

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EVALUACIÓN DE PANELES DE AISLAMIENTO
TÉRMICO Y ACÚSTICO A BASE DE TUSA
DE MAÍZ EN TACNA

TESIS

Presentada por:

Bach. Miltón Raphael Torrico Paucarmayta

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

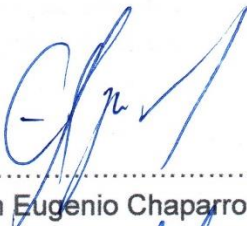
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

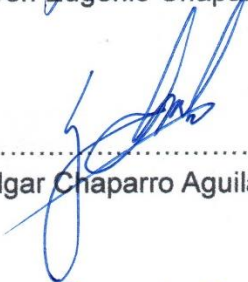
**EVALUACIÓN DE PANELES DE AISLAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO
A BASE DE TUSA DE MAÍZ EN TACNA**

**SUSTENTADA Y APROBADA EL 23 DICIEMBRE DEL 2025, SIENDO EL
JURADO CALIFICADOR:**

PRESIDENTE:


.....
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

SECRETARIO:


.....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

VOCAL:


.....
Mgr. Lorenzo Rebaza Enriquez

ASESOR:


.....
Mgr. Lorenzo Rebaza Enriquez

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Lorenzo Rebaza Enríquez, en mi condición de asesor acreditado conforme a la Resolución de Facultad N° 8277-2024-FCAG del 15 de enero de 2024, del trabajo de tesis titulado: “EVALUACIÓN DE PANELES DE AISLAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO A BASE DE TUSA DE MAÍZ EN TACNA”, presentado por el Bach. Miltón Raphael Torrico Paucarmayta, para optar al Título de Ingeniero Ambiental.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, el trabajo cuenta con un nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 4%.

Por lo que CERTIFICO la similitud de la tesis y que esta se encuentra de acuerdo al nivel permitido, para continuar con los trámites correspondientes.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención del Título de Ingeniero Ambiental.

Tacna, 06 de abril de 2026

FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos:


Mgr. Lorenzo Rebaza Enríquez
DNI N° 17842394



FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos:


Bach. Miltón Raphael Torrico Paucarmayta
DNI N° 72883497



DEDICATORIA

A mis padres, Maria y Percy, que me apoyaron y motivaron a la realización de esta investigación para la conclusión de esta tesis.

A mis hermanos, por su amabilidad y aliento en el término de esta investigación, agradecido por su ejemplo.

A mis amigos y amigas, por sus ánimos e insistencia constante en la realización de mi investigación y su generoso apoyo.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que generosamente me brindaron su apoyo y aliento durante todo el proceso de esta investigación. Especialmente a mi amigo Alessandro De la Gala por sus consejos y tiempo brindado. Su recomendación me inspiró a continuar de manera ardua a realizar este proyecto, y ha dejado una huella imborrable en mi corazón. Gracias por su tiempo y su gran amistad a todos mis amigos que alentaron.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Formulación y sistematización del problema.....	5
1.2.1 Problema general.....	5
1.2.2 Problemas específicos.....	6
1.3 Delimitación de la investigación.....	6
1.3.1 Delimitación temporal	6
1.3.2 Delimitación espacial	6

1.4	Justificación e importancia de la investigación	7
1.4.1	Justificación social	7
1.4.2	Justificación económica	7
1.4.3	Justificación ambiental	8
1.5	Limitaciones	8

CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1	Objetivos	10
2.1.1	Objetivo general	10
2.1.2	Objetivos específicos	10
2.2	Hipótesis	10
2.2.1	Hipótesis general	10
2.2.2	Hipótesis específicas	11
2.3	Variables	11
2.3.1	Variables dependientes	11
2.3.2	Variables independientes.....	11
2.3.3	Operacionalización de las variables	11

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1	Antecedentes	13
-----	--------------------	----

3.1.1	Antecedentes internacionales.....	13
3.1.2	Antecedentes nacionales.....	21
3.1.3	Antecedentes regionales	27
3.2	Bases teóricas.....	30
3.2.1	Paneles aislantes de tusa de maíz	30
3.2.2	Aislamiento acústico	33
3.2.3	Aislamiento térmico.....	46
3.3	Definición de conceptos básicos	49
3.3.1	Aislante térmico.....	49
3.3.2	Aislante acústico	50
3.3.3	Maíz.....	50
3.3.4	Paneles aislantes	50
3.3.5	Tusa de maíz	50

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Tipo y nivel de investigación	52
4.1.1	Tipo de investigación	52
4.1.2	Nivel de investigación	52
4.1.3	Diseño de investigación	52

4.2	Lugar de estudio	53
4.3	Población y muestra de estudio.....	53
4.3.1	Población	53
4.3.2	Muestra	53
4.4	Método	54
4.5	Procedimiento experimental	54
4.5.1	Elaboración de paneles aislantes térmicos y acústicos	57
4.5.2	Dimensiones, propiedades físicas y composición de los paneles..	62
4.5.3	Evaluación de las propiedades térmicas y acústicas	68
4.6	Materiales y equipos	72
4.6.1	Materiales.....	72
4.6.2	Equipos	73
4.6.3	Análisis estadístico.....	73

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Resultados	76
5.1.1	Efecto de dos prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa maíz sobre el aislamiento térmico	76

5.1.2 Efecto de dos prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa maíz sobre el aislamiento acústico.....	85
5.2 Discusión de resultados.....	96
5.2.1 Discusión del efecto de dos prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa maíz sobre el aislamiento térmico	96
5.2.2 Discusión del efecto de dos prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa maíz sobre el aislamiento acústico	100
CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES.....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Operacionalización de variables</i>	12
Tabla 2. <i>Ondas sonoras y frecuencias</i>	35
Tabla 3. <i>Estándares nacionales de calidad ambiental para ruido</i>	42
Tabla 4. <i>Estándares de calidad ambiental para el ruido en áreas urbanas de China según GB 3096 - 2008.....</i>	44
Tabla 5. <i>Límites recomendados por la OMS para el ruido ambiental en diferentes zonas funcionales.....</i>	45
Tabla 6. <i>Lista de características higrométricas de los materiales de construcción.....</i>	46
Tabla 7. <i>Composición química de la tusa o coronta de maíz</i>	51
Tabla 8. <i>Dimensiones de los paneles aislantes con diferentes espesores</i>	64
Tabla 9. <i>Densidad del panel aislante sin y con relieve</i>	65
Tabla 10. <i>Porosidad del panel aislante sin y con relieve.....</i>	66
Tabla 11. <i>Cenizas del panel aislante con y sin relieve</i>	67
Tabla 12. <i>Composición del panel aislante con y sin relieve.....</i>	68

Tabla 13. <i>Temperaturas en régimen estacionario sin paneles aislantes.</i>	79
Tabla 14. <i>Registro de temperaturas de paneles aislantes a base de tusa de maíz</i>	80
Tabla 15. <i>Conductividad térmica (λ), resistencia térmica (R) y transmitancia térmica (U) de paneles aislantes a base de tusa de maíz</i>	82
Tabla 16. <i>ANOVA de un factor Welch para resistencia térmica (R), conductividad térmica (λ) y transmitancia térmica (U)</i>	83
Tabla 17. <i>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para resistencia térmica (R), conductividad térmica (λ) y transmitancia térmica (U)</i>	84
Tabla 18. <i>Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para resistencia térmica (R), conductividad térmica (λ) y transmitancia térmica (U)</i>	85
Tabla 19. <i>Medición del tiempo de reverberación de los paneles</i>	86
Tabla 20. <i>Tiempo de reverberación, área de absorción y coeficiente de absorción acústica.....</i>	87
Tabla 21. <i>ANOVA de un factor Welch para el coeficiente de absorción acústica (α)</i>	88

Tabla 22. <i>Prueba de normalidad Shapiro–Wilk para el coeficiente de absorción acústica (α)</i>	88
Tabla 23. <i>Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del coeficiente de absorción acústica (α)</i>	89
Tabla 24. <i>Comparativa de niveles de presión sonora L_{eq} de los paneles aislantes</i>	90
Tabla 25. <i>Resultados del ANOVA factorial grupo por distancia</i>	91
Tabla 26. <i>Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas</i>	92
Tabla 27. <i>Comparaciones post hoc de Tukey entre grupos</i>	93
Tabla 28. <i>Comparaciones post hoc de Tukey entre distancias</i>	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Esquema de la barrera acústica</i>	32
Figura 2. <i>Esquema de incidencia de ondas acústicas sobre un cuerpo.....</i>	33
Figura 3. <i>Ubicación del mercado “Mayorista Grau” en la ciudad de Tacna.....</i>	54
Figura 4. <i>Flujograma de las etapas del desarrollo de la experimentación</i>	55
Figura 5. <i>Recolección de la materia prima</i>	57
Figura 6. <i>Selección y limpieza de la materia prima</i>	58
Figura 7. <i>Trozado manual de la tusa de maíz.....</i>	59
Figura 8. <i>Proceso de trituración mecánica de la tusa de maíz</i>	59
Figura 9. <i>Preparación de la mezcla.....</i>	60
Figura 10. <i>Elaboración de los paneles aislantes.....</i>	61
Figura 11. <i>Fase de secado y aplicación de relieve en los paneles aislantes</i>	61
Figura 12. <i>Caja de tecnopor para la evaluación de análisis térmico</i>	69

Figura 13.	<i>Sala de pruebas para el aislamiento acústico</i>	70
Figura 14.	<i>Caja de tecnopor para la evaluación de análisis acústico</i>	71
Figura 15.	<i>Medidas de espesor de los paneles aislantes térmicos</i>	63
Figura 16.	<i>Medias marginales estimadas del nivel de presión sonora Leq según grupo y distancia</i>	95

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. <i>Matriz de consistencia</i>	123
Anexo 2. <i>Galería de fotos</i>	124
Anexo 3. <i>Tablas de la toma de muestras</i>	137
Anexo 4. <i>Certificado de calibración del sonómetro</i>	140

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el uso de paneles a base de tusa de maíz en el aislamiento térmico y acústico en la ciudad de Tacna. En la metodología, el análisis térmico consistió en dos tratamientos de espesor (20 mm y 30 mm) con cinco repeticiones. Para el análisis acústico se realizaron dos experimentos: uno comparando tipos de panel (sin y con relieve) con tres repeticiones, y un factorial evaluando tres grupos (control, sin y con relieve) a distancias de 2 y 5 metros con tres repeticiones. Para las pruebas térmicas se utilizó un sistema experimental de caja cerrada con una fuente de calor de 60 W, mientras que para las pruebas acústicas se empleó el método de tiempo de reverberación en una sala de 16,32 m³. Los resultados indican que el panel de 30 mm presentó mejores propiedades térmicas que el de 20 mm, con una mejora del 10,8 % en la retención térmica. Se concluye que los paneles de tusa de maíz presentan un desempeño eficiente como material de aislamiento térmico y acústico, siendo más adecuados los de mayor espesor para aplicaciones térmicas y los de superficie con relieve para aplicaciones acústicas en edificaciones de Tacna, con reducción significativa del ruido.

Palabras clave: Aislamiento térmico, aislamiento acústico, tusa de maíz, conductividad térmica, absorción acústica, residuos agrícolas.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the use of corn husk-based panels for thermal and acoustic insulation in the city of Tacna. In terms of methodology, the thermal analysis consisted of two thickness treatments (20 mm and 30 mm) with five repetitions. For the acoustic analysis, two experiments were carried out: one comparing panel types (with and without relief) with three repetitions, and a factorial experiment evaluating three groups (control, with and without relief) at distances of 2 and 5 meters with three repetitions. A closed-box experimental system with a 60 W heat source was used for the thermal tests, while the reverberation time method was used for the acoustic tests in a 16,32 m³ room. The results indicate that the 30 mm panel had better thermal properties than the 20 mm panel, with a 10,8 % improvement in heat retention. It is concluded that corn husk panels perform efficiently as thermal and acoustic insulation material, with thicker panels being more suitable for thermal applications and embossed surface panels for acoustic applications in buildings in Tacna, with a significant reduction in noise.

Keywords: Thermal insulation, acoustic insulation, corn husks, thermal conductivity, acoustic absorption, agricultural waste.

INTRODUCCIÓN

La preservación ambiental es actualmente una prioridad para todos en un contexto global afligido por la contaminación, la variación del clima junto con el uso excesivo de los recursos del entorno. El sector de la construcción es uno de los principales generadores de residuos, donde es cada vez más usado los plásticos para aislamiento térmico y acústico para las edificaciones, a su vez esto representa un reto ambiental significativo al finalizar su vida útil convirtiéndose en un desafío su eliminación de manera sostenible (Pomponi & Moncaster, 2017). Ante este panorama, surge la necesidad de buscar soluciones innovadoras, económicas y responsables con el ambiente que contribuyan a reducir el impacto ambiental sin comprometer el bienestar de las personas (United Nations Environment Programme [UNEP], 2022).

En este contexto, la presente investigación propone aprovechar un residuo agrícola muy común en el Perú, la tusa de maíz también llamada coronta. Este subproducto orgánico, usualmente desechado, representa un potencial de convertirse en una alternativa ecológica para el desarrollo de paneles aislantes biodegradables que puedan cumplir funciones similares a las de los materiales plásticos convencionales (Asdrubali et al., 2015). Al

dar un segundo uso a la tusa de maíz, se fomenta la economía circular y se reduce la dependencia de materiales sintéticos no renovables, lo que favorece la reducción de los niveles de deterioro ambiental (Mazur et al., 2025).

La región de Tacna, por sus características geográficas y climáticas, presenta temperaturas que varían de forma considerable. En lugares de este tipo, disponer de insumos que sostengan el aislamiento térmico y sonoro en las viviendas eleva de forma directa las condiciones de habitabilidad de la población, sino que también puede marcar la diferencia entre un ambiente habitable y uno hostil (Alwetaishi, 2016). Por eso, este estudio busca evaluar paneles de aislamiento térmico y acústico a base de tusa de maíz en Tacna.

En esta investigación, el Capítulo I presenta el planteamiento del problema, resaltando la necesidad de encontrar nuevas alternativas de aislamiento térmico y acústico que sean sostenibles, junto con la formulación de los problemas de investigación, la delimitación temporal y espacial del estudio, la justificación desde una perspectiva social, económica y ambiental, y las principales limitaciones que se identificaron durante el desarrollo del proyecto. En el Capítulo II se desarrollan los objetivos generales y específicos de la investigación, la hipótesis planteada y la manera en que se operacionalizan las variables para permitir un

análisis claro y preciso de los resultados. El Capítulo III recoge los antecedentes más relevantes al tema, la base teórica que da sustento a la propuesta, así como las definiciones clave que permiten comprender los conceptos principales utilizados a lo largo del estudio. Por su parte, el Capítulo IV explica el enfoque metodológico, el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra considerada, y el procedimiento experimental seguido para la elaboración y evaluación de los paneles aislantes hechos a base de tusa de maíz. Finalmente, el Capítulo V presenta los resultados obtenidos, su discusión frente a lo planteado inicialmente, las conclusiones alcanzadas, las recomendaciones para futuras investigaciones, y los anexos que evidencian y respaldan el proceso desarrollado.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Desde el siglo XX, la introducción de los plásticos ha generado un aumento escalonado en la degradación del suelo, aire y mares del planeta. Los residuos plásticos representan un 20 % generados por el sector de la construcción (Irwin, 2018). Estos residuos, al finalizar su uso temporal, terminan en el ambiente, causando alteraciones en los ciclos de vitales de las especies fauna y flora que se ven directamente afectadas por estos plásticos. Muchos de los plásticos utilizados en la construcción tienen por finalidad, mejorar el confort térmico y acústico para ofrecer una mejor calidad de vida, pero al mismo tiempo suponen un perjuicio ambiental, ya que cuando estas construcciones se deterioran o requieren mantenimiento, muchos de estos materiales acaban en vertederos o en el mar.

Según la Norma EM.110 (2016), se categorizan la bioclimática del Perú en nueve zonas, a causa de la influencia de la cadena montañosa de los andes lo cual supone una amplia variación entre las temperaturas de cada localidad. Los fenómenos naturales como “el Niño” o “la Niña” también alteran las estaciones locales. Para lograr el confort térmico y acústico necesario para vivir en condiciones extremas o de intensa variabilidad del

clima, se emplean diferentes tecnologías como paneles aislantes que reducen el intercambio calorífico y acústico entre espacios.

En el departamento de Tacna se exhibe notables contrastes de temperatura, explicados por la variación altitudinal que oscila entre 2 m.s.n.m. en Punta Colorada hasta los 5 815 m.s.n.m. en el Volcán Tutupaca (INEI, 2018). Estas condiciones instigan el uso de aislantes para mitigar las temperaturas extremas a las que se enfrentan los tacneños. Asimismo, es crucial considerar la reducción del impacto de residuos plásticos, dado el cambio climático que amenaza al Perú. Es por ello que se propone la implementación de paneles aislantes, tanto térmicos como acústicos, con el objetivo de crear condiciones más sostenibles para la vida en situaciones extremas. Este enfoque implica el uso de residuos orgánicos comunes, abordando de manera efectiva estas circunstancias sin eludir la responsabilidad ambiental.

1.2 Formulación y sistematización del problema

1.2.1 Problema general

¿Qué efecto tiene el uso de paneles a base de tusa de maíz en el aislamiento térmico y acústico en Tacna?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de dos prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa de maíz sobre el aislamiento térmico?
- ¿Cuál es el efecto de dos prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa de maíz sobre el aislamiento acústico?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

Para la realización de la investigación, se estableció un periodo aproximado de 45 días. Durante este tiempo, se llevó a cabo la elaboración de paneles aislantes biodegradables a base de tusa de maíz. Posteriormente, se realizó la evaluación de sus propiedades de aislamiento térmico y acústico con el propósito de determinar su efectividad en estas aplicaciones.

1.3.2 Delimitación espacial

Para la obtención de los resultados de la evaluación del panel aislante, el presente estudio se llevó a cabo en la región de Tacna, en la provincia de Tacna, utilizando las instalaciones del laboratorio de física de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG).

1.4 Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Justificación social

En la actualidad existen muchos tipos de materiales plásticos aislantes para mitigar las condiciones climáticas y acústicas. El poliestireno expandido (EPS) usado principalmente para el aislamiento térmico y acústico (López, 2012), material más convencional empleado para la construcción moderna. Con la implementación de paneles aislantes a base de tusa de maíz es viable ofrecer un confort térmico y acústico adecuado, especialmente en un entorno caracterizado por notables contrastes de temperatura al abordar los desafíos climáticos y de contaminación, se promueve un entorno habitable y sostenible que favorece la salud física y mental. Esto generará un efecto favorable en las condiciones de vida de quienes habitan la zona, proporcionándoles ambientes más cómodos y saludables.

1.4.2 Justificación económica

La adopción de paneles aislantes a base de tusa de maíz ofrece oportunidades para el desarrollo sostenible local. Además, al utilizar materiales locales y comunes, se reduce la dependencia de insumos costosos, lo que podría resultar una alternativa de menor costo frente a los insumos químicos altamente contaminantes. A largo plazo, puede generar

ahorros significativos en costos de energía, al optimizar el rendimiento térmico de las viviendas. Esto no solo beneficia a los habitantes directos, también contribuye a la resiliencia económica de la región al enfrentar los desafíos económicos y climáticos actuales de manera proactiva.

1.4.3 Justificación ambiental

El uso de paneles a base de tusa de maíz ofrece una alternativa ambientalmente vinculada estrechamente a la gestión de los desechos plásticos producidos por la actividad constructiva. Al reciclar y reutilizar la tusa de maíz, se reduce la dependencia de materiales plásticos convencionales, contribuyendo a la disminución de la huella de carbono al minimizar la necesidad de insumos no renovables y fomentar prácticas de construcción más sostenibles y disminuyendo así la contaminación ambiental a largo plazo. Además, se evita que estos materiales terminen en vertederos o en el mar, mitigando los impactos negativos en los ecosistemas locales y la biodiversidad.

1.5 Limitaciones

El proyecto se enfocará en el diseño y desarrollo de prototipos de paneles aislantes a base de tusa de maíz para evaluar su eficacia en el aislamiento térmico y acústico en condiciones climáticas de Tacna. El tiempo previsto para el proyecto puede restringir la obtención de

información extendida sobre cómo se comportan y cuánto resisten los paneles elaborados con tusa de maíz cuando se emplean durante periodos prolongados.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar el uso de paneles a base de tusa de maíz en el aislamiento térmico y acústico en Tacna.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de dos prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa de maíz sobre el aislamiento térmico.
- Determinar el efecto de dos prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa de maíz sobre el aislamiento acústico.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

Si se evalúa el uso de paneles a base de tusa de maíz en el aislamiento térmico y acústico en Tacna, se determina el mejor.

2.2.2 Hipótesis específicas

- Los prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa de maíz tiene efecto sobre el aislamiento térmico.
- Los prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa de maíz tiene efecto sobre el aislamiento acústico.

2.3 Variables

2.3.1 Variables dependientes

Aislamiento térmico

Aislamiento acústico

2.3.2 Variables independientes

Paneles aislantes de tusa de maíz

2.3.3 Operacionalización de las variables

La Tabla 1 se menciona las variables, dimensiones e indicadores que se emplearán para la realización de la tesis.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variable	Dimensiones	Indicadores
Variables independientes		
X₁ = Paneles aislantes de tusa de maíz	Geometría y dimensiones	Espesor (mm)
	Propiedades físicas	Densidad (kg/m ³)
		Porosidad (%)
	Composición material	Tusa de maíz (%) Aglutinante (%)
Variable dependiente		
Y₁ = Aislamiento térmico	Conductividad térmica	Valor λ (W/m.°K)
	Resistencia térmica	Valor R (m ² .°K/W)
	Transmitancia térmica	Valor U (W/m ² .°K)
Y₂ = Aislamiento acústico	Absorción acústica	Coefficiente de absorción acústica (α)
	Atenuación sonora	Nivel de presión sonora equivalente L _{eq} (dB)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

Arroyo & Méndez (2018) dentro de su investigación llevada a cabo en Ecuador con el título: “Obtención y caracterización de un panel acústico a partir del desecho de la caña de azúcar”, fabricaron y caracterizaron paneles acústicos a partir de bagazo de caña de azúcar combinado con distintos aglutinantes. Para ello elaboraron paneles de 15 x 25 cm con tres espesores distintos (6, 12 y 25 mm), utilizando una proporción predominante de bagazo respecto al aglutinante en una relación de 3:1 para barro y yeso, y de 2:1 para goma y poliuretano. El coeficiente de absorción acústica se obtuvo siguiendo la norma UNE-EN ISO 10534-2 en un tubo de impedancia, logrando valores globales que variaron según el espesor y el aglutinante: para los paneles de 25 mm se alcanzaron coeficientes de 0,35 (MH) con goma; 0,40 (MH) con yeso; 0,45 (LMH) con poliuretano y 0,55 (LMH) con barro, siendo este último el de mayor absorción, con un máximo de aproximadamente 0,6 en altas frecuencias. Por otra parte, la pérdida de transmisión teórica calculada mediante la ley de masas mostró que, para el espesor de 25 mm, se obtuvieron valores de

hasta 43,9 dB con goma; 43,8 dB con yeso; 41,5 dB con poliuretano y 44,6 dB con barro, evidenciando que el aumento del espesor y, por consiguiente, de la masa superficial, incrementa directamente la capacidad de aislamiento acústico de los paneles.

Monge (2016) en su estudio efectuado en Ecuador con el título: "Diseño de un panel sándwich semi-ligero con aislamiento de fibra natural proveniente del Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente en el mercado, en base a parámetros térmicos, acústicos y de respeto por el medio ambiente", diseñó y analizó un panel sándwich ecológico con núcleo de cascarilla de arroz. El panel propuesto, de 80 mm de espesor total, consistió en dos láminas de acero prepintado de 0,5 mm que encerraban un núcleo compuesto por un esqueleto de 5 mm de cascarilla de arroz molida (tamaño de partícula entre 0,3 y 2,0 mm) aglutinada con almidón de yuca, y un relleno principal de 40 mm de cascarilla de arroz en estado natural suelta, alcanzando una densidad aparente de 650 kg/m³. Mediante simulaciones térmicas comparativas en estado estacionario (interior -30 °C, exterior 20 °C), el panel logró un flujo de calor de 47,08 W, un valor muy cercano al obtenido por un panel comercial de poliestireno expandido (EPS) de 80 mm de espesor (46,88 W), aunque no superó al de poliuretano (PUR) de 50 mm (45,12 W). El análisis evidenció que, a pesar de que el coeficiente de conductividad

térmica del núcleo mixto ($\lambda \approx 0,136 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$ para la capa aglutinada y $\lambda \approx 0,036 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$ para la cascarilla suelta) era superior al del poliuretano ($\lambda = 0,024 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$), la configuración del panel, que aprovecha la cascarilla suelta de alta porosidad, permitió un desempeño térmico competitivo, demostrando que el uso de este residuo agrícola constituye una alternativa viable para la fabricación de paneles aislantes sostenibles.

Daza (2019) en su trabajo de investigación efectuado en Chile con el título: “Evaluación ambiental del proceso de fabricación del panel aislante flexible obtenido a partir de la corteza de *Eucalyptus sp.* para su aplicación en el sector residencial en Chile”, desarrolló y evaluó un panel aislante térmico fabricado a partir de residuos de corteza de eucalipto. El panel flexible fue producido en densidades de 25, 50, 75 y 100 kg/m³, con espesores correspondientes de 50, 80 y 100 mm, compuesto por un 96,0 % de fibras de corteza y un 4,0 % de fibra bicomponente sintética, además de aditivos ignífugos y antifúngicos. La caracterización técnica mostró que el panel con densidad de 25 kg/m³ presentó la mejor conductividad térmica (λ), con un valor de 0,045 W/m.°K, y una resistencia térmica (R100) de 111 m².°K/W, superando ampliamente los requisitos mínimos de la normativa chilena para muros en todas las zonas térmicas. El análisis de ciclo de vida indicó que esta misma configuración de 25 kg/m³ generó el menor impacto ambiental, con un consumo energético de

16,24 MJ y un potencial de calentamiento global de 1,35 kg CO₂ equivalente por unidad funcional (1 m².°K/W). Concluyó que el panel de corteza de eucalipto, particularmente en su versión de baja densidad (25 kg/m³), constituye una alternativa técnica y ambientalmente factible, al ofrecer un aislamiento térmico competitivo y un perfil ambiental favorable en comparación con aislantes tradicionales y otros de origen natural.

Lozano & Rojas (2019) en su estudio llevada a cabo en Colombia con el título: “Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar”, fabricaron y evaluaron nueve prototipos de paneles prefabricados de 30 x 30 cm, con espesores de 6, 8 y 10 mm, compuestos por una mezcla de cemento Portland, melaza, agua y fibras de bagazo de caña de azúcar, donde las dosificaciones variaron entre los tres juegos producidos. El panel que presentó la mejor consistencia y menor retracción (Juego 2) se fundió con una composición volumétrica de 81 cm³ de cemento, 108 cm³ de bagazo, 54 cm³ de melaza y 13,5 cm³ de agua, obteniendo una densidad aparente de 1 120 kg/m³ para el panel de 10 mm de espesor. Al someter los paneles a pruebas de transmitancia térmica (U) en una cámara climática, el panel número 6 (del Juego 2, de 10 mm de espesor) registró una resistencia térmica (R) de 0,641 m².°K/W y una transmitancia térmica de 1,561 W/m².°K, valores significativamente inferiores a los de materiales tradicionales como el

concreto ($U = 171,41 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{K}$) o la madera confiera ($U = 14,99 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{K}$), considerando un espesor equivalente de 1 cm. Concluyó que la dosificación con mayor proporción de bagazo y melaza, y menor contenido de agua, junto con un mayor espesor, no solo mejoró la integridad física del panel, sino que maximizó su capacidad aislante, demostrando la viabilidad de este material compuesto como una alternativa sostenible y de bajo costo para el aislamiento térmico en cubiertas de zonas cálidas.

Okeke et al. (2024) en su estudio de revisión realizado en el Reino Unido con el título: “A review of corncob-based building materials as a sustainable solution for the building and construction industry”, examinaron las propiedades físico-mecánicas de la mazorca de maíz (corncob) para su aplicación en sistemas constructivos sostenibles. Analizaron el desempeño de este material en configuraciones de aislamiento, donde la mazorca a granel presentó una densidad aparente entre 74,6 y 100,4 kg/m^3 y una conductividad térmica baja en el rango de 0,058 a 0,081 $\text{W/(m}\cdot^\circ\text{K)}$, valores comparables a aislantes convencionales como el poliestireno expandido. Para aplicaciones en paneles, estudiaron tableros de partículas aglomerados con acetato de polivinilo, los cuales lograron un coeficiente de conductividad térmica de 0,052 $\text{W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$ y una transmisión térmica de 1,33 $\text{W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$. En cuanto al comportamiento acústico, evaluaron la capacidad de atenuación de estos tableros, obteniendo una ganancia de

aislamiento al ruido de impacto (ΔL_w) estimada en 30 dB y coeficientes de absorción superiores en frecuencias altas. Concluyeron que la estructura porosa y ligera de la mazorca de maíz la convierte en una solución técnicamente viable para mejorar la eficiencia energética, destacando su idoneidad específica para aplicaciones de aislamiento térmico y acústico no estructurales.

Bovo et al. (2022) en su estudio experimental realizado en Italia con el título: "Contribution to thermal and acoustic characterization of corncob for bio-based building insulation applications", analizaron las propiedades aislantes de paneles basados en residuos de mazorca de maíz (corncob). El material, dispuesto en distintas configuraciones de capas, presentó una densidad de 200 kg/m³, con una capacidad calorífica específica que varió entre 1,4 y 1,9 J/(g.°K) según la temperatura y el número de capas. En cuanto a su desempeño térmico, se registró una conductividad térmica (λ) en el rango de 0,14 a 0,26 W/(m.°K) y una conductancia térmica entre 0,62 y 1,13 W/(m².°K). Para el aislamiento acústico, el material demostró poseer buenas propiedades de absorción, exhibiendo coeficientes de absorción más altos a frecuencias elevadas. Los autores concluyeron que las propiedades térmicas y acústicas medidas son comparables a las de otros materiales aislantes naturales, como el corcho, evidenciando el potencial

de la mazorca de maíz como aislante ecológico en aplicaciones de construcción.

Ramos et al. (2021) en su investigación experimental realizada en Portugal con el título: “Thermal performance and life cycle assessment of corn cob particleboards”, fabricaron y evaluaron el comportamiento térmico y ambiental de tableros de partículas elaborados a partir de residuos agrícolas. El estudio comparó el desempeño de dos tipos de tableros, diferenciados por su aglomerante: acetato de polivinilo (PVA) y Fabricol AG222 (FAG222). Los paneles fueron producidos con partículas de coronta de maíz y tenían unas dimensiones de 3 cm de espesor, 40 cm de ancho y 40 cm de alto. El análisis térmico experimental determinó que el coeficiente de transmisión térmica (U) del tablero con PVA fue de $1,33 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, mientras que el correspondiente a FAG222 fue de $1,92 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. La conductividad térmica (λ) promedio obtenida fue de $0,052 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ para el tablero con PVA y de $0,087 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ para el de FAG222. A partir de estos valores se calculó una resistencia térmica (R) de $0,58 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para el panel con PVA y de $0,34 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para el de FAG222 (para el espesor de 3 cm). Demostraron que, especialmente el tablero con PVA, presenta propiedades de aislamiento térmico comparables a las de materiales comerciales como el poliestireno expandido (EPS), evidenciando que el uso de residuos de coronta de maíz, combinados con un aglomerante

adecuado, puede dar lugar a un material de construcción con un desempeño térmico viable para aplicaciones de aislamiento.

Viel et al. (2019) en su investigación desarrollada en Francia con el título: "Development and characterization of thermal insulation materials from renewable resources", fabricaron y caracterizaron paneles compuestos rígidos completamente bio-basados a partir de residuos agroindustriales. Para ello, utilizaron dos tipos de agregados: partículas de tallo de cáñamo (hemp shiv) y residuos de mazorca de maíz (corn cob residues), los cuales se combinaron con seis tipos de aglomerantes ecológicos, entre ellos extractos alcalinos de mazorca de maíz y fibras de lino, lignina comercial y ácido poliláctico (PLA). Las muestras que fabricaron tienen dimensiones de $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$, compactadas a 0,25 MPa y curadas térmicamente a 190°C durante 2 horas. La densidad aparente de los compuestos con hemp shiv varió entre 167 y 273 kg/m^3 (estado seco), mientras que la de los compuestos con residuos de mazorca de maíz osciló entre 427 y 515 kg/m^3 , con una porosidad total del 60 % al 87,5 %. En cuanto al aislamiento térmico, la conductividad térmica en estado seco (λ) para los compuestos con hemp shiv varió desde 67,5 hasta 78,6 $\text{mW}/(\text{m}\cdot^\circ\text{K})$, y para los compuestos con residuos de mazorca de maíz, desde 128,4 hasta 147,9 $\text{mW}/(\text{m}\cdot^\circ\text{K})$. Asimismo, todos los materiales demostraron una excelente capacidad reguladora de humedad, con

Valores de Amortiguamiento de Humedad (MBV) superiores a $2 \text{ g}/(\text{m}^2.\%\text{HR})$, excepto el compuesto con PLA (MBV de $1,86 \text{ g}/(\text{m}^2.\%\text{HR})$), logrando el valor más alto $5,08 \text{ g}/(\text{m}^2.\%\text{HR})$ en los compuestos de residuos de maíz con aglomerantes extractivos. Concluyeron que, si bien los compuestos con hemp shiv presentaron una conductividad térmica más baja y serían ideales para aislamiento distribuido, los compuestos con residuos de mazorca de maíz destacaron por su superior capacidad higroscópica, evidenciando que la combinación específica de agregado y aglomerante determina de manera clave el balance entre el desempeño térmico y la regulación de humedad en materiales de construcción bio-basados.

3.1.2 Antecedentes nacionales

Carrasco & Peña (2023) en su investigación titulada “Elaboración de paneles aislantes térmicos con la hoja del plátano y cascarilla del arroz, para la vivienda no planificada en zonas desérticas, para la ciudad de Piura, Perú”, fabricaron y evaluaron seis prototipos de paneles compuestos por cemento, fibra de hoja de plátano triturada y cascarilla de arroz molida, con dimensiones base de $61 \times 61 \text{ cm}$ y espesores de 15 mm y 30 mm . Ensayaron tres proporciones distintas de mezcla ($60:20:20$, $20:60:20$ y $40:40:20$, correspondientes a cemento, hoja de plátano y cascarilla de arroz, respectivamente) y determinaron sus propiedades mediante el

ensayo de conductividad térmica según la norma ASTM C177. Los resultados mostraron que el panel de 30 mm con la proporción 60:20:20 (mayor contenido de fibra de plátano) presentó el coeficiente de conductividad térmica (λ) más bajo de 0,200 W/m.°K. Al calcular su desempeño en aplicación real, este panel, instalado como aislante adicional en muros de adobe de 0,4 m de espesor ($\lambda = 0,9$ W/m.°K), permitió alcanzar una transmitancia térmica (U) de 1,308 W/m².°K para el conjunto. En techos de fibrocemento y calamina con cámara de aire, la incorporación del panel de 15 mm ($\lambda = 0,2$ W/m.°K) redujo la transmitancia térmica a 3,242 W/m².°K y 3,599 W/m².°K, respectivamente, representando una mejora del 21 % en el comportamiento térmico respecto a los techos sin aislamiento. Evidenció que la composición con mayor proporción de fibra de hoja de plátano en espesores de 30 mm ofrece el mejor desempeño aislante, constituyendo una alternativa sostenible y efectiva para mejorar el confort térmico en viviendas no planificadas de zonas desérticas.

Álvarez (2022) en su investigación titulado “Evaluación del confort térmico en una vivienda periurbana tradicional de la ciudad de Juliaca”, analizó a detalle los materiales y geometría de una vivienda modelo. Para los muros, utilizó adobes de 40 x 20 x 10 cm, unidos con una junta de barro de 2,5 cm, logrando un espesor total de pared de 40 cm. El techo a dos aguas se construyó con paja, un material natural cuyas propiedades físicas

incluyen una densidad variable (80 a 600 kg/m³) y un bajo coeficiente de conductividad térmica (entre 0,045 y 0,13 W/m.°K), clave para el aislamiento. La geometría del techo requirió la construcción de tímpanos con una prolongación de 60 cm de altura. A este sistema base se añadió una capa aislante de poliestireno expandido (EPS) de 1 cm de espesor y un revestimiento de corcho de 0,5 cm en los muros. Los resultados demostraron que esta composición material y dimensional específica fue determinante: la vivienda aislada (Modelo B) mantuvo una temperatura interior estable de 18,88 °C con una variación mínima, evidenció una alta resistencia térmica efectiva (R) y una excelente atenuación de las oscilaciones climáticas externas, en contraste con la construcción simple.

Peña (2018) conforme a su investigación denominada “Diseño de un aislante térmico a base de fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en la comunidad de Cupisa”, diseñó y validó un panel aislante fabricado a partir de residuos agrícolas locales. Prototipo final, con dimensiones de 0,6 m x 0,5 m y un espesor de 0,04 m (4 cm), se compuso de una mezcla de fibras naturales de trigo y cebada (27,0 % en peso), cola sintética (54,0 %) y aserrín (19,0 %), reforzado con una geomalla de polipropileno para mejorar su consistencia. La evaluación de su conductividad térmica arrojó un valor de 0,1095 W/m.°K, lo que permitió una reducción del flujo de calor en una vivienda típica de adobe del 30,3 %

en comparación con la situación sin aislamiento. La validación en campo, realizada en una habitación de la comunidad durante la época de heladas, confirmó la efectividad del panel para mejorar las condiciones interiores, demostrando que el uso de residuos agrícolas locales es una alternativa viable, de bajo costo (S/. 6,05 por panel) y sostenible para mitigar el impacto de las bajas temperaturas en viviendas altoandinas.

Barrantes (2022) dentro su investigación denominado “Estudio de la fibra de ichu incorporada como aislante térmico a un sistema de construcción en seco para su uso en envoltentes de viviendas rurales ubicadas en zonas climáticas frías del Perú”, evaluó el desempeño de la fibra natural de Ichu como aislante térmico en un sistema de drywall. La investigación fabricó especímenes compuestos por placas de fibrocemento y un relleno conglomerado de fibra de Ichu (con fibras de longitud menor a 5 cm y una densidad promedio de 35,5 Kg/m³), logrando un espesor total de probeta de 0,081 m. Mediante 45 mediciones con equipo de placa caliente, se determinó que la conductividad térmica (λ) promedio del conjunto fue de 0,1078 W/m.°K, mientras que el coeficiente correspondiente únicamente al relleno de Ichu fue de 0,0943 W/m.°K. En comparación, el sistema con lana de vidrio mostró una conductividad promedio de 0,0848 W/m.°K para el conjunto y de 0,0729 W/m.°K para su relleno. Concluyó que, si bien el Ichu presenta una conductividad

ligeramente mayor, es posible lograr una equivalencia funcional en la resistencia térmica (R) ajustando el espesor del relleno, demostrando la viabilidad técnica de esta fibra natural como aislante alternativo, sostenible y eficaz para mejorar el confort térmico en viviendas rurales de climas fríos.

Yucra (2019), dentro de su trabajo de investigación denominada “Tecnología del concreto celular utilizando totora (*Schoenoplectus californicus*), como aislante térmico para albañilería no estructural – Puno”, evaluó el desempeño de un concreto celular al cual se incorporaron diferentes proporciones de fibra de totora y un aditivo espumante (Sika Aer, 300 ml). Para ello, fabricó probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, así como bloques rectangulares macizos de 4 x 20 x 40 cm (espesor de 4 cm). Analizó mezclas con dosificaciones del 2,0 %, 4,0 %, 6,0 % y 8,0 % de fibra de totora, respecto a su densidad de 180 kg/m³, comparándolas con un concreto testigo (CCT - 0 %). A los 28 días la resistencia a la compresión del concreto disminuyó al aumentar el contenido de fibra, con valores de 104,90 % (CCT - 0 %); 87,46 % (CCT - 2 %); 80,18 % (CCT - 4 %); 69,12 % (CCT - 6 %) y 63,90 % (CCT - 8 %) de la resistencia de diseño de 210 kg/cm². En cuanto al aislamiento térmico, el coeficiente de conductividad térmica (λ) aumentó levemente con la dosificación de totora, registrándose valores promedio de 0,1501 W/m.°K (CCT - 0 %); 0,1504 W/m.°K (CCT - 2 %); 0,1514 W/m.°K

(CCT - 4 %); 0,1517 W/m.°K (CCT - 6 %) y 0,1522 W/m.°K (CCT - 8 %). Concluyó que, si bien la incorporación de fibra de totora incrementa ligeramente la conductividad térmica, disminuye significativamente la resistencia a la compresión, por lo tanto, la dosificación óptima para lograr un equilibrio entre propiedades mecánicas y térmicas adecuadas para albañilería no estructural se halla en el 4,0 % de adición de fibra de totora.

Sanchez (2018) en su investigación titulada “Eficiencia de planchas acústicas a base de cuatro tipos de residuos orgánicos para reducir niveles de ruido”, fabricó y evaluó el desempeño acústico de cuatro placas absorbentes elaboradas con mezclas de residuos orgánicos. Cada plancha tenía un espesor de 3 cm y dimensiones de 25 x 25 cm, y se utilizaron cinco de ellas para conformar una caja acústica de cinco lados. Las composiciones variaron en proporciones de coronta de maíz, periódico, corona de piña y cartón de huevo, correspondiendo a las muestras: M1 (50 %, 10 %, 25 %, 15 %), M2 (15 %, 50 %, 10 %, 25 %), M3 (25 %, 15 %, 50 %, 10 %) y M4 (10 %, 25 %, 15 %, 50 %). Las mediciones se realizaron en bandas de octava entre 63 Hz y 4000 Hz, comparando los niveles de presión sonora con y sin la caja. Los resultados mostraron que la caja con mayor proporción de coronta de maíz y corona de piña (M1) alcanzó un porcentaje promedio de reducción de ruido del 38,73 %, con reducciones máximas de hasta 46,85 % a 4000 Hz, mientras que la combinación con

mayor cartón de huevo (M4) presentó la menor eficiencia, con un 11,28 % de reducción promedio. Su análisis estadístico confirmó diferencias significativas entre las medias de reducción sonora de las distintas mezclas. Concluyó que la proporción de los residuos orgánicos influye directamente en la capacidad de absorción acústica, demostrando que combinaciones ricas en coronta de maíz y corona de piña resultan más eficientes para la atenuación de ruido, especialmente en frecuencias medias y altas.

3.1.3 Antecedentes regionales

Puma (2022) en su estudio denominado “Atenuación de nivel de ruido a través de barreras acústicas de panca de maíz en el Colegio Carlos Armando Laura, Tacna, 2022”, evaluó la eficacia de barreras acústicas construidas con madera moema y triplay, de 6 cm de ancho; 2,73 m de largo y 1,50 m de alto, diseñadas con una estructura modular de 12 celdas por barrera. Estas se rellenaron en dos configuraciones: una al 100 % con panca de maíz picada y seca, y otra con una mezcla al 50 % de panca de maíz y 50 % de tecnopor troceado, ambos materiales reutilizados y de bajo costo. Utilizando un sonómetro clase 1, se realizaron mediciones en la biblioteca del colegio, obteniendo que, sin barreras, el nivel de presión sonora continuo equivalente (LAeqT) interior fue de 54,1 dB. Con la barrera de panca pura se logró una atenuación de 12,2 dB; reduciendo el nivel interior a 42,0 dB; lo que representa una eficacia del 22 %. La barrera mixta

(50 % panca y 50 % tecnopor) atenuó 10,7 dB; alcanzando 43,5 dB interior con una eficacia del 20 %. Demostró que las barreras acústicas de origen vegetal, especialmente la configuración con panca de maíz pura, son significativamente efectivas para atenuar la contaminación acústica exterior en entornos educativos ubicados en zonas de alta sensibilidad sonora.

Ramos et al. (2013) en su estudio titulado “Acondicionamiento Térmico para Edificaciones Rurales Altoandinas”, compararon el desempeño térmico de distintos materiales y configuraciones constructivas en viviendas altoandinas. Analizaron techos, donde una cubierta típica de calamina metálica presentó una transmitancia térmica (U) de $7,14 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{K}$, mientras que un techo aislante compuesto por fibrocemento, polietileno y paja logró un valor de $1,66 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{K}$. En ventanas, el vidrio simple ($U = 5,78 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{K}$) fue mejorado con una contraventana de madera y cámara de aire, reduciendo su transmitancia a $1,88 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{K}$. Para los pisos, reemplazaron el suelo de tierra ($U = 4,83 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{K}$) por un piso aislado con madera y cámara de aire sobre piedras, que alcanzó $2,01 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{K}$. Concluyó que, integrando estas mejoras con sistemas pasivos solares (claraboyas e invernaderos adosados), se logra incrementar la temperatura interior hasta en $8,0^\circ\text{C}$ durante la madrugada y $11,0^\circ\text{C}$ al mediodía respecto al exterior, demostrando la viabilidad técnica

de estas soluciones para mejorar el confort térmico en zonas de gran altitud.

Gabriel (2023) dentro de su estudio titulado “Diseño y elaboración de ecoladrillos para la reducción de temperatura y aislamiento acústico, Tacna”, diseñó y comparó el desempeño térmico y acústico de prototipos contruidos con ecoladrillos de PET rellenos de plástico compactado, los cuales tenían dimensiones individuales de 35,5 cm de alto y 9 cm de ancho, y un peso aproximado de 1,002 gramos. En la prueba de aislamiento térmico, el prototipo A (contruido con 47 ecoladrillos y mortero de 2 cm) presentó temperaturas internas entre 30,6 °C y 32,9 °C, manteniéndose estable alrededor de 32,0 °C, mientras que el prototipo B (de ladrillo convencional con mortero de 2,5 cm) mostró un aumento significativo, desde 30,3 °C hasta 37,2 °C en las mismas condiciones exteriores. En cuanto al aislamiento acústico, la medición de ruido (LASeq) arrojó un valor de 52,5 dB para el prototipo con ecoladrillos, frente a 54,7 dB del prototipo con ladrillos convencionales; asimismo, los niveles máximos (LASmax) fueron de 73,3 dB y 77,3 dB, respectivamente. La estadística confirmó una relación significativa entre el uso de ecoladrillos y una menor transferencia de calor, evidenciando que este material fabricado con residuos plásticos compactados ofrece un mejor comportamiento como aislante térmico y una leve mejora en la atenuación acústica frente al ladrillo tradicional.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Paneles aislantes de tusa de maíz

La utilización de la tusa de maíz como materia prima para el desarrollo de paneles aislantes responde a la necesidad de encontrar alternativas sostenibles frente a los materiales sintéticos tradicionales. La composición celular y fibrosa de este residuo agrícola le otorga una permeabilidad acústica y térmica natural que facilita la disipación de energía. En este sentido, estudios han demostrado que las fibras de corn husk presentan características de absorción sonora y aislamiento térmico que las hacen promisorias como material de construcción sostenible (Fattahi et al., 2023).

En el ámbito de la acústica, la eficiencia de estos paneles radica en su capacidad para reducir la intensidad de las ondas sonoras mediante su estructura porosa. Investigaciones previas han evaluado la tusa de maíz como componente principal en paneles acústicos, mostrando una reducción significativa de la intensidad sonora y un rendimiento optimizado al combinarse con otros materiales reciclados (Zulkufli et al., 2023). Esta capacidad de absorción es comparable a la de otros residuos agrícolas, como la cascarilla de arroz o el bagazo de caña, los cuales también han evidenciado propiedades útiles tanto térmicas como acústicas en aplicaciones experimentales recientes (Bidin & Mohd. Sari, 2025).

Complementariamente, el desempeño térmico de estos paneles es un factor crítico para su viabilidad técnica. Se ha determinado, mediante procesos de fabricación y análisis de laboratorio, que los paneles fabricados con fibras de tusa de maíz pueden presentar valores de conductividad térmica bajos, siendo estos comparables a los materiales de aislamiento convencionales del mercado (Manalindo et al., 2023). De este modo, el aprovechamiento de la fibra de corn husk no solo cumple con los estándares técnicos de aislamiento, sino que también representa un avance hacia la edificación sostenible al transformar un desecho de biomasa en un componente constructivo de alto valor (Fattahi et al., 2023).

3.2.1.1 Barreras acústicas

Elementos esenciales para ejercer un control efectivo sobre el sonido, posicionándose estratégicamente entre la fuente emisora y la receptora. Estas barreras están diseñadas principalmente para gestionar el sonido generado por el tráfico vehicular y dispositivos electrónicos, con la finalidad de neutralizar el impacto de distintas ondas sobre el receptor. Asimismo, se reconocen ciertos tipos de barreras de reducción de ruido que destacan particularmente incrementando la frecuencia sonora, logrando atenuaciones de 10 a 15 dB (Ocaña, 2018). Investigaciones recientes como las de Sotomayor et al. (2020) confirmaron que fibras vegetales presentan variaciones en velocidad acústica debidas a su estructura interna.

Posicionadas entre las fuentes de sonido y sus receptores, las barreras acústicas operan de manera sencilla y se aplican en zonas altamente transitadas, conocidas como sombras acústicas.

La atenuación lograda por estas estructuras varía entre 1 y 15 decibeles, dependiendo de la composición específica, según se muestra en la figura (Kotzen & English, 2009).

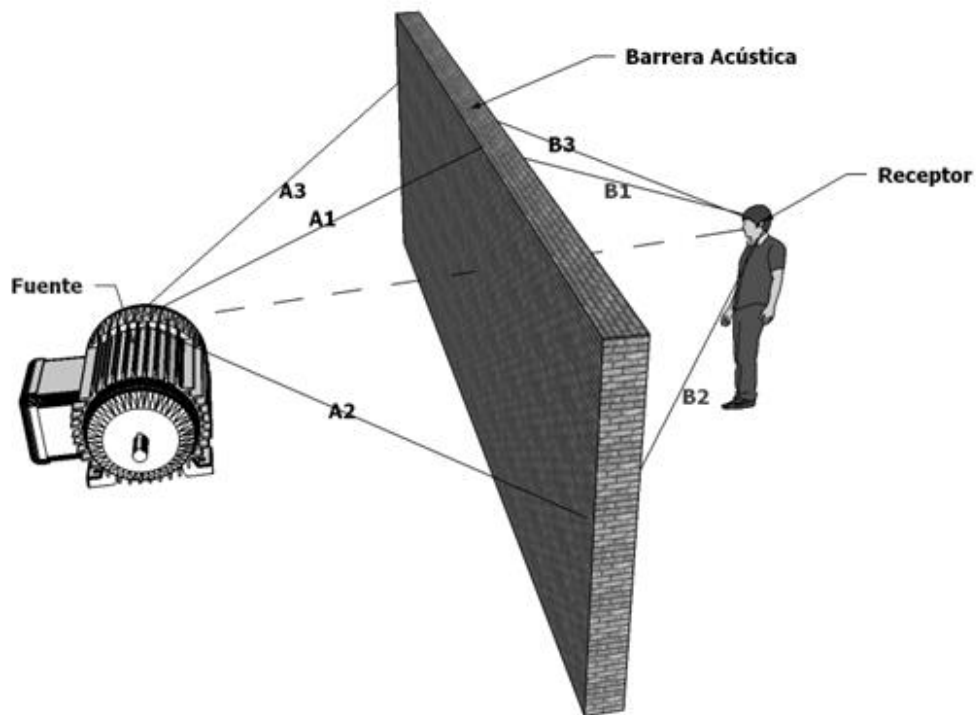


Figura 1

Esquema de la barrera acústica

Fuente: Kotzen & English (2009).

3.2.1.2 Absorbentes acústicos

La característica más distintiva de los materiales absorbentes radica en su composición celular, que favorece la circulación del aire, otorgándoles una permeabilidad acústica. Entre estos, algunas esponjas sobresalen por su capacidad para absorber sonido, remarcando la necesidad de considerar parámetros como la permeabilidad, la densidad y la porosidad (Boschi et al., 2005).

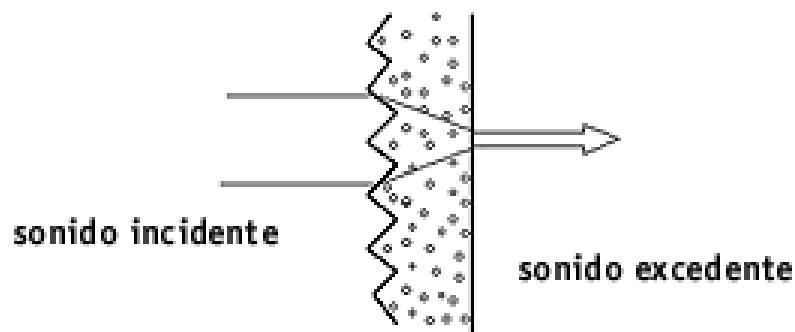


Figura 2

Esquema de incidencia de ondas acústicas sobre un cuerpo

Fuente: Boschi et al. (2005).

3.2.2 Aislamiento acústico

3.2.2.1 Ondas sonoras

Las ondas de sonido consisten en variaciones longitudinales que se desplazan a través de medios elásticos, transfiriendo energía mediante

regiones alternadas de compresión y expansión. Su velocidad depende de la densidad del medio y de sus propiedades elásticas, factores que determinan cómo responde ante la deformación (Kinsler & Frey, 1950). En estudios de aislamiento con materiales porosos, como la tusa de maíz, comprender esta propagación es esencial para evaluar la capacidad de un panel de limitar el paso del sonido en aplicaciones arquitectónicas (Bretones, 2012).

3.2.2.2 Clasificación de las ondas sonoras según la frecuencia

La frecuencia establece si una onda puede ser percibida por el oído humano y qué aplicaciones posee. El intervalo auditivo habitual se sitúa aproximadamente entre 20 Hz y 20 kHz, aunque este umbral disminuye con el envejecimiento o con la exposición prolongada a niveles elevados de ruido (Beranek, 1954). Ondas por debajo de 20 Hz corresponden a infrasonidos, que producen vibraciones sin generar sensación auditiva clara. Sobre los 20 kHz se encuentran los ultrasonidos, útiles para diagnósticos por imagen y pruebas no destructivas, aspectos abordados en la literatura clásica de acústica física (Kinsler & Frey, 1950).

Tabla 2

Ondas sonoras y frecuencias

Tipo de onda	Frecuencia (Hz)	Ejemplos
Infrasonidos	< 20	Vibración mecánica, análisis sísmico
Audibles	20 – 20 000	Ruido ambiental, control acústico
Ultrasonidos	> 20 000	Imagen médica, inspección de materiales

Fuente: Kinsler & Frey (1950).

3.2.2.3 Intensidad acústica y propagación

La intensidad sonora describe la potencia promedio transmitida por unidad de área. En ondas planas se mantiene constante, pero en fuentes puntuales disminuye conforme la energía se distribuye sobre esferas concéntricas, siguiendo la ley del inverso del cuadrado (Kinsler & Frey, 1950).

$$I \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{P_{prom}[W]}{4\pi r^2[m^2]} \quad Ec. 1$$

Donde:

I = Intensidad sonora $[W/m^2]$

P_{prom} = Potencia acústica promedio emitida por la fuente $[W]$

r = Distancia desde la fuente $[m]$

$4\pi r^2$ = Área de una esfera a distancia r $[m^2]$

Cuando se trabaja con presión efectiva, la intensidad se vincula con la impedancia acústica del medio:

$$I \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{\Delta P_{rms}^2 [Pa]}{\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot v \left[\frac{m}{s} \right]} \quad Ec. 2$$

$$Z = \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot v \left[\frac{m}{s} \right] \quad Ec. 3$$

Donde:

I = Intensidad sonora $[W/m^2]$

ΔP_{rms} = Presión acústica eficaz o RMS $[Pa \text{ o } N/m^2]$

Z = Impedancia acústica del medio $[Pa.s/m]$ o $[kg / (m^2.s)]$

ρ = Densidad del medio $[kg/m^3]$

v = Velocidad del sonido en ese medio $[m/s]$

En arquitectura, estos principios explican por qué superficies con rugosidad dispersan mejor la energía incidente y reducen la transmisión sonora a través de elementos constructivos. Este comportamiento fue estudiado en evaluaciones de recintos donde la geometría superficial influye en los patrones de propagación (Crespo et al., 2012).

3.2.2.4 Velocidad del sonido en medios elásticos

En sólidos, la velocidad de propagación puede estimarse mediante:

$$v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \sqrt{\frac{Y[\text{Pa}]}{\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

v = Velocidad del sonido [m/s]

Y = Módulo de Young (elasticidad longitudinal) [Pa]

ρ = Densidad del sólido [kg/m³]

Fuente: Kinsler & Frey (1950).

Para gases, Beranek (1954) mostró que la velocidad puede aproximarse por relaciones basadas en el módulo volumétrico y la temperatura, lo cual explica por qué materiales porosos con elevada compresibilidad atenúan la propagación de ondas al modificar los gradientes locales de presión.

3.2.2.5 Escala de decibeles y nivel de intensidad sonora

Dado que el oído humano opera en un rango muy amplio de intensidades, se utiliza una escala logarítmica para representarlas. El nivel de intensidad sonora se define como:

$$\beta[\text{dB}] = 10 \log_{10} \left(\frac{I \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]}{I_0 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]} \right) \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

β = Nivel de intensidad sonora [dB]

I = Intensidad sonora [W/m^2]

I_0 = Intensidad de referencia [W/m^2]

Fuente: Kinsler & Frey (1950).

La ecuación para la presión sonora:

$$L_p[\text{dB}] = 20 \log_{10} \left(\frac{p[\text{Pa}]}{p_0[\text{Pa}]} \right) \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

L_p = Nivel de presión sonora [dB]

p = Presión sonora (RMS) [Pa]

P_0 = Presión de referencia [Pa]

Fuente: Bretones (2012).

En diseño arquitectónico se emplean estas magnitudes para evaluar el aislamiento acústico. Valores superiores a 40 dB en el índice R_w se consideran apropiados en recintos destinados al uso cotidiano (Bretones, 2012).

3.2.2.6 Aislamiento sonoro y reflexión

Se basa en impedir que las ondas sonoras se dispersen mediante barreras reflectoras. Aunque resulta complicado concebir un material completamente reflectante sin absorber algo de energía, en este estudio excluirémos todas las sustancias clasificadas como "absorbentes" según la técnica acústica (Tobio, 1970).

3.2.2.7 Efectos nocivos asociados al ruido

La exposición prolongada a ruido intenso genera respuestas fisiológicas como activación simpática, aumento del cortisol, tensión muscular y alteraciones del sueño. Estas respuestas afectan el rendimiento cognitivo al reducir la capacidad de concentración, disminuir la memoria operativa y alterar procesos de toma de decisiones, incluso cuando el individuo percibe que “se acostumbró” al ruido (Basner et al., 2014).

En el plano psicológico, el ruido crónico incrementa la irritabilidad, reduce la tolerancia al estrés y favorece la aparición de síntomas de ansiedad. La evidencia muestra que la exposición sostenida a fuentes de ruido ambiental eleva la sensación de fatiga mental, deteriora el bienestar emocional y aumenta el riesgo de trastornos del estado de ánimo, lo que se suma a problemas cardiovasculares asociados al estrés acumulado (Münzel et al., 2018).

3.2.2.8 Tiempo de reverberación

La absorción acústica en espacios es resuelta por la teoría de Sabine, considerando un campo difuso de energía y material absorbente distribuido de manera uniforme en la sala, con un coeficiente de absorción promedio bajo, ha sido aplicada incluso en escenarios con distribuciones asimétricas, proporciona un marco simplificado para entender la absorción acústica en espacios (Higini, 2010).

$$T_{60}[s] = 0,161 \cdot \frac{V[m^3]}{A[m^2]} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

T_{60} = Tiempo de reverberación [s]

V = Volumen [m^3]

A = Área de absorción acústica [m^2]

$$A = \sum (\alpha_i \cdot s_i) \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

α_i = Coeficiente de absorción

s_i = Superficie del material [m^2]

Fuente: Acustic Lab (2021).

3.2.2.9 Estándares nacionales de calidad ambiental para ruido

Según Jácome & Jácome (2013), al medir el ruido es esencial considerar el certificado de calibración. Los procedimientos siguientes involucran la verificación y comprobación de la operatividad, incluyendo la instalación del trípode y del sonómetro a una altura de 1,5 metros con un ángulo de inclinación de 45 grados. Se utiliza un filtro de ponderación A y se conserva una distancia mínima de 2 metros respecto a la fuente sonora, ampliándola a 3 metros cuando existan elementos que puedan generar interferencias como mobiliario o superficies cercanas.

De acuerdo con Miyara (2010), la presión sonora se mide en decibelios (dB) y los niveles elevados se registran mediante la escala A (dB). Se considera perjudicial cualquier nivel que supere los 75 dB, siendo doloroso por encima de los 120 dB. Una exposición de 100 dB requiere un descanso de al menos 16 horas. Es crucial destacar que niveles de 180 dB o más pueden resultar letales. Los rangos diarios de decibelios abarcan desde 10 - 30 dB para baja intensidad hasta más de 120 dB para daño auditivo, siendo cada intervalo representativo de diferentes situaciones sonoras.

El objetivo primordial es elevar las condiciones de vida, salvaguardar la salud y promoviendo el desarrollo sostenible. Aunque aún no se han establecido estándares para el ruido vehicular, en la Tabla 3 se muestran

los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido definen niveles máximos para salvaguardar la salud, utilizando el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A (LAeqT). Se detalla el horario diurno (07:01 hrs. hasta 22:00 hrs.) y nocturno (22:01 hrs. hasta 07:00 hrs.) con valores específicos en diversas zonas (Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, 2003).

Tabla 3

Estándares nacionales de calidad ambiental para ruido

Zonas de aplicación	Horario diurno (dB)	Horario Nocturno (dB)
Protección especial	50	40
Residencial	60	50
Comercial	70	60
Industrial	80	70

Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (2003).

3.2.2.10 Estándares de calidad ambiental para ruido – Normativa China

Los Estándares de Calidad Ambiental para ruido en áreas urbanas de China, establecidos en la norma GB 3096 - 2008. Clasifica el territorio urbano en cinco categorías según el uso del suelo y el grado de sensibilidad al ruido, fijando límites máximos permisibles diferenciados para los períodos diurno y nocturno, expresados en decibelios.

La Tabla 4, se presentan los perímetros de la categoría se refiere al tipo de zona urbana. Las áreas de este tipo ubicadas en las afueras de la ciudad y en zonas rurales se implementarán con un estándar 5 dB más estricto que la Categoría 0. Los límites de ruido de fondo (se refiere al nivel de ruido cuando no pasan trenes) para las áreas a ambos lados de las líneas férreas principales y secundarias que atraviesan la ciudad también implementan esta categoría estándar. El valor máximo del ruido repentino durante la noche no debe exceder el valor estándar en más de 15 dB (Standardization Administration of China [SAC], 2008).

Tabla 4

Estándares de calidad ambiental para el ruido en áreas urbanas de China según GB 3096 - 2008

Categoría	Descripción	Diurno (dB)	Nocturno (dB)
0	Áreas que necesitan especial tranquilidad, como zonas de sanatorios, zonas de villas de lujo y zonas de hoteles de lujo	50	40
1	Áreas dominadas por residencias e instituciones culturales y educativas. Los entornos residenciales rurales pueden implementarse haciendo referencia a esta categoría estándar	55	45
2	Áreas mixtas de residencia, comercio e industria	60	50
3	Áreas industriales	65	55
4	Áreas a ambos lados de las arterias viales de tráfico en la ciudad, y a las áreas a ambos lados de las vías navegables interiores que atraviesan la ciudad	70	55

Fuente: Standardization Administration of China [SAC] (2008).

3.2.2.11 Estándares globales de calidad ambiental para el ruido

La Tabla 5 muestra los límites referenciales de ruido ambiental recomendados por la OMS para distintas zonas funcionales. Estos estándares establecen valores máximos diferenciados para los períodos diurno son el conjunto durante el día y mientras nocturno durante la noche (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018).

Tabla 5

Límites recomendados por la OMS para el ruido ambiental en diferentes zonas funcionales

Zona	Diurno (dB)	Nocturno (dB)	Descripción
Residencial / Vivienda	53	45	Guía para tráfico rodado (la más restrictiva para vida domiciliaria)
Hospitales / Clínicas	45–50	40–45	Ambientes que requieren protección del sueño
Colegios / Zonas educativas	≤ 50–55	No aplica	Efectos cognitivos en niños
Zonas recreativas exteriores / parques	≤ 55	No aplica	Bienestar y uso recreativo
Comercial mixto	55–60	50–55	Actividades urbanas moderadas
Industrial	70	60	Ruido ocupacional y ambiente industrial circundante

Fuente: OMS (2018).

3.2.3 Aislamiento térmico

La Tabla 6 señala la noción de resistencia térmica está vinculada a la habilidad de regular la transmisión de calor, evitando que sobrepase límites. Un material se considera como aislante térmico cuando su coeficiente de conductividad térmica es menor a $0,10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$, medido a 23°C , este criterio es crucial en el diseño eficiente de sistemas de aislamiento (Alarcón, 2019).

Tabla 6

Lista de características higrométricas de los materiales de construcción

N°	Material	Densidad ρ (kg/m^3)	Coeficiente de transmisión térmica o conductividad térmica k ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{K}$)
1	Gravas y arcillas	1 700 – 2 200	2,00
2	Tierra	$\leq 2 050$	0,52
3	Yeso	600 – 900	0,30
4	Concreto simple	2 300	1,51
5	Adobe	1 100 – 1 800	0,90
6	Maderas densidad media	565 – 750	0,180
7	Triplay	560	1,140
8	Tela yute	1 500	0,060
9	Lana de vidrio (baja densidad)	11 - 14	0,043
10	Poliestireno expandido	30	0,033

Fuente: Norma EM.110 (2016).

3.2.3.1 Coeficiente de transmisión térmica

La conductividad térmica corresponde al flujo de calor que atraviesa, en un intervalo de tiempo, una lámina plana de espesor unitario sometida a un gradiente térmico de un grado. Aunque es un atributo característico de cada material, su valor puede cambiar según factores como la temperatura, la densidad, la porosidad, la cantidad de humedad, el grosor de las fibras, la dimensión de los poros y la naturaleza del gas alojado en el material (Norma EM.110, 2016).

$$K_e \left[\frac{W}{m} \cdot ^\circ K \right] = \frac{\Phi [W]}{A [m^2] \cdot (t_2 - t_1) [^\circ K]} \quad Ec. 9$$

Donde:

K_e = Coeficiente de transmisión térmica $[W/m \cdot ^\circ K]$.

Φ = Potencia entregada $[W]$.

A = Área del elemento estudiado $[m^2]$.

t_2 = Temperatura de la zona afectada por la fuente calórica $[^\circ K]$.

t_1 = Temperatura de la zona que no afectada por la fuente calórica $[^\circ K]$

Fuente: Norma Chilena 851 (1983).

3.2.3.2 Resistencia térmica y efecto del espesor

La resistencia térmica cuantifica qué tanto un material dificulta el movimiento del calor. Representa la oposición que una capa de espesor específico ofrece al flujo térmico y su valor disminuye cuando la conductividad del material aumenta. A medida que aumenta el espesor del material, la resistencia térmica también incrementa. Esta propiedad se cuantifica en metros cuadrados y grados Kelvin por vatio ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K} / \text{W}$) (EM.110, 2014).

$$R \left[\text{m}^2 \cdot \frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right] = \frac{e[\text{m}]}{\lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot ^\circ\text{K} \right]} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

R = Resistencia térmica [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}/\text{W}$]

e = espesor del material [m]

λ = Conductividad térmica del material [$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{K}$]

Fuente: Norma Chilena 851 (1983).

3.2.3.3 Transmitancia térmica

El flujo térmico en condición estacionaria expresa la cantidad de calor que cruza un elemento. Se determina al relacionar dicho flujo con el área y con la diferencia de temperatura entre los dos lados del componente.

Esta variable es el inverso de la resistencia térmica (R_t) y se mide en vatios por metro cuadrado por Kelvin ($W/m^2 \cdot ^\circ K$) (EM.110, 2014).

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}} \quad Ec. 11$$

$$U \left[\frac{W}{m^2} \cdot ^\circ K \right] = \frac{1}{R_t \left[m^2 \cdot \frac{^\circ K}{W} \right]} \quad Ec. 12$$

Donde:

R_t = Resistencia térmica total [$m^2 \cdot ^\circ K/W$]

R_{si} = Resistencia térmica superficial interior [$m^2 \cdot ^\circ K/W$]

R_j = Resistencia térmica de cada una de las capas que forman el elemento [$m^2 \cdot ^\circ K/W$]

R_{se} = Resistencia térmica superficial exterior [$m^2 \cdot ^\circ K/W$]

Fuente: Norma Chilena 851 (1983).

3.3 Definición de conceptos básicos

3.3.1 Aislante térmico

Materiales aislantes que oponen resistencia al paso del calor, presentan una baja conductividad térmica, busca impedir o disminuir la diferencia de temperaturas entre dos espacios (Alaman, 1972).

3.3.2 Aislante acústico

El aislamiento acústico, esencial para controlar la propagación del sonido en edificaciones, se centra en reducir la transmisión del ruido entre espacios, implica la utilización de materiales y técnicas diseñadas para absorber, bloquear o disipar las ondas sonoras, evitando que se transmitan (TEXSA S.A., 2009).

3.3.3 Maíz

Cereal más producido a nivel mundial, superando al trigo y al arroz, tiene diversos nombres como millo, choclo, elote o jojoto. Su adaptabilidad extensa lo convierte en un cultivo vital, utilizado como materia prima principal para la producción de alimentos balanceados en la industria animal (Vinueza, 2020).

3.3.4 Paneles aislantes

Son componentes utilizados en construcción que proporcionan aislamiento térmico o acústico minimizando la pérdida de calor de espacios y una reducción de ruidos (Aresta et al., 2022).

3.3.5 Tusa de maíz

Este residuo proviene de la cosecha de maíz, usado comúnmente como combustible o quemado al aire libre a través de diversas

investigaciones se ha demostrado el gran valor nutricional y energético que aporta este subproducto del maíz (Martillo et al., 2020).

La Tabla 7, la tusa de maíz presenta un alto contenido de fibra 24,01 % y carbohidratos 57,44 %, mientras que su porcentaje de grasa es bajo 0,32 % (Moreno & Pizarro, 2013).

Tabla 7

Composición química de la tusa o coronta de maíz

Componente	Tusa de maíz (%)
Humedad	11,20
Proteína	3,74
Grasa	0,32
Fibra	24,01
Ceniza	3,29
Carbohidratos	57,44

Fuente: Moreno & Pizarro (2013).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación fue experimental, porque se manipularán las variables para observar su efecto y se demostrará la hipótesis.

4.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación que se realizó fue aplicativo, porque se enfoca en resolver un problema de manera práctica y sencilla.

4.1.3 Diseño de investigación

Se empleó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con dos tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento para el análisis térmico, y tres repeticiones para el análisis acústico. Los datos fueron evaluados mediante ANOVA de un factor para el análisis térmico y para el coeficiente de absorción acústica, y mediante ANOVA factorial para el análisis de la reducción del ruido. Este diseño permite minimizar el efecto de variables externas y atribuir las diferencias observadas únicamente a los factores controlados (espesor y relieve del panel).

4.2 Lugar de estudio

La presente tesis se realizará en la Escuela Profesional de Física, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

4.3 Población y muestra de estudio

4.3.1 Población

La población de estudio está constituida por los residuos de tusa de maíz también llamado mazorca, zuro, bacal, marlo y coronta, generados en los principales mercados de la ciudad de Tacna.

4.3.2 Muestra

Se utilizó un método de muestreo no probabilístico basado en la selección por conveniencia. Durante la exploración de mercados en Tacna, en la Figura 3, se observa al Mercado “Mayorista Grau” que presenta la mayor generación de residuos agrícolas y, por tanto, fue seleccionado como sitio de muestreo. Se recolectaron 2 sacos de 20 kg cada aproximadamente, para un total de 40 kg de tusa de maíz frescos. Esta muestra fue será sometida a un proceso de limpieza y selección, removiendo materia orgánica en mal estado e impurezas. Tras ese procedimiento quedó una masa utilizable de 20 kg húmedos.



Figura 3

Ubicación del mercado “Mayorista Grau” en la ciudad de Tacna

4.4 Método

Los procedimientos para la presente investigación se describen en la Figura 4, detallándose por objetivos de la siguiente manera:

4.5 Procedimiento experimental

La realización de la investigación se procedió con distintas etapas de experimentación para la elaboración de paneles aislantes a partir de residuos orgánicos a base de maíz, siguiendo un enfoque experimental secuencial para el desarrollo y evaluación de materiales compuestos, el

cual establece que la preparación de la materia prima, el conformado del material y la medición de propiedades deben realizarse de manera sistemática para asegurar la reproducibilidad de los resultados Ashby (2011) con modificación. Inicialmente se recolectó la materia prima y se sometió a un proceso de limpieza para eliminar restos en degradación. Posteriormente, la materia prima se trozó, trituró y redujo para facilitar su procesamiento. Una vez preparado, se procedió a la elaboración de los paneles aislantes usando moldes, se incorporó el aglutinante para garantizar su cohesión, después se sometieron a un proceso de secado bajo luz indirecta y a temperatura ambiente. Finalmente, se evaluaron las propiedades acústicas y térmicas de los paneles, considerando que la geometría superficial y la porosidad del material influyen directamente en los mecanismos de absorción sonora y control del sonido en recintos cerrados, tal como lo señalan Cox & D'Antonio (2009), y se documentaron los resultados para su análisis.

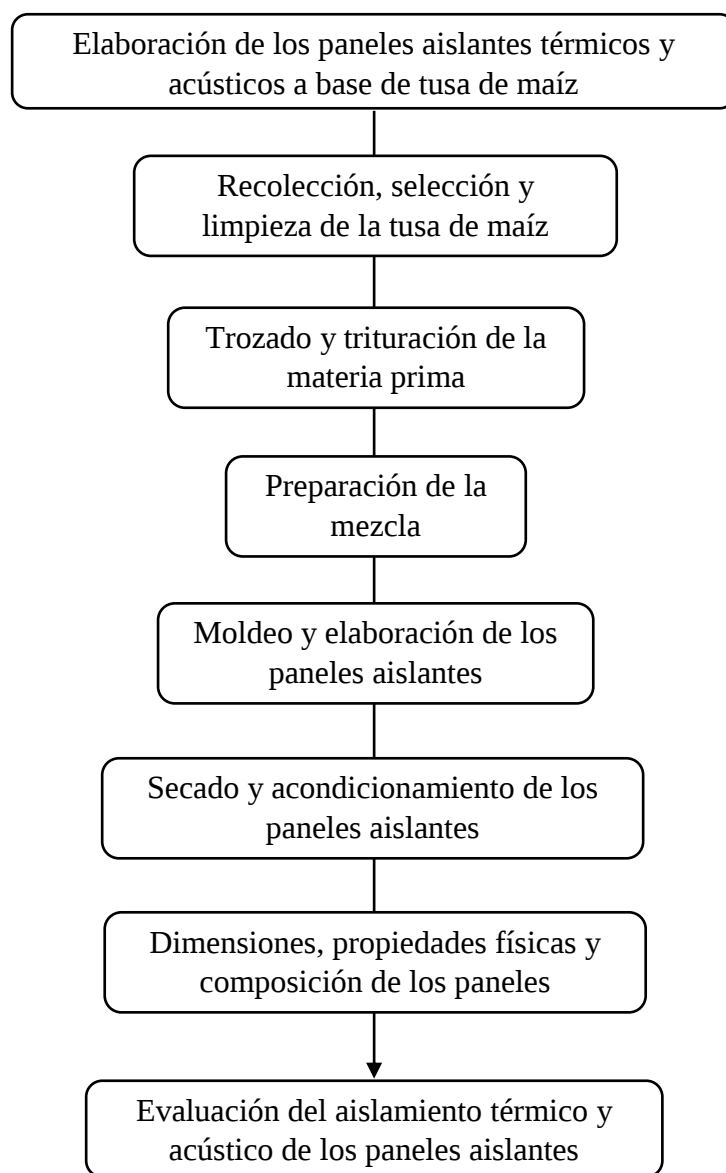


Figura 4

Flujograma de las etapas del desarrollo de la experimentación

De este modo, la investigación siguió un procedimiento secuencial:

4.5.1 Elaboración de paneles aislantes térmicos y acústicos

4.5.1.1 Recolección, selección y limpieza de la tusa de maíz

Los residuos orgánicos del maíz, específicamente las tusas, fueron recolectados en el mercado Mayorista Grau, en la Figura 5 se visualiza la recolección de la materia prima para ello se utilizó un saco de polietileno con una capacidad de 40 kg. Se seleccionaron aproximadamente 20 kg de residuos de tusa de maíz. Posteriormente, estos residuos fueron trasladados para su procesamiento y análisis.



Figura 5

Recolección de la materia prima: tusa de maíz

En la Figura 6, se observa la preselección y posterior limpieza de la materia prima para ello se seleccionarán las tusas con las mejores condiciones y descartando las que se encontraban en descomposición. Posteriormente, se procedió a la eliminación de impurezas mediante un lavado con solución de agua y vinagre, así como también el lavado de la materia prima.



Figura 6

Selección y limpieza de la materia prima: tusa de maíz

4.5.1.2 Trozado y trituración de materia prima

Previamente al trozado, las tusas de maíz fueron remojadas en agua para facilitar el procedimiento de trozado y trituración. En la Figura 7 se visualiza el proceso de trozado manual de la materia prima iniciando con reducción a fragmentos de aproximadamente 2 cm y continuando con un troceado escalonado a fragmentos pequeños de 1 cm y finalmente a partículas inferiores a 0,5 cm. Posteriormente, en la Figura 8 se observa el proceso de trituración mecánica de estos fragmentos en una licuadora añadiendo agua para evitar atascos de esta con la finalidad de alcanzar un tamaño uniforme de la pulpa de la tusa de maíz.



Figura 7

Trozado manual de la tusa de maíz



Figura 8

Proceso de trituración mecánica de la tusa de maíz

4.5.1.3 Preparación de la mezcla

En la Figura 9, se observa la preparación de la mezcla después de tener la tusa triturada esta se mezcló cuidadosamente con el aglomerante hasta obtener una masa uniforme y bien integrada para garantizar la homogeneidad.



Figura 9

Preparación de la mezcla

4.5.1.4 Moldeo y elaboración de los paneles aislantes

En la Tabla 10, se visualiza la elaboración de los paneles aislantes para ello se empleó una base transparente (vidrio), sobre la cual se colocaron los moldes de madera de las dimensiones de 30 x 30 cm y se vertió la mezcla preparada, la cual fue compactada manualmente con un rodillo procurando evitar irregularidades.



Figura 10

Elaboración de los paneles aislantes

4.5.1.5 Secado y acondicionamiento de los paneles aislantes

En la Figura 11, se visualiza la fase de secado y adición del relieve a los paneles aislantes se dejaron secar al aire libre para evitar rajaduras, expuestos indirectamente a la luz solar y a temperatura ambiente, asegurando una buena ventilación para prevenir la formación de hongos y garantizando un secado uniforme que duro aproximadamente un periodo

de siete días. Además, se incorpora a un panel el relieve de tusa troceada de 2 cm como parte de su diseño estructural.

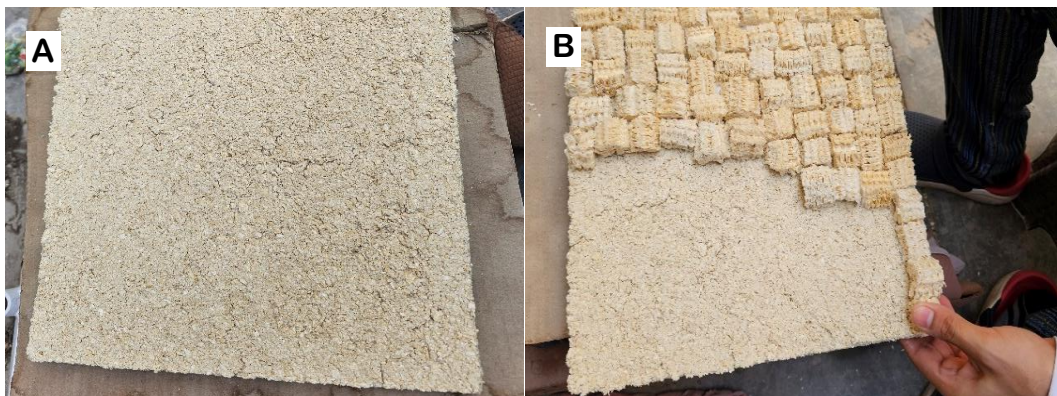


Figura 11

Fase de secado y aplicación de relieve en los paneles aislantes

4.5.2 Dimensiones, propiedades físicas y composición de los paneles

Las propiedades incluyen la densidad, porosidad y cenizas, las cuales son fundamentales para su viabilidad como material de aislamiento en aplicaciones constructivas.

En la siguiente Figura 15, se observa a los paneles aislantes térmicos y acústicos a base de tusa de maíz en donde se aprecia las dimensiones de los paneles de 20 mm y 30 mm respectivamente, se destacan por tener una textura porosa y celular, típica de materiales ecológicos derivados de residuos agrícolas como el maíz.

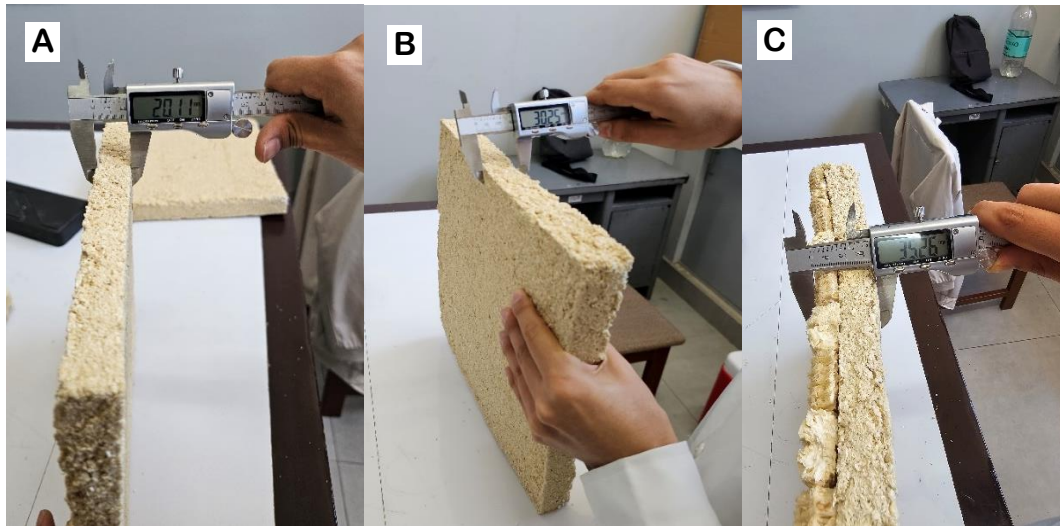


Figura 12

Medidas de espesor de los paneles aislantes térmicos

La Tabla 8, se precisa el peso en gramos, dimensiones largo, ancho y espesores promedios en milímetros de cada panel aislante a partir de tres mediciones individuales se obtuvieron los datos del vernier digital. Para el panel de 20 mm sin relieve valores de 20,11; 20,20 y 19,96 mm; para el panel de 30 mm sin relieve de 30,25; 30,07 y 29,89 mm; y para el panel de 35 mm con relieve de 35,26; 34,89 y 35,04 mm.

Tabla 8*Dimensiones de los paneles aislantes con diferentes espesores*

Panel aislante	Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor promedio (mm)
1 (20mm) (sin relieve)	543,00	275,00	275,00	20,09 +/- 0,05
2 (30mm) (sin relieve)	741,00	275,00	275,00	30,07 +/- 0,05
3 (35mm) (con relieve)	958,00	275,00	275,00	35,06 +/- 0,05

La Tabla 9, se aprecia la densidad aparente de los paneles para esto se mide primero la masa seca de cada muestra y dividiéndola entre su volumen total, aplicando la fórmula $\rho = m/V$, lo que permitió obtener valores específicos tanto en paneles sin relieve como con relieve. Además, paneles sin releve presentan densidades de 0,3366; 0,3663 y 0,3931 g/cm³, con un promedio de 0,3653 g/cm³, mientras que paneles con relieve registran densidades de 0,3577; 0,2770 y 0,3120 g/cm³, alcanzando un promedio de 0,3155 g/cm³. Refleja aplicación de las mediciones de masa y volumen realizadas para cada muestra, evidencia una mayor compactación en los paneles sin relieve frente a los que presentan relieve.

Tabla 9*Densidad del panel aislante sin y con relieve*

N° muestra	Masa seca (g)	Volumen total (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	4,8771	14,490	0,3366
2	5,0256	13,720	0,3663
3	5,9432	15,120	0,3931
Promedio			0,3653
1	11,8988	33,264	0,3577
2	10,8302	39,104	0,2770
3	12,3483	39,584	0,3120
Promedio			0,3155

En la Tabla 10, se observa la porosidad de los paneles aplicando los cálculos entre el volumen de agua absorbido y el volumen total de cada muestra, considerando como base la diferencia entre la masa seca y la masa húmeda para determinar la cantidad de agua retenida. Los paneles sin relieve obtuvieron valores de 50,98; 63,54 y 62,67 %, con un promedio de 59 %, mientras que en los paneles con relieve los resultados fueron de 57,40; 63,22 y 60,40 %, alcanzando un promedio de 60 %. Estos valores evidencian que, pese a ligeras variaciones individuales, ambos tipos de panel presentan un comportamiento muy similar en cuanto a porosidad, lo

que respalda la capacidad de absorción y transferencia de humedad del material.

Tabla 10

Porosidad del panel aislante sin y con relieve

N° muestra	Masa seca (g)	Masa húmeda (g)	Volumen total (cm ³)	Volumen absorbido (cm ³)	Porosidad (%)
1	4,8771	12,2637	14,490	7,3866	50,98
2	5,0256	13,7427	13,720	8,7171	63,54
3	5,9432	15,4190	15,120	9,4758	62,67
Promedio					59,0
1	11,8988	30,9910	33,264	23,6537	57,40
2	10,8302	35,5525	39,104	20,1608	63,22
3	12,3483	36,2579	39,584	23,9096	60,40
Promedio					60,0

En la Tabla 11, se observa el porcentaje de cenizas aplicando el método gravimétrico, evaluando la masa residual tras la calcinación completa de las muestras respecto a la masa seca inicial. Los paneles sin relieve fueron de 1,75; 1,91 y 1,81 %, con un promedio de 1,82 %, mientras los paneles con relieve presentaron valores de 1,78; 1,85 y 1,74 %, con un promedio de 1,79 %. Esto confirma el aporte inorgánico de la tusa de maíz

es bajo y estable, lo que contribuye a mantener su viabilidad como materia prima en la fabricación de paneles aislantes sostenibles.

Tabla 11

Cenizas del panel aislante con y sin relieve

N° muestra	Masa 24 °C (g)	Masa seca 105 °C (g)	Masa de ceniza (g)	Cenizas (%)
1	5,5709	5,1876	0,0906	1,75
2	5,1779	4,8529	0,0925	1,91
3	5,9934	5,6086	0,1014	1,81
Promedio				1,82
1	4,6499	4,3267	0,0770	1,78
2	3,7168	3,4919	0,0647	1,85
3	4,0893	3,8281	0,0665	1,74
Promedio				1,79

La mezcla final está compuesta por fibras vegetales lignocelulósicas, derivadas de la tusa de maíz que actúan como matriz de aislamiento gracias a su estructura porosa y capacidad de absorción de vibraciones. En la Tabla 12, se visualiza las proporciones finales de los componentes, por tipo de panel en porcentaje de peso seco. Los paneles presentan una proporción de componentes: 50 % de tusa de maíz y 50 % de aglutinante

sintético. En cambio, uno de los paneles recibió un tratamiento extra incrementando una capa superficial de pura tusa de maíz troceada, lo que resultó en aproximadamente el 50 % de su proporción del panel aislante permaneciendo intacto y añadiendo aglutinante de manera superficial en una de las caras del panel. De esta manera se busca un balance óptimo entre rigidez mecánica y porosidad para el aislamiento.

Tabla 12

Composición del panel aislante con y sin relieve

Diseño del panel	Tusa de maíz (%)	Aglutinante sintético (%)
Panel 1 (sin relieve)	50	50
Panel 2 (con relieve)	75	25

4.5.3 Evaluación de las propiedades térmicas y acústicas

Para la evaluación de las propiedades térmicas. En la Figura 12 se puede observar la caja de tecnopor de 42 cm de largo x 42 cm de ancho x 40 cm de alto y cuenta en su interior con un marco removible del mismo material de 3 cm de grosor, añadiendo internamente un panel aislante divide el interior en dos compartimientos sellado y sin aberturas. La estructura incluye dos orificios laterales por donde se insertan los

termómetros de alcohol, lo que permite un monitoreo preciso sin interferencias externas.

Esta configuración permitió analizar la capacidad del material para impedir la transferencia de calor de un compartimiento al otro.

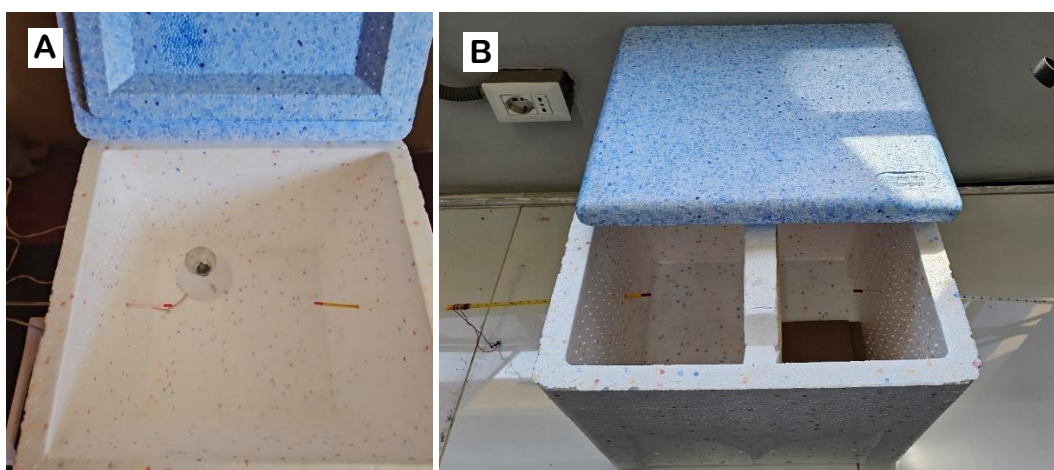


Figura 13

Caja de tecnopor para la evaluación de análisis térmico

Para el análisis térmico, se colocó una fuente de calor controlada en uno de los compartimentos (un foco incandescente), a su vez se emplearon termómetros de alcohol para registrar la temperatura en ambos lados del panel a intervalos regulares. Esto permitió observar la eficiencia del panel aislante por cada panel de 20 mm y 30 mm en la reducción de la transmisión térmica.

En la Figura 13, se visualiza la sala de pruebas para el aislamiento térmico sus características son de un espacio completamente cerrado sin ningún objeto absorbente de ruido evitando a toda costa su la presencia de por sus superficies y texturas, para la medición se empleó la aplicación Soniflex empleada para medir el tiempo de reverberación (T_{60}).



Figura 14

Sala de pruebas para el aislamiento acústico

Para la evaluación acústica, se determinó el coeficiente de absorción acústica (α) de un panel en un espacio confinado. Para ello, se empleó uno de los métodos más comunes y aceptados, que consiste en la medición del tiempo de reverberación (T). De este modo, se determinó el nivel de

atenuación acústica por el panel aislante. Adicionalmente para el análisis acústico, en la Figura 14 se visualiza la toma de muestras de los niveles de presión sonora en donde se ubicó una fuente sonora controlada frente a la cámara de recepción (un parlante Bluetooth emitiendo ruido rosa), a su vez se empleó un sonómetro Clase 1 para registrar los niveles de presión sonora en decibeles (dB) al interior de la caja de tecnopor. A distancias de 2 y 5 metros, señalizadas previamente con tiza roja. Esto permitió observar la eficiencia de los paneles acústicos en la reducción de la transmisión de ruido respecto a la medición base.

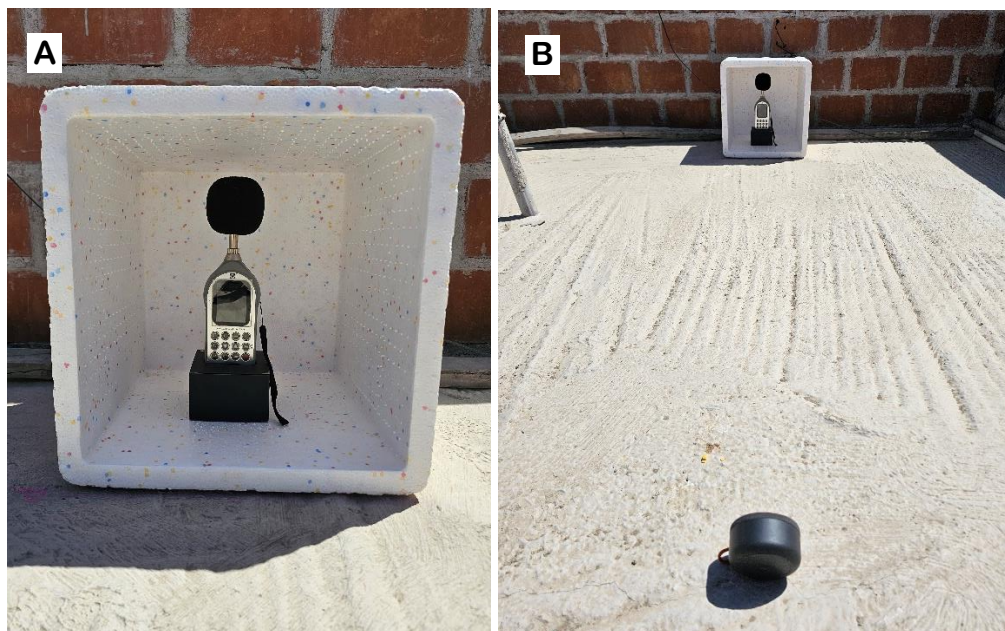


Figura 15

Caja de tecnopor para la evaluación de análisis acústico

4.6 Materiales y equipos

4.6.1 Materiales

Los materiales empleados en la presente investigación son los siguientes:

- Hojas bond A4
- Lapiceros azules PILOT
- Tablero de cortar de plástico y de madera
- Guardapolvos
- Tusa de maíz
- Soporte de vidrio
- Vinagre blanco
- Aglomerante blanco
- Hacha
- Cuchillo
- 02 termómetro de alcohol 0 a 150 °C
- 02 moldes de madera 30 cm x 30 cm
- 02 sacos de polietileno 40 kg de capacidad
- Regla metálica de 1 m
- Vernier digital STAINLESS HARDENED (+/- 0,05 mm)
- Foco incandescente LAMP (60 W)

- Socket para foco
- Cinta masking Shurtape
- Tiza color rojo
- Cinta métrica de 100 metros

4.6.2 Equipos

Los equipos usados en la presente investigación son los siguientes:

- Balanza mecánica
- Licuadora OSTER BLSTPEG-CPB 6
- Caja de Tecnopor de 42 cm x 42 cm x 40 cm
- Una cámara fotográfica SONY A6600
- Una laptop DELL core i7
- Una impresora EPSON L385
- Celular S23 Ultra
- Sonómetro Clase 1 AWA6228+
- Xiaomi Mi Parlante Speaker Bluetooth Portable Negro

4.6.3 Análisis estadístico

Primer objetivo específico: Determinar el efecto del espesor 20 mm y 30 mm de los paneles a base de tusa de maíz sobre el aislamiento térmico. Para evaluar la influencia del espesor en el aislamiento térmico, se

aplicó un análisis de varianza de un factor ANOVA con dos niveles 20 mm y 30 mm, considerando cinco repeticiones por grupo. Este procedimiento permitió comparar las medias de los valores de conductividad térmica (λ), resistencia térmica (R) y transmitancia térmica (U), obtenidos para cada espesor y establecer si las diferencias observadas fueron estadísticamente significativas.

El procesamiento de los datos se realizó en el software Jamovi versión 2.6.44, verificando previamente los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro–Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, con un nivel de significancia de ($p < 0,05$) (Adnani et al., 2025). En caso de encontrarse diferencias significativas, se aplicará la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar entre qué grupos se presentaron las variaciones. Este análisis permitirá determinar si el incremento del espesor del panel mejora de forma significativa su desempeño térmico, reflejado en la variación de los parámetros λ , R y U.

Segundo objetivo específico: Determinar el efecto del tipo de relieve (sin panel, panel sin relieve y panel con relieve) en el aislamiento acústico de los paneles a base de tusa de maíz.

Para analizar la influencia del relieve superficial sobre el comportamiento acústico, se aplicó un ANOVA de un factor Welch con tres

niveles, considerando tres repeticiones por condición experimental. Las variables de comparación fueron los valores de área de absorción equivalente (A) y el coeficiente de absorción acústica (α), calculados a partir de los tiempos de reverberación (T_{60}) mediante la ecuación de Sabine. De manera complementaria, la reducción del ruido aéreo fue evaluada mediante el nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{eq}), aplicándose un ANOVA factorial para analizar el efecto del tipo de panel y la distancia de medición.

El análisis estadístico se desarrolló en el software Jamovi (versión 2.6.44). Previamente se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene, respectivamente, con un nivel de confianza del 95 % (Adnani et al., 2025). En caso de observarse diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicará la prueba post hoc de Tukey para identificar entre qué grupos se presentaron dichas diferencias (Romero-Morte y de Elguea-Culebras, 2025). Este procedimiento permitirá establecer si la presencia de relieve en la superficie de los paneles ejerce un efecto significativo sobre la absorción sonora del recinto.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Efecto de dos prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa maíz sobre el aislamiento térmico

El sistema experimental diseñado para analizar el desempeño térmico de los paneles fabricados con tusa de maíz consistió en una caja de pruebas cerrada hecha con materiales económicos y de acceso simple, diseñada para reproducir condiciones controladas de transferencia de calor. En seguida se detallan la estructura, los insumos y los componentes esenciales del sistema, junto con los resultados obtenidos en los ensayos efectuados.

5.1.1.1 Dimensiones y estructura de la caja de tecnopor

La caja experimental presenta dimensiones externas de 42 cm × 42 cm × 40 cm, fabricada íntegramente con tecnopor (poliestireno expandido) de 3 cm de espesor, material que actúa como contenedor térmico por su baja conductividad y rigidez estructural. El volumen interno aproximado del sistema es de 0,065 m³.

Internamente, la caja se encuentra dividida en dos compartimentos simétricos, separados por el panel a evaluar (20 mm y 30 mm de espesor), lo que permite medir simultáneamente las temperaturas del lado caliente y del lado frío.

La estructura se selló herméticamente mediante cinta adhesiva resistente al calor, con el fin de minimizar fugas de aire o pérdida de energía térmica.

5.1.1.2 Áreas de superficie relevantes

El área transversal expuesta al flujo de calor (sin panel) corresponde a $0,1764 \text{ m}^2$ ($0,42 \text{ m} \times 0,42 \text{ m}$). Cada panel de tusa de maíz tiene dimensiones de $27,5 \text{ cm} \times 27,5 \text{ cm}$, lo que equivale a un área efectiva de $0,0756 \text{ m}^2$. En los casos en que existió holgura por los bordes del Tecnopor, se aplicó una corrección restando el marco perimetral, de modo que el área útil de transferencia de calor se mantuvo constante en todas las pruebas.

5.1.1.3 Componentes del sistema

Fuente de calor: Foco incandescente de 60 W, posicionado a una distancia fija de 5 cm del panel o pared de prueba, montado en un soporte interno ajustable para controlar la irradiación.

Sensores de medición: Dos termómetros de alcohol con bulbos, posicionados en contacto directo con las superficies del panel aislante o suspendidos en el aire según el caso de prueba.

5.1.1.4 Resultados experimentales

Para contextualizar el efecto de los paneles, se realizó un ensayo inicial sin aislamiento adicional, midiendo la evolución temporal de las temperaturas en el interior de la caja de tecnopor. En la Tabla 13, se aprecia que la temperatura del lado caliente alcanzó un valor promedio de 81,0 °C, mientras que el lado opuesto registró alrededor de 78,0 °C, con una diferencia de temperatura (ΔT) promedio de 3,0 °C. La estabilidad térmica se alcanzó luego de aproximadamente 40 minutos, momento en el cual las variaciones fueron menores a $\pm 0,5$ °C, cumpliendo el criterio de régimen estacionario. Se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con los paneles aislantes de tusa de maíz, fabricados que presentan los espesores de 20 mm y 30 mm.

Tabla 13*Temperaturas en régimen estacionario sin paneles aislantes*

Muestra	Tiempo (min)	T-1 (°C)	T-2 (°C)	$\Delta T = t_1 - t_2$ (°C)	Estado (Estable)
1	0	24,0	23,0	1,0	Inicial
1	40	81,0	78,0	3,0	Sí
1	45	81,0	78,0	3,0	Sí
2	0	22,0	22,0	0,0	Inicial
2	40	81,0	77,5	3,5	Sí
2	45	81,0	78,0	3,0	Sí
3	0	24,0	23,5	0,5	Inicial
3	40	81,0	77,5	3,5	Sí
3	45	81,0	78,0	3,0	Sí

En la Tabla 14, se aprecia los resultados que el panel de 30 mm presenta una diferencia de temperatura promedio de 41,0 °C, superior a los 37,0 °C del panel de 20 mm, lo cual confirma un mejor desempeño térmico del panel más grueso. En comparación con la prueba sin aislamiento ($\Delta T = 3,0$ °C), ambos tipos de paneles incrementaron significativamente la resistencia térmica del sistema, evidenciando una reducción notable del flujo de calor.

Tabla 14*Registro de temperaturas de paneles aislantes a base de tusa de maíz*

Panel (mm)	N° repetición	Tiempo (min)	T-1 (°C)	T-2 (°C)	$\Delta T = t_1 - t_2$ (°C)
20	1	40	81,0	44,0	37,0
20	2	40	81,5	45,0	36,5
20	3	40	81,0	44,0	37,0
20	4	40	81,5	44,0	37,5
20	5	40	82,0	45,0	37,0
Promedio			81,40	44,40	37,00
30	1	40	82,0	42,0	40,0
30	2	40	82,0	41,5	40,5
30	3	40	82,0	40,5	41,5
30	4	40	81,0	39,5	41,5
30	5	40	81,5	40,0	41,5
Promedio			81,70	40,70	41,00

Con los datos de la Tabla 14 se realizó el cálculo de los parámetros térmicos principales correspondientes a los paneles de tusa de maíz, con el fin de evaluar cuantitativamente su desempeño como material aislante. Para ello, se consideraron las relaciones clásicas de conducción de calor

en estado estacionario, aplicadas a sistemas planos homogéneos. En este caso, la potencia del foco incandescente empleado 60 W, fue considerada como la fuente de energía térmica principal, y el área efectiva del panel fue de 0,0756 m². Los espesores analizados fueron 0,02 m (20 mm) y 0,03 m (30 mm), de acuerdo con las dimensiones físicas de los paneles fabricados. Con base en estos datos, se determinaron los valores de λ , R y U para cada repetición.

En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las fórmulas de las propiedades térmicas, el panel de 20 mm presentó una conductividad térmica promedio (λ) de 0,429 W/m.°C y una resistencia térmica (R) de 0,0466 °C.m²/W, mientras que el panel de 30 mm alcanzó valores de 0,5807 W/m.°C y 0,0517 °C.m²/W, respectivamente. La transmitancia térmica (U) disminuyó de 21,45 W/m².°C en el panel de 20 mm a 19,36 W/m².°C en el de 30 mm, reflejando una reducción efectiva de la transferencia de calor.

Tabla 15

Conductividad térmica (λ), resistencia térmica (R) y transmitancia térmica (U) de paneles aislantes a base de tusa de maíz

Panel (mm)	N° repetición	λ (W/m.°C)	R (°C.m²/W)	U (W/m².°C)
20	1	0,429000	0,04662	21,45
20	2	0,434877	0,04599	21,74
20	3	0,429000	0,04662	21,45
20	4	0,423280	0,04725	21,16
20	5	0,429000	0,04662	21,45
Promedio		0,429000	0,04662	21,45
30	1	0,595238	0,05040	19,84
30	2	0,587889	0,05103	19,60
30	3	0,573723	0,05229	19,12
30	4	0,573723	0,05229	19,12
30	5	0,573723	0,05229	19,12
Promedio		0,580720	0,05166	19,36

El análisis de varianza de un factor mediante el método de Welch evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los espesores de los paneles de tusa de maíz en cada uno de los parámetros térmicos

analizados, según lo indicado en la Tabla 16. Para la resistencia térmica (R) se registró $F = 128$ con $p < 0,001$. En el caso de la conductividad térmica (λ), el análisis arrojó $F = 968$ con $p < 0,001$, y para el coeficiente global de transferencia de calor (U) se obtuvo $F = 139$ con $p < 0,001$. Estos valores confirman que el espesor del panel ejerce un efecto significativo sobre el comportamiento térmico, mejorando la capacidad aislante a medida que aumenta el grosor.

Tabla 16

ANOVA de un factor Welch para resistencia térmica (R), conductividad térmica (λ) y transmitancia térmica (U)

Variable	Estadístico F	gl1	gl2	Significancia (p)
R	128	1	5,88	<0,001
λ	968	1	5,28	<0,001
U	139	1	6,58	<0,001

Previo al análisis, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. En la Tabla 17, se visualiza la prueba de Shapiro–Wilk indicó que los datos cumplen el supuesto de normalidad ($p > 0,05$ en todas las variables).

Tabla 17

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para resistencia térmica (R), conductividad térmica (λ) y transmitancia térmica (U)

Variable	W	Significancia (p)
R	0,859	0,074
λ	0,882	0,136
U	0,891	0,172

En la Tabla 18 se observa la prueba de Levene mostró homogeneidad de varianzas para la variable U ($p = 0,08 > 0,05$), pero diferencias leves en R ($p = 0,035$) y λ ($p = 0,015$). En síntesis, los datos evidencian que los paneles de 30 mm muestran un rendimiento térmico superior, ya que alcanzan valores más altos de resistencia térmica y valores más bajos de conductividad y transferencia de calor, demostrando así su eficiencia como elemento aislante.

Tabla 18

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para resistencia térmica (R), conductividad térmica (λ) y transmitancia térmica (U)

Variable	F	gl1	gl2	Significancia (p)
R	6,40	1	8	0,035
λ	9,43	1	8	0,015
U	4,03	1	8	0,080

5.1.2 Efecto de dos prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa maíz sobre el aislamiento acústico

Esta sección expone y examina los resultados derivados de las pruebas de aislamiento acústico efectuadas en los paneles de tusa de maíz, tanto en su versión sin relieve y con relieve. Las mediciones se llevaron a cabo en una sala de dimensiones 2,4 m x 3,4 m x 2 m, con un volumen calculado de 16,32 m³. El área total de las superficies de la sala se determinó como sigue:

$$\text{Área total} = 2(2,4 \times 3,4) + 2(2,4 \times 2) + 2(3,4 \times 2) = 39,52 \text{ m}^2.$$

El tiempo de reverberación (T_{60}) se midió bajo tres condiciones experimentales: sin panel, con panel sin relieve y con panel con relieve. Para obtener los decaimientos sonoros se utilizó una fuente impulsiva

(aplausos), repitiendo cada medición tres veces por condición y promediando los valores registrados para el análisis. La Tabla 19, se muestran los resultados de la medición del tiempo de reverberación (T_{60}) de los paneles en diferentes condiciones.

Tabla 19

Medición del tiempo de reverberación de los paneles

Muestreo	N° repetición			Promedio T_{60} (s)
	1	2	3	
Sin panel	2,51	2,57	2,53	2,537
Panel sin relieve	2,44	2,46	2,43	2,443
Panel con relieve	2,34	2,38	2,37	2,363

Para la determinación del área de absorción equivalente (A), se aplicará la fórmula de Sabine, para esto se reorganizará para despejar el área de absorción. De esta manera, se calculará el valor de área de absorción en cada condición experimental (panel sin relieve y con relieve), considerando los tiempos de reverberación (T_{60}) obtenidos en cada repetición. En la Tabla 20, se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de la fórmula de Sabine, donde la condición sin panel mostró un área de absorción equivalente de 1,0357 m²; con panel sin relieve se obtuvo 1,0755 m²; y con panel con relieve se alcanzó 1,1119 m².

Tabla 20

Tiempo de reverberación, área de absorción y coeficiente de absorción acústica

Panel	Nº repetición	T_{60} (s)	A (m ²)	Coeficiente de absorción (α)
Panel sin relieve	1	2,44	1,0769	0,1424
Panel sin relieve	2	2,46	1,0681	0,1412
Panel sin relieve	3	2,43	1,0813	0,1430
Promedio		2,443	1,0755	0,1422
Panel con relieve	1	2,34	1,1229	0,1484
Panel con relieve	2	2,38	1,1040	0,1460
Panel con relieve	3	2,37	1,1087	0,1466
Promedio		2,363	1,1119	0,1470

Este incremento progresivo evidencia que los paneles de tusa de maíz mejoran la absorción acústica de la sala, mientras que el panel con relieve es el que exhibe el mejor desempeño.

Para determinar si las diferencias en el coeficiente de absorción (α) son estadísticamente significativas, se realizó un análisis de varianza de un factor Welch. En la Tabla 21, se observa el análisis ANOVA de Welch muestran diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de

paneles ($F = 28,8$; $p = 0,007$), lo que indica que la presencia de relieve en la superficie del panel influye de manera significativa en su capacidad de absorción sonora.

Tabla 21

ANOVA de un factor Welch para el coeficiente de absorción acústica (α)

Variable	F	gl1	gl2	Significancia (p)
α	28,8	1	3,67	0,007

En la Tabla 22, se visualiza la prueba de Shapiro–Wilk ($p = 0,505 > 0,05$) confirmando que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, siendo adecuados para aplicar el ANOVA.

Tabla 22

Prueba de normalidad Shapiro–Wilk para el coeficiente de absorción acústica (α)

Variable	W	Significancia (p)
α	0,92	0,505

En la Tabla 23, se aprecia la prueba de Levene ($p = 0,519 > 0,05$) indica homogeneidad de varianzas entre los grupos. En conjunto, los resultados confirman que se cumplen los supuestos estadísticos y evidencian que los paneles con relieve presentan un coeficiente de

absorción acústica superior ($\alpha = 0,1470$) respecto a los paneles sin relieve ($\alpha = 0,1422$), confirmando su mayor eficacia en la absorción del sonido.

Tabla 23

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del coeficiente de absorción acústica (α)

Variable	F	gl1	gl2	Significancia (p)
α	0,5	1	4	0,519

En la Tabla 24, se presenta una comparación directa de los niveles de presión sonora continuos equivalentes (L_{eq}) medidos al interior de la cámara de recepción. La diferencia entre el (L_{eq}) del grupo de control y el grupo muestra es la Reducción de Ruido obtenida por el material. Además, la distancia más cercana a 2 metros, ambos paneles “sin relieve” de tusa de maíz exhiben una capacidad de aislamiento prácticamente similar, con una reducción de ruido cercana a los 6,8 dB. Esto sugiere que, a corta distancia, la introducción del relieve superficial no aporta una mejora significativa en la atenuación total. Mientras que, a la distancia de 5 metros, la diferencia en la eficiencia de los paneles se acentúa. El panel “con relieve” logra una atenuación de 7,30 dB, lo que representa una mejora de 0,8 dB sobre el panel “sin relieve” 6,50 dB. Esta disparidad sugiere que la

textura del panel con relieve mejore la difusión de la onda sonora incidente, disipando más energía antes de que penetre en la cámara de recepción.

Tabla 24

Comparativa de niveles de presión sonora Leq de los paneles aislantes

Distancia	Repetición	Grupo control	Grupo muestra	
			Sin relieve	Con relieve
		Leq (dB)	Leq (dB)	Leq (dB)
2 metros	1	62,7	55,9	56,0
	2	62,7	55,9	56,3
	3	62,6	55,7	55,6
Promedio		62,67	55,83	55,97
5 metros	1	57,5	51,1	50,5
	2	57,9	51,2	50,6
	3	57,8	51,4	50,2
Promedio		57,73	51,23	50,43

En la Tabla 25, se presenta los resultados del análisis de varianza factorial aplicado a los niveles de presión sonora continuos equivalentes (Leq), considerando como factores el tipo de grupo (control, sin relieve y con relieve) y la distancia de medición (2 y 5 metros). Los resultados evidencian un efecto estadísticamente significativo del factor grupo ($p <$

0,001; $\omega^2 = 0,620$), lo que indica que el tipo de panel influye de manera determinante en la reducción del ruido. Asimismo, el factor distancia muestra un efecto significativo ($p < 0,001$; $\omega^2 = 0,376$), confirmando que el nivel de presión sonora varía de forma importante con la distancia. Por otro lado, la interacción grupo por distancia resulta significativa ($p = 0,006$), aunque con un tamaño de efecto muy reducido ($\omega^2 = 0,002$), lo que sugiere que la influencia conjunta de ambos factores existe, pero es de magnitud limitada frente a los efectos principales.

Tabla 25

Resultados del ANOVA factorial grupo por distancia

Variable	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig. (p)	ω^2
Grupo	187,111	2	93,5556	2245,33	<0,001	0,620
Distancia	113,502	1	113,5022	2724,05	<0,01	0,376
Grupo * Distancia	0,671	2	0,3356	8,05	0,006	0,002
Residuos	0,500	12	0,0417			

CV = 0,37 %

En la Tabla 26, se señala los resultados de la prueba de Levene aplicada para evaluar la homogeneidad de varianzas entre los grupos analizados. El valor obtenido ($p = 0,242$) indica que no existen diferencias significativas entre las varianzas de los grupos, cumpliéndose el supuesto de homogeneidad requerido para la aplicación del ANOVA factorial. En consecuencia, los resultados del análisis de varianza pueden considerarse estadísticamente válidos bajo este criterio.

Tabla 26

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	Significancia (p)
1,57	5	12	0,242

En la Tabla 27 se muestra las comparaciones post hoc realizadas mediante la prueba de Tukey entre los distintos grupos evaluados, considerando las medias marginales estimadas del modelo factorial. Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de control y el panel sin relieve ($p < 0,001$), así como entre el grupo de control y el panel con relieve ($p < 0,001$), evidenciando la efectividad de ambos paneles en la reducción del ruido. Asimismo, se identifica una diferencia significativa entre los paneles sin relieve y con relieve ($p = 0,038$),

lo que indica que la incorporación del relieve superficial genera una mejora adicional, aunque de menor magnitud, en la atenuación del ruido.

Tabla 27

Comparaciones post hoc de Tukey entre grupos

Comparación		Diferencia de Medias	Error estándar	gl	t	Significancia
Grupo	Grupo					
Control	- Sin relieve	6,667	0,118	12,0	56,57	<0,001
	- Con relieve	7,000	0,118	12,0	59,40	<0,001
Sin relieve	- Con relieve	0,333	0,118	12,0	2,83	0,038

En la Tabla 28, se presenta los resultados de las comparaciones post hoc entre las distancias de medición de 2 y 5 metros. Se observa una diferencia estadísticamente significativa en los niveles de presión sonora ($p < 0,001$), con una diferencia media de 5,02 dB. Este resultado confirma que el nivel de ruido disminuye de manera significativa al aumentar la distancia, independientemente del tipo de panel empleado, reafirmando que la distancia es un factor determinante en la propagación sonora.

Tabla 28*Comparaciones post hoc de Tukey entre distancias*

Comparación		Diferencia de Medias	Error estándar	gl	t	Significancia
Distancia	Distancia					
2 m	- 5 m	5,02	0,0962	12,0	52,2	<0,001

En la Figura 16, se visualiza las medias marginales estimadas del nivel de presión sonora continuo equivalente (Leq) en función del tipo de grupo y la distancia de medición. Se observa que, en ambas distancias evaluadas, el grupo de control registra los valores más elevados de Leq, mientras que los paneles aislantes sin relieve y con relieve presentan menores niveles de presión sonora, evidenciando su efectividad en la reducción del ruido. Asimismo, se aprecia una disminución general del Leq al incrementar la distancia de 2 m a 5 m para todos los grupos, lo que concuerda con el efecto significativo del factor distancia identificado en el ANOVA factorial. A distancia corta 2 m, no se detectan diferencias notables entre ambos paneles. No obstante, a 5 metros el panel con relieve exhibe

mayor capacidad de reducción del nivel sonoro, evidenciando un mejor desempeño acústico.

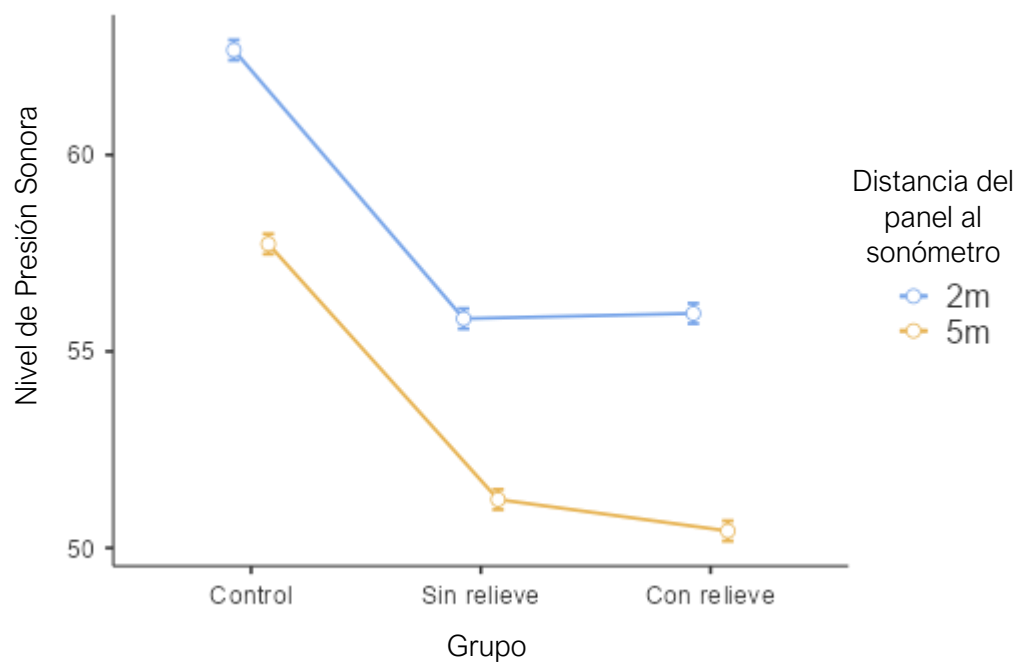


Figura 16

Medias marginales estimadas del nivel de presión sonora Leq según grupo y distancia

Finalmente, la tendencia casi paralela de las líneas sugiere que la interacción entre el tipo de grupo y la distancia, aunque estadísticamente significativa, presenta una magnitud reducida, siendo los efectos principales del grupo y de la distancia los factores predominantes en la variación del nivel de presión sonora.

5.2 Discusión de resultados

El análisis integral confirmó que el espesor y la textura superficial influyen de manera independiente y conjunta en el desempeño térmico y acústico de los paneles de tusa de maíz. Ambos efectos fueron estadísticamente significativos, lo que valida su potencial como insumo sostenible para aplicaciones constructivas.

5.2.1 Discusión del efecto de dos prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa maíz sobre el aislamiento térmico

Se evaluaron paneles aislantes a base de tusa de maíz con espesores de 20 mm y 30 mm en un sistema experimental controlado de caja cerrada. Los resultados obtenidos en régimen estacionario demostraron que, sin aislamiento adicional, la diferencia de temperatura (ΔT) promedio fue de 3,0 °C entre los compartimentos caliente y frío. Sin embargo, la introducción de los paneles incrementó significativamente esta diferencia térmica: el panel de 20 mm alcanzó un ΔT de 37,0 °C, mientras que el panel de 30 mm logró 41,0 °C. Estos resultados se alinean con lo reportado por Bovo et al. (2022) y Okeke et al. (2024), quienes evaluaron paneles de mazorca de maíz y obtuvieron valores de conductividad térmica comparables, en rangos de 0,14 a 0,26 W/(m.°K) y de 0,058 a

0,081 W/(m.°K) respectivamente, demostrando que la tusa de maíz posee propiedades aislantes funcionales para aplicaciones constructivas.

Los parámetros térmicos cuantitativos obtenidos fueron: el panel de 20 mm presentó una conductividad térmica promedio (λ) de 0,429 W/m.°C y una resistencia térmica (R) de 0,0466 °C.m²/W, mientras que el panel de 30 mm alcanzó valores de 0,5807 W/m.°C y 0,0517 °C.m²/W. La transmitancia térmica (U) disminuyó de 21,45 W/m².°C a 19,36 W/m².°C, representando una reducción del 9,7 % en la transferencia de calor. El análisis ANOVA de Welch evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los espesores (λ : F = 968, p < 0,001; R: F = 128, p < 0,001; U: F = 139, p < 0,001). No obstante, estos valores fueron superiores a los obtenidos por Ramos et al. (2021) y Viel et al. (2019) en paneles compuestos con aglomerantes sintéticos y ecológicos respectivamente. Ramos et al. reportaron una conductividad térmica de 0,052 W/m.°C y una transmitancia térmica de 1,33 W/m².°C para tableros de coronta aglomerada con acetato de polivinilo, mientras que Viel et al. obtuvieron conductividades de 0,1284 hasta 0,1479 W/(m.°C) en compuestos bio-basados con aglomerantes ecológicos y tratamientos de curado térmico (190 °C durante 2 horas). Esta diferencia se atribuye a que la incorporación de aglomerantes modifica significativamente la porosidad y densidad del

material compuesto, siendo la combinación específica de agregado y aglomerante determinante para optimizar el desempeño aislante.

De manera similar, Lozano & Rojas (2019) y Monge (2016) demostraron que la dosificación y configuración material influyen directamente en el comportamiento térmico. Lozano & Rojas fabricaron paneles con bagazo de caña de azúcar, obteniendo para un espesor de 10 mm una resistencia térmica de $0,641 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K}/\text{W}$ y una transmitancia térmica de $1,561 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$, valores inferiores a los del presente estudio. Por su parte, Monge diseñó un panel sándwich con núcleo de cascarilla de arroz de 80 mm de espesor, el cual logró un flujo de calor de 47,08 W, muy cercano al del poliestireno expandido comercial (46,88 W), demostrando que configuraciones estratégicas y dosificaciones con mayor proporción de residuo agrícola mejoran significativamente la capacidad aislante.

Daza (2019), Arroyo & Méndez (2018) también evidenciaron la influencia de variables de diseño en el aislamiento. Daza desarrolló paneles aislantes de corteza de eucalipto en densidades de 25 a $100 \text{ kg}/\text{m}^3$, logrando en la configuración de $25 \text{ kg}/\text{m}^3$ una conductividad térmica de $0,045 \text{ W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{K}$ y una resistencia térmica de $111 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K}/\text{W}$, valores significativamente superiores a los del presente estudio, reflejando que la densidad aparente influye críticamente en las propiedades aislantes. Arroyo & Méndez, por su parte, fabricaron paneles a partir de bagazo de

caña de azúcar con tres espesores (6, 12 y 25 mm), alcanzando para los paneles de 25 mm una pérdida de transmisión teórica de hasta 44,6 dB con barro, evidenciando que el aumento del espesor incrementa la capacidad de aislamiento acústico de los paneles, confirmando la importancia del espesor en ambos desempeños (térmico y acústico).

Carrasco & Peña (2023) y Peña (2018) demostraron la viabilidad de residuos agrícolas locales para aislamiento. Fabricaron paneles con hoja de plátano y cascarilla de arroz con espesores de 15 mm y 30 mm, logrando una conductividad de 0,200 W/m.°K en la mejor configuración, mientras que Peña desarrolló paneles con fibras naturales de trigo y cebada, obteniendo una conductividad de 0,1095 W/m.°K, demostrando que el uso de residuos agrícolas locales resulta en propiedades aislantes funcionales. Estos resultados son comparables a los de Barrantes (2022), Álvarez (2022) e Yucra (2019), quienes evaluaron respectivamente fibra de Ichu ($\lambda = 0,1078$ W/m.°K), paja (λ entre 0,045 y 0,13 W/m.°K) y concreto celular con fibra de totora (λ entre 0,1501 y 0,1522 W/m.°K), confirmando que materiales agrícolas residuales pueden alcanzar desempeños aislantes funcionales y comparables a los del presente estudio.

La tusa de maíz es un residuo abundante frecuentemente desaprovechado o incinerado. La fabricación de paneles aislantes a partir de este residuo constituye una solución de economía circular que

aprovecha subproductos agroindustriales. Los paneles de 30 mm del presente estudio demostraron un comportamiento experimental superior (ΔT de 41,0 °C) respecto a la condición sin aislamiento (ΔT de 3,0 °C), manifestando funcionabilidad práctica para aplicaciones constructivas. La mejora del 10,9 % en resistencia térmica al incrementar de 20 mm a 30 mm sugiere que optimizaciones posteriores en formulación y procesamiento podrían mejorar significativamente el desempeño, como lo demuestran las investigaciones de Viel et al. (2019) y Daza (2019) mediante tratamientos de curado y ajustes de densidad. Considerando que la tusa es un residuo de bajo costo, la relación beneficio-costos de estos paneles resulta altamente favorable para aplicaciones en construcción sostenible.

5.2.2 Discusión del efecto de dos prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa maíz sobre el aislamiento acústico

Se evaluó el desempeño acústico de paneles de tusa de maíz en dos configuraciones: sin relieve y con relieve superficial, siguiendo protocolos similares a los reportados por Arroyo & Méndez (2018) y Okeke et al. (2024). El tiempo de reverberación (T_{60}) sin panel fue de 2,537 segundos. Con el panel sin relieve disminuyó a 2,443 segundos (reducción de 3,7 %), y con panel con relieve alcanzó 2,363 segundos (reducción de 6,8 %). Aplicando la fórmula de Sabine, se calculó el área de absorción equivalente (A). Sin panel, $A = 1,0357 \text{ m}^2$; con panel sin relieve,

$A = 1,0755 \text{ m}^2$ (aumento de 3,8 %); y con panel con relieve, $A = 1,1119 \text{ m}^2$ (aumento de 7,4 %), demostrando que los paneles de tusa poseen capacidad para disipar energía acústica similar a la reportada por estos autores para residuos de maíz. El coeficiente de absorción acústica (α) de los paneles sin relieve fue de 0,1422; mientras que con relieve alcanzó 0,1470; representando un incremento del 3,4 % estadísticamente significativo ($F = 28,8$, $p = 0,007$).

Sanchez (2018) y Puma (2022) reportaron desempeños acústicos superiores al presente estudio, aunque en contextos y configuraciones distintas. Sanchez evaluó placas absorbentes con mezclas de residuos orgánicos variados, alcanzando con la composición de mayor proporción de coronta de maíz y corona de piña una reducción de ruido promedio del 38,73 %, con máximos de 46,85 % a 4000 Hz, significativamente superior a los coeficientes de absorción obtenidos en este estudio (0,1422 - 0,1470). Por su parte, Puma evaluó barreras acústicas construidas con panca de maíz rellenando estructuras modulares, logrando una atenuación de 12,2 dB con barrera de panca pura, reduciendo el nivel de presión sonora de 54,1 dB a 42,0 dB. Aunque estas atenuaciones son superiores a las obtenidas en el presente estudio (diferencias entre 0,8 dB entre paneles), estas diferencias se atribuyen a las metodologías experimentales distintas, tipos de mezcla y configuraciones estructurales empleadas.

Se midieron los niveles continuos equivalentes de presión sonora (L_{eq}) en función de la distancia al panel (2 y 5 metros). A 2 metros de distancia, el grupo control registró L_{eq} de 62,67 dB. Con panel sin relieve se redujo a 55,83 dB (atenuación de 6,84 dB), y con panel con relieve a 55,97 dB (atenuación de 6,70 dB). A 5 metros de distancia, el grupo control presentó L_{eq} de 57,73 dB, reduciéndose a 51,23 dB con panel sin relieve (atenuación de 6,50 dB) y a 50,43 dB con panel con relieve (atenuación de 7,30 dB). El análisis de varianza factorial mostró que el factor grupo explicó el 62,0 % de la varianza en presión sonora ($F = 2245,33$, $p < 0,001$), mientras que la distancia explicó el 37,6 % ($F = 2724,05$, $p < 0,001$), confirmando que ambas variables influyen significativamente en el desempeño.

Las pruebas post hoc de Tukey revelaron diferencias significativas entre grupo control y panel sin relieve ($p < 0,001$, diferencia = 6,667 dB), entre control y panel con relieve ($p < 0,001$, diferencia = 7,000 dB), y entre los dos tipos de paneles ($p = 0,038$, diferencia = 0,333 dB), validando la efectividad de ambas configuraciones en reducción de ruido.

Bovo et al. (2022) y Viel et al. (2019) demostraron que la estructura porosa de residuos de maíz favorece el desempeño acústico cuando se combina con propiedades térmicas. Bovo et al. analizó paneles de mazorca de maíz con densidad de 200 kg/m^3 , registrando una conductividad térmica

de 0,14 a 0,26 W/(m.°K) y demostrando que el material posee buenas propiedades de absorción acústica con coeficientes más altos a frecuencias elevadas. Viel et al. (2019) desarrollaron compuestos bio-basados con residuos de mazorca de maíz, obteniendo densidades aparentes de 427 a 515 kg/m³ con porosidad total del 60 % al 87,5 % y conductividades térmicas de 0,1284 hasta 0,1479 W/(m.°C). Estos últimos además demostraron capacidad reguladora de humedad con Valores de Amortiguamiento de Humedad (MBV) superiores a 2 g/(m².%HR), logrando máximos de 5,08 g/(m².%HR), evidenciando que la porosidad y estructura fibrosa de la tusa mejoran simultáneamente el desempeño acústico y la funcionalidad higrotérmica del material.

Gabriel (2023) y Ramos et al. (2013) complementan la visión sobre alternativas sostenibles para aislamiento en construcción. Gabriel comparó prototipos contruidos con ecoladrillos de PET rellenos de plástico compactado, obteniendo en aislamiento acústico una medición de ruido (LASeq) de 52,5 dB para ecoladrillos frente a 54,7 dB para ladrillos convencionales, con niveles máximos (LASmax) de 73,3 dB y 77,3 dB respectivamente. Por su parte, Ramos et al. comparó el desempeño térmico de distintos materiales y configuraciones constructivas, demostrando que una cubierta de calamina metálica ($U = 7,14 \text{ W/m}^2\cdot\text{°K}$) mejoraba considerablemente a $1,66 \text{ W/m}^2\cdot\text{°K}$ con un techo aislante de

fibrocemento, polietileno y paja, evidenciando que materiales residuales y configuraciones estratégicas pueden ofrecer mejoras significativas en atenuación acústica y térmica, resultados que son comparables a los del presente estudio y confirman la viabilidad técnica de soluciones sostenibles.

La absorción acústica en materiales porosos opera mediante disipación de energía de la onda sonora a través de fricción viscosa contra paredes de poros, conversión en calor, y difusión por distribución irregular de poros. La tusa de maíz, siendo un residuo natural con estructura fibrosa y altamente porosa, posee características geométricas favorables para estos procesos. Los paneles aislantes fabricados a partir de tusa de maíz demuestran un desempeño funcional en aislamiento acústico, alcanzando coeficientes de absorción de 0,1422 sin relieve y 0,1470 con relieve superficial (mejora del 3,4 %, $p = 0,007$). La reducción de presión sonora es consistente en ambas configuraciones (6,5 - 7,3 dB a 5 metros), con el efecto del relieve acentuándose a mayores distancias (0,8 dB de mejora a 5 metros). Estos resultados confirman la viabilidad de esta solución, alineándose con lo reportado por Ramos et al. (2013) y Gabriel (2023), quienes demostraron que soluciones constructivas basadas en materiales sostenibles y residuales pueden mejorar significativamente tanto el confort térmico como la atenuación acústica. La viabilidad económica y ambiental

de fabricar paneles de tusa de maíz a partir de un residuo abundante constituye un aporte significativo a la construcción sostenible, particularmente relevante en contextos de vulnerabilidad económica donde se requieren soluciones de bajo costo sin comprometer el desempeño funcional.

CONCLUSIONES

Se evaluó el comportamiento térmico y acústico de paneles elaborados a base de tusa de maíz como material ecológico alternativo para el aislamiento en edificaciones de la ciudad de Tacna. Se analizaron dos tratamientos con variación de espesor (20 mm y 30 mm) para el aislamiento térmico, y dos tipos de superficie (con relieve y sin relieve) para el aislamiento acústico, empleando un diseño completamente aleatorizado con cinco repeticiones para las pruebas térmicas y tres para las pruebas acústicas. Los resultados confirman que la tusa de maíz posee un potencial real como aislante ecológico, combinando eficiencia moderada, bajos costos y disponibilidad local. Si bien no alcanza los valores de aislamiento térmico de materiales sintéticos, su desempeño es apropiado para edificaciones de características de bajo costo, viviendas rurales y sociales, sistemas modulares donde la sostenibilidad y la reducción de huella ambiental son variables prioritarias.

Se determinó que el espesor tiene un impacto significativo en la capacidad aislante de los paneles. Los paneles de 30 mm presentaron una conductividad térmica promedio de $0,581 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ y una resistencia térmica de $0,0517 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$, mientras que los de 20 mm registraron valores de $0,429 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ y $0,0466 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$, respectivamente. El incremento del

espesor generó una diferencia de temperatura promedio de 41,0 °C (30 mm) frente a 37,0 °C (20 mm), lo que representa una mejora del 10,8 % en la capacidad de retención térmica. Asimismo, la transmitancia térmica (U) disminuyó de 21,45 W/m².°C a 19,36 W/m².°C, evidenciando una reducción del 9,7 % en la transferencia de calor. El análisis estadístico mediante ANOVA de Welch confirmó diferencias altamente significativas entre tratamientos para todas las variables térmicas evaluadas ($p < 0,001$), validando la hipótesis de que los paneles de mayor espesor presentan un mejor desempeño térmico.

Se determinó que la textura superficial influye significativamente en la absorción sonora. Los paneles con relieve alcanzaron un coeficiente promedio de absorción acústica de $\alpha = 0,147$; superior al de los paneles sin relieve ($\alpha = 0,142$) lo que representa un incremento del 3,5 % en la capacidad de absorción. El tiempo de reverberación se redujo de 2,443 s (sin relieve) a 2,363 s (con relieve), evidenciando una mejora en el control acústico del recinto. El análisis de varianza ANOVA de Welch mostró diferencias estadísticamente significativas ($F = 28,8$; $p = 0,007$), mientras que las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk ($p = 0,505$) y homogeneidad de varianzas de Levene ($p = 0,519$) confirmaron la validez del modelo estadístico. Adicionalmente, el análisis del nivel de presión sonora equivalente (Leq) mediante un ANOVA factorial permitió confirmar

el efecto significativo del tipo de panel y de la distancia de medición en la reducción del ruido, observándose diferencias entre el grupo de control y los paneles aislantes, así como entre paneles con y sin relieve ($p < 0,05$), además de menores niveles de L_{eq} a mayor distancia; aunque la interacción grupo–distancia fue estadísticamente significativa, su tamaño de efecto fue reducido, predominando los efectos principales esto se concluye en que la rugosidad superficial favorece la dispersión y disipación de la energía sonora, mejorando el desempeño acústico del material.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar paneles de tusa de maíz con espesores superiores a 30 mm, así como combinaciones de espesor y textura superficial en un mismo panel, con el fin de determinar si la mejora observada en el desempeño térmico y acústico se mantiene o incrementa, considerando simultáneamente la eficiencia aislante y la viabilidad constructiva en edificaciones de bajo costo.

Se sugiere profundizar en el diseño geométrico del relieve superficial, analizando distintos patrones (ondulado, piramidal, hexagonal u otros) y su efecto sobre la absorción sonora por bandas de frecuencia, mediante ensayos complementarios como el tubo de impedancia, a fin de optimizar el comportamiento acústico del material y ampliar su aplicabilidad en el control del ruido aéreo.

Se recomienda realizar ensayos de validación constructiva integral, que incluyan resistencia mecánica, durabilidad y comportamiento higrotérmico, así como pruebas en condiciones reales de uso, incorporando además métodos normalizados de medición térmica y acústica; ello permitirá confirmar la factibilidad técnica del panel como material aislante ecológico para edificaciones en la ciudad de Tacna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acustic Lab. (2021). *Tiempo de reverberación y formula de Sabine*.

<https://www.acousticlab.com/tiempo-de-reverberacion-y-formula-de-sabine/>

Adnani, A., Wardhana, T. H., & Hernugrahanto, K. D. (2025). Treadmill

Exercise Lowers MMP-13 and Improves OARSI Histologic Scores in

a Collagenase-Induced Rat Model of Osteoarthritis: An In-Vivo

Experimental Study. *Journal of Orthopaedic Reports*, 100855.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jorep.2025.100855>

Alaman, A. (1972). Necesidad del aislamiento térmico en la edificación

actual. *Informes de la Construcción*, 310–320.

Alarcón, D. (2019). *Evaluación térmica y acústica de un aislante fabricado*

con Astilla del descortezado de eucalipto, Arcilla y Extracto de Nopal

[Tesis de pregrado, Universidad de Valparaíso].

[https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/2570/_Ala](https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/2570/_Alarcón%20Moya,%20Diego%20Alberto.%20Evaluación%20térmica%20y%20acústica%20de%20un%20aislante%20fabricado%20con%20Astilla%20del%20descortezado%20de%20eucalipto,%20Arcilla%20y%20Extracto%20de%20Nopal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[rcón%20Moya,%20Diego%20Alberto.%20Evaluación%20térmica%](https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/2570/_Alarcón%20Moya,%20Diego%20Alberto.%20Evaluación%20térmica%20y%20acústica%20de%20un%20aislante%20fabricado%20con%20Astilla%20del%20descortezado%20de%20eucalipto,%20Arcilla%20y%20Extracto%20de%20Nopal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[20y%20acústica%20de%20un%20aislante%20fabricado%20con%](https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/2570/_Alarcón%20Moya,%20Diego%20Alberto.%20Evaluación%20térmica%20y%20acústica%20de%20un%20aislante%20fabricado%20con%20Astilla%20del%20descortezado%20de%20eucalipto,%20Arcilla%20y%20Extracto%20de%20Nopal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[20Astilla%20del%20descortezado%20de%20eucalipto,%20Arcilla](https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/2570/_Alarcón%20Moya,%20Diego%20Alberto.%20Evaluación%20térmica%20y%20acústica%20de%20un%20aislante%20fabricado%20con%20Astilla%20del%20descortezado%20de%20eucalipto,%20Arcilla%20y%20Extracto%20de%20Nopal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[%20y%20Extracto%20de%20Nopal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/2570/_Alarcón%20Moya,%20Diego%20Alberto.%20Evaluación%20térmica%20y%20acústica%20de%20un%20aislante%20fabricado%20con%20Astilla%20del%20descortezado%20de%20eucalipto,%20Arcilla%20y%20Extracto%20de%20Nopal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Álvarez Sullo, M.E. (2022). Evaluación del confort térmico en una vivienda periurbana tradicional de la ciudad Juliaca. *Revista de Arquitectura y Urbanismo Taypi*, 1(2), 42–49. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7618025>
- Alwetaishi, M. S. (2016). Impact of Building Function on Thermal Comfort: A Review Paper. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(4), 928-945. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2016.928.945>
- Aresta, M., Mendes, F., & Correia, B. (2022). Paneles Aislantes Prefabricados de Tierra para Cielorrasos. *20° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*. <http://www.redproterra.org>
- Arroyo, J., & Méndez, S. (2018). *Obtención y caracterización de un Panel Acústico a partir del Desecho de la Caña de Azúcar* [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas]. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8724/1/UDLA-EC-TISA-2018-04.pdf>
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 25, e00161.

Ashby, M. F. (2011). *Materials selection in mechanical design* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325–1332.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)

Barrantes, E. (2022). *Estudio de la fibra de ichu incorporada como Aislante Térmico a un sistema de construcción en seco para su uso en envolventes de viviendas rurales ubicadas en zonas climáticas frías del Perú* [Tesis de maestría]. Pontifica Universidad Católica del Perú.

Beranek, L. L. (1954). *Acoustics*. McGraw-Hill.

Bidin, N., & Mohd. Sari, K. A. (2025). Insulation panel using a combination of rice husk and sugarcane bagasse for acoustic and thermal properties. *Progress in Engineering Application and Technology*, 6(1), 117–125.
<https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/peat/article>

Boschi, C., Acosta, S., & González, A. (2005). *Determinación del coeficiente de aislación acústica de un muro construido con bloques de cemento rellenos con arena*.
<http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratoriodeacustica/Determinación%2>

Odel%20coeficiente%20de%20aislación%20acústica%20de%20un
%20muro%201.pdf

Bovo, M., Giani, N., Barbaresi, A., Mazzocchetti, L., Barbaresi, L., Giorgini, L., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2022). Contribution to thermal and acoustic characterization of corncob for bio-based building insulation applications. *Energy and Buildings*, 262, 111994.

Bretones Nieto, M. (2012). *Acondicionamiento acústico en la edificación*. Ediciones Paraninfo.

Carrasco, G., & Peña, J. (2023). *Elaboración de paneles aislantes térmicos con la hoja del plátano y cascarilla del arroz, para la vivienda no planificada en zonas desérticas, para la ciudad de Piura, Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Tecnológica del Perú.

Cox, T. J., & D'Antonio, P. (2009). *Acoustic absorbers and diffusers: Theory, design and application*. CRC Press.

Crespo, J., Maderuelo-Sanz, R., Nadal-Gisbert, A., & Parres, F. (2012). A novel sound absorber with recycled fibers coming from end of life tires (ELTs). *Applied Acoustics*, 73, 402–408. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.12.001>.

Daza, K. (2019). *Evaluación ambiental del proceso de Fabricación del Panel Aislante Flexible obtenido a partir de la Corteza de Eucalyptus*

SP. para su aplicación en el sector residencial en Chile [Tesis de pregrado, Universidad de Concepción].
http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/402/1/Tesis_Evaluacion_ambiental_del_proceso_de_fabricacion.Image.Marked%20-%201.pdf

EM.110. (2014). *Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética*.
<https://waltervillavicencio.com/wp-content/uploads/2019/01/EM.110.pdf>

Fattahi, M., Taban, E., Soltani, P., Berardi, U., Khavanin, A., & Zaroushani, V. (2023). Waste corn husk fibers for sound absorption and thermal insulation applications: A step towards sustainable buildings. *Journal of Building Engineering*, 77, 107468.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107468>

Gabriel, J. (2023). *Diseño y elaboración de Ecoladrillos para la reducción de temperatura y Aislamiento Acústico, Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna].
<https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/2978/Gabriel-Mendez-Jeraldine.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Higini, A. P. (2010). *Revisión del Tiempo de Reverberación: El método de cálculo, la precisión predictiva y la Ley*.

INEI. (2018). *Resultados Definitivos Tomo I*.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1564/23Tomo_01.pdf

Irwin, A. (2018). How to Solve a Problem Like Plastics. *New Scientist*, 238(3178), 25–31. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(18\)30884-4](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(18)30884-4)

Jácome, M. A., & Jácome, M. A. (2013). *Análisis a la exposición de Ruido Ambiental y propuesta de un Sistema de Insonorización a través de procedimientos técnicos para minimizar el impacto Ambiental en la Empresa CEDAL S.A. Cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi periodo 2012-2013* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1641/1/T-UTC-1515.pdf>

Kotzen, B., & English, C. (2009). *Environmental Noise Barriers* (2nd Edition). [https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781482266139](https://doi.org/10.1201/9781482266139)

Kinsler, L., & Frey, A. (1950). *Fundamentals of acoustics*. Wiley.

López, R. (2012). *Guía sobre Materiales Aislantes y Eficiencia Energética: Espuma de Poliestireno Expandido*. www.madrid.org

Lozano, L., & Rojas, E. (2019). *Elaboración de Paneles Termoaislantes para Cubierta a partir de Fibras de Bagazo de la Caña de Azúcar* [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia].

<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5731/Paneles%20termoaislantes%20de%20fibras%20de%20bagazo%20de%20la%20caña%20de%20azúcar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Manalindo, A. Y., Arani, A. R., & Quijano, W. (2023). Fabrication and analysis of thermal insulation ceiling panel from corn husk fiber. *Key Engineering Materials*, 953, 113–120. <https://doi.org/10.4028/p-wzsx92>

Martillo, J., Lesme, R., & Oliva, L. (2020). Estimación del Potencial Energético de la Tusa en la Provincia de Los Ríos y Guayas, Ecuador. *Centro de Azúcar*. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n2/2223-4861-caz-47-02-11.pdf>

Mazur, K. E., Wardal, W. J., Barwicki, J., & Tseyko, M. (2025). Thermal Insulation of Agricultural Buildings Using Different Biomass Materials. *Energies*, 18(3), 636. <https://doi.org/10.3390/en18030636>

Miyara, F. (2010). *Niveles Sonoros*. RTVE.es. <https://www.rtve.es/noticias/20100328/niveles-de-decibelios-db-en-nuestro-entorno/322078.shtml>

Monge, G. (2016). *Diseño de un panel sándwich semi-ligero con aislamiento de fibra natural proveniente del Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente en el mercado*,

en base a parámetros térmicos, acústicos y de respeto por el medio ambiente [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca].
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1131208>

Moreno, S., & Pizarro, Y. (2013). *Sustitución Parcial de la Harina de Coronta de Maíz Morado (Zea mays L.) por Harina de Trigo en las características tecnofuncionales del pan Artesanal* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1955/Moreno%20Ulloa%20-%20Pizarro%20Urete.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Münzel, T., Schmidt, F. P., Steven, S., Herzog, J., Daiber, A., & Sørensen, M. (2018). Environmental noise and the cardiovascular system. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688–697.
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.015>

Norma Chilena 851. (1983). *Aislación térmica: determinación de coeficientes de transmisión térmica por método de la cámara térmica*. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=283539>

Norma EM.110. (2016). Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética. *Reglamento Nacional de Edificaciones*, Art. EM.110.

- Ocaña, T. (2018). *Eficacia en la Atenuación del nivel de presión Sonora mediante Placas de Espiguilla de Trigo en el Colegio Politécnico del Callao Carmen de La Legua - Callao, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20213/Ocaña_PTD.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Okeke, F. O., Ahmed, A., Imam, A., & Hassanin, H. (2024). A review of corncob-based building materials as a sustainable solution for the building and construction industry. *Hybrid Advances*, 6, 100269.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100269>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Environmental noise guidelines for the European region. World Health Organization.
- Peña, O. (2018). *Diseño de un aislante térmico a base de fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en la comunidad de Cupisa* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
<https://doi.org/10.19083/tesis/625185>
- Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128376.
- Puma, R. (2022). *Atenuación de nivel de ruido a través de Barreras Acústicas de Panca de Maíz en el colegio Carlos Armando Laura,*

Tacna, 2022 [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna].

file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Puma-Condori-Rafael.pdf

Ramos, E., Ocupa, D., Molina, J., Natividad, J., Espinoza, R., & Prieto, R. (2013). *Acondicionamiento Térmico para Edificaciones Rurales Altoandinas [Ponencia]*. XX Simposio Peruano de Energía Solar, Tacna, Perú.

Ramos, A., Briga-Sá, A., Pereira, S., Correia, M., Pinto, J., Bentes, I., & Teixeira, C. A. (2021). Thermal performance and life cycle assessment of corn cob particleboards. *Journal of Building Engineering*, 44, 102998. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102998>

Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, El Peruano (2003).

Romero-Morte, J., & de Elguea-Culebras, G. O. (2025). Phenological description of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle using the BBCH-scale: Groundwork for developing strategies to control invasive species and mitigate potential allergy risks. *Urban Forestry & Urban Greening*, 113, 129090. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.129090>

- Sanchez, K. K. (2018). Eficiencia de planchas acústicas a base de cuatro tipos de residuos orgánicos para reducir niveles de ruido [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
- Sotomayor, K., Martínez, R., & Delgado, F. (2020). Propagación acústica en materiales porosos. *Revista de Ingeniería Aplicada*, 14(2), 45–58.
- Standardization Administration of China [SAC] (2008). Environmental quality standard for noise (GB 3096-2008).
- TEXSA S.A. (2009). *Sistemas de Aislamiento Acústico para obra nueva y rehabilitación*.
- Tobio, J. (1970). Aislamiento acústico. *Informes de la Construcción*, 23, 55–85. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
- United Nations Environment Programme. (2022). Global status report for buildings and construction 2022.
- Viel, M., Collet, F., & Lanos, C. (2019). Development and characterization of thermal insulation materials from renewable resources. *Construction and Building Materials*, 214, 685–697. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.139>
- Vinueza, B. (2020). *Composición Química de residuos Agroindustriales del Maíz (Zea mays) (cáscara, pelusa, tusa y panca) utilizados en la alimentación de rumiantes* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica

Estatad de Quevedo]. <https://docplayer.es/209551619-Universidad-tecnica-estatal-de-quevedo.html>

Yucra, S. (2019). *Tecnología del concreto Celular utilizando Totora (Schoenoplectus Californicus), como Aislante Térmico para albañilería no Estructural* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://core.ac.uk/download/587979740.pdf>

Zulkufli, M. F. A., Khairun Nizam, M. F., Roslan, M. R., Bujang, H., & Mokhtar, M. (2023). The performance of corn husk with rockwool and egg tray as acoustic panel. *Multidisciplinary Applied Research and Innovation*, 4(2), 85–91. <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/mari/article/view/8418>

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Título: Evaluación de paneles de aislamiento térmico y acústico a base de tusa de maíz en Tacna

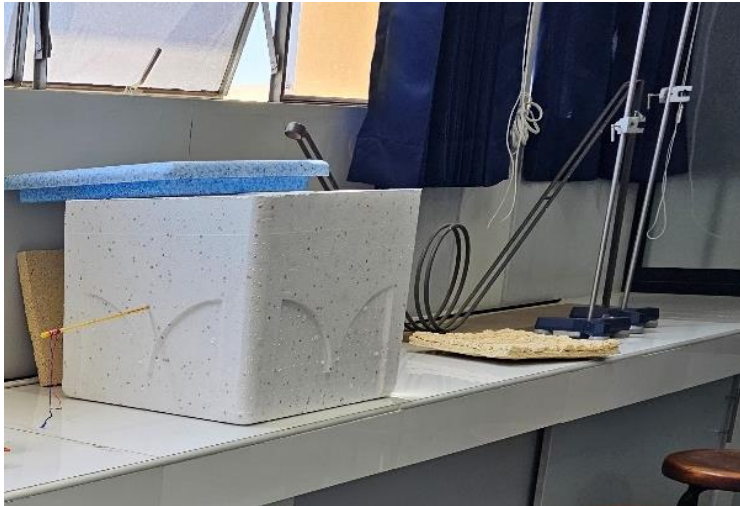
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	- Geometría y dimensiones - Propiedades físicas - Composición material	Espesor (mm) Densidad (kg/m³) Porosidad (%) Cenizas (%) Tusa de maíz (%) Aglutinante (%)
¿Qué efecto tiene el uso de paneles a base de tusa de maíz en el aislamiento térmico y acústico en Tacna?	Evaluar el uso de paneles a base de tusa de maíz en el aislamiento térmico y acústico en Tacna.	Si se evalúa el uso de paneles a base de tusa de maíz en el aislamiento térmico y acústico en Tacna, se determina el mejor.	Y₁: Paneles aislantes de tusa de maíz		
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables dependientes	- Conductividad térmica - Resistencia térmica - Transmitancia térmica - Absorción acústica - Atenuación sonora	Valor λ (W/m.°K) Valor R (m².°K/W) Valor U (W/m².°K) Coeficiente de absorción acústica (α) Nivel de presión sonora equivalente L _{eq} (dB)
¿Cuál es el efecto de dos prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa de maíz sobre el aislamiento térmico? ¿Cuál es el efecto de dos prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa de maíz sobre el aislamiento acústico?	- Determinar el efecto de dos prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa de maíz sobre el aislamiento térmico. - Determinar el efecto de dos prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa de maíz sobre el aislamiento acústico.	- Los prototipos con espesor de 20 mm y 30 mm de paneles a base de tusa de maíz tiene efecto sobre el aislamiento térmico - Los prototipos con y sin relieve de paneles a base de tusa de maíz tiene efecto sobre el aislamiento acústico.	X₁: Aislamiento térmico X₂: Aislamiento acústico		
Método y diseño		Población y muestra		Técnicas e instrumentos	
Tipo de investigación	Experimental	Población	Residuos orgánicos de maíz provenientes del Mercado Mayorista Grau	Técnica	Observación experimental
Diseño de investigación	Aplicativo	Muestra	20 kg	Instrumentos	Ficha de registro
Diseño	DCA con 2 tratamientos y 5 repeticiones (térmico) y 3 repeticiones (acústico), y con un diseño factorial de 3x2, con 3 repeticiones (acústico)			Tratamiento estadístico	Jamovi 2.6.44

Anexo 2

Galería de fotos

Foto 01

Inicio de pruebas en el laboratorio de Física en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann



Nota: En la fotografía se los equipos empleados en el laboratorio de física.

Foto 02

Paneles aislantes y vernier digital



Nota: En la fotografía se observa los paneles a punto de ser dimensionados.

Foto 03

Fotografías de la toma de dimensiones de los paneles aislantes



Nota: En la fotografía A y B, se mide el largo y ancho del panel con la toma de la fotografía correspondiente.

Foto 04

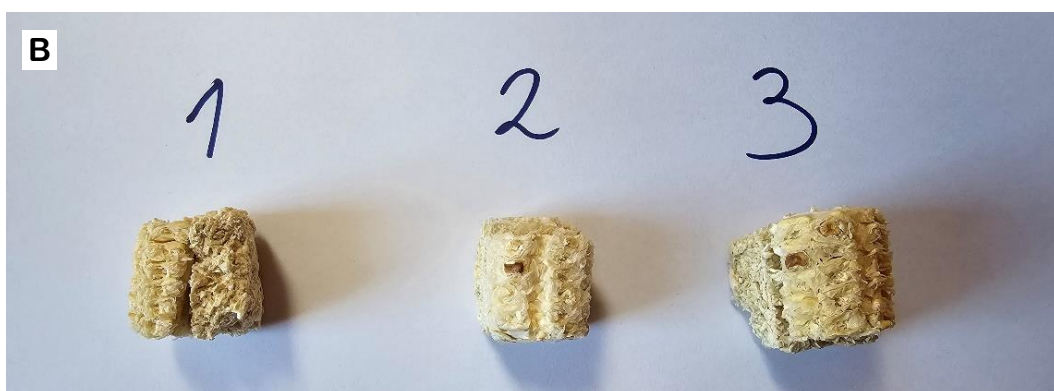
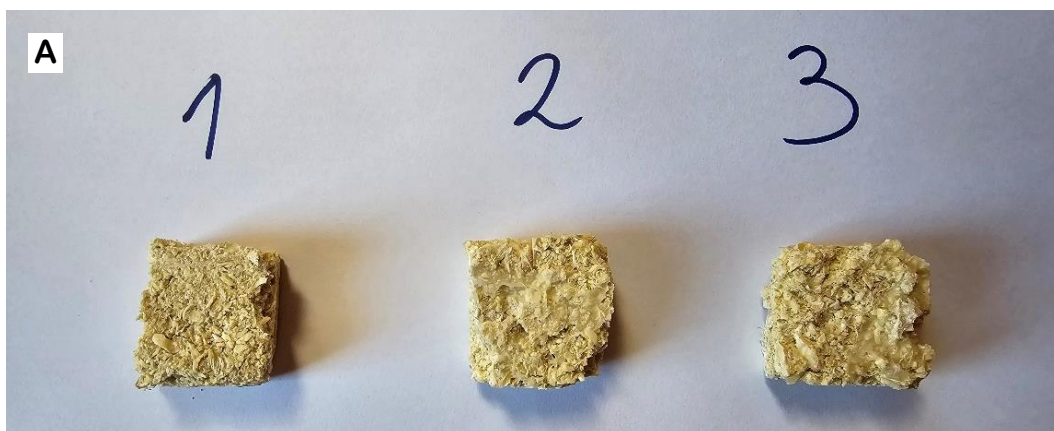
Fotografías del análisis de peso de los paneles aislantes



Nota: En la fotografía A y B, se observa el proceso de pesado de los paneles.

Foto 05

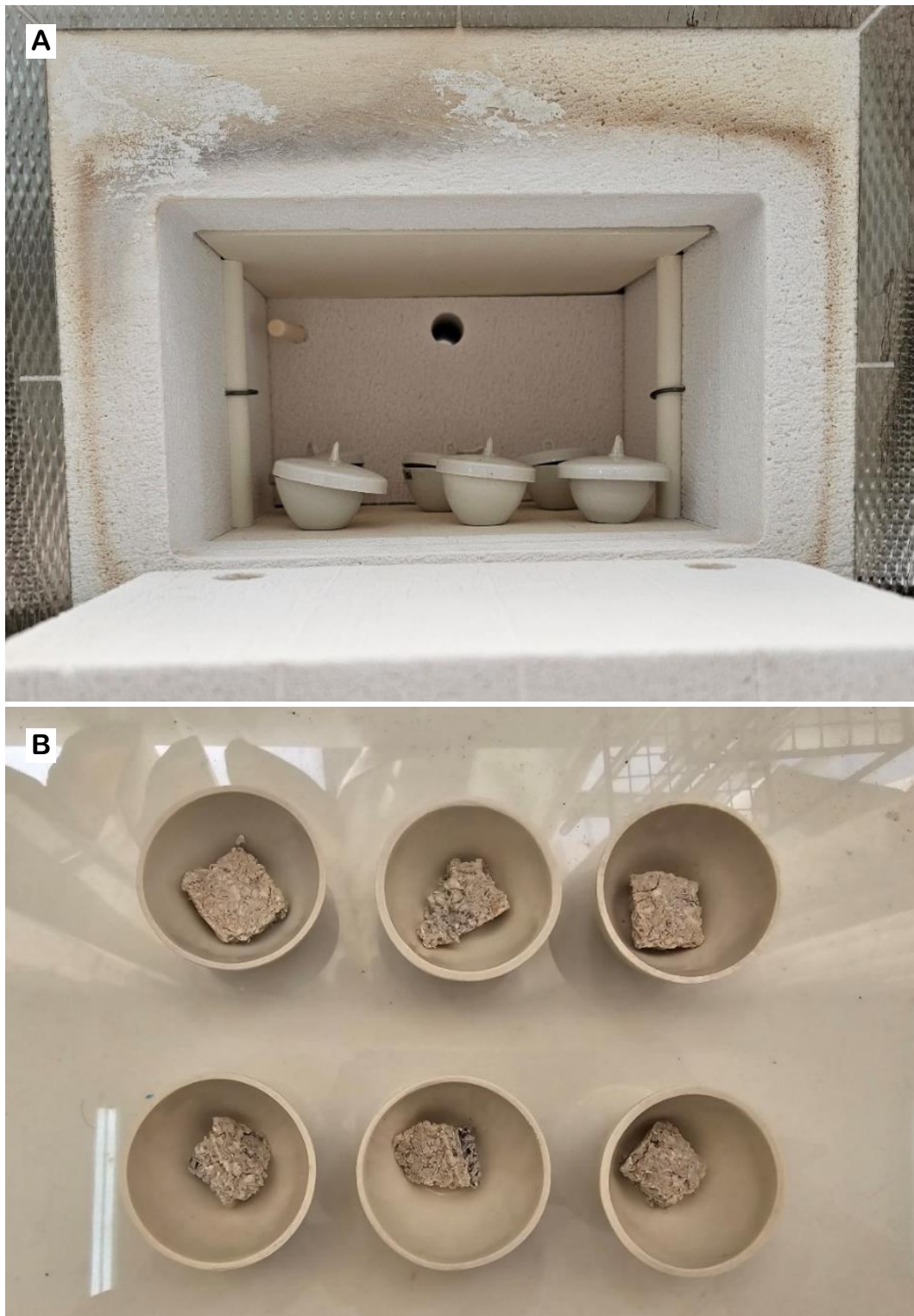
Fotografías de las muestras de los paneles aislantes con y sin relieve



Nota: En la fotografía A y B, se observan las muestras empleadas para la determinación de densidad, porosidad y cenizas. En la fotografía C se visualiza el proceso de enfriamiento en al desecadora.

Foto 06

Mufla con muestras de los paneles



Nota: En la fotografía A y B, se observan las muestras empleadas siendo llevadas a la mufla y después pesadas en la balanza analítica.

Foto 07

Equipos de laboratorio



Nota: En la fotografía A y B, se visualiza el pesado de las muestras de su masa a temperatura ambiente.

Foto 08

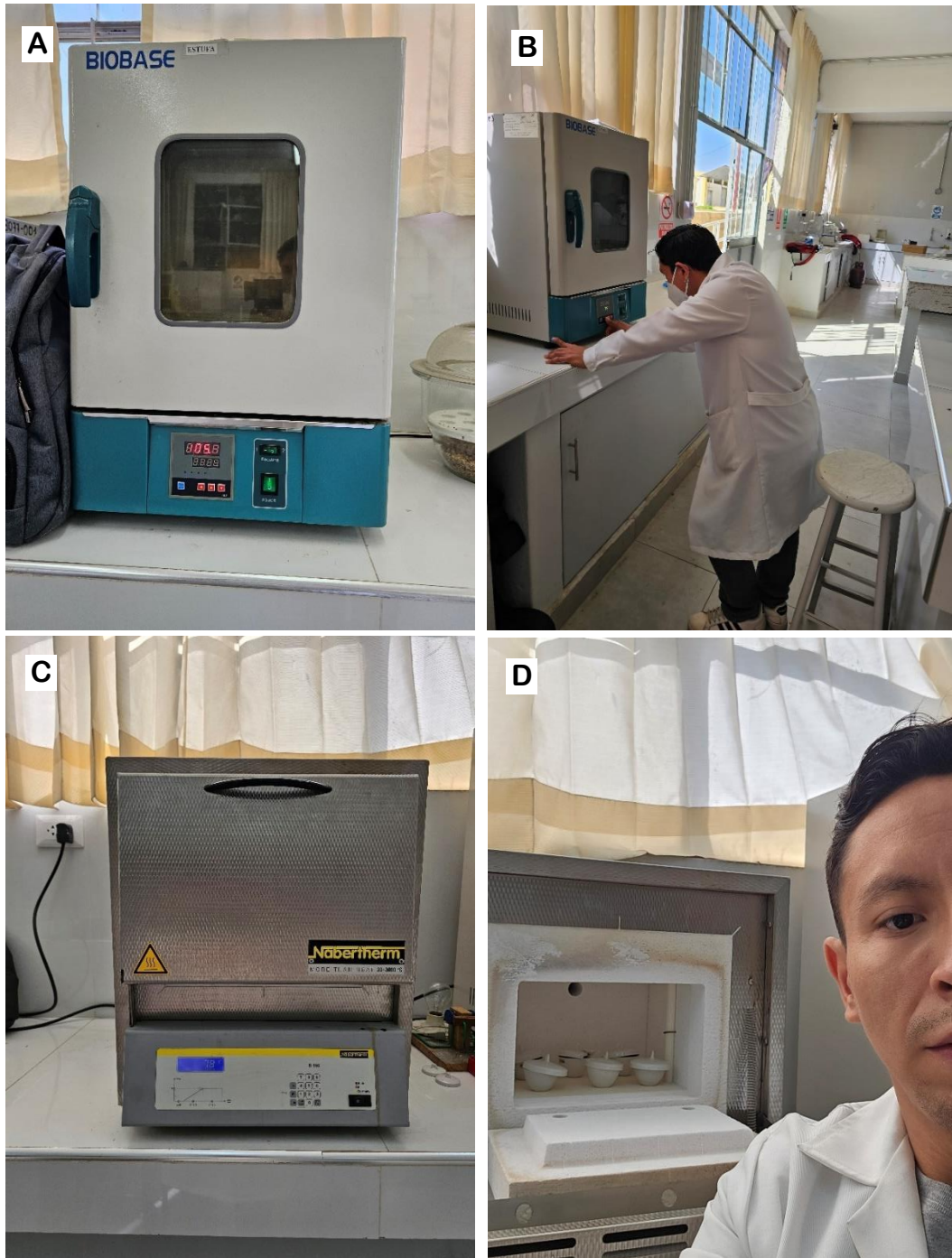
Estufa con muestras de los paneles



Nota: En la fotografía A y B, se visualiza el pesado de las muestras de su masa seca para su posterior pesado.

Foto 09

Programando la estufa y mufla



Nota: En la fotografía A y B, se observa la estufa en funcionamiento y programando la estufa. En la fotografía C y D se visualiza el uso de la mufla para su posterior pesado.

Foto 10

Muestras listas para su pesado



Nota: En la fotografía A se observa los materiales listos para el pesado de las cenizas.

Foto 11

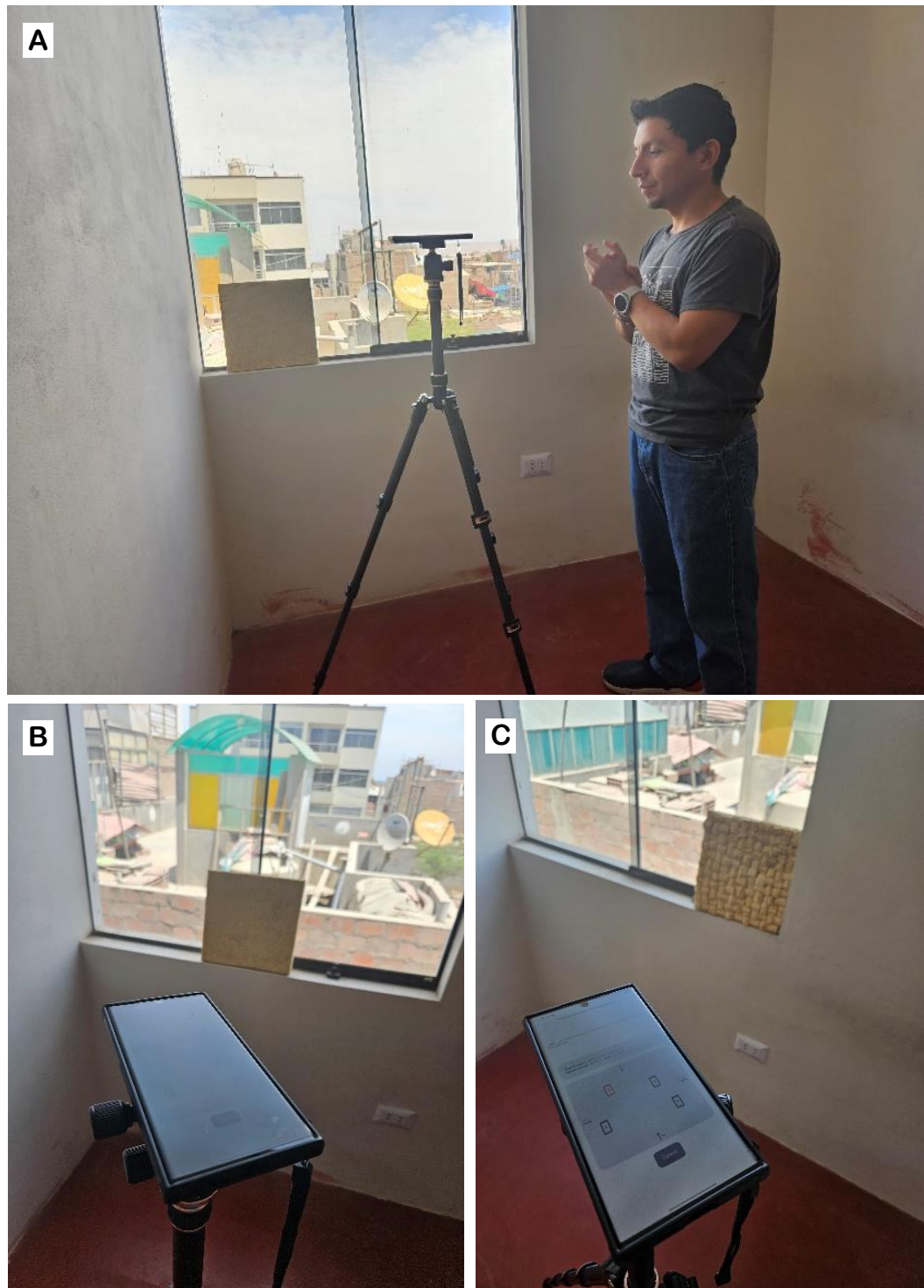
Toma de resultado de la evaluación aislamiento acústico



Nota: En la fotografía B, se visualiza el uso de la aplicación para la medida del tiempo de reverberación.

Foto 12

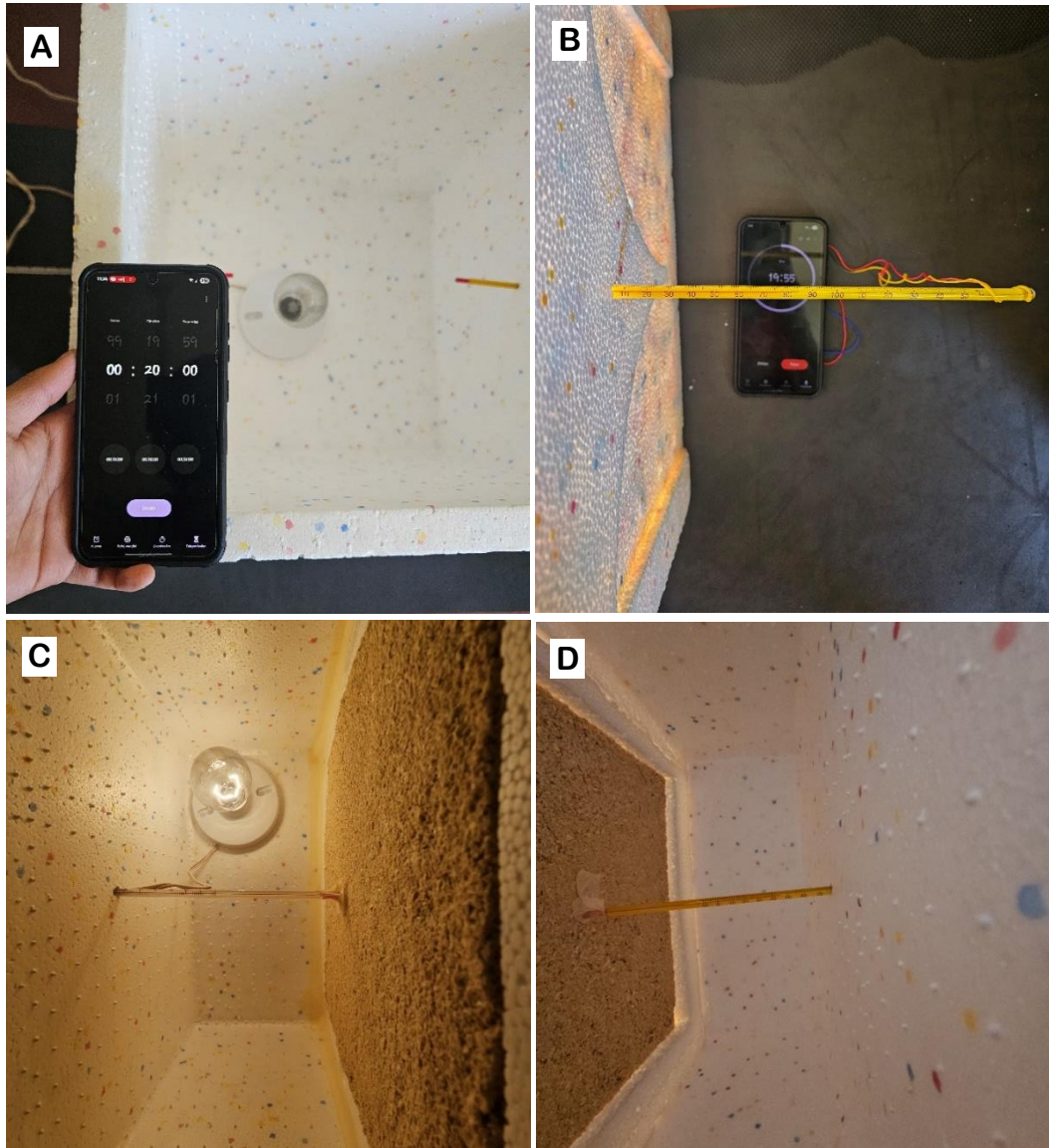
Pruebas de aislamiento acústico



Nota: En la fotografía A, B y C, se visualiza el uso de la aplicación para la medida del tiempo de reverberación, aplicando un aplauso como fuente sonora “impulso o detonación”.

Foto 13

Pruebas de aislamiento térmico y toma de resultados



Nota: En la fotografía A, B, C y D, procedimiento de toma de muestras para el determinar la conductividad térmica.

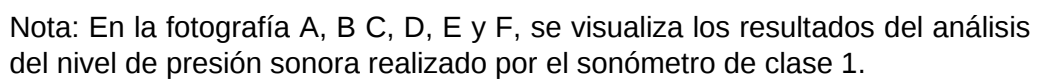
Foto 14

Prueba de nivel de presión sonora



Nota: En la fotografía A, B, C y D, se visualiza las pruebas realizadas para medir el nivel de presión sonora usando la caja de Tecnopor y el sonómetro en los paneles.

Mediciones realizadas por el sonómetro



Anexo 3

Cuadros de la toma de muestras

Temperatura máxima del sistema

Muestra	Tiempo (min)	Termómetro 2 (°C)	Termómetro 1 (°C)	$\Delta T = t_2 - t_1$ (°C)	Estado (Estable)
1	0	24	23	1	Inicial
1	5	50	49	1	No
1	10	63	61	2	No
1	15	72	70	2	No
1	20	76,5	73,5	3	No
1	25	79	76	3	No
1	30	80	77	3	No
1	35	81	77,5	3,5	No
1	40	81	78	3	Sí
1	45	81	78	3	Sí
2	0	22	22	0	Inicial
2	5	49	48	1	No
2	10	60	59	1	No
2	15	72	70	2	No
2	20	75	73	2	No
2	25	78	75	3	No
2	30	79,5	76,5	3	No
2	35	80,5	77	3,5	No
2	40	81	77,5	3,5	Sí
2	45	81	78	3	Sí
3	0	24	23,5	0,5	Inicial
3	5	48	46	2	No
3	10	63,5	61	2,5	No
3	15	72	69	3	No
3	20	76,5	73	3,5	No
3	25	78,5	76	2,5	No
3	30	80	77	3	No
3	35	81	77,5	3,5	No
3	40	81	77,5	3,5	Sí
3	45	81	78	3	Sí

Temperatura máxima del sistema sin paneles

Panel (mm)	Nº Repetición	Tiempo (min)	Termómetro 2 (°C)	Termómetro 1 (°C)	$\Delta T = t_2 - t_1$ (°C)
20	1	0	23,0	23,0	0
20	1	40	81,0	44,0	37
20	2	0	24,0	25,0	-1
20	2	40	81,5	45,0	36,5
20	3	0	23,0	23,0	0
20	3	40	81,0	44,0	37
20	4	0	21,0	25,0	-4
20	4	40	81,5	44,0	37,5
20	5	0	23,0	24,0	-1
20	5	40	82,0	45,0	37
30	1	0	23,0	23,0	0
30	1	40	82,0	42,0	40
30	2	0	24,0	24,0	0
30	2	40	82,0	41,5	40,5
30	3	0	24,0	25,0	-1
30	3	40	82,0	40,5	41,5
30	4	0	23,0	24,0	-1
30	4	40	81,0	39,5	41,5
30	5	0	22,0	24,0	-2
30	5	40	81,5	40,0	41,5

Niveles de presión sonora L_{eq} , L_{max} , L_{min} registrados

Distancia	Repetición	Grupo control			Grupo muestra					
					Sin relieve			Con relieve		
		L_{eq}	L_{max}	L_{min}	L_{eq}	L_{max}	L_{min}	L_{eq}	L_{max}	L_{min}
2 metros	1	62,7	63,3	62,1	55,9	56,4	55,3	56,0	56,7	55,3
	2	62,7	64,3	62,1	55,9	56,5	55,4	56,3	57,1	55,8
	3	62,6	63,4	62,1	55,7	56,2	55,2	55,6	56,3	55,2
5 metros	1	57,5	58,1	57,1	51,1	51,7	50,3	50,5	51,3	49,8
	2	57,9	58,4	57,1	51,2	52,0	50,1	50,6	51,5	50,0
	3	57,8	58,8	57,2	51,4	52,3	50,8	50,2	51,1	49,6

Anexo 4

Certificado de calibración del sonómetro



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 029



Registro N° LC - 029

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLAC-218-2025

1.- SOLICITANTE

Nombre: ECOTACNA SERVICIOS Y SOLUCIONES AMBIENTALES
SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Dirección: MZA. C LOTE. 13 URB. VILLA DEL SOL Tacna - Tacna -
Tacna
OTI: LC-241

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN Sonómetro

Marca: Hangzhou aihua Instruments
Modelo: AWA6228+
N° de Serie: 00322105
Clase: 1
Micrófono: AWA 14425
N° S. Micrófono: H-59359
Resolución: 0,1 dB
Procedencia: China

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

* El instrumento fue calibrado el 2025 - 04 - 14.

* La calibración se realizó en el Área de Electroacústica del Laboratorio OHLAB S.A.C.

Este certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales (INACAL) y/o internacionales.

OHLAB S.A.C. custodia, conserva y mantiene sus patrones en áreas con condiciones ambientales controladas, realiza mediciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.

OHLAB S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

4.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	22,2 °C	±	0,2 °C
Humedad	50,2 % HR	±	0,9 % HR
Presión	1007,4 hPa	±	0,2 hPa

Este Certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB S.A.C.. Certificado sin firma y sello carecen de validez. Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto. Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a calibración, el laboratorio OHLAB S.A.C. declina de toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciere de este certificado.

Fecha de emisión: 2025-04-21

Sello



OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Juan Diego Arribasplata
JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGIA



OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Laboratorio de Metrología
Avenida La Marina N° 365, La Perla Callao - Peru
Telf.: (01) 454 3009 Cel.: (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com

Pág. 1 de 9
FGC-144/JUNIO2023/Rev.01

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLAC-218-2025

5.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Según el PC-023 "PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SONÓMETROS del INACAL/DM" Y NORMA METROLÓGICA PERUANA NMP-011:2007 "ELECTROACÚSTICA. SONÓMETROS. PARTE 3 ENSAYOS PERIÓDICOS" (equivalente a la IEC 61672-3:2006)

6.- TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL - DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

N° de Certificado	Patrón utilizado	Marca	Modelo
LAC-057-2024	Calibrador Acústico multifunción	Brüel & Kjaer	4226
INACAL / DM			
LTF-C-058-2024	Generador de Formas de Ondas	KEYSIGHT	33512B
INACAL / DM			
LE-C-018-2024	Multímetro Digital	KEYSIGHT	34461A
INACAL / DM			
LAC-212-2022	Atenuador por pasos	KEYSIGHT	8495A
INACAL / DM			
LAC-018-2024	Amplificador de Tensión	KEYSIGHT	33502A
INACAL / DM			

OBSERVACIONES

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración está en función al uso y mantenimiento del equipo de medición.
- La incertidumbre de la medición ha sido determinada usando un factor de cobertura $k=2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.
- El sonómetro ensayado de acuerdo a la norma NMP-011-2007 cumple con las tolerancias para la clase 1 establecidas en la norma IEC 61672-1:2002.
- Este certificado de calibración modifica al Certificado de calibración OHLAC-208-2025, debido a la corrección de los datos del solicitante, esto a petición del usuario.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLAC-218-2025

7.- RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

7.1.- RUIDO INTRÍNSECO (dB)

Micrófono instalado (dB)	Límite max. en L_{aeq} (*) (dB)	Micrófono retirado (dB)	Límite max. en L_{aeq} (*) (dB)
9,8	27,0	8,2	23,0

Nota: La medición se realizó en el rango 19,0 dB a 131,0 dB con un tiempo de integración de 30 segundos.

(*) Datos tomados del Manual

- La medición con micrófono instalado se realizó con Cortaviento

- La medición con micrófono retirado se realizó con el adaptador capacitivo AWA ZS 0945

7.2.- ENSAYO CON SEÑAL ACÚSTICA

Ponderación frecuencial C con ponderación temporal F (L_{CF})

Frecuencia Hz	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
125	0,0	0,3	$\pm 1,5$
1000	0,0	0,3	$\pm 1,1$
8000	-0,6	0,3	+ 2,1; - 3,1

Señal de entrada: 1 kHz a 94 dB en el rango de 19 dB a 131 dB.

Antes de iniciar los ensayos el sonómetro fue ajustado al nivel de referencia dado en su manual: 94,0 dB a 1 kHz, con el calibrador acústico multifunción B&K 4226.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLAC-218-2025

7.3.- ENSAYO CON SEÑAL ELÉCTRICA

Ponderaciones frecuenciales

Señal de referencia: 1kHz a 45 dB por debajo del límite superior del rango de referencia (86 dB).

Ponderación A

Frecuencia (Hz)	Ponderación temporal F		Nivel continuo equivalente de presión acústica (eq)		Tolerancia*
	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	
63	-0,2	0,2	-0,2	0,2	± 1,5
125	-0,1	0,2	-0,1	0,2	± 1,5
250	-0,1	0,2	-0,1	0,2	± 1,4
500	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,4
2000	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,6
4000	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,6
8000	0,0	0,2	0,0	0,2	+ 2,1;- 3,1
16000	0,0	0,2	0,0	0,2	+ 3,5;- 17,0

Ponderación C

Frecuencia (Hz)	Ponderación temporal F		Nivel continuo equivalente de presión acústica (eq)		Tolerancia*
	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	
63	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,5
125	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,5
250	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,4
500	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,4
2000	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,6
4000	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,6
8000	0,0	0,2	0,0	0,2	+ 2,1;- 3,1
16000	0,0	0,2	0,0	0,2	+ 3,5;- 17,0

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLAC-218-2025

Ponderación Z

Frecuencia (Hz)	Ponderación temporal F		Nivel continuo equivalente de presión acústica (eq)		Tolerancia*
	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	
63	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,5
125	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,5
250	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,4
500	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,4
2000	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,6
4000	0,0	0,2	0,0	0,2	± 1,6
8000	0,0	0,2	0,0	0,2	+ 2,1;- 3,1
16000	-0,1	0,2	-0,1	0,2	+ 3,5;- 17,0

7.4.- PONDERACIONES DE FRECUENCIA Y TIEMPO A 1 kHz

- Señal de referencia: 1 kHz, señal sinusoidal.
- Nivel de presión acústica de referencia: 94 dB en el rango de referencia; función L_{AF}
- Desviación con relación a la función L_{AF}

Nivel de referencia (dB)	Función L_{CF}	Función L_{ZF}	Función L_{AS}	Función L_{Aeq}
94,0	94,0	94,0	94,0	94,0
Desviación (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0
Incertidumbre (dB)	0,2	0,2	0,2	0,2
Tolerancia* (dB)	± 0,4	± 0,4	± 0,3	± 0,3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

OHLAC-218-2025

7.5.- LINEALIDAD DE NIVEL EN EL RANGO DE NIVEL DE REFERENCIA

- Señal de referencia: 8 kHz, señal sinusoidal
- Nivel de presión acústica de partida: 94 dB en el rango de referencia; función L_{AF}
- Nivel de referencia para todo el rango de funcionamiento lineal:
Nivel de partida incrementado en 5 dB y luego en 1 dB hasta indicación de sobrecarga sin incluirla.
Nivel de partida disminuido en 5 dB y luego en 1 dB hasta indicación de insuficiencia sin incluirla.

Nivel de referencia (dB)	Medido (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
132	131,8	-0,2	0,2	± 1,1
131	130,8	-0,2	0,2	± 1,1
130	129,8	-0,2	0,2	± 1,1
129	128,8	-0,2	0,2	± 1,1
124	123,9	-0,1	0,2	± 1,1
119	118,9	-0,1	0,2	± 1,1
114	113,9	-0,1	0,2	± 1,1
109	108,9	-0,1	0,2	± 1,1
104	104,0	0,0	0,2	± 1,1
99	98,9	-0,1	0,2	± 1,1
94	94,0	0,0	0,2	± 1,1
89	89,0	0,0	0,2	± 1,1
84	84,0	0,0	0,2	± 1,1
79	79,0	0,0	0,2	± 1,1
74	74,0	0,0	0,2	± 1,1
69	69,0	0,0	0,2	± 1,1
64	64,0	0,0	0,2	± 1,1
59	59,0	0,0	0,2	± 1,1
54	54,0	0,0	0,2	± 1,1
49	49,1	0,1	0,2	± 1,1
44	44,1	0,1	0,2	± 1,1
39	39,1	0,1	0,2	± 1,1
34	34,1	0,1	0,2	± 1,1
29	29,1	0,1	0,2	± 1,1
24	24,1	0,1	0,2	± 1,1
23	23,0	0,0	0,2	± 1,1
22	22,0	0,0	0,2	± 1,1
21	21,0	0,0	0,2	± 1,1
20	20,1	0,1	0,2	± 1,1

Nota 1: Para los niveles de 94 dB hasta 20,1 dB se utilizó un atenuador de 40 dB

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLAC-218-2025

7.6.- LINEALIDAD DE NIVEL INCLUYENDO EL CONTROL DE RANGO DE NIVEL

- Señal de referencia: 1 kHz
- Nivel de referencia 94,0 dB en el rango de nivel de referencia (19,0 dB - 131,0 dB)
- Nivel Esperado: Indicación del nivel en el rango de nivel de referencia en la función LAF.

Linealidad al aplicar la señal de referencia sin variar su valor a todos los rangos en los cuales se pueda visualizar el nivel de entrada.

Rango de Medición	Nivel Esperado (dB)	Medido (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
low	94,0	94,0	0,0	0,2	± 1,1
High	94,0	94,0	0,0	0,2	± 1,1

Linealidad al aplicar la señal de referencia variando su nivel hasta 5,0 dB por debajo del límite superior del rango donde se puede visualizar el nivel de entrada.

Rango de Medición	Nivel Esperado (dB)	Medido (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
low	94,0	94,0	0,0	0,2	± 1,1
High	137,0	137,0	0,0	0,2	± 1,1

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

OHLAC-218-2025

7.7.- RESPUESTA A UN TREN DE ONDAS

- Señal de referencia: 4 kHz, señal sinusoidal permanente.
- Nivel de referencia: 3 dB por debajo del límite superior en el rango de referencia; función: L_{AF}

Función: L_{AFmax} (para la indicación del nivel correspondiente al tren de ondas)

Duración del tren (ms)	Nivel leído L_{AF} (dB)	Nivel leído L_{AFmax} (dB)	Desviación (D) (dB)	Rpts. Ref.* δ_{ref} (dB)	Diferencia (D - δ_{ref}) (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
200	128,0	127,0	-1,0	-1,0	0,0	0,2	$\pm 0,8$
2	128,0	110,0	-18,0	-18,0	0,0	0,2	+ 1,3; - 1,8
0,25	128,0	100,9	-27,1	-27,0	-0,1	0,2	+ 1,3; - 3,3

Función: L_{ASmax} (para la indicación del nivel correspondiente al tren de ondas)

Duración del tren (ms)	Nivel leído L_{AF} (dB)	Nivel leído L_{ASmax} (dB)	Desviación (D) (dB)	Rpts. Ref.* δ_{ref} (dB)	Diferencia (D - δ_{ref}) (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
200	128,0	120,7	-7,3	-7,4	0,1	0,2	$\pm 0,8$
2	128,0	101,0	-27,0	-27,0	0,0	0,2	+ 1,3; - 3,3

Función: L_{AE} (para la indicación del nivel correspondiente al tren de ondas)

Duración del tren (ms)	Nivel leído L_{AF} (dB)	Nivel leído L_{AE} (dB)	Desviación (D) (dB)	Rpts. Ref.* δ_{ref} (dB)	Diferencia (D - δ_{ref}) (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
200	128,0	121,0	-7,0	-7,0	0,0	0,2	$\pm 0,8$
2	128,0	101,0	-27,0	-27,0	0,0	0,2	+ 1,3; - 1,8
0,25	128,0	91,9	-36,1	-36,0	-0,1	0,2	+ 1,3; - 3,3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLAC-218-2025

7.8.- NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA DE PICO CON PONDERACIÓN C

- Señales de referencia: 8 kHz y 500 Hz, señal sinusoidal permanente.
- Nivel de referencia: 8 dB por debajo del límite superior en el rango de nivel menos sensible (19,0 dB a 131 dB)
función: L_{CF} .

Función: L_{Cpeak} , para la indicación del nivel correspondiente a 1 ciclo de la señal de 8 kHz;
1 semiciclo positivo⁺ y 1 semiciclo negativo⁻ de la señal de 500 Hz.

Señal de ensayo	Nivel leído L_{CF} (dB)	Nivel leído L_{Cpeak} (dB)	Desviación (D) (dB)	$L_{Cpeak} - L_{C-}^*$ (L) (dB)	Diferencia (D - L) (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
8 kHz	123,0	126,1	3,1	3,4	-0,3	0,4	± 2,4
500 Hz ⁺	123,0	124,5	1,5	2,4	-0,9	0,2	± 1,4
500 Hz ⁻	123,0	124,5	1,5	2,4	-0,9	0,2	± 1,4

7.9.- INDICACIÓN DE SOBRE CARGA

- Señal de referencia: 4 kHz, señal sinusoidal permanente.
- Nivel de referencia: 8 dB por debajo del límite superior en el rango de nivel menos sensible (19,0 dB a 131 dB)
función: L_{Aeq} .

Función: L_{Aeq} , para la indicación del nivel correspondiente a 1 semiciclo positivo⁺ y 1 semiciclo negativo⁻. Indicación de sobrecarga a los niveles leídos.

Nivel leído semiciclo + L_{Aeq} (dB)	Nivel leído semiciclo - L_{Aeq} (dB)	Diferencia (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
131,5	131,4	0,1	0,2	1,8

Nota:

- Los ensayos se realizaron con su preamplificador AWA14601E '414975.
- Se usó el manual Model AWA6228 Multifunction Sound Level Meter Instruction Manual V1.4.
- El sonómetro tiene grabada las designaciones IEC 61672-1: 2013 Class 1, IEC 61260-1: 2014 Class 1.
- Tolerancia* tomadas de la norma IEC 61672-1:2002 para sonómetros clase 1.

(Fin del documento)