró que el recubrimiento con resinas fluoro carbonadas y acrílicas mejora la resistencia al agua y la transpirabilidad del tejido, lo que es crucial para aplicaciones en jardines verticales donde la gestión del agua es esencial. (pp. 10-12)

2.1.10 Tela jean para los bolsillos

La tela de jean, reconocida por su durabilidad y resistencia al desgaste, se presenta como una opción sostenible y funcional para la confección de bolsillos en jardines verticales reciclados. Este material, fabricado principalmente con fibras de algodón entrelazadas en una estructura de sarga, ofrece una alta capacidad para soportar peso y condiciones climáticas variables. Su uso en sistemas de jardinería vertical no solo aporta funcionalidad, sino que también promueve el reciclaje de textiles, reduciendo así el impacto ambiental asociado con los desechos.

Un estudio realizado por Mahmud et al. (2022) evaluó el impacto de la densidad lineal de la envoltura de algodón en las propiedades de rendimiento de las telas de mezclilla. Los resultados indicaron que un aumento en la densidad lineal de la envoltura de algodón mejora propiedades como la elongación, la resistencia a la tracción y al desgarro en la dirección de la trama. Estas características son esenciales para aplicaciones en jardines verticales, donde los bolsillos deben mantener el sustrato y las plantas en posición mientras retienen la humedad necesaria, creando condiciones óptimas para el desarrollo vegetal. (p. 88)

2.1.11 Helecho caballero

El helecho (Nephrolepis exaltata), también conocido como helecho de Boston, es una planta perenne originaria de regiones tropicales y subtropicales de América. Además de su valor ornamental y su capacidad para purificar el aire, investigaciones recientes han demostrado su eficacia en la absorción acústica, lo que la convierte en una opción viable para mejorar la calidad sonora en espacios interiores. Un estudio llevado a cabo por D'Alessandro et al. (2015) utilizó el método del tubo de impedancia para evaluar el comportamiento acústico de diversas plantas, incluyendo Nephrolepis exaltata, en un rango de frecuencias de 50 a 1600 Hz. El estudio concluyó que esta especie muestra una alta absorción en frecuencias medias y altas, lo cual es útil para reducir la reverberación en interiores, especialmente en ambientes con superficies duras donde el sonido tiende a reflejarse. (pp. 913-923)

Esta eficacia acústica se atribuye a la morfología del helecho: sus frondas largas, densamente dispuestas y de superficie irregular generan múltiples superficies de contacto que favorecen la dispersión y absorción de las ondas sonoras. Además, su adaptabilidad a condiciones de baja iluminación y su bajo requerimiento de mantenimiento hacen de Nephrolepis exaltata una planta ideal para sistemas de jardines verticales en interiores (Asdrubali et al., 2014).

2.1.12 Características morfológicas

El helecho caballero (Nephrolepis exaltata), es una planta perenne que presenta frondes largas, pinnadas y arqueadas, que emergen en forma de corona desde un rizoma subterráneo. Estas frondes pueden alcanzar longitudes de hasta 1.5 metros, dependiendo de las condiciones ambientales. El sistema radicular de esta especie es rizomatoso y fibroso, permitiéndole anclarse de manera eficiente en suelos húmedos y bien drenados. Además, puede desarrollarse tanto de forma terrestre como epífita, lo que le otorga gran adaptabilidad ecológica. (Hovenkamp & Miyamoto, 2005)

Desde un punto de vista anatómico, las frondes de Nephrolepis exaltata están recubiertas por tricomas glandulares, estructuras que desempeñan un papel importante en la retención de humedad y la protección contra herbívoros y microorganismos. Estos tricomas secretan compuestos como terpenoides y metabolitos fenólicos, que actúan como defensa química, mejorando la supervivencia de la planta en ambientes adversos. (Lusa et al., 2015)

Estas características morfológicas no solo favorecen la adaptación del helecho caballero a ambientes húmedos y sombreados, sino que también contribuyen a su eficacia en aplicaciones como los jardines verticales. Su denso follaje ayuda a absorber y disipar ondas sonoras, lo que lo convierte en una especie útil para la mejora del confort acústico en interiores y fachadas verdes urbanas.

2.1.13 Crecimiento y desarrollo

El helecho caballero (Nephrolepis exaltata), exhibe un ritmo de crecimiento moderado, con su tamaño final influenciado por las condiciones ambientales. Prefiere suelos ricos en materia orgánica, bien drenados y con niveles constantes de humedad. Además, prospera en zonas de sombra parcial o total, ya que la exposición prolongada al sol directo puede deshidratar sus frondes. Estudios han demostrado que el crecimiento óptimo de N. exaltata se logra bajo condiciones de sombra parcial, donde se observa un desarrollo vigoroso de las frondes y una mayor producción de biomasa (SINGH et al., 2014).

2.1.14 Abono orgánico

El abono orgánico es una enmienda natural que mejora la fertilidad y estructura del suelo, aportando nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Su uso contribuye a una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente y consta de los siguientes componentes:

- **Cascarilla:** Residuos de origen vegetal, como la cascarilla de arroz, que aportan materia orgánica y mejoran la aireación del suelo. Su descomposición enriquece el suelo con nutrientes y favorece la actividad microbiana. Además, la cascarilla de arroz es una fuente rica en silicio, lo que fortalece a las plantas y las hace más resistentes a plagas y enfermedades.
- **Hojarasca:** Constituida por hojas secas y restos vegetales, la hojarasca es una fuente importante de materia orgánica. Su descomposición libera nutrientes esenciales y mejora la estructura del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua. La incorporación de hojarasca en el compostaje contribuye a la formación de humus, mejorando la fertilidad del suelo.
- **Humus:** Producto final de la descomposición de la materia orgánica, el humus mejora la estructura del suelo, incrementa la capacidad de retención de agua y nutrientes, y promueve la actividad biológica del suelo. Es el abono orgánico con mayor contenido de bacterias, con aproximadamente 2 billones de bacterias por gramo, lo que lo convierte en un componente esencial para la salud del suelo.
- **Cal:** La cal agrícola se utiliza para corregir la acidez del suelo, mejorando la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Además, contribuye a la estructura del suelo y puede mejorar la eficiencia de otros componentes del abono orgánico. Para suelos con pH ácido (~5), se pueden incorporar 50 kg de cal por cada 3 toneladas de abono.

2.1.15 Reducción de ruido con jardines verticales

Los jardines verticales actúan como barreras acústicas naturales al reducir la propagación del sonido mediante la absorción y dispersión de ondas sonoras. Esta capacidad depende de factores como la densidad del sustrato, la textura de las hojas y la estructura del sistema de soporte. En particular, plantas con hojas densas como los helechos, junto con materiales orgánicos como la hojarasca, resultan eficaces para mitigar ruidos de alta frecuencia en entornos urbanos. Las irregularidades en las superficies vegetales también contribuyen a la difracción del sonido, mejorando la eficiencia en la atenuación acústica. Además, un análisis de jardines verticales en condiciones controladas mostró que cuanto mayor es la densidad de la vegetación, mayor es la atenuación del ruido registrada. Esto subraya la importancia de un diseño adecuado y la selección consciente de especies vegetales para maximizar los beneficios acústicos en entornos urbanos e industriales (Velis et al., 2019).

2.1.16 Motor de 3 velocidades bull

El término "motor Bull de tres velocidades" se refiere comúnmente a un motor de repuesto genérico diseñado para ser compatible con diversas licuadoras Oster de tres velocidades. Estos motores universales son una solución popular para reemplazar unidades originales defectuosas, permitiendo extender la vida útil de la licuadora. Operan tanto con corriente

alterna (AC) como con corriente continua (DC), adaptándose a los sistemas eléctricos domésticos estándar de diferentes regiones (típicamente 110-120V / 60Hz o 220-240V / 50Hz). (Distribuidores Repuestos Línea Blanca, 2014)

Velocidades y Rangos de RPM:
Estos motores se caracterizan por ofrecer tres velocidades distintas, seleccionables a través del interruptor o perilla de la licuadora. Cada velocidad está diseñada para optimizar diferentes tareas de procesamiento de alimentos:

Velocidad Baja: Se estima que las Revoluciones Por Minuto (RPM) en esta velocidad se encuentran en un rango de 10,000 a 15,000 RPM. Esta velocidad permite una incorporación homogénea sin generar salpicaduras excesivas.

Velocidad Media: El rango de RPM para esta velocidad se sitúa entre 15,000 y 20,000 RPM. Ofrece un equilibrio entre potencia y control para lograr texturas suaves y uniformes.

Velocidad Alta: En esta velocidad, las RPM pueden alcanzar rangos de 20,000 a 25,000 RPM o incluso superar estas cifras en modelos de mayor potencia. La alta velocidad proporciona la fuerza necesaria para romper partículas resistentes.

2.1.17 Ruido generado

El nivel de ruido generado por las licuadoras Oster de 3 velocidades puede ser considerable, especialmente al operar a alta velocidad. Esto se debe a la alta velocidad de rotación del motor y las cuchillas, lo que provoca vibraciones intensas y sonidos mecánicos notorios. Según el estudio de la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), algunas licuadoras pueden alcanzar niveles de ruido de hasta 90 decibeles durante su funcionamiento a máxima potencia, lo que equivale al ruido del tráfico denso o una motocicleta a corta distancia. El ruido es una característica inherente al diseño de estos electrodomésticos, debido a las fuerzas mecánicas implicadas, aunque su intensidad varía entre modelos. Para minimizar este impacto, se recomienda ubicar la licuadora sobre una superficie firme y nivelada, y utilizar tapetes de goma que amortigüen las vibraciones. Además, un mantenimiento adecuado del ensamblaje y las cuchillas puede reducir significativamente el ruido generado por el desgaste de los componentes (PROFECO, 2010).

2.1.18 Sonómetro para la medición del ruido

El sonómetro es un instrumento esencial en la evaluación de la contaminación acústica, utilizado para medir los niveles de presión sonora en decibelios (dB). Estos dispositivos permiten cuantificar la intensidad del sonido en diversos entornos, facilitando la identificación de fuentes de ruido y la implementación de medidas correctivas. Según la Norma UNE-ISO 1996-1:2020, los

sonómetros deben cumplir con requisitos específicos para garantizar mediciones precisas y reproducibles en la evaluación del ruido ambiental (Secretaría Distrital de Ambiente, 2020).

Los sonómetros modernos incorporan micrófonos de alta sensibilidad, filtros de ponderación (como A y C) y sistemas de almacenamiento de datos, lo que permite realizar análisis detallados de las condiciones acústicas. Estos dispositivos son fundamentales en estudios de ruido ambiental, ya que permiten obtener datos objetivos sobre la exposición al ruido y su impacto en la salud humana (González, 1996).

Para garantizar la validez y la comparabilidad global de las evaluaciones de ruido, resulta fundamental la implementación de estándares internacionales como la ISO 1996-1. Dicha normativa define los lineamientos esenciales para la descripción, la cuantificación y el análisis del ruido que afecta al entorno, constituyendo un fundamento robusto para el desarrollo de estrategias de mitigación acústica.

2.1.19 Tacómetro digital

El tacómetro digital es un dispositivo diseñado para medir la velocidad angular de rotación de un objeto, comúnmente expresada en revoluciones por minuto (RPM). Estos dispositivos se basan en la conversión de señales generadas por el objeto en movimiento en lecturas digitales. Existen tacómetros de contacto que requieren que el dispositivo esté en contacto con el objeto en rotación, y tacómetros sin contacto que utilizan tecnologías como la óptica o el magnetismo para obtener la medición sin necesidad de intervención física. Los tacómetros sin contacto, por ejemplo, pueden utilizar láseres o luz infrarroja para realizar mediciones sin contacto directo con el objeto en movimiento. (RS Components, 2024)

2.1.20 Tipos de tacómetros digitales

Existen diferentes tipos de tacómetros digitales, los cuales se distinguen principalmente por el método de medición utilizado. Los tacómetros de contacto requieren contacto directo con la superficie del objeto en rotación, lo que los hace ideales para objetos accesibles y de fácil medición. Por otro lado, los tacómetros sin contacto, que emplean tecnología óptica o láser, son más adecuados para aplicaciones que requieren la medición de objetos en movimiento rápido o de difícil acceso, eliminando el riesgo de daño al equipo. Además, algunos modelos avanzados permiten almacenar datos de medición y conectarse con otros dispositivos electrónicos para un análisis más profundo de las condiciones de funcionamiento. (Instrument Choise, 2023)

2.1.21 Aplicaciones

Los tacómetros digitales tienen una amplia gama de aplicaciones en diversas industrias. En la industria automotriz, se utilizan para medir la velocidad de rotación del motor, lo que permite optimizar el rendimiento del vehículo. En la industria manufacturera, los tacómetros se utilizan para monitorear maquinaria, garantizando que los equipos operen dentro de los parámetros establecidos y previniendo posibles fallas. También se emplean en pruebas científicas y

laboratorios para realizar mediciones de velocidad precisas durante experimentos y análisis técnicos. Los tacómetros digitales ofrecen una precisión elevada, con algunos modelos capaces de medir la velocidad de rotación con una precisión de hasta ±0.05%, lo que es esencial para aplicaciones que requieren mediciones exactas. (MEXTECH, 2024)

2.1.22 Consideraciones

Al seleccionar un tacómetro digital, es fundamental considerar factores como el rango de medición, la precisión, la facilidad de uso y la capacidad de adaptación a diversas condiciones de trabajo. Además, es importante tener en cuenta características adicionales como la capacidad de almacenamiento de datos o la compatibilidad con otros dispositivos electrónicos.

2.1.23 Otros beneficios de los jardines verticales

Los jardines verticales ofrecen una amplia gama de beneficios adicionales, entre los cuales se incluyen:

- **Mejora de la calidad del aire:** Capturan partículas contaminantes y reducen el CO2 ambiental, contribuyendo a un entorno más saludable.
- **Aislamiento térmico:** Actúan como una capa adicional que reduce la transferencia de calor a través de las paredes, disminuyendo la necesidad de sistemas de climatización.
- **Impacto estético y psicológico:** Transforman los espacios urbanos en áreas visualmente atractivas, promoviendo el bienestar mental de las personas.

2.2 Antecedentes de Investigación

En este caso de estudio, se propone la medición del sistema de jardín vertical al comportamiento acústico. Para ello se ha propuesto un trabajo conjunto entre el Laboratorio Bio-Ambiental de Diseño de la Universidad de Flores, el Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido de la Universidad Nacional de La Plata y el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científica de la Provincias de Buenos Aires (LAL- CIC). Cada institución aporta el conocimiento, equipamiento y evaluación de los modelos de ensayo con el objeto de brindar nuevos resultados sobre el comportamiento y eficiencia acústica y térmica. (Miguel et al., 2017)

En lo que también refiere recientes estudios sobre contaminación acústica, se realizó en Singapur se analiza sobre ocho sistemas diferentes de sistemas vegetales verticales, el impacto sobre la acústica de estos sistemas al instalarse en paredes de edificios, así como también el coeficiente de absorción acústica de estos sistemas vegetales verticales en comparación con otros materiales de construcción. (Ledesma, 2020)

Carrera (2011) señala que, debido a sus propiedades, hace años que las plantas y los árboles se utilizan como barreras contra el ruido producido Por el tráfico rodado y la contaminación acústica urbana. Y que la vegetación puede atenuar bajas y altas frecuencias, gracias a su porosidad

y su capacidad para vibrar respectivamente. Hay estudios indican que el índice de reducción de ruido es proporcional al número de plantas presentes. Por lo tanto, si por ejemplo una pared vegetal contiene un gran número de plantas, la acústica de una estancia o sala puede ser mejorada. Estos estudios en fachadas vegetadas estiman reducciones entre 2 a 5 dB, dependiendo del tipo de planta utilizada.

En cuanto al tema acústico, según un estudio realizado en Singapur, no todos los sistemas que cuentan con una masa vegetal demuestran una reducción sonora destacable. Aquellos sistemas que alcanzan los mejores resultados reducen en un rango de 5 a 10 dB la frecuencia media. Los materiales de los sistemas de soporte, las características de la cámara interior que se genera y el espesor del medio en el que crecen las especies, son los factores que influyen en la atenuación del ruido, que en la mayoría de los casos necesitarían alcanzar grandes espesores para llegar a proporcionar una mejora acústica destacable o perceptible (Poza, 2017).

2.3 Marco Legal (Conceptual)

2.3.1 Requisitos de los equipos de medición

Las evaluaciones deben realizarse utilizando sonómetros integradores clase 1 o clase 2, de acuerdo con la Norma de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 61672-1:2002, o cualquiera que la sustituya.

Para verificar el correcto funcionamiento del sonómetro durante las mediciones, se utilizará un calibrador acústico que sea apropiado para el sonómetro. Se medirá el NPS del calibrador con el sonómetro antes y después de la medición, estos NPS deben constar en el informe de mediciones. El sonómetro podrá ser usado para la medición solo si el NPS medido con el calibrador tiene una desviación máxima acorde al criterio del Servicio de Acreditación Ecuatoriano o el que lo reemplace.

Los equipos de medición de ruido y sus componentes deberán estar en óptimas condiciones de funcionamiento y poseer los debidos certificados de calibración, emitidos por un laboratorio competente. Se recomienda que los certificados de calibración de los calibradores acústicos sean renovados cada año calendario y el de los sonómetros cada dos. No se permitirá la realización de mediciones con instrumentos cuyos certificados de calibración hayan caducado.

2.3.2 Ubicación del sonómetro

El sonómetro deberá estar colocado sobre un trípode y ubicado a una altura igual o superior a 1,5 m de altura desde el suelo, direccionando el micrófono hacia la fuente con una inclinación de 45 a 90 grados, sobre su plano horizontal. Durante la medición el operador debe estar alejado del equipo, al menos de 1 metro.

2.3.3 Medida para prevención y control de ruido en equipo portuario

Para mantener los niveles de ruido dentro de los parámetros indicados en la Tabla 4 de la presente norma, deberán revisarse periódicamente los motores de combustión interna o eléctricos

con que operen los equipos y máquinas que funcionen en el recinto portuario. Estos equipos deben poseer las debidas compuertas o cabinas, con aislamiento acústico, a fin de reducir la emisión de ruidos durante su funcionamiento.

Tabla 3

Máximos niveles sonoros equivalentes permisibles según equipo

	NIVEL SONORO EQUIVALENTE (DB(A<))
Equipo	Medido en 5 minutos a 15 metros de distancia del equipo
Tractores	94
Grúas (móviles)	85
Grúas (torre)	91
Generadores	84

Para la verificación de cumplimiento de los límites presentados, las mediciones deberán ser realizadas con un sonómetro integrador tipo 1, ubicado con su micrófono en dirección a la fuente, situado a 15 metros de distancia de esta y en la dirección en la que se presenten los mayores niveles de ruido. El cumplimiento se verificará en nivel sonoro equivalente de 5 minutos durante operación normal del equipo objeto de evaluación. Se deberá prevenir la influencia de otros equipos o personas que pudieren emitir sonidos durante la medición de niveles sonoros. Además, se deberá realizar las mediciones en espacios abiertos de tal forma que no existan superficies reflexivas que puedan influenciar la medición cerca de la fuente de niveles de ruido o del equipo de medición.

Se debe estudiar la reducción de ruido mediante la implantación de dispositivos específicos tales como silenciadores, casetas o barreras acústicas, y de otros mecanismos técnicos que garanticen su control. (Comité Interinstitucional de Seguridad e Higiene del trabajo, 2015)

2.4 Fundamentos Teóricos

2.4.1 Jardín vertical

Un jardín vertical es una tendencia que combina la belleza de la naturaleza con la funcionalidad en espacios reducidos. Estas instalaciones buscan imitar la capacidad natural de las plantas para crecer en superficies verticales, ofreciendo beneficios tanto estéticos como ambientales (ILUNION, 2023).

2.4.2 Hojarasca

La hojarasca es la mezcla de hojas, flores, frutos y partes lignificadas (ramitas no mayores de 1 cm de diámetro, corteza, etc.) que caen al suelo desde el estrato arbóreo(Ramos et al., 2009).

2.4.3 Helecho caballero (nephrolepis exaltata)

Nephrolepis exaltata, comúnmente conocido como helecho de Boston o helecho espada, es un helecho perenne de hábito erecto y extendido, nativo de América. En su hábitat natural puede alcanzar hasta 2.1 metros de altura, aunque típicamente mide entre 60 y 90 centímetros de alto y ancho. Sus frondas, que emergen directamente del suelo, son pinnadas compuestas, de color verde y pueden medir entre 5 y 10 centímetros de ancho. Es una planta popular para interiores, apreciada por su follaje fino y su rápido crecimiento. (Gilman, 2007)

2.4.4 Tela de lona impermeable

La lona impermeable está fabricada a partir de tejido base 100% poliéster incrustado entre dos películas de PVC, lo que la hace 100% impermeable y resistente a la intemperie (UNISIGN, 2020).

2.4.5 Tela jean

El denim (tela jean) es un tejido complejo y único, con un rico patrimonio histórico y cultural. Lo que distingue al denim de otros tejidos es su adaptabilidad y versatilidad. Tradicionalmente, el denim era un tejido de algodón tejido en sarga y teñido con índigo. Sin embargo, las variaciones modernas del denim pueden incluir mezclas de algodón con fibras sintéticas como poliéster o spandex para agregar elasticidad y durabilidad (Holzer, 2024).

2.4.6 Sustrato

El sustrato es el medio físico y químico donde las plantas desarrollan sus raíces y obtienen los nutrientes esenciales para su crecimiento. Es mucho más que simple tierra, ya que su composición influye directamente en la aireación, retención de agua y disponibilidad de nutrientes para las plantas (Huerto Urbano, 2015).

2.4.7 Reducción de ruido

La reducción de ruido es un proceso dinámico que atenúa o enmudece totalmente cualquier señal de audio que no alcance un nivel de intensidad determinado o umbral (Musicalecer, 2014).

2.4.8 Sonómetro

Un sonómetro es un instrumento de medida que sirve para medir niveles de presión sonora. En concreto, el sonómetro mide el nivel de ruido que existe en un determinado lugar y en un momento dado. La unidad con la que trabaja el sonómetro es el decibelio (Audiocentro, 2017).

2.4.9 Normativa acústica

La Normativa Acústica es el conjunto de leyes, reglamentos y normas técnicas que establecen los límites máximos permisibles de ruido en diferentes entornos, según su uso, con el fin de proteger la salud y el bienestar de las personas.

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGIA

3.1 Enfoque: Cuantitativa

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, fundamentado en la recolección y análisis de datos numéricos que se evaluaron con la relación entre la instalación de jardines verticales y la reducción de los niveles de ruido en un entorno controlado, donde las mediciones fueron realizadas con equipos especializados como el sonómetro, tacómetro digital, garantizando su precisión.

3.2 Tipo de Investigación: Explicativa

El presente proyecto correspondió principalmente a una investigación explicativa, ya que se buscó analizar y comprender la relación causa-efecto entre la implementación de jardines verticales y los niveles de ruido. Se analizaron mediciones acústicas en dos condiciones: con y sin jardines verticales, sin manipular otras variables externas. la evaluación de ruido con y sin jardines verticales en un entorno controlado.

3.3 Modalidad de Investigación: Campo

La investigación de campo implicó el estudio directo y la recopilación de datos sobre los niveles de ruido con y sin jardines verticales, se llevaron a cabo pruebas utilizando un sonómetro para someter un motor en una cabina con la ayuda de los jardines verticales, en el medio para poder medir cuantos decibeles puede alcanzar con jardines verticales y sin jardines verticales.

3.4 Técnica de recolección de datos

- **Medición directa con sonómetro:** se registraron los niveles de ruido en decibeles (dB) en condiciones controladas del laboratorio de operaciones unitarias. Marca Optimus, tipo CR:171C, No de Serie G400033. Las mediciones se realizarán tanto antes como después de instalar los jardines verticales.

- **Tacómetro digital:** se utilizó un motor monofásico (motor de licuadora), al cual se le medio la velocidad en sus tres niveles de funcionamiento, con el objetivo de obtener datos en distintos rangos de operación. Para ello, se empleó un tacómetro digital marca: CHECK LINE DIGITAL TACHOMETER, que permitió registrar con precisión las revoluciones por minuto.

- **Descarga de datos con el software NoiseTools:** los datos registrados durante las mediciones acústicas fueron descargados desde el sonómetro utilizando el software NoiseTools, este programa permitió transferir la información al computador de forma eficiente, facilitando la visualización, donde se exportaron los datos

obtenidos para su posterior análisis estadístico y elaboración de gráficos comparativos.

- **Software para análisis de datos:** para el análisis de los datos se utilizó el software SPSS Statistics, versión 23 (2015), Edición de 32 bits, lo cual permitió aplicar pruebas estadísticas y comparar los niveles de ruido con y sin jardines verticales, para su comprobación de la hipótesis.

3.4.1 Normativas de seguridad aplicadas

Durante el desarrollo del presente estudio no se aplicaron normas internacionales en su totalidad, sin embargo, se tomó como referencia el marco técnico del texto unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), el cual establece en su libro VI, Anexo 5, también con la ayuda de la ISO 1680:2014 y la ISO 11957:2010 donde se detallan criterios mínimos para la medición de ruido ambiental, donde:

El micrófono del instrumento de medición estará ubicado a una altura entre 1,0 y 1,5 m del suelo, y a una distancia de por lo menos 3 (tres) metros de las paredes de edificios o estructuras que puedan reflejar el sonido. El equipo sonómetro no deberá estar expuesto a vibraciones mecánicas, y en caso de existir vientos fuertes, se deberá utilizar una pantalla protectora en el micrófono del instrumento.

Medición de Ruido Estable. - se dirige el instrumento de medición hacia la fuente y se determinará el nivel de presión sonora equivalente durante un período de 1 (un) minuto de medición en el punto seleccionado. (Ministerio del Ambiente, 2015)

3.4.1.1 Análisis de cumplimiento de la ISO 11957 en la cabina experimental

Con base a las recomendaciones de la norma ISO 11957:2010, que establece los lineamientos para la evaluación del aislamiento acústico de cabinas pequeñas y envolventes acústicas, se analizaron los criterios que fueron aplicados y aquellos que, por limitaciones del entorno y los recursos disponibles, no pudieron implementarse completamente durante el desarrollo experimental de esta investigación.

A continuación, se describen los aspectos técnicos clave establecidos por la norma, su grado de aplicación en el presente estudio y la justificación correspondiente:

Tabla 4

Análisis del cumplimiento de la ISO 11957:2010

Ítem de la ISO 11957	¿Se aplico?	Justificación	Recomendación
Dimensiones adecuadas de cabina	Si	La cabina tiene 1,4 m de ancho y 1 m de profundidad. Estas dimensiones están dentro del rango típico para cabinas pequeñas según la norma	No necesario
Fuente sonora colocada dentro de la cabina	Si	Se coloco la fuente sonora en el interior, como exige la norma para evaluar aislamiento desde el interior hacia el exterior.	No necesario
Medición del nivel de presión sonora dentro y fuera	Parcial	Se realizaron mediciones dentro de la cabina con un sonómetro.	Usar mediciones simultaneas con dos micrófonos en futuras investigaciones, dentro y fuera de la cabina experimental.
Medición en 4 posiciones exteriores a 1 m de distancia y 1,5 m de altura	Si	Se respeto el criterio de medición exterior en varias posiciones a la distancia y altura recomendada	No necesario

Evaluación del tiempo de reverberación en el exterior (reverberante room)	No	El experimento se realizó en un entorno real (laboratorio), no en una cámara reverberante controlada. No se disponía del equipamiento necesario para medir o acondicionar el tiempo de reverberación.	Como recomendación usar una sala reverberante o medir el tiempo de reverberación
Hermeticidad de la cabina (cierre y sellado del aire)	Parcial	Se utilizaron telas impermeables y cierres ajustados, pero no se emplearon sellos de goma ni espuma acústica profesional.	Recomendar uso de juntas acústicas profesionales.
Desacoplamiento estructural del suelo (evitar transmisión estructural)	No	La cabina se colocó directamente sobre el piso por limitaciones de recursos y tiempo.	Recomendar el uso de bases anti vibratorias.
Uso de materiales de alta masa y absorción interna (paneles multicapa, lana de roca, etc.)	No	Se emplearon materiales ecológicos como jardines verticales y tela impermeable, priorizando la funcionalidad bioclimática sobre el uso de materiales convencionales densos.	Si, como mejora futura, comparar con un sistema multicapa convencional para validar el desempeño

Cálculo del índice de reducción sonora aparente R	No	No se calculó R´R´ debida a la falta de condiciones controladas (tiempo de reverberación conocido, doble micrófono) y equipo especializado	Si, recomendar el cálculo de RR con condiciones de laboratorio más controladas.
Frecuencias en bandas de 173 de octava (100 Hz a 5 kHz)	No	Este estudio no buscaba una certificación profesional, sino hacer una comparación entre dos escenarios	Se recomienda utilizar un analizador de espectro que permita trabajar con bandas de tercio de octava. Esto brindaría un análisis más detallado del comportamiento acústico por rangos de frecuencia

3.4.1.2 Análisis del cumplimiento de la ISO 1680:2014

A continuación, se presenta una comparación entre los requisitos establecidos por la norma ISO 1680:2014 para la medición de ruido aéreo en equipos rotativos y el procedimiento experimental seguido en el desarrollo de la tesis. Esta tabla tiene como objetivo identificar los aspectos que se cumplieron, aquellos que no fueron aplicados y las respectivas justificaciones o recomendaciones técnicas y económicas para su implementación futura.

Tabla 5

Análisis del cumplimiento de la ISO 1680:2010

Requisito ISO 1680:2014	¿Se cumplió?	Justificación	Recomendación
Ambiente de medición controlado (cámara anecoica o entorno con características acústicas conocidas)	*No*	Se utilizó una cabina construida manualmente con aislamiento básico, por lo que no cumple estrictamente con las condiciones anecoicas.	Implementar una cámara semi-anecoica o caracterizar acústicamente la cabina en futuras investigaciones.
Condiciones de funcionamiento normal de la fuente de ruido	*Si*	Se utilizó una fuente sonora constante (ej. Motor Bull), operando en condiciones repetibles.	
Ubicación estandarizada del micrófono (por ejemplo, a 1 metro de la fuente)	*si*	Se mantuvo una distancia fija de 1 metro entre la fuente sonora y el micrófono en todas las mediciones.	

Uso de sonómetro clase 1 (según IEC 61672-1)	*No*	Se utilizó un sonómetro clase 1 por razones de disponibilidad y costo. Este instrumento aún proporciona datos aceptables para fines comparativos	Para estudios con fines normativos, se recomienda el uso de equipos clase 2 certificados.
Verificación del ruido de fondo (mínimo 10 dB por debajo del ruido medido)	*Si*	Se midió el ruido de fondo sin la fuente activa y se verificó que era suficientemente inferior al nivel medido, donde era de 5 dB.	
Registro del nivel continuo equivalente (Leq)	*Si*	Se utilizó el parámetro Leq para representar los niveles de presión sonora durante intervalos constantes.	
Condiciones ambientales registradas (temperatura, humedad, etc.)	*No*	La medición se llevó a cabo en un entorno de laboratorio cerrado, sin ventilación natural ni fuentes externas de variación ambiental significativa, todas las pruebas	Se recomienda incluir sensores ambientales en futuras investigaciones para mayor precisión.

		experimentales (con y sin jardín vertical se realizaron en un mismo espacio.
Repetición de mediciones para confiabilidad	*Si*	Se repitieron las mediciones múltiples veces para asegurar la consistencia de los resultados.

3.4.2 Justificación del desarrollo

El objetivo principal de este proyecto fue evaluar si la implementación de jardines verticales tiene un efecto significativo en la reducción de niveles de ruido en un entorno controlado. Por esta razón, el enfoque experimental se centró únicamente en determinar cuánto disminuyo, entre dos condiciones: con y sin jardines verticales sin pretender realizar una caracterización acústica completa bajo normas internacionales específicas, sino obtener datos comparativos directos para valorar la eficacia de la solución vegetal como barrera acústica. Los resultados mostraron que a, 10.000 RPM, el nivel de ruido se redujo de 92,44 dB a 75,96 dB, es decir una disminución significativa de 16,49 dB, a 15.000 RPM, se pasó de 95,93 dB a 79,44 dB, con una reducción de 16,49 dB y a 20.000 RPM, el ruido paso de 98,54 dB a 82,36 dB, logrando una reducción significativa de 16,18 dB. Estos resultados evidenciaron una disminución significativa en los niveles de ruido, lo que confirmo la eficacia de los jardines verticales como estrategia para la mitigación de ruido.

La máquina bajo ensayo deberá estar en condiciones de funcionamiento estables. No deberán producirse fluctuaciones del estado operativo que puedan afectar el resultado de la medición. El método de ingeniería (grado 2) proporciona resultados suficientemente precisos para la mayoría de los propósitos técnicos y es adecuado para mediciones fuera de laboratorios especializados. (AENOR, 2014)

Se medirá el nivel de presión sonora fuera de la cabina, con la fuente sonora en funcionamiento y la puerta cerrada (6.4). posteriormente, se medirá el nivel de presión sonora en el interior de la cabina (6.5). la diferencia entre ambas mediciones permite calcular la reducción acústica Dp. (AENOR, 2010)

Si bien no se aplicaron formalmente las normas UNE-EN ISO 1680:2014 (medición de ruido de máquinas rotativas) ni UNE-EN ISO 11957:2010 (aislamiento acústico de cabinas), si se aplicaron varios de sus principios fundamentales, entre ellos: el uso del sonómetro clase 1 calibrado, la realización de mediciones en un entorno controlado (el laboratorio de operaciones unitarias), la comparación entre condiciones con y sin intervención vegetal, y la toma de datos repetida bajo condiciones constantes. No hubo la necesidad de la aplicación formal de estas normas ISO, porque se requieren de recursos especializados, como cámaras reverberantes, software de procesamiento acústico avanzado, lo cual no estaba disponible en el entorno académico del laboratorio, además nos alejábamos del cumplimiento del objetivo comparativo del estudio.

Se tomaron 7 mediciones por cada velocidad (10 000, 15 000, 20 000) para asegurar representatividad estadística, donde nos permitió un análisis robusto mediante pruebas estadísticas como la Tstudent de muestras relacionadas. Este número de repeticiones fue adecuado para estudios experimentales que buscan establecer una media confiable, sin recurrir en la redundancia, donde el ruido se mantenía constante y no había la necesidad de recurrir a más datos y con la facilidad del sonómetro que estaba calibrado y basándonos en el TULSMA y en el Anexo 3 del

Reglamento de Seguridad e Higiene en el trabajo podíamos proporcionar una base mínima para validar nuestra hipó tesis con niveles de confianza aceptables.

3.5 Tipo de investigación: Cuasiexperimental

Dado que el objetivo del proyecto fue la evaluación de ruido con y sin jardines verticales, se recurrió a un diseño cuasiexperimental, ya que no implico la manipulación directa de las variables (el ruido y los jardines verticales), sino que se observaron en dos condiciones: con y sin jardines verticales. Los niveles de ruido se midieron en un mismo espacio bajo estas dos condiciones, lo que permitió comparar los efectos de los jardines verticales sin cambiar otros factores, además el proyecto tuvo un enfoque transversal, ya que las mediciones se realizaron en dos momentos específicos: antes de instalar los jardines verticales y después de su evaluación.

3.6 Población de estudio y tamaño de la muestra

La población del estudio estuvo constituida por el entorno controlado del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo. Este espacio fue representativo de entornos industriales con alta contaminación acústica debido a la operación de maquinaria y compresores.

No se utilizó un muestreo convencional, ya que el estudio se centró en un único entorno experimental. La selección del área de prueba se realizó considerando la disponibilidad de espacio para los jardines verticales y criterios de ubicación estratégica para mediciones acústicas. Estas condiciones aseguraron que los datos recopilados sean válidos y confiables para los fines del estudio.

3.7 Instrumento de investigación

- Observación directa de los hechos.
- Registro fotográfico.
- Determinación de ruido con el sonómetro, con y sin jardines verticales en la cabina de prueba.
- Tacómetro digital
- Normativas de seguridad y salud en el trabajo, decreto ejecutivo Dirección del seguro General de Riesgos de Trabajo

3.8 Hipótesis

3.8.1 Hipótesis general

Hi: La construcción de jardines verticales en un entorno controlado reduce significativamente los niveles de ruido en comparación con un entorno sin jardines verticales.

Ho: La construcción de jardines verticales en un entorno controlado no reduce significativamente los niveles de ruido en comparación con un entorno sin jardines verticales.

3.9 Operacionalización e las variables

Tabla 6

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Técnica de medición	Instrumento
Niveles de ruido	Intensidad sonora percibida en un entorno controlado, medida en decibeles (dB).	Valores de ruido registrados en dB utilizando un sonómetro en el laboratorio.	Ruido sin jardines verticales	Nivel de ruido medido en dB	Medición directa en laboratorio controlado	Sonómetro
			Ruido con jardines verticales	Nivel de ruido medido en dB	Medición directa en laboratorio controlado	Sonómetro
Jardines verticales	Sistema de vegetación vertical que actúa como barrera acústica.	Implementación de una superficie cubierta con vegetación ornamental en paredes verticales.	Presencia de vegetación	Tipos de plantas utilizadas	Observación directa	Lista de verificación
			Configuración del sistema	Área cubierta con jardines verticales (m^2)	Registro de características	Lista de verificación

Reducción del ruido	Diferencia en los niveles de ruido medida en dB antes y después de implementar jardines verticales.	Atenuación del ruido calculada como la diferencia entre los valores medidos.	Atenuación acústica	Diferencia en dB entre las mediciones	Análisis comparativo mediante software estadístico	Datos del sonómetro

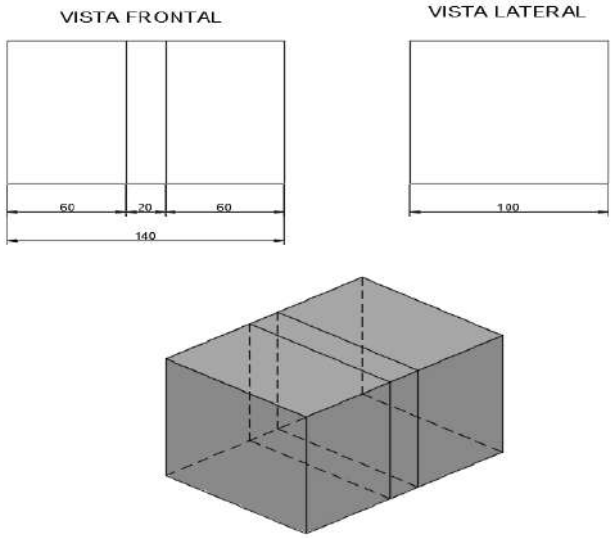
3.10 Procedimiento

3.10.1 Primera etapa: diseño y construcción de cabinas de ensayo para la experimentación y ubicación del sonómetro.

La cabina de prueba fue diseñada inicialmente utilizando el software AutoCAD, lo que nos permitió crear un modelo detallado y preciso de la estructura, donde nos permitió crear un modelo detallado y preciso de la estructura, considerando factores como el tamaño, la forma y los materiales, el diseño en AutoCAD nos facilitó la visualización para poder dimensionar la cabina de prueba al momento de construir. Las dimensiones de la cabina son: un marco de 1m cuadrado con una profundidad de 1 m, así mismo con un ancho de 0,60 m estas mismas medidas tienen el otro entorno de la cabina la única diferencia es su bandeja donde van a ir los jardines verticales, sus dimensiones son: 0.20 m de ancho y 1 m de alto por un 1 m de profundidad, como se puede observar en la figura 7.

Figura 7

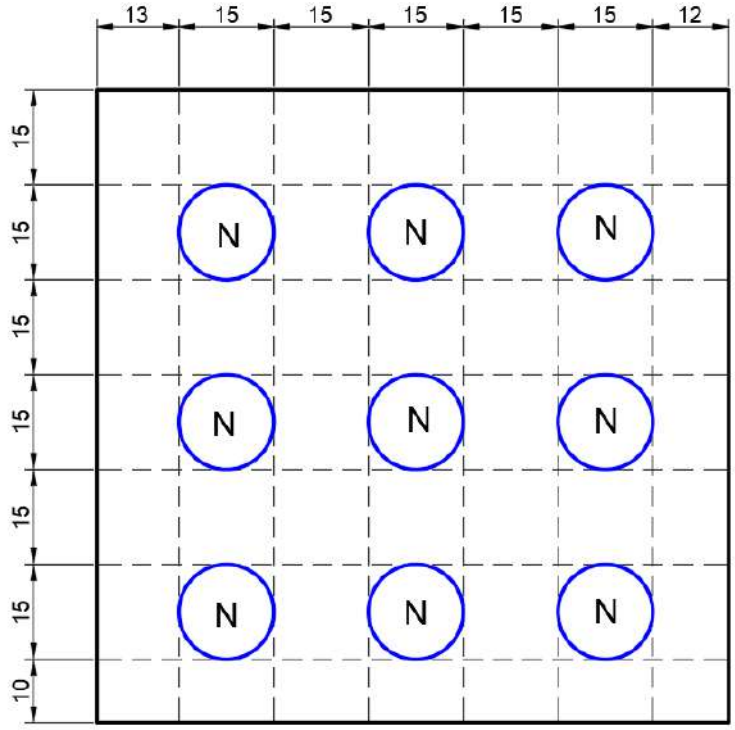
Diseño sólido de la cabina de prueba



El diseño de la bandeja para jardines verticales, desarrollado, con las siguientes dimensiones: 1 m de ancho, por un 1 m de profundidad con un ancho de 0,20 m. La bandeja está diseñada para soportar sustratos como fibra de coco, humus y perlita, maximizando la retención de agua, nutrientes y la absorción acústica. Además, incluye soportes metálicos para fijarse a estructuras verticales, garantizando estabilidad y durabilidad. Este diseño optimiza el rendimiento del jardín vertical en ambas caras, siendo una solución sostenible y práctica para evaluar su impacto acústico en entornos controlados, con la recomendación del "Vivero Morocho" nos ayudó a la distribución del helecho como se muestra en la figura 8.

Figura 8

Distribución de las plantas en las bandejas con un solo tipo de planta



Donde:

N= Helecho Nephrolepis (Caballero)

Una vez diseñado el jardín vertical en AutoCAD, se procede a la construcción de la cabina, eligiendo este sistema debido a sus ventajas en la absorción acústica y su capacidad para mejorar la calidad del aire. El diseño de doble cara permite maximizar la reducción del ruido desde ambos lados de la cabina, mientras que el sustrato orgánico, como la fibra de coco o el humus, proporciona un entorno adecuado para el crecimiento de las plantas y contribuye al aislamiento térmico. Esta elección no solo optimiza el rendimiento acústico, sino que también promueve la sostenibilidad, haciendo que la cabina sea una solución ecológica y eficiente para mejorar las condiciones del entorno urbano, como se muestra en la **figura 9**.

Figura 9

Construcción de la cabina

Se construyó una bandeja de 1m de largo por 1m de profundidad y 0,20m de ancho, con tubo metálico cuadrado de ¾ pulgada, luego se recubrió con una lona impermeable como pared, también se colocó bolsillos de tela jean de 0,15m de diámetro para que el sustrato no se derrame y el helecho pueda enraizarse adecuadamente, como se muestra en la **figura 11**, manteniendo húmeda la planta.

Figura 10

Diseño de la estructura de los prototipos de jardín vertical

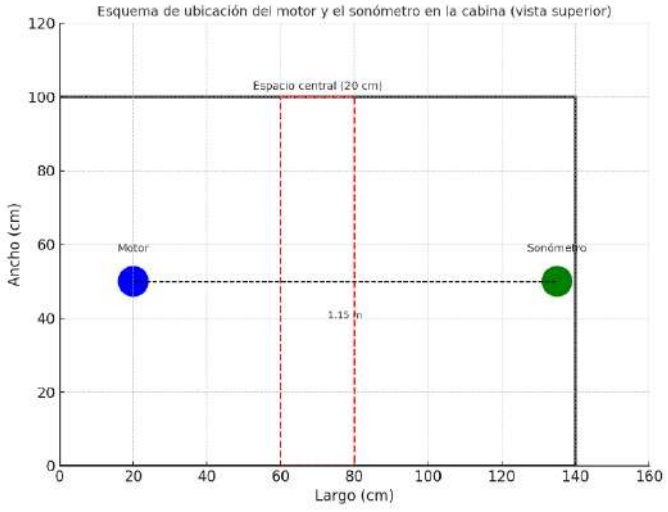
Figura 11

Colocación de lona impermeable con bolsillos de tela jean

La **figura 12** presento un esquema simplificado que ilustro como fueron distribuidos los elementos principales dentro de la cabina experimental. El motor, empleado como fuente emisora de sonido, fue ubicado en el extremo izquierdo, mientras que el sonómetro se posiciono al lado derecho, dejando entre ambos una separación de 1,15 metros. En la parte central se mantuvo un espacio libre con y sin jardines verticales de 20 cm, lo que permitió una organización equilibrada del espacio.

Figura 12

Ubicación del motor y el sonómetro en la cabina experimental



3.10.2 Segunda etapa: determinación de las plantas más adecuadas que permiten condiciones ambientales favorables

Para la selección de plantas en la cabina de prueba para el jardín vertical se tomó una especie la cual es el: Helecho (Nephrolepis Exaltata). Según (Asdrubali et al., 2014), este espécimen puede absorber hasta el 98% de la energía acústica incidente a frecuencias cercanas a los 1600 Hz, lo que lo convierte en una planta ideal para su uso en barreras acústicas naturales. Este resultado subraya el potencial de las plantas no solo como elementos decorativos, sino también como herramientas efectivas para la mitigación de ruido en entornos controlados e industriales como también urbanos.

Descripción de la Nephrolepis Exaltata (caballero)

Nombre común: helecho caballero.

Nombre científico: Nephrolepis Exaltata

Familia: Lomariopsidaceae.

Características:

Resistente al invierno, donde las temperaturas mínimas no bajan de -1°C a 10°C. Pueden cultivarse en suelos húmedos, con humus y bien drenados en sombra parcial, se cultiva fácilmente en interiores como planta de interior. Se recomienda una mezcla para macetas a base de turba y tierra, lo que proporciona un buen drenaje y nutrientes. Teniendo una altura de 20 a 30 cm de altura.

- **Riego:** El riego debe ser regular, manteniendo el suelo ligeramente húmedo, evitando el exceso de agua para prevenir la acumulación de agua.
- **Problemas:** Pueden aparecer cochinillas, babosas y mosca blanca. La caída de hojas en interiores puede resultar molesta.
- **Usos:** Como helecho de interior, es mejor colocarlo en pedestales o cestas colgantes. Los lugares dentro o cerca de baños o cocinas pueden tener mejor humedad. Si es resistente al invierno en exteriores, se puede cultivar en grupos o en áreas sombreadas, o se puede ubicar en la base de arbustos o alrededor de árboles.
- **Mantenimiento:** El mantenimiento incluye un riego regular, manteniendo el sustrato ligeramente húmedo, pero bien drenado para evitar daño en las raíces por exceso de agua, se debe fertilizar ocasionalmente utilizando un sustrato ligero a base de turba.
- **Selección de Sustrato Orgánico (Hoja rasca, Tierra negra, Cascarilla, Cal):** La selección de un sustrato adecuado para un jardín vertical de helechos es crucial para garantizar el crecimiento óptimo de las plantas y el mantenimiento de un ecosistema sostenible. Uno de los materiales más recomendados en este contexto es el sustrato orgánico, un recurso natural compuesto por restos de hojas caídas, cascarilla, cal,

tierra negra es un sustrato orgánico que ayudara a mantener que nuestras plantas crezcan y puedan enraizarse correctamente.

3.10.3 Tercera etapa: selección y colocación del sustrato y plantas

En el **Anexo 3**, se llevó a cabo la colocación del sustrato en los bolsillos de los jardines verticales, asegurando una base adecuada para el crecimiento de las plantas. Primero va el sustrato como base para que las raíces puedan enraizarse correctamente, sin olvidar de poner en la parte superior del helecho también para ayudar en su fortalecimiento de crecimiento. Una vez preparado el sustrato, se procede a la plantación de las especies, colocando las plantas de manera estratégica en cada bolsillo para garantizar un crecimiento óptimo y un diseño estéticamente atractivo. Durante este proceso, es importante mantener la integridad de las raíces y asegurar que las plantas tengan suficiente espacio para desarrollarse adecuadamente.

Datos Técnicos del jardín vertical

Tabla 7

Tabla resumen del jardín vertical

Elemento	**Detalle Técnico**
Tipo de jardín vertical	Doble cara con una cámara de aire
Material de estructura	Tubo cuadrado de ¾ pulgada
Revestimiento	Lona impermeable (lona sport)
Bolsillos	Tela jean, 15 cm de diámetro
Planta utilizada	Nephrolepis exaltata (helecho caballero)
Tipo de sustrato	Abono orgánico
Dimensiones de la cabina	1m (alto) x 1m (profundidad) x 0,6m (ancho)
Área cubierta total	$1m^2$ por cada cara del jardin

CAPÍTULO IV.

4. Análisis, interpretación y discusión de resultados

4.1 Resultados de la construcción de la cabina de prueba

La construcción de la cabina de prueba tuvo como objetivo crear un entorno controlado que permitiera realizar mediciones confiables sobre la capacidad de los jardines verticales para la reducción de ruido en el laboratorio de operaciones unitarias, donde se mostrara los resultados obtenidos en esta fase, tomando en cuenta que estos materiales se utilizaron tanto por su lado económico como resistencia y beneficios que aportan a la mitigación de ruido.

4.2 Materiales utilizados

4.2.1 Lona impermeable

La lona sport ayudó de manera efectiva a aislar el sonido en su interior. Su estructura porosa permitió reducir la transmisión de ruidos de frecuencias medias y altas, contribuyendo a un ambiente acústicamente controlado y más silencioso. Aunque no es un material especializado en aislamiento acústico, su capacidad para amortiguar el sonido resultó suficiente para disminuir la intensidad del ruido dentro de la cabina.

Figura 13

Lona impermeable para la cabina experimental

4.2.2 Bolsillos de tela jean

Los bolsillos de tela jean fueron fundamentales para la instalación del sustrato y la colocación de los helechos. Su estructura permitió mantener la humedad adecuada para el desarrollo de las plantas, evitando el encharcamiento y posibles daños asociados al exceso de agua. Gracias a esta característica, se logró un entorno vegetal funcional y sostenible dentro de la cabina,

que además de cumplir una función decorativa, contribuyó al confort ambiental sin comprometer la integridad de los materiales ni la salud de las plantas.

Figura 14

Bolsillos de tela jean para helechos

4.2.3 Estructura metálica

Para la construcción de la cabina de prueba, se empleó un tubo cuadrado de ¾ de pulgada, conformando una estructura con dimensiones de 1 metro de altura, 1 metro de profundidad y un ancho de 0,60 metros, como se ilustra en la **figura 15**. Adicionalmente, se incorporó una bandeja con una altura de 1 metro y un ancho de 0,20 metros, destinada a la instalación de los jardines verticales de doble cara, tal como se observa en la **figura 16**. La estructura fue diseñada en tres secciones desmontables, lo que facilita la remoción de la bandeja para realizar mediciones sin los jardines verticales y su posterior reinstalación para las mediciones con ellos.

Figura 15

Diseño estructural de la cabina de prueba

Figura 16

Estructura de la bandeja para jardines verticales

4.2.4 Descripción del tipo de jardín vertical utilizado en la estructura

Tras la construcción de la cabina experimental, se implementó un jardín vertical de tipo de dos caras, descrito previamente en el apartado de procedimientos. Este diseño permite maximizar la absorción del ruido desde ambos lados de la cabina. Según Rivera (2018), considera que son utilizados como separadores de espacios o como paredes de sombra y humedad, tienen como fin de propiciar un clima agradable.

Figura 17

Jardín vertical de dos caras con un espacio de aislamiento acústico

Se denomina cámara de aire a un espacio que queda entre dos muros cuando se construye una fachada compuesta a capas. Este hueco, que separa la pared de ladrillo interior de la exterior, puede estar vacío o rellenarse de diferentes materiales aislantes. (Effihaus, s,f)

En el diseño de un jardín vertical de dos caras, la cámara de aire desempeña un rol fundamental en el aislamiento acústico. Esta capa de aire, ubicada entre las dos caras del jardín, mejora la circulación del aire y regula la humedad, creando un entorno más favorable para las plantas. Además, actúa como una barrera que reduce el ruido externo, contribuyendo a un mayor confort acústico en el espacio.

4.2.5 Dimensiones y diseño

La cabina de prueba fue construida siguiendo las especificaciones del diseño en AutoCAD que se muestra en el procedimiento, como parte solida tenemos las siguientes mediciones: 1m de altura por 1,40 de ancho por 1m de profundidad, como se muestra en la **Figura 7**.

4.2.6 Finalización y características de la cabina de prueba experimental

La cabina de prueba se construyó con materiales adecuados para garantizar su resistencia y correcto desempeño. Su diseño final permite la fácil instalación y remoción de los componentes necesarios para llevar a cabo mediciones en distintas condiciones. En este documento se describe el proceso de construcción y las características de la cabina terminada, resaltando los materiales empleados y su funcionalidad para futuras evaluaciones, como se ilustra en la **figura 18.**

Figura 18

Vista final de la cabina de prueba

Se destaca que el diseño y la construcción de la cabina experimental, durante este proceso se ejecutan una serie de tareas, en su mayoría manuales, para garantizar que la cabina cumpla con los requerimientos técnicos necesarios y pueda ofrecer una mejor optimización de la toma de datos al momento de realizar las pruebas, proporcionando un entorno controlado más eficiente y adecuado para los objetivos.

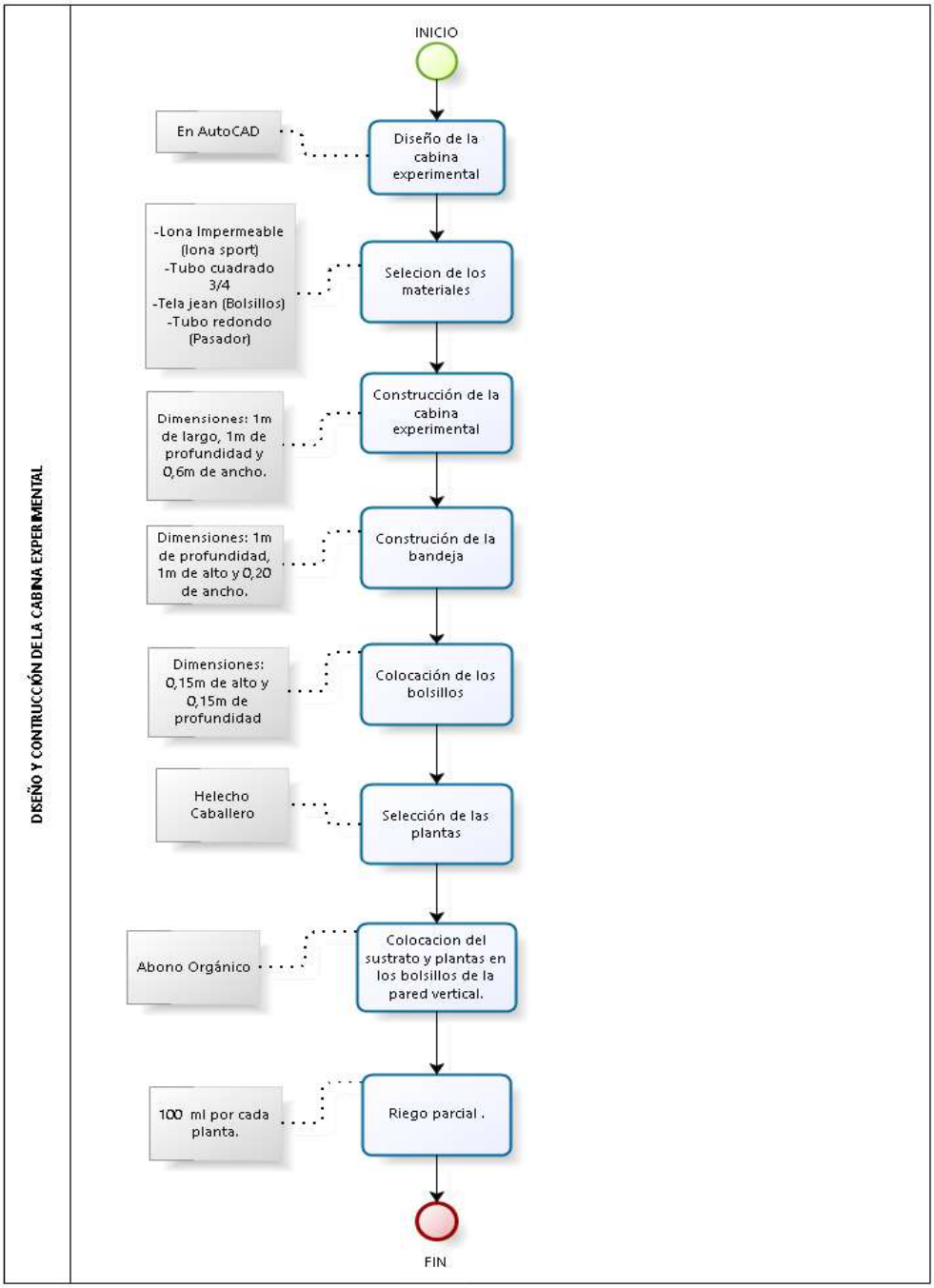
4.3 Justificación científica de la vegetación seleccionada para el jardín vertical

La selección del *Nephrolepis exaltata*, comúnmente conocido como helecho caballero, se fundamentó en sus propiedades acústicas, morfológicas y adaptativas. Desde el punto de vista científico, esta especie ha demostrado un comportamiento favorable en la absorción de ondas sonoras, particularmente en frecuencias medias y altas. Estudios como el de (D'Alessandro, 2015), han evaluado su capacidad de absorción utilizando el método del tubo de impedancia, concluyendo que su denso follaje y estructura irregular favorecen significativamente la dispersión y absorción acústica. Además, este helecho presenta una alta densidad foliar, lo que incrementa su superficie de contacto con las ondas sonoras, y cuenta con una morfología que genera múltiples superficies de reflexión, elementos clave en la reducción del ruido en entornos cerrados.

Según (Sun et al., 2025), las hojas de textura gruesa, como las del helecho caballero, presentan una mayor capacidad de reducción de ruido en comparación con especies de hoja delgada. En su investigación, se demostró que las hojas gruesas reducen el ruido hasta en un 50.74% más que las hojas chartáceas (delgadas), y que existe una correlación positiva entre la densidad del tejido foliar (LTD) y la eficiencia de absorción acústica ($r > 0.78$, $p < 0.001$).

Figura 19

Diagrama de flujo del diseño y construcción de la cabina experimental



4.4 Resultados de la toma de datos con y sin jardines verticales

4.4.1 Toma de datos sin jardines verticales para establecer la línea base

Para poder establecer una línea base en el laboratorio de operaciones unitarias, se realizaron mediciones iniciales sin jardines verticales, estas mediciones se llevaron a cabo utilizando el

sonómetro de marca: OPTIMUS CIRRUS a una distancia de 1,15m del motor de la licuadora hasta el sonómetro, y desde la altura del suelo hasta el sonómetro una altura de 0,60m. Los valores registrados se hicieron en una toma de 7 datos en un tiempo de 2 min por velocidad como se muestra en la tabla 8:

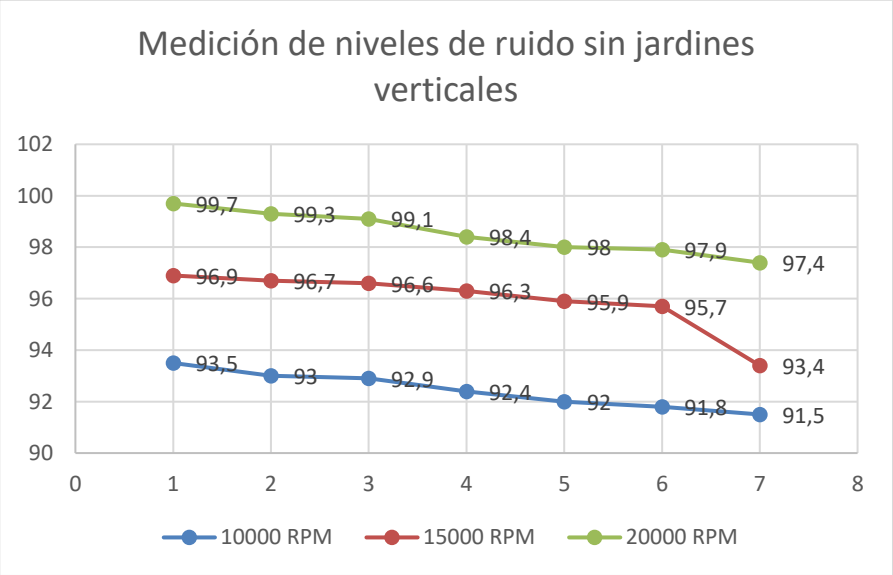
Tabla 8

Establecimiento de la línea base mediante el registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de helechos en las 3 velocidades (rpm)

Medición de niveles de ruido sin jardines verticales									
RPM	Ln1	Ln2	Ln3	Ln4	Ln5	Ln6	Ln7	LAFMax	LAeq (dB)
10000	93,5	93	92,9	92,4	92	91,8	91,5	94,1	92,5
15000	96,9	96,7	96,6	96,3	95,9	95,7	93,4	97,2	96,3
20000	99,7	99,3	99,1	98,4	98	97,9	97,4	100,1	98,6

Figura 20

Comparación de los niveles de ruido sin jardín vertical



En la **Figura 20**, se presentan las mediciones de niveles de ruido sin la presencia de jardines verticales, realizadas a tres velocidades distintas del motor de licuadora: 10,000, 15,000 y 20,000 RPM, dentro de un entorno controlado. A 10,000 RPM, los niveles de presión sonora se ubicaron entre 91,5 dB y 94,1 dB, con un valor equivalente de 92,5 dB (LAeq). A 15,000 RPM, los valores fluctuaron entre 93,4 dB y 97,2 dB, con un nivel equivalente de 96,3 dB (LAeq). Por último, a

20,000 RPM, los niveles de ruido variaron entre 97,4 dB y 100,1 dB, alcanzando un valor de 98,6 dB (LAeq). Estos resultados sirven como referencia inicial para comparar los efectos de los jardines verticales en futuras mediciones de ruido.

4.4.2 Toma de datos con jardines verticales

Después de la colocación de los jardines verticales, se realizaron nuevas mediciones en los mismos puntos de su evaluación en las mismas condiciones tomadas sin jardines verticales, como se muestra en la tabla 9.

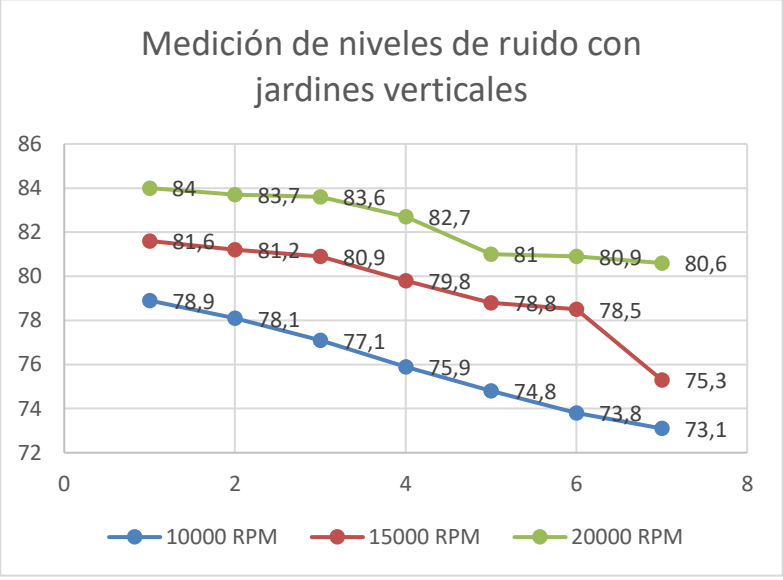
Tabla 9

Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de helechos en las 3 velocidades (rpm)

Medición de niveles de ruido con jardines verticales									
RPM	Ln1	Ln2	Ln3	Ln4	Ln5	Ln6	Ln7	LAFMax	LAeq (dB)
10000	78,9	78,1	77,1	75,9	74,8	73,8	73,1	79,4	75,96
15000	81,6	81,2	80,9	79,8	78,8	78,5	75,3	82,2	79,9
20000	84	83,7	83,6	82,7	81	80,9	80,6	84,4	82,6

Figura 21

Comparación de los niveles de ruido con jardín vertical



En la **Figura 21**, se presentaron los resultados obtenidos muestran como los jardines verticales contribuyen a una reducción significativa de los niveles de ruido en comparación con las mediciones sin ellos. A pesar de que el nivel de ruido aumenta con el incremento de la velocidad

del motor, la presencia de jardines verticales disminuye este aumento, observándose una disminución notoria, como en el caso de 10,000 RPM, donde el nivel de presión sonora baja de 92,5 dB a 75,96 dB. Esta tendencia se mantiene en las diferentes velocidades, lo que indica que los jardines verticales tienen un efecto positivo en la reducción del ruido, mejorando el ambiente acústico del entorno evaluado.

4.5 Análisis con y sin jardines verticales por cada RPM

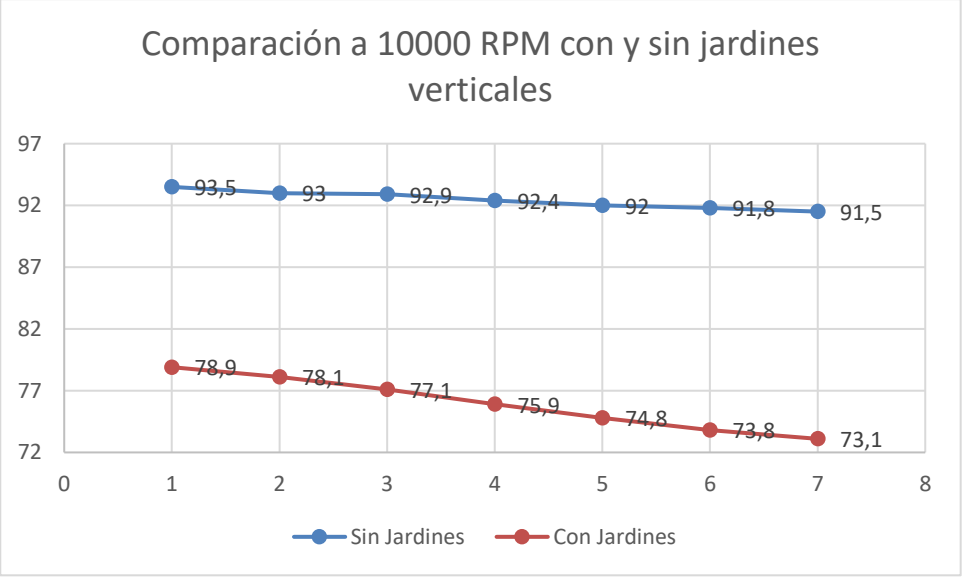
Tabla 10

Datos con y sin jardín vertical a 10000 rpm

Comparación a 10000 rpm con y sin jardines verticales									
Niveles	Ln1	Ln2	Ln3	Ln4	Ln5	Ln6	Ln7	LAFMax	LAeq (dB)
Sin jardines	93,5	93	92,9	92,4	92	91,8	91,5	94,1	92,5
Con jardines	78,9	78,1	77,1	75,9	74,8	73,8	73,1	79,4	75,96

Figura 22

Comparación de los niveles de ruido con jardín vertical



La gráfica presentó la comparación de los niveles de ruido medidos a 10000 RPM con y sin jardines verticales. Se observa que, sin jardines, los valores se mantienen en un rango alto, con un LAeq de 92,5 dB. En contraste, con la implementación de jardines verticales, los niveles de ruido disminuyen notablemente, alcanzando un LAeq de 75,96 dB. Esta reducción de 16,54 dB

evidencia la efectividad de los jardines verticales como una medida de mitigación acústica, proporcionando una barrera natural que atenúa la propagación del sonido.

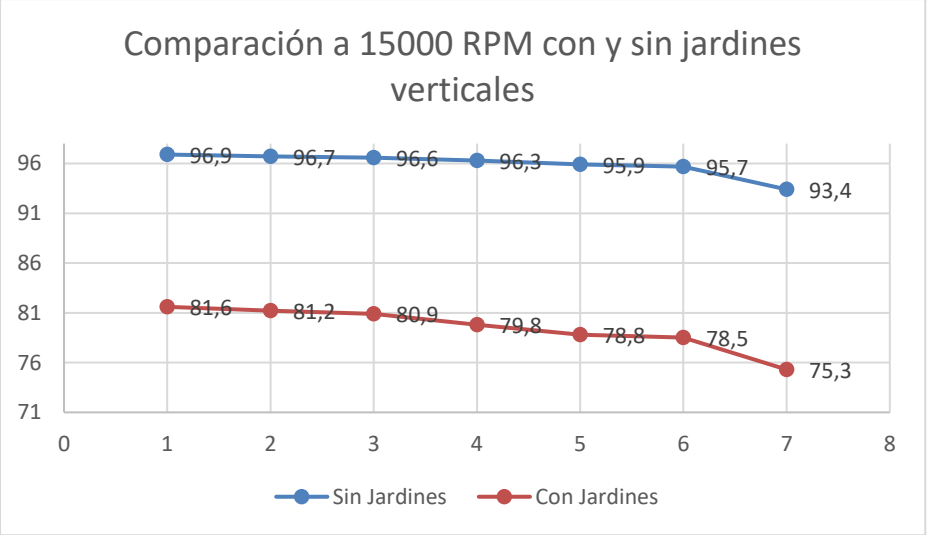
Tabla 11

Datos con y sin jardín vertical a 15000 rpm

Comparativa a 15000 rpm con y sin jardines verticales									
Niveles	Ln1	Ln2	Ln3	Ln4	Ln5	Ln6	Ln7	LAFMax	LAeq (dB)
Sin jardines	96,9	96,7	96,6	96,3	95,9	95,7	93,4	97,2	96,3
Con jardines	81,6	81,2	80,9	79,8	78,8	78,5	75,3	82,2	79,9

Figura 23

Comparación de los niveles de ruido con jardín vertical



La gráfica presentó la comparación de los niveles de ruido medidos a 15,000 RPM con y sin jardines verticales. Se observa que, sin jardines, los valores se mantienen en un rango alto, con un LAeq de 96,3 dB. En contraste, con la implementación de jardines verticales, los niveles de ruido disminuyen notablemente, alcanzando un LAeq de 79,9 dB. Esta reducción de 16,4 dB evidencia la efectividad de los jardines verticales como una medida de mitigación acústica, proporcionando una barrera natural que atenúa la propagación del sonido.

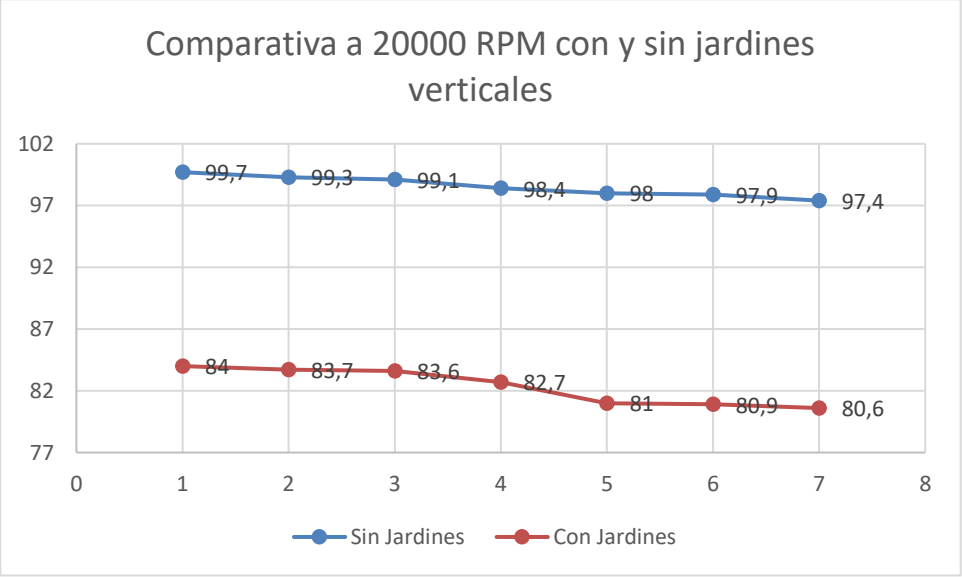
Tabla 12

Datos con y sin jardín vertical a 20000 rpm

Comparación a 20000 RPM con y sin jardines verticales									
Niveles	Ln1	Ln2	Ln3	Ln4	Ln5	Ln6	Ln7	LAFMax	LAeq (dB)
Sin jardines	99,7	99,3	99,1	98,4	98	97,9	97,4	100,1	98,6
Con jardines	84	83,7	83,6	82,7	81	80,9	80,6	84,4	82,6

Figura 24

Comparación de los niveles de ruido con y sin jardín vertical



El análisis de los datos evidenció que los jardines verticales constituyen una alternativa eficaz para la reducción del ruido, alcanzando una disminución superior a 16 dB. Asimismo, contribuyen a una dispersión gradual del sonido, lo que indica que su eficiencia podría aumentar en áreas más amplias o con mayores distancias de medición. Estos resultados resaltan su viabilidad como una estrategia para mitigar la contaminación acústica en entornos urbanos e industriales.

Tabla 13

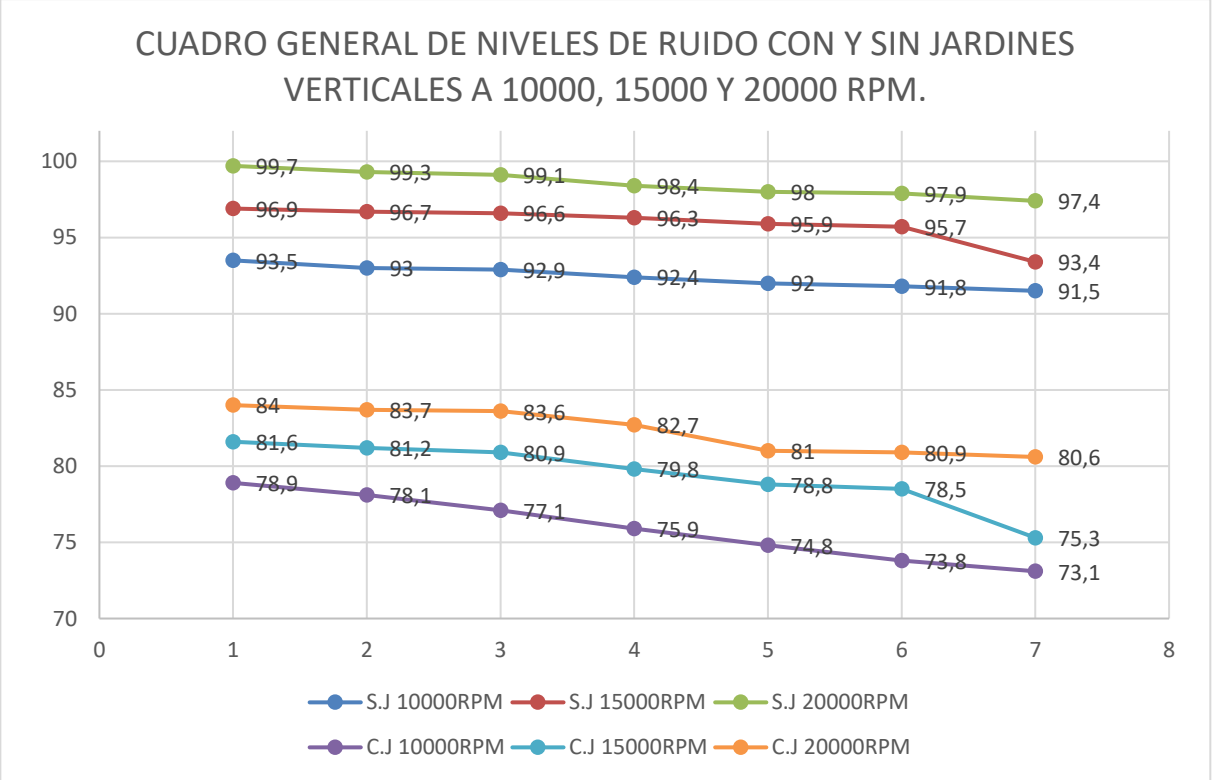
Tabla general con y sin jardines verticales en sus 3 velocidades

Medición de niveles de ruido sin jardines verticales									
RPM	**Ln1**	**Ln2**	**Ln3**	**Ln4**	**Ln5**	**Ln6**	**Ln7**	**LAFMax**	**LAeq (dB)**

10000	93,5	93	92,9	92,4	92	91,8	91,5	94,1	92,5
15000	96,9	96,7	96,6	96,3	95,9	95,7	93,4	97,2	96,3
20000	99,7	99,3	99,1	98,4	98	97,9	97,4	100,1	98,6
Medición de niveles de ruido con jardines verticales									
RPM	**Ln1**	**Ln2**	**Ln3**	**Ln4**	**Ln5**	**Ln6**	**Ln7**	**LAFMax**	**LAeq (dB)**
10000	78,9	78,1	77,1	75,9	74,8	73,8	73,1	79,4	75,96
15000	81,6	81,2	80,9	79,8	78,8	78,5	75,3	82,2	79,9
20000	84	83,7	83,6	82,7	81	80,9	80,6	84,4	82,6

Figura 25

Niveles de ruido con y sin jardines verticales a 10000, 15000 y 20000 rpm



El análisis de los datos reflejó que la presencia de jardines verticales contribuye significativamente a la reducción del ruido en distintas velocidades de operación. Se observa que, sin estos elementos, los niveles sonoros son más elevados en todas las mediciones. A medida que la velocidad aumenta, el ruido también se incrementa, pero la diferencia entre ambas condiciones se mantiene constante. Esto sugiere que los jardines verticales funcionan como una barrera acústica

efectiva, ayudando a mitigar el impacto sonoro. Su implementación podría ser una alternativa viable para mejorar el confort acústico en entornos industriales o urbanos.

4.6 Límites Permisibles de Niveles de Ruido Ambiente para fuentes fijas y Fuentes Móviles

El micrófono del instrumento de medición se ubicará a una altura entre 1,0 y 1,5 m del suelo, y a una distancia de por lo menos 3 (tres) metros de las paredes de edificios o estructuras que puedan reflejar el sonido. El equipo sonómetro no deberá estar expuesto a vibraciones mecánicas, y en caso de existir vientos fuertes, se deberá utilizar una pantalla protectora en el micrófono del instrumento. (Ministerio del Trabajo, 2023)

Se observa que, debido a las restricciones del entorno controlado, las mediciones fueron realizadas a una distancia de 1,15 m, mientras que el **Reglamento de Seguridad e Higiene en el trabajo** establece una distancia de 3 m como estándar para la toma de datos.

Para adaptar las mediciones a esta distancia recomendada, se aplicará la **ley del cuadrado inverso**, que permite corregir la atenuación del sonido en función de la distancia. Según la ley del cuadrado inverso, se puede demostrar que, por cada duplicación de la distancia desde una fuente puntual, el nivel de presión sonora disminuye aproximadamente 6 dB. Algunos ejemplos de fuentes puntuales podrían incluir válvulas, bombas pequeñas y motores. (WKC Group , s,f)

Esto significa que, si duplicamos la distancia de la fuente del sonido, la intensidad del sonido se reduce, para calcular la atenuación del sonido sobre la distancia para una fuente puntual es:

$$Lp(R2) = Lp(R1) - 20log_{10}\left(\frac{d2}{d1}\right)$$

Donde:

$Lp(R1)$ = Nivel de presión sonora conocido en la primera ubicación (normalmente datos medidos)

$Lp(R2)$ = Nivel de presión sonora desconocido en la segunda ubicación

$d1$ = Distancia desde la fuente de ruido hasta la ubicación del nivel de presión sonora conocido

$d2$ = Distancia desde la fuente de ruido hasta la segunda ubicación

4.6.1 Cálculos con la ley del cuadro inverso sin jardines verticales

10000 RPM:

$$Lp(R2) = Lp(R1) - 20log_{10}\left(\frac{d2}{d1}\right)$$

$$Lp(R2) = 92{,}5 - 20log_{10}\left(\frac{3}{1.15}\right)$$

$$Lp(R2) = 84{,}18\ dB$$

15000 RPM:

$$Lp(R2) = Lp(R1) - 20log_{10}\left(\frac{d2}{d1}\right)$$

$$Lp(R2) = 96{,}3 - 20log_{10}\left(\frac{3}{1.15}\right)$$
$$Lp(R2) = 87{,}98\ dB$$

20000 RPM:

$$Lp(R2) = Lp(R1) - 20log_{10}\left(\frac{d2}{d1}\right)$$
$$Lp(R2) = 98{,}6 - 20log_{10}\left(\frac{3}{1.15}\right)$$
$$Lp(R2) = 90{,}28\ dB$$

4.6.2 Cálculos con la ley del cuadro inverso con jardines verticales

10000 RPM:

$$Lp(R2) = Lp(R1) - 20log_{10}\left(\frac{d2}{d1}\right)$$
$$Lp(R2) = 75{,}96 - 20log_{10}\left(\frac{3}{1.15}\right)$$
$$Lp(R2) = 67{,}64\ dB$$

15000 RPM:

$$Lp(R2) = Lp(R1) - 20log_{10}\left(\frac{d2}{d1}\right)$$
$$Lp(R2) = 79{,}9 - 20log_{10}\left(\frac{3}{1.15}\right)$$
$$Lp(R2) = 71{,}58\ dB$$

20000 RPM:

$$Lp(R2) = Lp(R1) - 20log_{10}\left(\frac{d2}{d1}\right)$$
$$Lp(R2) = 82{,}6 - 20log_{10}\left(\frac{3}{1.15}\right)$$
$$Lp(R2) = 74{,}28\ dB$$

4.7 Análisis comparativo aplicando la ley del cuadro inverso

A continuación, en la **tabla 14** se presentaron los resultados de las mediciones en donde se calculan las mediciones con la ley del cuadrado inverso para poder ajustarnos al Decreto Ejecutivo 255.

Tabla 14

Resultados generales basados en la ley del cuadrado inverso

Velocidad (RPM)	Mediciones sin jardines verticales LAeq (dB)	Resultado aplicando la ley del cuadrado inverso	Mediciones con jardines verticales LAeq (dB)	Resultado aplicando la ley del cuadrado inverso	Reducción LAeq (dB)
10000	92,5	84,18	76,1	67,64	16,54
15000	96,3	87,98	79,9	71,58	16,4
20000	98,6	90,28	82,6	74,28	16

El análisis de los datos evidenció que los jardines verticales ayudan a reducir el ruido de manera constante, con una disminución de aproximadamente 16 dB en todas las velocidades medidas. Aunque el sonido aumenta a medida que sube la velocidad del equipo, la diferencia entre las mediciones con y sin jardines sigue siendo la misma, lo que indica que su capacidad para bajar el ruido no cambia según la intensidad de la fuente. Además, al aplicar la ley del cuadrado inverso, se nota que la reducción del ruido con los jardines es mayor a la que se esperaría solo por la distancia, lo que confirma que son una solución efectiva para disminuir el sonido en diferentes ambientes, para así podernos ajustar al Decreto Ejecutivo 255.

4.8 Comparación de resultados con estudios previos

En comparación con el estudio Azkorra et al. (2015), quien evaluó el comportamiento acústico de muros verdes modulares bajo condiciones de laboratorio estandarizados, obteniendo un índice de reducción sonora ponderado (Rw) de 15 dB, los resultados del presente estudio muestran una reducción directa de entre 16.2 y 16.5 dB al implementar jardines verticales en un entorno controlado. Aunque en esta investigación no se utilizó el parámetro Rw debido a que no se aplicaron pruebas con cámara de transmisión acústica, el enfoque experimental se centró en medir la atenuación real del ruido en una situación práctica, usando sonómetros calibrados y replicando un ambiente industrial. Esta diferencia metodológica está justificada por el objetivo del estudio, que fue evaluar la efectividad de los jardines verticales como solución funcional y replicable en condiciones reales. La similitud entre los niveles de reducción obtenidos en ambos estudios respalda la eficiencia de los jardines verticales como estrategia pasiva para la mitigación acústica.

Tabla 15

Comparación con estudios previos

Parámetro		Presente Estudio	Comentario
Tipo de entorno	Laboratorio con cámara de transmisión	Entorno controlado (cabina experimental)	Ambos en condiciones controladas
Método de medición	Índice Rw (según ISO 10140)	Reducción directa de decibeles (ΔdB)	Diferentes enfoques, mismo objetivo practico
Reducción de ruido	Rw= 15 dB	ΔdB= 16.2 a 16.5 dB	Resultado comparable o incluso superior
Tipo de vegetación	Helichrysum thianschanicum	*Nephrolepis exaltata* (helecho caballero)	Ambas especies con alto potencial de absorción acústica
Estructura del sistema	Paneles modulares de polietileno reciclado	Cabina metálica con bolsillos de tela y sustrato orgánico	Diferente diseño, mismo principio de absorción sonora
Objetivo	Medir aislamiento acústico del material	Evaluar disminución del ruido en un uso funcional	Justificación de diferencias metodológicas

4.9 Prueba de Hipótesis

4.9.1 Hipótesis general

Hi: La construcción de jardines verticales en un entorno controlado reduce significativamente los niveles de ruido en comparación con un entorno sin jardines verticales.

Ho: La construcción de jardines verticales en un entorno controlado no reduce significativamente los niveles de ruido en comparación con un entorno sin jardines verticales.

Para verificar esta hipótesis, se recopilaron 42 datos con el propósito de comparar dos variables: el nivel de ruido en presencia de jardines verticales con Helecho Caballero y el nivel de ruido en ausencia de estos. La validación o rechazo de la hipótesis se realizará a través del análisis de la prueba T student, de dos muestras relacionadas.

4.10 Análisis estadísticos mediante la prueba T-student de dos muestras relacionadas

Variable: Niveles de ruido sin jardines verticales.

Hipótesis: Los niveles de ruido disminuyen implementando jardines verticales.

4.11 Análisis de la variable

Tabla 16

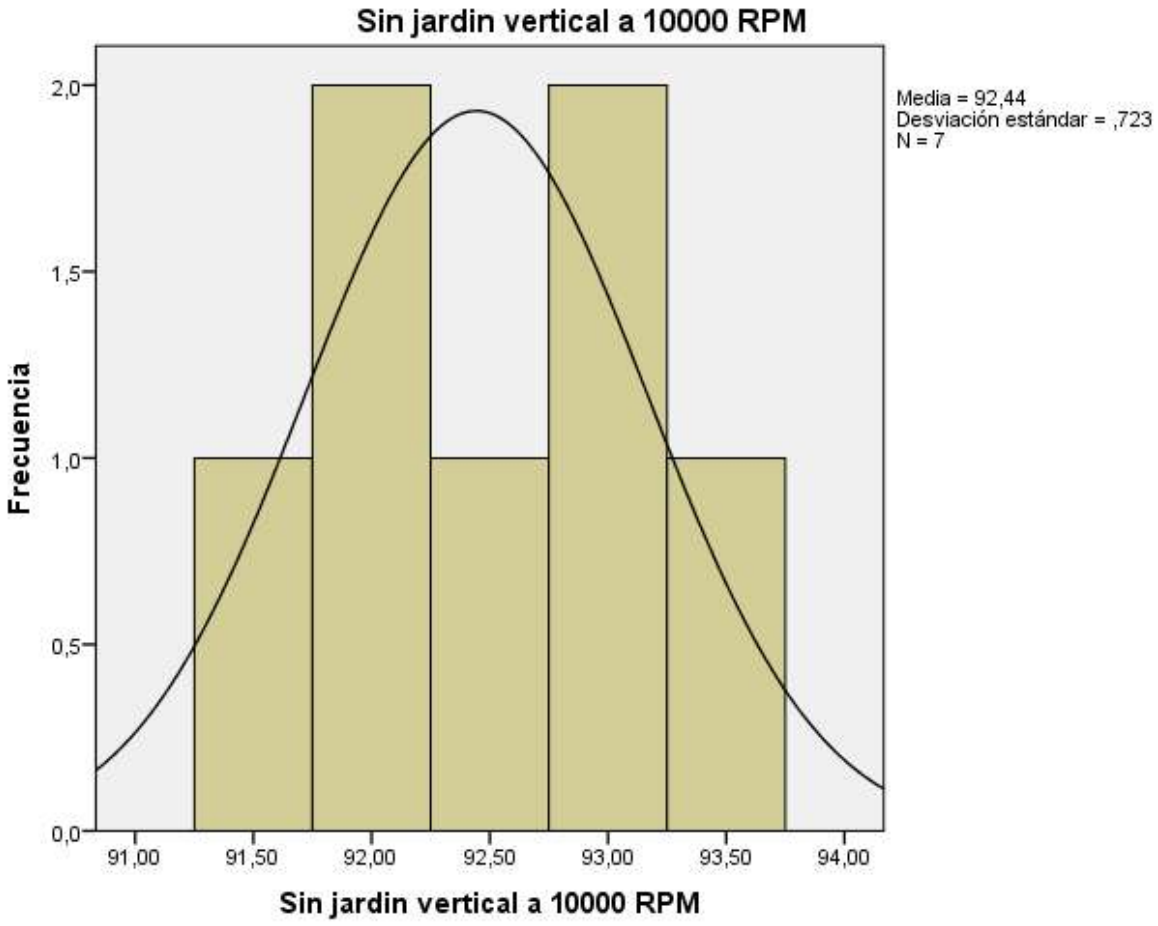
Estadísticos prueba T student sin jardines verticales

Estadísticos				
		Sin jardín vertical a 10000 RPM	Sin jardín vertical a 15000 RPM	Sin jardín vertical a 20000 RPM
N	Válido	7	7	7
	Perdidos	0	0	0
Media		92,4429	95,9286	98,5429
Mediana		92,4000	96,3000	98,4000
Moda		91, 50a	93, 40a	97, 40a
Desviación estándar		,72309	1,19543	,84233
Varianza		,523	1,429	,710
Asimetría		,160	-1,974	,092
Error estándar de asimetría		,794	,794	,794
Curtosis		-1,323	4,277	-1,523
Error estándar de curtosis		1,587	1,587	1,587
Rango		2,00	3,50	2,30
Mínimo		91,50	93,40	97,40
Máximo		93,50	96,90	99,70

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Figura 26

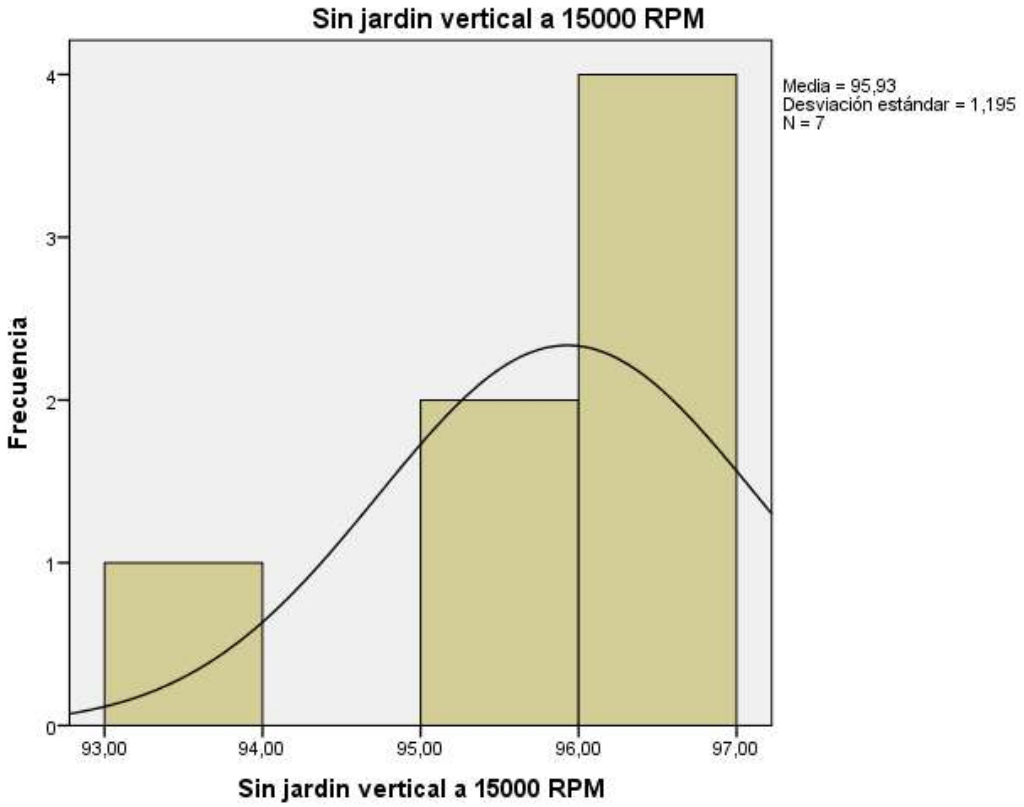
Frecuencia sin jardines a 10000 rpm



- **Interpretación sin jardines verticales a 10000 RPM:** Los niveles de ruido antes de implementar los jardines verticales a 10000 RPM tienen un promedio de 92,44 dB la mediana tiene un valor de 92,40 dB y se puede deducir que estaremos trabajando con datos homogéneos. Basándonos en el valor mínimo y máximo nos damos cuenta de los datos no se encuentran dispersos, siendo la asimetría de 0,160 positiva con sesgo hacia la derecha y la curtosis negativa de -1,32 lo que nos dice que es platicúrtica y con el coeficiente de variación de 0,78% confirmamos que son datos homogéneos.

Figura 27

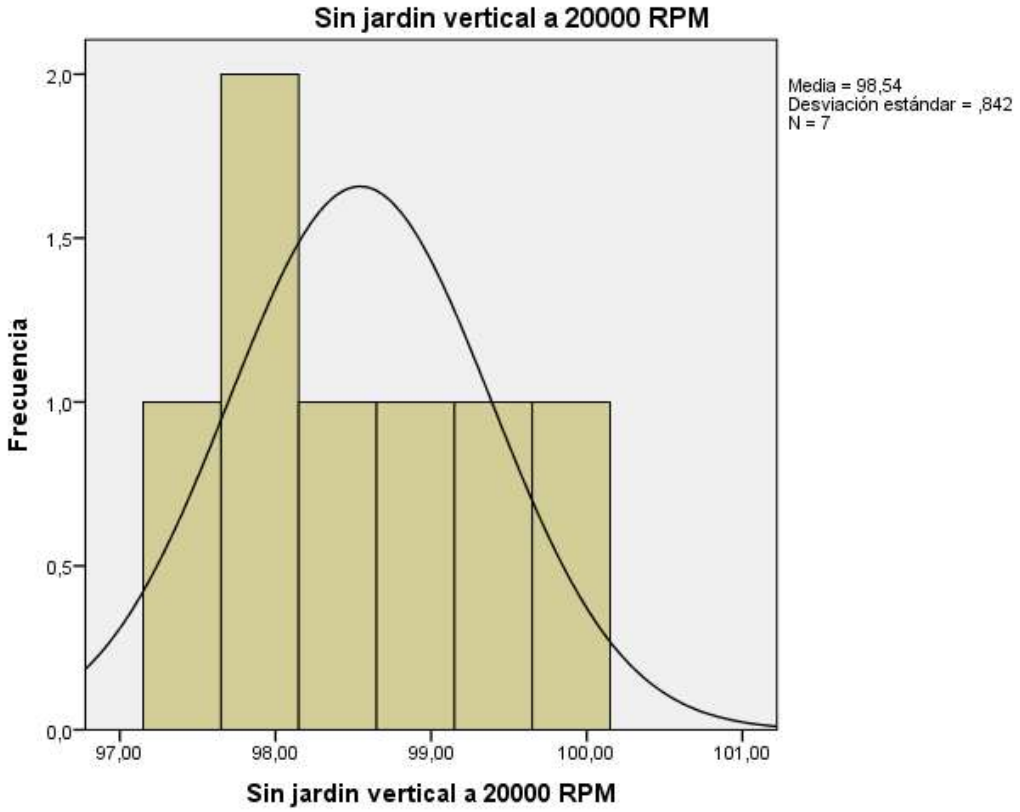
Frecuencia sin jardines a 15000 rpm



- **Interpretación sin jardines verticales a 15000 RPM**: Los niveles de ruido antes de implementar los jardines verticales a 15000 RPM tienen un promedio de 95,93 dB la mediana tiene un valor de 96,30 dB y se puede deducir que estaremos trabajando con datos homogéneos. Basándonos en el valor mínimo y máximo nos damos cuenta de los datos no se encuentran dispersos, siendo la asimetría de -1,974 negativa con sesgo hacia la izquierda y la curtosis positiva de 4,277 lo que nos dice que es leptocúrtica y con el coeficiente de variación de 1,25% confirmamos que son datos homogéneos.

Figura 28

Frecuencia sin jardines a 20000 rpm



- **Interpretación sin jardines verticales a 20000 RPM**: Los niveles de ruido antes de implementar los jardines verticales a 20000 RPM tienen un promedio de 98,54 dB la mediana tiene un valor de 98,40 dB y se puede deducir que estaremos trabajando con datos homogéneos. Basándonos en el valor mínimo y máximo nos damos cuenta de los datos no se encuentran dispersos, siendo la asimetría de 0,092 positiva con sesgo hacia la derecha y la curtosis negativa de -1,523 lo que nos dice que es platicúrtica y con el coeficiente de variación de 0,85% confirmamos que son datos homogéneos.

Tabla 17

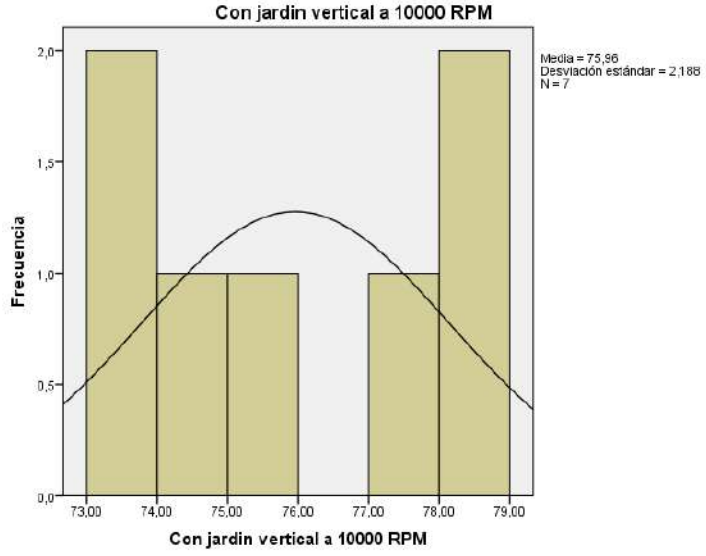
Estadísticos prueba T student con jardines verticales

Estadísticos				
		Con jardín vertical a 10000 RPM	Con jardín vertical a 15000 RPM	Con jardín vertical a 20000 RPM
N	Válido	7	7	7
	Perdidos	0	0	0
Media		75,9571	79,4429	82,3571
Mediana		75,9000	79,8000	82,7000
Moda		73, 10a	75, 30a	80, 60a
Desviación estándar		2,18774	2,17781	1,48420
Varianza		4,786	4,743	2,203
Asimetría		,043	-1,211	-,157
Error estándar de asimetría		,794	,794	,794
Curtosis		-1,573	1,472	-2,479
Error estándar de curtosis		1,587	1,587	1,587
Rango		5,80	6,30	3,40
Mínimo		73,10	75,30	80,60
Máximo		78,90	81,60	84,00

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Figura 29

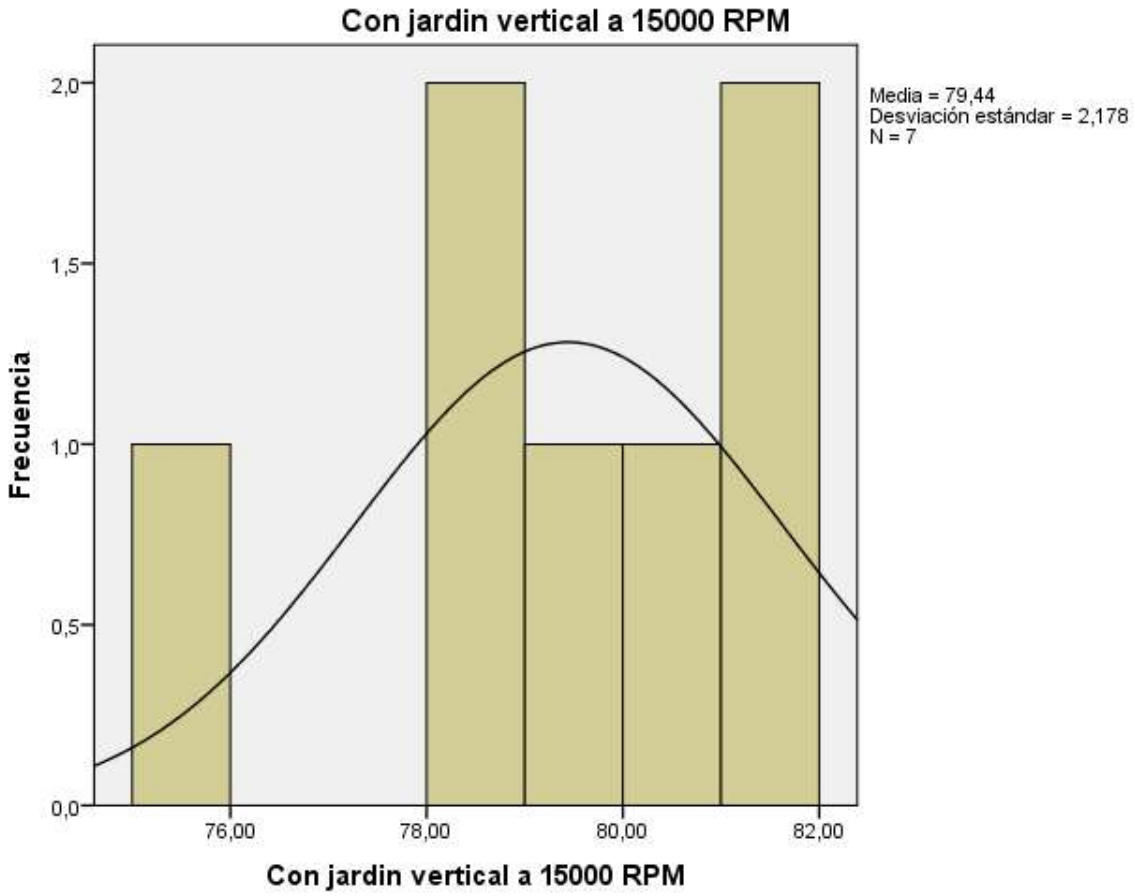
Frecuencia con jardines a 10000 rpm



- **Interpretación con jardines verticales a 10000 RPM**: Los niveles de ruido antes de implementar los jardines verticales a 10000 RPM tienen un promedio de 75,96 dB la mediana tiene un valor de 75,90 dB y se puede deducir que estaremos trabajando con datos homogéneos. Basándonos en el valor mínimo y máximo nos damos cuenta de los datos no se encuentran dispersos, siendo la asimetría de 0,043 positiva con sesgo hacia la derecha y la curtosis negativa de -1,57 lo que nos dice que es platicúrtica y con el coeficiente de variación de 2,87% confirmamos que son datos homogéneos.

Figura 30

Frecuencia con jardines a 15000 rpm

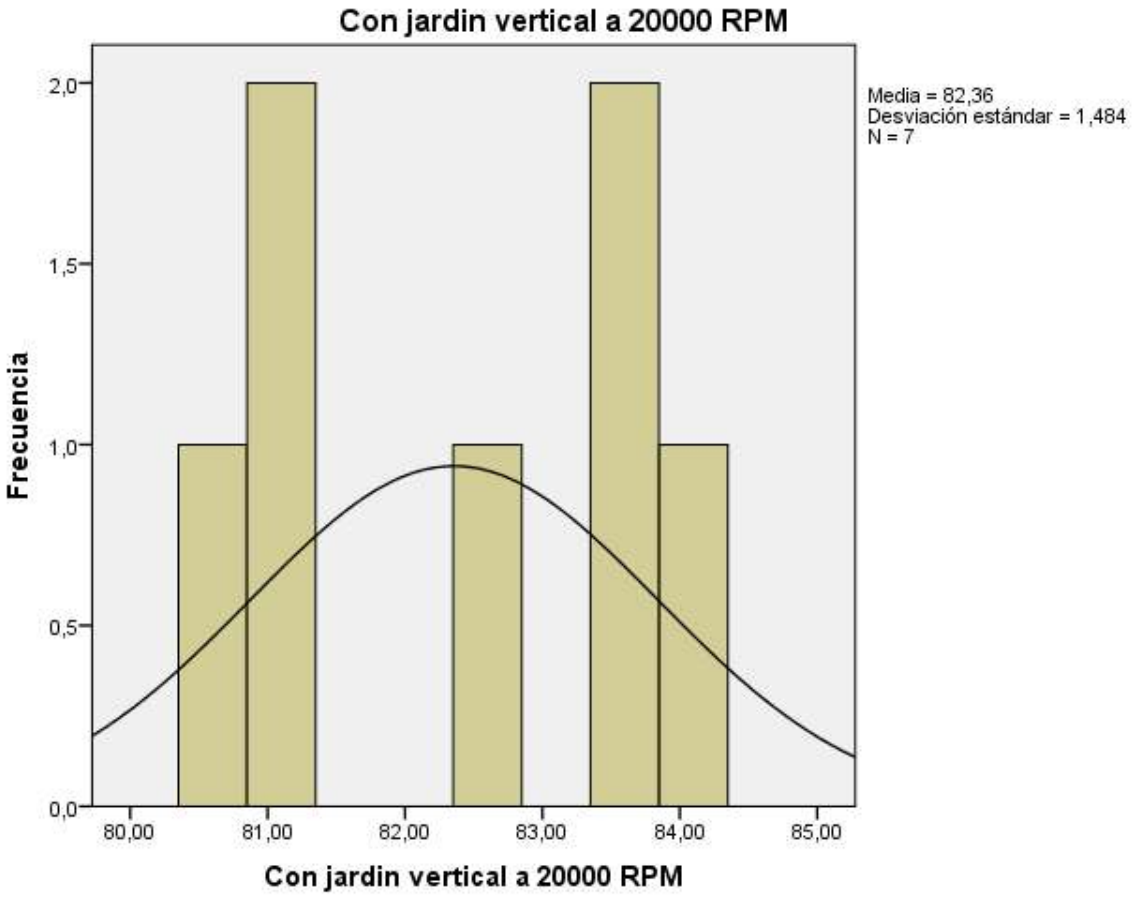


- **Interpretación con jardines verticales a 15000 RPM**: Los niveles de ruido después de implementar los jardines verticales a 15000 RPM tienen un promedio de 79,44 dB la mediana tiene un valor de 79,80 dB y se puede deducir que estaremos

trabajando con datos homogéneos. Basándonos en el valor mínimo y máximo nos damos cuenta de los datos no se encuentran dispersos, siendo la asimetría de -1,21 negativa con sesgo hacia la izquierda y la curtosis positiva de 1,47 lo que nos dice que es leptocúrtica y con el coeficiente de variación de 2,74% confirmamos que son datos homogéneos.

Figura 31

Frecuencia con jardines a 20000 rpm



- **Interpretación con jardines verticales a 20000 RPM**: Los niveles de ruido después de implementar los jardines verticales a 20000 RPM tienen un promedio de 82,36 dB la mediana tiene un valor de 82,70 dB y se puede deducir que estaremos trabajando con datos homogéneos. Basándonos en el valor mínimo y máximo nos damos cuenta de los datos no se encuentran dispersos, siendo la asimetría de -0,157

negativa con sesgo hacia la izquierda y la curtosis negativa de -2,479lo que nos dice que es platicúrtica y con el coeficiente de variación de 1,80% confirmamos que son datos homogéneos.

Tabla 18

Descriptivos con y sin jardines a 10000 rpm

Descriptivos				
			Estadístico	Error estándar
Sin jardín vertical a 10000 RPM	Media		92,4429	,27330
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	91,7741	
		Límite superior	93,1116	
	Media recortada al 5%		92,4365	
	Mediana		92,4000	
	Varianza		,523	
	Desviación estándar		,72309	
	Mínimo		91,50	
	Máximo		93,50	
	Rango		2,00	
	Rango intercuartil		1,20	
	Asimetría		,160	,794
	Curtosis		-1,323	1,587
Con jardín vertical a 10000 RPM	Media		75,9571	,82689
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	73,9338	
		Límite superior	77,9805	
	Media recortada al 5%		75,9524	
	Mediana		75,9000	
	Varianza		4,786	
	Desviación estándar		2,18774	
	Mínimo		73,10	
	Máximo		78,90	
	Rango		5,80	
	Rango intercuartil		4,30	
	Asimetría		,043	,794
	Curtosis		-1,573	1,587

Tabla 19

Prueba de normalidad con y sin jardines a 10000 rpm

Pruebas de normalidad						
	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sin jardín vertical a 10000 RPM	,165	7	,200*	,962	7	,832
Con jardín vertical a 10000 RPM	,130	7	,200*	,957	7	,790

Tabla 20

Descriptivos con y sin jardines a 15000 rpm

Descriptivos				
			Estadístico	Error estándar
Sin jardín vertical a 15000 RPM	Media		95,9286	,45183
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	94,8230	
		Límite superior	97,0342	
	Media recortada al 5%		96,0151	
	Mediana		96,3000	
	Varianza		1,429	
	Desviación estándar		1,19543	
	Mínimo		93,40	
	Máximo		96,90	
	Rango		3,50	
	Rango intercuartil		1,00	
	Asimetría		-1,974	,794
	Curtosis		4,277	1,587
Con jardín vertical a 15000 RPM	Media		79,4429	,82313
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	77,4287	
		Límite superior	81,4570	
	Media recortada al 5%		79,5532	

	Mediana	79,8000	
	Varianza	4,743	
	Desviación estándar	2,17781	
	Mínimo	75,30	
	Máximo	81,60	
	Rango	6,30	
	Rango intercuartil	2,70	
	Asimetría	-1,211	,794
	Curtosis	1,472	1,587

Tabla 21

Prueba de normalidad con y sin jardines a 15000 rpm

Pruebas de normalidad						
	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sin jardín vertical a 15000 RPM	,281	7	,100	,778	7	,295
Con jardín vertical a 15000 RPM	,190	7	,200*	,893	7	,289

Tabla 22

Descriptivos con y sin jardines a 20000 rpm

Descriptivos				
			Estadístico	Error estándar
Sin jardín vertical a 20000 RPM	Media		98,5429	,31837
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	97,7638	
		Límite superior	99,3219	
	Media recortada al 5%		98,5421	
	Mediana		98,4000	
	Varianza		,710	
	Desviación estándar		,84233	
	Mínimo		97,40	
	Máximo		99,70	

	Rango		2,30	
	Rango intercuartil		1,40	
	Asimetría		,092	,794
	Curtosis		-1,523	1,587
	Media		82,3571	,56098
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	80,9845	
		Límite superior	83,7298	
	Media recortada al 5%		82,3635	
	Mediana		82,7000	
Con jardín vertical a 20000 RPM	Varianza		2,203	
	Desviación estándar		1,48420	
	Mínimo		80,60	
	Máximo		84,00	
	Rango		3,40	
	Rango intercuartil		2,80	
	Asimetría		-,157	,794
	Curtosis		-2,479	1,587

Tabla 23

Prueba de normalidad con y sin jardines a 20000 rpm

Pruebas de normalidad						
	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sin jardín vertical a 20000 RPM	,174	7	,200*	,951	7	,743
Con jardín vertical a 20000 RPM	,248	7	,200*	,841	7	,101

4.12 Planteamiento de la hipótesis

- **Hipótesis Nula (H_0):** No hay diferencia significativa entre los niveles de ruido sin jardín vertical y con jardín vertical.
- **Hipótesis Alternativa (H_1):** Hay una diferencia significativa entre los niveles de ruido sin jardín vertical y con jardín vertical.

Nivel de significación:

5%

Estadístico aplicar:
Prueba T student de dos muestras relacionadas

Prueba T

Tabla 24
Estadísticas de muestras emparejadas

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Sin jardín vertical a 10000 RPM	92,4429	7	,72309	,27330
	Con jardín vertical a 10000 RPM	75,9571	7	2,18774	,82689
Par 2	Sin jardín vertical a 15000 RPM	95,9286	7	1,19543	,45183
	Con jardín vertical a 15000 RPM	79,4429	7	2,17781	,82313
Par 3	Sin jardín vertical a 20000 RPM	98,5429	7	,84233	,31837
	Con jardín vertical a 20000 RPM	82,3571	7	1,48420	,56098

Tabla 25
Correlaciones de muestras emparejadas

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Sin jardín vertical a 10000 RPM & Con jardín vertical a 10000 RPM	7	,993	,000
Par 2	Sin jardín vertical a 15000 RPM & Con jardín vertical a 15000 RPM	7	,978	,000
Par 3	Sin jardín vertical a 20000 RPM & Con jardín vertical a 20000 RPM	7	,966	,000

Tabla 26

Prueba de muestras emparejadas

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Sin jardín vertical a 10000 RPM - Con jardín vertical a 10000 RPM	16,48571	1,47245	,55653	15,12393	17,84750	29,622	6	,000
Par 2	Sin jardín vertical a 15000 RPM - Con jardín vertical a 15000 RPM	16,48571	1,03992	,39305	15,52395	17,44748	41,943	6	,000
Par 3	Sin jardín vertical a 20000 RPM - Con jardín vertical a 20000 RPM	16,18571	,70576	,26675	15,53300	16,83843	60,677	6	,000

4.13 Interpretación de resultados

- **Diferencia media:**
  En todos los casos, la reducción del ruido al agregar jardines verticales es significativa (aproximadamente 16.5 dB en 10,000 y 15,000 RPM, y 16.2 dB en 20,000 RPM).
- **Significación estadística (p-valor):**
  El p-valor en todas las comparaciones es 0.000, lo que significa que la diferencia observada es altamente significativa ($p < 0.05$). Esto nos lleva a rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la alternativa (H_1), concluyendo que los jardines verticales reducen significativamente el nivel de ruido en todas las RPM evaluadas.
- **Conclusión**

Los resultados indicaron una reducción significativa del ruido con la implementación de los jardines verticales. Esto sugiere que el uso de jardines verticales es una estrategia efectiva para mitigar los niveles de ruido en el entorno controlado del estudio.

CAPÍTULO V.
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La construcción de la cabina de prueba fue realizada con éxito, cumpliendo el objetivo de simular un entorno con presencia de ruido mediante el uso de materiales apropiados. La estructura fue fabricada con tubos cuadrados de 3/4 pulgada, proporcionando una base resistente y estable. Para el recubrimiento y sellado de la cabina, se empleó lona sport, elegida por su durabilidad y capacidad para brindar un cierre eficiente que limita la entrada y salida del sonido. Asimismo, los bolsillos confeccionados en tela jean cumplieron una doble función: añadir practicidad al diseño y contribuir a la absorción acústica gracias a la textura y densidad del material. Como elemento natural de control acústico, se utilizó el Nephrolepis Exaltata (helecho caballero), una planta reconocida por su capacidad para absorber y disipar ondas sonoras, lo cual será clave en la siguiente etapa del estudio con jardines verticales.
- Con el objetivo de analizar el efecto de los jardines verticales en la reducción del ruido, se realizó una medición inicial de los niveles sonoros en un entorno controlado sin la presencia de jardines verticales, utilizando equipamiento especializado (sonómetro). En esta primera fase, se registraron valores promedio de 92.44 dB a 10,000 RPM, 95.93 dB a 15,000 RPM y 98.54 dB a 20,000 RPM, los cuales fueron establecidos como línea base de comparación. Posteriormente, tras la implementación de los jardines verticales, se efectuaron nuevas mediciones bajo las mismas condiciones de prueba con jardines verticales. Los resultados evidenciaron una reducción significativa en los niveles de ruido, registrando promedios de 75.96 dB, 79.44 dB y 82.36 dB a 10,000, 15,000 y 20,000 RPM, respectivamente. Esto representa una disminución de 16.48 dB a 10,000 RPM, 16.49 dB a 15,000 RPM y 16.18 dB a 20,000 RPM.
- La comparación de los niveles de ruido antes y después de la implementación de jardines verticales, mediante el uso de técnicas estadísticas, permitió determinar con precisión su efectividad como medida de mitigación acústica en un entorno controlado. Se aplicó la prueba t de Student para muestras emparejadas, tras confirmar mediante una prueba de normalidad que los datos seguían una distribución normal, lo que validó el uso de análisis paramétricos. Los resultados estadísticos demostraron una reducción media de aproximadamente 16.5 dB con valores de $p = 0.000$ en todos los casos, lo que indica que la disminución observada es altamente significativa y no atribuible al azar. Esta reducción fue consistente en los tres niveles de RPM evaluados, reflejando la eficacia de los jardines verticales. Además, la menor variabilidad registrada tras la instalación de los jardines

verticales sugiere un comportamiento más estable y predecible del entorno acústico, lo que respalda la confiabilidad de esta solución natural como estrategia eficiente para la mitigación del ruido.

5.2.RECOMENDACIONES

- Se recomienda reforzar la estructura metálica de la cabina para mejorar su estabilidad y durabilidad en condiciones de uso prolongado. Además, optimizar el diseño para que el montaje y desmontaje sea más sencillo y eficiente permitirá mayor flexibilidad al trasladar y adaptar la cabina a diferentes entornos de prueba.
- Se recomienda agregar una ventana de material resistente y transparente, como acrílico o vidrio templado, en una de las paredes de la cabina. Esto permitirá la entrada de luz natural o artificial, mejorando la visibilidad del interior durante la medición de los niveles de ruido, sin comprometer el aislamiento acústico necesario para obtener resultados precisos.
- Se recomienda investigar y probar otras especies de plantas con propiedades acústicas que puedan mejorar aún más la capacidad de absorción de sonido. Además del Helecho Caballero, otras plantas como el musgo de escoba o la hiedra inglesa podrían contribuir de manera significativa en la reducción de ruido en el entorno de prueba.
- Para ampliar la aplicabilidad de los resultados, sería recomendable realizar pruebas similares en diferentes entornos industriales y laborales, como oficinas, fábricas o áreas de trabajo en exteriores. Esto permitiría comparar los efectos de los jardines verticales en distintos tipos de ruido y contextos operativos.
- Si bien no se logró cumplir al 100% con los requerimientos normativos debido a limitaciones económicas, se optó por el uso de materiales alternativos que ofrecen propiedades acústicas similares a un costo reducido. En este contexto, se recomienda realizar un análisis técnico que identifique los aspectos normativos con mayor impacto en la precisión de las mediciones, de modo que las futuras mejoras se orienten estratégicamente hacia esos puntos críticos. Además, se sugiere continuar investigando materiales de bajo costo, preferentemente de origen local o reciclado, que puedan incorporarse en versiones mejoradas de la cabina, fortaleciendo así tanto la eficiencia técnica como la sostenibilidad del proyecto.

6. BIBLIOGRÁFIA

Ana, R. (2022). *ESTRATEGIAS SUSTENTABLES PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN ESPACIOS URBANOS Y RESIDENCIALES Tecnologías de naturación urbana aplicada a fachadas*.

Asdrubali, F., Mencarelli, N., Horoshenkov, K. V, & Alessandro, F. D.'. (2014). *Sound absorption properties of tropical plants for indoor applications*. https://www.researchgate.net/publication/264118698

Audiocentro. (2017). *¿Qué es un Sonómetro?* AUDIOCENTRO FEDERÓPTICOS.

Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L. F., Bures, S., Álvaro, J. E., Erkoreka, A., & Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics*, *89*, 46–56. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010

Carrera Acosta, Á. (2011). *ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE SISTEMAS VEGETALES VERTICALES Y PROPUESTAS DE USO COMO TÉCNICA PASIVA DE AHORRO DE ENERGÍA EN EL CLIMA CONTINENTAL MEDITERRÁNEO*.

Comite Interinstitucional de Seguridad e Higiene del trabajo. (2015). *DECRETO EJECUTIVO 2393. REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO*.

D'Alessandro, F., Asdrubali, F., & Mencarelli, N. (2015). Experimental evaluation and modelling of the sound absorption properties of plants for indoor acoustic applications. *Building and Environment*, *94*, 913–923. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.004

Delgado, A. (2013). *DETERMINACION DE LOS NIVELES DE RUIDO MEDIANTE LA ELABORACION DE UN MAPA ACUSTICO EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ, EN EL PERIODO NOVIEMBRE 2012 HASTA ABRIL 2013*. 17–20.

Distribuidores Repuestos Línea Blanca. (2014). *Motor 3 Velocidades Bull Licuadora Oster Xpert 1612*. Servicat.

Fernández-Cañero, R., Pérez, N., Quevedo, S., Pérez, L., & Franco, A. (2008). *Ajardinamiento de fachadas y jardines verticales: otras formas de jardinería aplicadas a un desarrollo urbano más sostenible*.

Francis, R. A., & Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management*, *92*(6), 1429–1437. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.012

Ghezal, I., Moussa, A., Ben Marzoug, I., El-Achari, A., Campagne, C., & Sakli, F. (2022). Investigating Waterproofness and Breathability of a Coated Double-Sided Knitted Fabric. *Coatings*, *12*(10), 1572. https://doi.org/10.3390/coatings12101572

Gilman, E. (2007). Nephrolepis exaltata Boston Fern, Sword Fern. *EDIS*, *2007*(16). https://doi.org/10.32473/edis-fp427-1999

González, P. (1996). *UNA CONFLUENCIA NECESARIA*.

Holzer, A. (2024). *¿Qué es el Denim?* SUMISSURA.

Hovenkamp, P. H., & Miyamoto, F. (2005). A conspectus of the Native and Naturalized Species of Nephrolepis (Nephrolepidaceae) in the World. *Blumea - Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, *50*(2), 279–322. https://doi.org/10.3767/000651905X623003

Huerto Urbano. (2015). *Sustratos para huertos urbanos*. EL HUERTO URBANO.

ILUNION. (2023). *Qué es un jardín vertical: ventajas y mantenimiento*. ILUNION.

Instrument Choise. (2023). *What is a Digital Tachometer?*

Köhler, M. (2008). Green facades—a view back and some visions. *Urban Ecosystems*, *11*(4), 423–436. https://doi.org/10.1007/s11252-008-0063-x

Ledesma, C. (2020). *UNIVERSIDAD PRIVADA TELESUP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA Y URBANISMO TESIS IMPLEMENTACIÓN DE JARDINES VERTICALES PARA ATE-PROVINCIA DE LIMA-REGIÓN LIMA-AÑO 2020 PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: ARQUITECTO AUTOR*.

Lusa, M. G., Cardoso, E. C., Machado, S. R., & Appezzato-da-Glória, B. (2015). Trichomes related to an unusual method of water retention and protection of the stem apex in an arid zone perennial species. *AoB PLANTS*, *7*. https://doi.org/10.1093/aobpla/plu088

Mahmud, Md. F., Rahman, A. N. M. M., Al Haque Sarker, A., Akter, S., & Islam, M. R. (2022). Evaluation of the impact of cotton sheath linear density of core spun yarn on the performance of denim fabrics. *Heliyon*, *8*(8), e09998. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09998

Mendoza, R., Salas López, R., Elgar, Y., & Castillo, B. (2016). *Evaluación del ruido ambiental en el Campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú Assessment of environmental noise on the campus of the National University Toribio*. https://doi.org/https://doi.org/10.25127/indes.20142.69

MEXTECH. (2024). *What is a Digital Tachometer Used For?*

Miguel, S., Figueira, A., Faggi, A., & Portmann, J. G. (2017). *Impreso en la Argentina ISSN* (Vol. 21).

Musicalecer. (2014, March 25). *La reducción de ruido*. Musicalecer. Creación, Edición y Producción Musical.

Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, *43*(12), 3419–3429. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010

Perini, K., & Rosasco, P. (2013). Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, *70*, 110–121. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012

Poza, A. (2017). *ACONDICIONAMIENTO BIOCLIMÁTICO. JARDINES VERTICALES. APLICACIONES Y CASO PRÁCTICO EN LA ESCUELA DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID*. 86.

PROFECO. (2010). *Estudio de calidad: Licuadoras*. Procuraduría Federal Del Consumidor.

Ramos, A., Fernández, F., & Álvarez, N. (2009). Caracterización de la hojarasca de bosques semideciduos en la Reserva de Biosfera Península de Guanahacabibes. Cuba. *ECOVIDA*.

Rivera, J. (2018). *Efecto de la aplicación de un jardín vertical, en la mejora de las condiciones ambientales en la I.E Francisco Tejada Rojas, Moyobamba – 2017*.

RS Components. (2024). *A Comprehensive Guide to Tachometers and Their Applications*.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2020). *UNE-ISO 1996-1:2020 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación*.

SINGH, P., DUBEY, R. K., & SINGH, K. (2014). Effect of shade levels on growth and frond production in boston fern [Nephrolepis exaltata (L.) Schott]. *THE ASIAN JOURNAL OF HORTICULTURE*, *9*(2), 377–381. https://doi.org/10.15740/HAS/TAJH/9.2/377-381

Sun, G., Ma, B., Li, X., Liao, J., Wei, L., Guo, X., Xu, C., Kong, X., Jin, G., & Jin, Y. (2025). Noise Was Obviously Reduced by Both Leaf Texture and Surface Roughness in Leaf Scale. *Plants*, *14*(9). https://doi.org/10.3390/plants14091363

UNISIGN. (2020). *¿Qué es la lona impermeable?* UNISIGNFLEX.

Velis, A., Posse, C. M., & Rizzo La Malfa, A. (2019). Absorción Acústica de Jardines Verticales. *Elektron*, *3*(1), 10–15. https://doi.org/10.37537/rev.elektron.3.1.55.2019

Vintimilla, C. (2013). *Uso de materiales para jardines verticales en espacios interiores*.

Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Tan, P. Y., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, *45*(2), 411–420. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.017

7. ANEXOS

ANEXO 1. Construcción de la cabina de prueba y confección de los bolsillos de la tela jean.

MIERCOLES DE ENERO 2025

SOLDADURA DEL MARCO DE LA CABINA DE ENSAYO CON LA COSTURA DE LOS BOLSILLOS DE TELA JEAN.

LUNES 21 DE ENERO 2025.

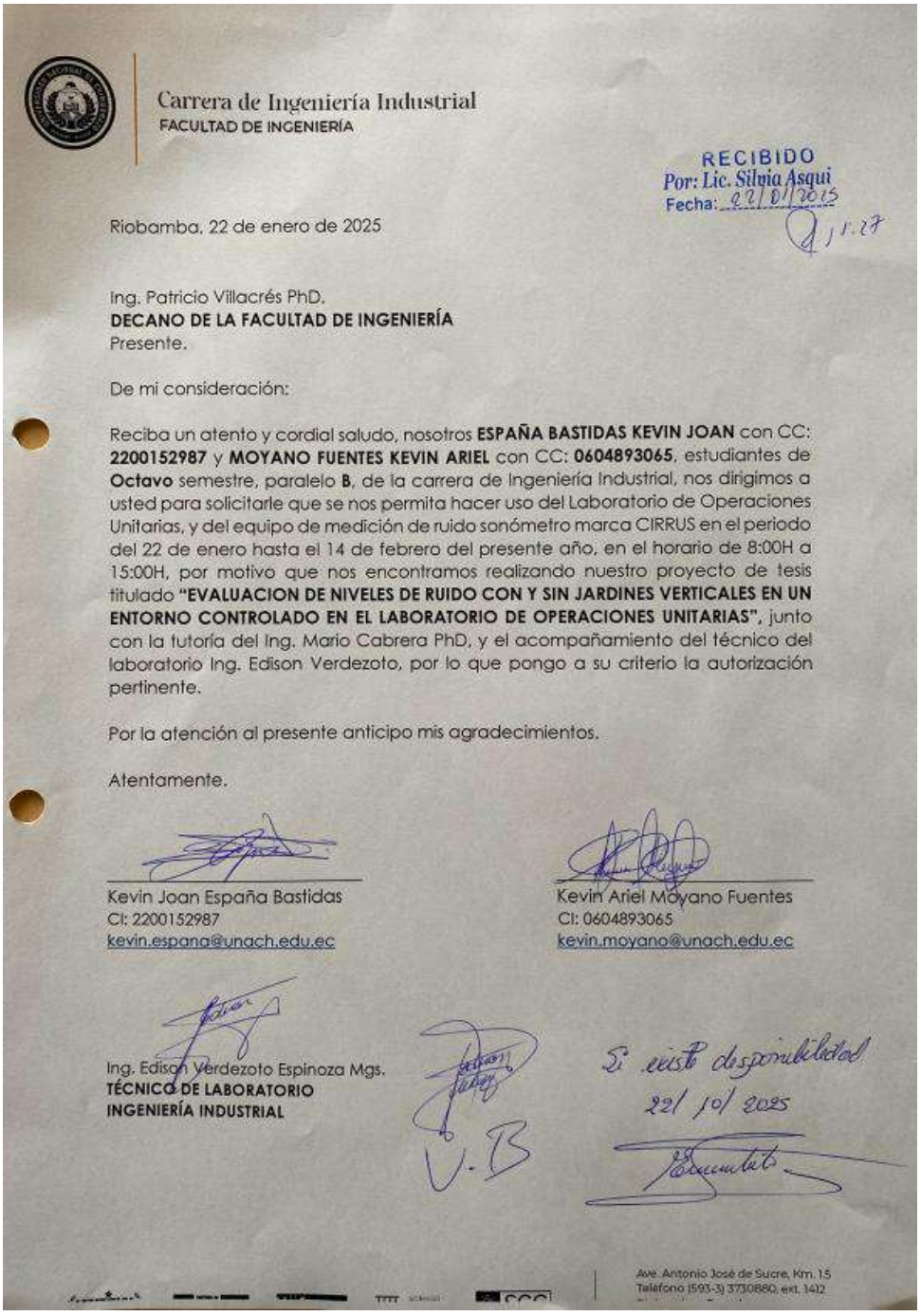
COLOCACIÓN DE LA TELA JEAN EN EL MARCO DE LA BANDEJA DE LOS JARDINES VERTICALES.

ARMAZON DE LA CABINA EXPERIMENTAL COLOCACIÓN DE TELA LONA SPORT.

TERMINACIÓN Y COLOCACIÓN DE PASADORES PARA LA CABINA EXPERIMENTAL.

ANEXO 2. Solicitud de equipos y permiso para ensayos en el laboratorio de operaciones unitarias.

MIERCOLES 22 DE ENERO 2025



Carrera de Ingeniería Industrial
FACULTAD DE INGENIERÍA

RECIBIDO
Por: Lic. Silvia Asqui
Fecha: 22/01/2025

Riobamba, 22 de enero de 2025

Ing. Patricio Villacrés PhD.
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
Presente.

De mi consideración:

Reciba un atento y cordial saludo, nosotros **ESPAÑA BASTIDAS KEVIN JOAN** con CC: **2200152987** y **MOYANO FUENTES KEVIN ARIEL** con CC: **0604893065**, estudiantes de **Octavo** semestre, paralelo **B**, de la carrera de Ingeniería Industrial, nos dirigimos a usted para solicitarle que se nos permita hacer uso del Laboratorio de Operaciones Unitarias, y del equipo de medición de ruido sonómetro marca CIRRUS en el periodo del 22 de enero hasta el 14 de febrero del presente año, en el horario de 8:00H a 15:00H, por motivo que nos encontramos realizando nuestro proyecto de tesis titulado **"EVALUACION DE NIVELES DE RUIDO CON Y SIN JARDINES VERTICALES EN UN ENTORNO CONTROLADO EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS"**, junto con la tutoría del Ing. Mario Cabrera PhD, y el acompañamiento del técnico del laboratorio Ing. Edison Verdezoto, por lo que pongo a su criterio la autorización pertinente.

Por la atención al presente anticipo mis agradecimientos.

Atentamente.

Kevin Joan España Bastidas
CI: 2200152987
kevin.espana@unach.edu.ec

Kevin Ariel Moyano Fuentes
CI: 0604893065
kevin.moyano@unach.edu.ec

Ing. Edison Verdezoto Espinoza Mgs.
TÉCNICO DE LABORATORIO
INGENIERÍA INDUSTRIAL

V. B

Si existe disponibilidad
22/10/2025

Ave. Antonio José de Sucre, Km. 15
Teléfono (593-3) 3730880, ext. 1412

ANEXO 3. Selección y colocación de plantas en los bolsillos de tela jean con sustrato.

JUEVES 23 DE ENERO 2025.

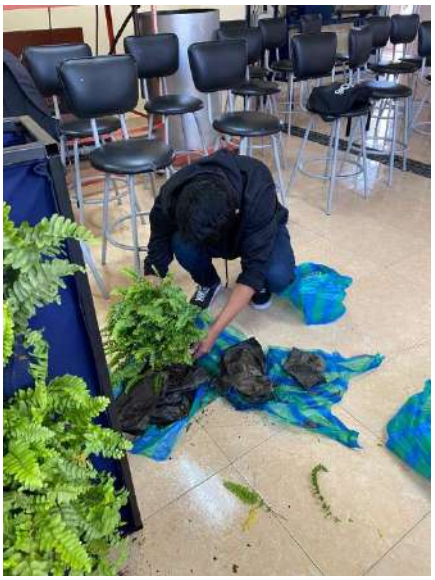
SELECCIÓN DE LOS HELECHOS CABALLEROS.

TRANSPORTE DE LOS HELECHOS CABALLEROS AL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS.

ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS.

COLOCACIÓN DEL SUSTRATO EN LOS BOLSILLOS DE TELA JEAN.

UBICACIÓN DEL HELECHO CABALLERO EN LOS BOLSILLOS DE TELA JEAN.



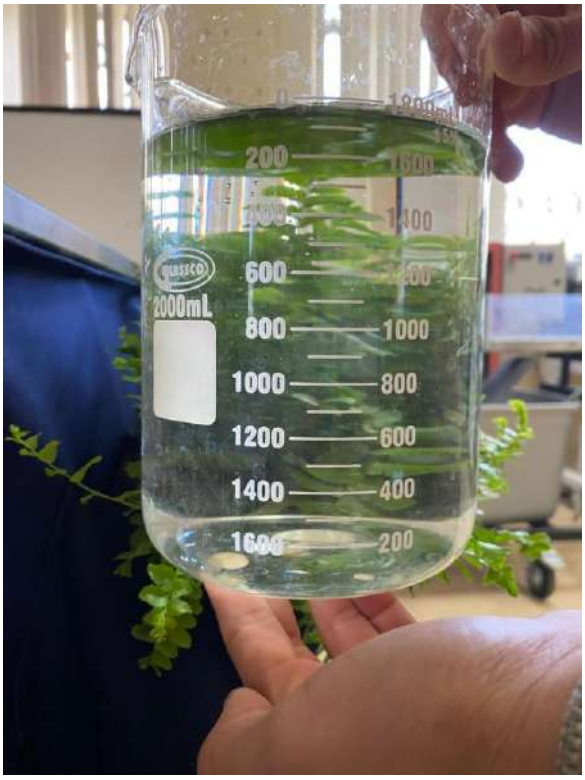
Trasplante de las demás plantas (Helechos Caballeros).

Finalización del trasplante de los helechos.

Aplicación de 100 ml de agua por cada planta.

ANEXO 4. Fase de enraizamiento de los helechos Caballeros mediante riego controlado.

VIERNES 24 DE ENERO 2025



Vaso de precipitación para el riego controlado por cada planta.

Beneficios de la tela jean, permitiendo un riego por goteo y permaneciendo la tierra húmeda.

VIERNES 31 DE ENERO 2025

Enraizamiento completo y brote de nuevas hojas de los helechos caballeros.

ANEXO 5. Toma de mediciones y datos en el laboratorio de Operaciones Unitarias, Sin Jardines Verticales.

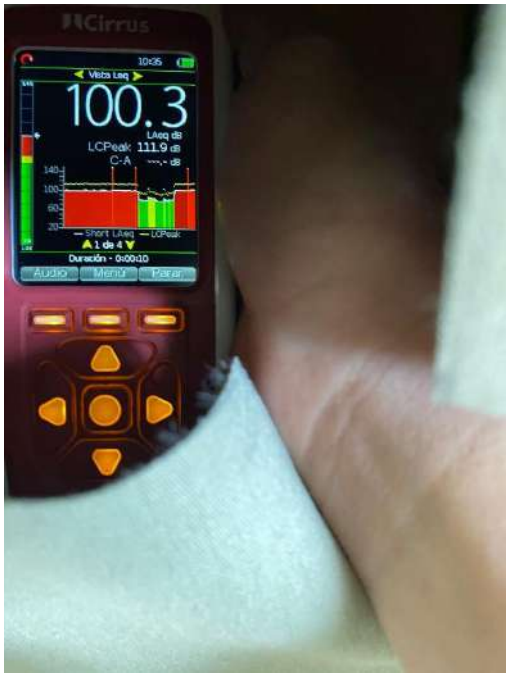
MARTES 4 DE FEBRERO 2025

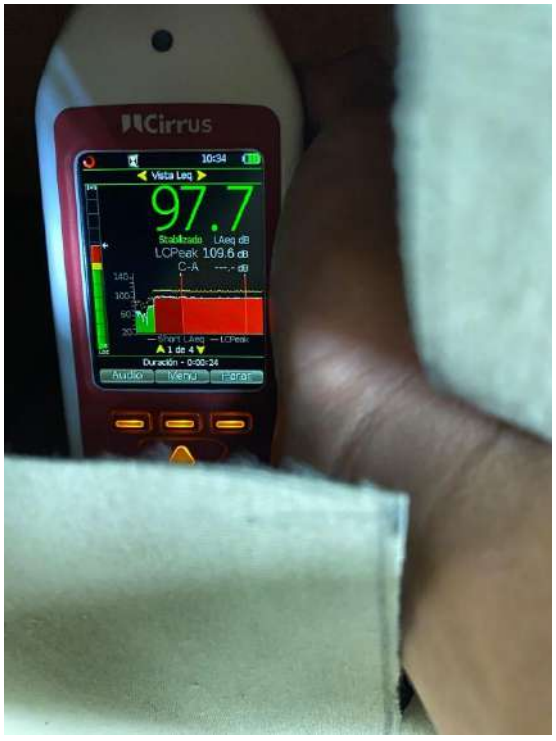
Toma de datos Sin Jardines verticales utilizando un motor de licuadora en 3 diferentes RPM.

Equipo utilizado para la recolección de datos con y sin jardines verticales.

Distancia del objeto móvil hacia el sonómetro.

Calibración del equipo para la toma de datos, en un tiempo 2 min para las diferentes RPM.


Cirrus
10:35
Vista Leq
100.3
LAeq dB
LCPeak 111.9 dB
C-A
Short LAeq
LCPeak
1 de 4
Duración - 0:00:10
Audio
Menú
Parar


Cirrus
10:34
Vista Leq
97.7
Stabilizado
LAeq dB
LCPeak 109.6 dB
C-A
Short LAeq
LCPeak
1 de 4
Duración - 0:00:24
Audio
Menú
Parar

Cirrus
10:32
Vista Leq
97.3
LAeq dB
LCPeak 110.0 dB
C-A ---.- dB
Short LAeq
LCPeak
1 de 4
Duración - 0:00:25
Audio
Menu
Parar

Cirrus
10:30
Registro Leq
93.1
LAeq dB
LCPeak 105.3 dB
C-A ---.- dB
1 de 4
Medida 64 de 64
Anterior
Salir
Primero

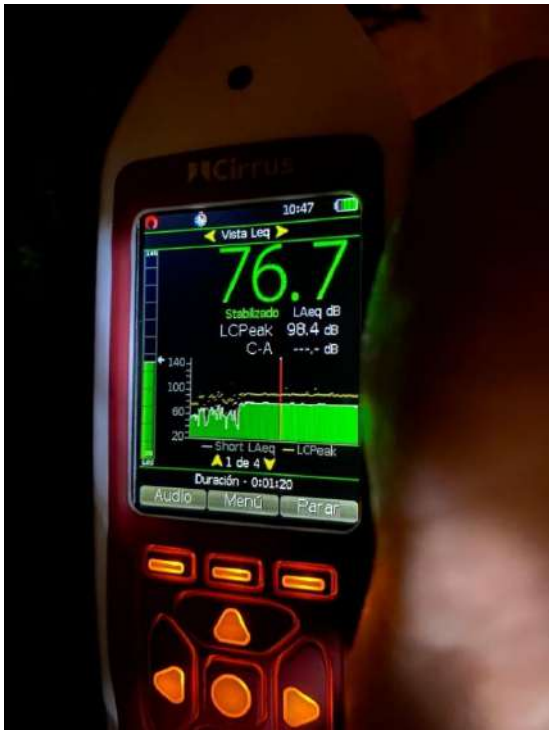
Registro de datos sin jardines verticales.

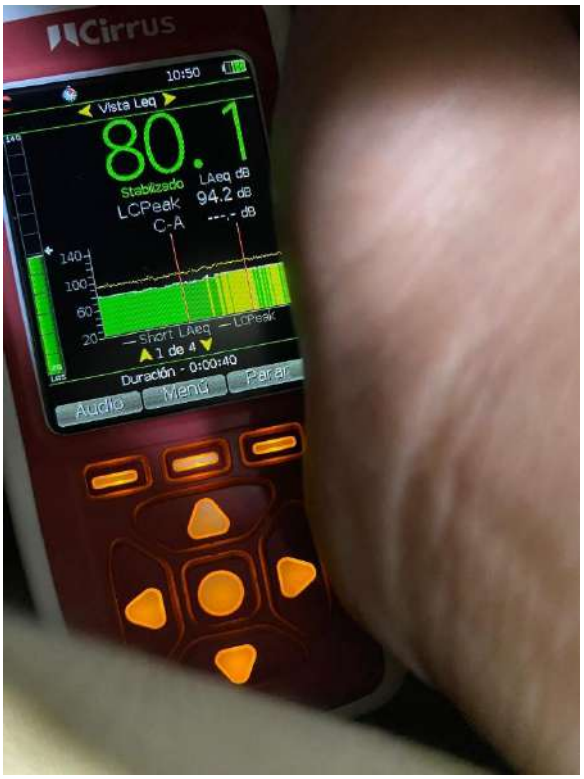
ANEXO 6. Toma de mediciones y datos en el laboratorio de Operaciones Unitarias, Con Jardines Verticales.

MARTES 4 DE FEBRERO 2025

Montaje del jardín vertical.

Instalación del pasador para refuerzo estructural.





Toma de datos con jardines verticales instalados

Resultados de datos del sonómetro

Cirrus Research plc

Informe de Lista de mediciones

Nombre Grupo
Tiempo inicial 4/2/2025 10:05:11
Tiempo final 4/2/2025 11:32:10

Calibración antes	4/2/2025 10:03:46	Offset	0,91 dB

ReportId

Tiempo inicial	Tiempo final	Duración	LAeq (dB)	LAFMax	Ln1	Ln2	Ln3	Ln4	Ln5	Ln6	Ln7
4/2/2025 10:32:31	4/2/2025 10:34:01	00:02:00	97,0	94,3	93,9	93,0	92,8	92,5	92,3	91,7	91,0
4/2/2025 10:34:02	4/2/2025 10:34:34	00:02:00	97,6	97,7	96,6	96,4	96,2	96,5	95,8	95,4	94,2
4/2/2025 10:35:46	4/2/2025 10:36:01	00:02:00	99,7	101,6	99,5	99,2	99,1	98,8	98,1	98,0	97,9
4/2/2025 10:46:34	4/2/2025 10:48:34	00:02:00	76,5	78,3	77,7	77,4	77,2	76,5	75,5	75,3	75,1
4/2/2025 10:49:38	4/2/2025 10:51:38	00:02:00	79,8	81,7	81,0	80,6	80,3	79,7	79,1	78,9	78,0
4/2/2025 10:52:09	4/2/2025 10:54:09	00:02:00	82,0	84,7	84,3	84,0	83,5	81,5	80,7	80,5	80,2
4/2/2025 10:59:50	4/2/2025 11:01:50	00:02:00	76,1	79,4	78,9	78,1	77,1	75,9	74,8	73,8	73,1
4/2/2025 11:02:17	4/2/2025 11:04:17	00:02:00	79,9	82,2	81,6	81,2	80,9	79,8	78,8	78,5	75,3
4/2/2025 11:04:44	4/2/2025 11:06:44	00:02:00	82,6	84,4	84,0	83,7	83,6	82,7	81,0	80,9	80,6
4/2/2025 11:23:05	4/2/2025 11:25:05	00:02:00	92,5	94,1	93,5	93,0	92,9	92,4	92,0	91,8	91,5
4/2/2025 11:27:22	4/2/2025 11:29:22	00:02:00	96,3	97,2	96,9	96,7	96,6	96,3	95,9	95,7	93,4
4/2/2025 11:30:10	4/2/2025 11:32:10	00:02:00	98,6	100,1	99,7	99,3	99,1	98,4	98,0	97,9	97,4