



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

“CARACTERIZACION DE UN MATERIAL COMPUESTO PARA AISLAMIENTO ACUSTICO DE VENTANAS DE UNIDADES HABITACIONALES”

**TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO MECANICO**

FREDDY SEBASTIAN GARZON TIPAN

freddy.garzon@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. MARIA VERONICA SOTOMAYOR GRIJALVA, MSc.

veronica.sotomayor@epn.edu.ec

CODIRECTOR: Ing. PATRICIA ARACELLY RODRIGUEZ SALAZAR, PhD.

patricia.rodriguez@epn.edu.ec

Quito, Enero de 2022

CERTIFICACION

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. FREDDY SEBASTIAN GARZON TIPAN, bajo nuestra supervisión.

MARIA
VERONICA
SOTOMAYOR
GRIJALVA

Firmado digitalmente por MARIA
VERONICA SOTOMAYOR GRIJALVA
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=MARIA VERONICA
SOTOMAYOR GRIJALVA,
serialNumber=160421212034,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION
DE INFORMACION, o=SECURITY
DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2022.01.03 14:48:06 -05'00'

Ing. Verónica Sotomayor, MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO



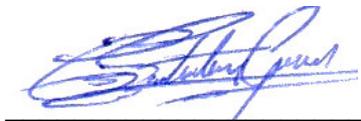
Ing. Patricia Rodríguez, PhD.

CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACION

Yo, **Freddy Sebastián Garzón Tipán**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Freddy Sebastián Garzón Tipán

DEDICATORIA

A mis padres, hermanas, abuelos, tíos, primos, amigos y compañeros que me apoyaron y estuvieron a mi lado durante toda mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, hermanas y a todos mis familiares que han estado a mi lado siempre, apoyándome y constantemente enseñándome a mejorar cada día, impulsándome a conseguir todo lo que me proponga con trabajo y dedicación. Gracias por estar en todos los momentos buenos y gracias por ayudarme a levantar nuevamente en todos los momentos no tan buenos. Gracias por todo el sacrificio que han hecho, gracias por todo el amor que me han dado y gracias por todos los valores y principios que me han enseñado siempre para poder ahora convertirme en Ingeniero de la Escuela Politécnica Nacional. Nada de esto sería posible sin ustedes a mi lado.

A la Ing. Verónica Sotomayor MSc. por haber confiado en mí para la elaboración de este proyecto de titulación y por su guía durante todo el desarrollo, fui afortunado de que pueda ser mi tutora en este proyecto. A la Ing. Patricia Rodríguez PhD. por su constante apoyo y sus consejos para siempre buscar mejorar este proyecto de titulación. Al ingeniero Santiago Camacho por toda la ayuda y facilidades que me brindó para desarrollar la parte práctica del proyecto de titulación.

INDICE

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCION	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
1. MARCO TEORICO	3
1.1. Contaminación acústica	3
1.1.1. Funcionamiento del oído.....	3
1.1.2. El sonido.....	4
1.1.3. Nivel de presión acústica.....	4
1.1.4. Ruido.....	6
1.1.5. Contaminación acústica de la ciudad: fuentes de ruido.....	7
1.1.6. Efectos del ruido.....	8
1.1.6.1. Malestar.....	8
1.1.6.2. Interferencia con la comunicación.....	8
1.1.6.3. Efectos sobre el sueño.....	9
1.1.6.4. Pérdida de audición.....	9
1.1.6.5. Estrés.....	9
1.1.6.6. Efectos en el rendimiento.....	10
1.2. Contaminación acústica de la ciudad	10
1.3. Mapa de ruido de Quito	11
1.4. Materiales acústicos, materiales absorbentes	16
1.4.1. Absorción.....	17
1.4.1.1. Materiales porosos.....	17
1.4.1.2. Trampas de graves.....	17
1.4.2. Difusión.....	17
1.4.3. Materiales acústicos.....	18
1.4.4. Cortinas y persianas acústicas.....	21
1.5. Materiales para la elaboración del material compuestos	22
1.5.1. Resina poliéster, MEK y cobalto.....	22
1.5.2. Corchos de vino.....	24
1.6. Materiales compuestos	25
1.6.1. Clasificación de materiales compuestos.....	25
1.6.1.1. Tipos de Matriz.....	25
1.6.1.2. Tipos de Refuerzo.....	26

1.6.2. Materiales compuestos eco amigables utilizados para aislamiento acústico ..	28
1.7. Reciclaje	28
1.7.1. Ventajas del reciclaje.....	28
1.7.2. Regla de las 4R	29
1.7.3. Reciclaje y contaminación	29
1.8. Aplicación de materiales reciclables	29
2. METODOLOGIA	30
2.1. Determinación de composición adecuada de resina, MEK y cobalto.....	33
2.2. Análisis y estudio de materiales reciclados como posibles refuerzos de material compuesto.....	36
2.3. Preparación previa del refuerzo (corchos de vino).....	40
2.4. Composición de material compuesto, material base y refuerzo	46
2.5. Fabricación de moldes de vidrio y elaboración final del material compuesto.....	48
2.6. Caracterización mecánica de las probetas	53
2.6.1. Ensayo de tracción	53
2.6.2. Ensayo de flexión	56
2.6.3. Ensayo de impacto	57
2.7. Protocolo de pruebas para ensayos acústicos	59
3. RESULTADOS Y DISCUSION	62
3.1. Estructura de material compuesto utilizando microscopia	62
3.2. Resultados y análisis de ensayos de flexión y tracción.....	72
3.3. Resultados y análisis de ensayo de impacto.....	75
3.4. Resultados de ensayos acústicos realizados	77
3.5. Selección de mejor material compuesto en base a método de criterios ponderados	88
3.6. Análisis de costos involucrados en la fabricación del material compuesto	92
4. CONCLUSIONES.....	95
5. RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	99
ANEXOS.....	105
ANEXO I. CARTA DE APROBACION PARA REALIZAR ENSAYOS DE TRACCION Y FLEXION EN EL CIAP.....	105
ANEXO II. DOCUMENTO DE ACEPTACION PARA REALIZAR ENSAYO DE IMPACTO EN EL LANUM	106

ANEXO III. RESULTADOS DE ENSAYO DE IMPACTO ENTREGADOS POR PARTE DEL LANUM	107
ANEXO IV. ENLACES DE VIDEOS PARA PRUEBAS ACUSTICAS	108

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Recomendación de porcentajes para preparación de resinas.....	24
Tabla 2.1. Cantidades utilizadas de cada elemento para fabricar el material compuesto.	51
Tabla 2.2. Medidas a utilizar en las probetas acorde a su espesor	54
Tabla 2.3. Dimensiones que se utilizan en probetas para ensayo de tracción.....	55
Tabla 2.4. Dimensiones que se utilizan en probetas para ensayo de flexión.....	57
Tabla 2.5. Dimensiones que se utilizan en probetas para ensayo de impacto.....	58
Tabla 3.1. Cantidad de burbujas halladas en 1mm ² de material compuesto.....	71
Tabla 3.2. Resultados de ensayo de flexión y tracción entregados por el CIAP.....	72
Tabla 3.3. Resultados del ensayo de impacto.....	75
Tabla 3.4. Resultados obtenidos de pruebas acústicas.	87
Tabla 3.5. Evaluación del peso específico de cada criterio.	89
Tabla 3.6. Evaluación de peso específico del criterio aislamiento acústico.	90
Tabla 3.7. Evaluación de peso específico del criterio translúcido.....	90
Tabla 3.8. Evaluación de peso específico del criterio aspecto estético.	90
Tabla 3.9. Evaluación de peso específico del criterio propiedades mecánicas.....	91
Tabla 3.10. Conclusión del método de criterios ponderados.	91
Tabla 3.11. Costos de materiales involucrados en la fabricación del compuesto.	92
Tabla 3.12. Precio final para obtener planchas de material compuesto para cubrir una ventana.	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Frecuencias percibidas por el hombre y otros mamíferos.....	3
Figura 1.2. Espectro audible para seres humanos.....	4
Figura 1.3. Intensidad del sonido percibida por el oído humano.....	5
Figura 1.4. Tipos de ruido	6
Figura 1.5. Mapa de ruido de Quito de 2009 durante la mañana.	12
Figura 1.6. Mapa de ruido de Quito de 2009 durante la tarde.	13
Figura 1.7. Mapa de ruido de Quito de 2009 durante la noche.....	14
Figura 1.8. Mapa de ruido de Quito sector la Mariscal de 2017 durante el día.	15
Figura 1.9. Mapa de ruido de Quito sector la Mariscal de 2017 durante la noche.	16
Figura 1.10. Difusor Skyline	18
Figura 1.11. Difusor Space Array.....	18
Figura 1.12. Espuma acústica.....	19
Figura 1.13. Manta de lana de roca	19
Figura 1.14. Paneles acústicos	20
Figura 1.15. Tejidos acústicos en forma de persianas	20
Figura 1.16. Vinilo de alta densidad.....	21
Figura 1.17. Ventanas acústicas.....	21
Figura 1.18. Cortinas acústicas.....	22
Figura 1.19. Bosque de Alcornoque.....	24
Figura 2.1. Diagrama de flujo para la obtención de material compuesto con resina poliéster y corchos de vino.....	32
Figura 2.2. Resina Poliéster.	33
Figura 2.3. Cobalto y MEK.	34
Figura 2.4. Combinación resina, MEK y cobalto.....	35
Figura 2.5. Balanza CAMRY.	35
Figura 2.6. Proceso de corte y separación de sobrante de cigarrillo del filtro.	36
Figura 2.7. Filtros de cigarrillo en agua destilada.	37
Figura 2.8. Filtros de cigarrillo en etanol.....	37
Figura 2.9. Filtros de cigarrillo descontaminados secándose	37
Figura 2.10. Filtros de cigarrillo descontaminados listos para ser utilizados como refuerzo.....	38
Figura 2.11. Resultado de material compuesto con filtros de cigarrillo (lado A).....	39
Figura 2.12. Resultado de material compuesto con filtros de cigarrillo (lado B).....	39
Figura 2.13. Corchos reciclados.	40
Figura 2.14. Molino de discos.	41

Figura 2.15. Interior de molino de discos.....	41
Figura 2.16. Corchos triturados en molino de discos	42
Figura 2.17. Molino de cuchillas.....	42
Figura 2.18. Garganta de alimentación de molino de cuchillas.....	43
Figura 2.19. Interior de molino de cuchillas	43
Figura 2.20. Resultado de corcho triturado por molino de cuchillas	44
Figura 2.21. Tamices utilizados	45
Figura 2.22. Tamaño de grano de corcho A, B y C	45
Figura 2.23. Tamaño de grano de corcho D y E.....	46
Figura 2.24. Corcho triturado en molde	47
Figura 2.25. Primer intento de material compuesto.....	47
Figura 2.26. Segundo intento de material compuesto.....	48
Figura 2.27. Tercer intento de material compuesto, material compuesto obtenido correctamente.....	48
Figura 2.28. Cera desmoldante utilizada	49
Figura 2.29. Molde de vidrio.....	50
Figura 2.30. Molde de vidrio con cera desmoldante.....	51
Figura 2.31. Molde de vidrio con cera desmoldante limpia en la base.	51
Figura 2.32. Material compuesto distribuido en molde de vidrio	52
Figura 2.33. Material compuesto desmoldado en proceso de curación.	52
Figura 2.34. Material compuesto listo.	53
Figura 2.35. Gráfica de tipo de probetas	54
Figura 2.36. Probetas para ensayo de tracción de izquierda a derecha (B, C, D y E) .	55
Figura 2.37. Probetas para ensayo de flexión de izquierda a derecha (B, C, D y E) ...	57
Figura 2.38. Dimensiones de probeta y zona de impacto	58
Figura 2.39. Probetas para ensayo de impacto de izquierda a derecha (B, C, D y E) .	59
Figura 2.40. Caja de material compuesto para ensayos acústicos.....	59
Figura 2.41. Aplicación de sonómetros para medir dB.....	60
Figura 2.42. Fuente de sonido (parlante) y caja de material compuesto.....	61
Figura 3.1. Microscopio utilizado sobre el material compuesto.....	63
Figura 3.2. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano B.....	63
Figura 3.3. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano B procesada con ImageJ para conteo de burbujas.....	64
Figura 3.4. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano B.....	64
Figura 3.5. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano B procesada con ImageJ para conteo de burbujas.....	65
Figura 3.6. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano C.....	65

Figura 3.7. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano C procesada con ImageJ para conteo de burbujas.....	66
Figura 3.8. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano C.....	66
Figura 3.9. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano C procesada con ImageJ para conteo de burbujas.....	67
Figura 3.10. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano D.....	67
Figura 3.11. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano D procesada con ImageJ para conteo de burbujas.....	68
Figura 3.12. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano D.....	68
Figura 3.13. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano D procesada con ImageJ para conteo de burbujas.....	69
Figura 3.14. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano E.....	69
Figura 3.15. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano E procesada con ImageJ para conteo de burbujas.....	70
Figura 3.16. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano E.....	70
Figura 3.17. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano E procesada con ImageJ para conteo de burbujas.....	71
Figura 3.18. Resistencia a la flexión	72
Figura 3.19. Deformación por flexión	73
Figura 3.20. Resistencia a la tracción.....	74
Figura 3.21. Porcentaje de elongación	74
Figura 3.22. Cantidad de energía absorbida por metro.....	75
Figura 3.23. Cantidad de energía absorbida por metro cuadrado.	76
Figura 3.24. Prueba acústica 1 sin aislamiento	77
Figura 3.25. Prueba acústica 2 sin aislamiento	78
Figura 3.26. Prueba acústica 3 sin aislamiento	78
Figura 3.27. Prueba acústica 1 en material compuesto con tamaño de grano B.....	79
Figura 3.28. Prueba acústica 2 en material compuesto con tamaño de grano B.....	80
Figura 3.29. Prueba acústica 3 en material compuesto con tamaño de grano B.....	80
Figura 3.30. Prueba acústica 1 en material compuesto con tamaño de grano C.....	81
Figura 3.31. Prueba acústica 2 en material compuesto con tamaño de grano C.....	82
Figura 3.32. Prueba acústica 3 en material compuesto con tamaño de grano C.....	82
Figura 3.33. Prueba acústica 1 en material compuesto con tamaño de grano D.....	83
Figura 3.34. Prueba acústica 2 en material compuesto con tamaño de grano D.....	84
Figura 3.35. Prueba acústica 3 en material compuesto con tamaño de grano D.....	84
Figura 3.36. Prueba acústica 1 en material compuesto con tamaño de grano E.....	85
Figura 3.37. Prueba acústica 2 en material compuesto con tamaño de grano E.....	86

Figura 3.38. Prueba acústica 3 en material compuesto con tamaño de grano E	86
Figura 3.39. Cantidad de ruido que aísla el compuesto (dB)	87
Figura 3.40. Armazón de madera con planchas del material compuesto	93

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad elaborar y caracterizar un material compuesto como aislamiento acústico que se pueda utilizar en un futuro en las ventanas de viviendas a manera de persianas enfocadas en la necesidad de reducir la contaminación acústica generada por el ruido externo y que afecta a los habitantes de las viviendas aledañas. Para el material base se escogió resina poliéster por sus buenas propiedades y bajo costo, y como refuerzo se buscó un material con buenas propiedades de aislamiento acústico que pueda ser reciclado y reutilizado con el objetivo de ayudar de cierta forma con el impacto ambiental, determinando estas características en el corcho de vino, el cual fue triturado para obtener 4 tamaños de granos (B, C, D y E) obteniendo así 4 tipos de materiales compuestos. Para la caracterización mecánica se realizaron ensayos de tracción, flexión e impacto, también se elaboró un protocolo de pruebas para los ensayos acústicos, comprobando así que la combinación de matriz poliéster y corcho de vino contribuyen en gran medida a aislar el ruido, obteniendo el mejor resultado de atenuación del sonido (>30dB) a frecuencias medias y altas en el material compuesto con tamaño de grano C.

Palabras clave: acústico, aislamiento, compuesto, contaminación, material, ruido

ABSTRACT

The purpose of this work was to elaborate and characterize a composite material as acoustic insulation that can be used in the future in windows of houses as blinds focused on the need to reduce the acoustic pollution generated by external noise that affects the inhabitants of the neighboring houses. For the base material, polyester resin was chosen for its good properties and low cost, and as reinforcement a material with good acoustic insulation properties was sought that can be recycled and reused in order to help in a certain way with the environmental impact, determining these characteristics in the wine cork, which was crushed to obtain 4 sizes of grains (B, C, D and E), thus obtaining 4 types of composite materials. For the mechanical characterization, traction, bending and impact tests were carried out, a test protocol for acoustic tests was also elaborated, thus verifying that the combination of polyester matrix and wine cork contribute greatly to isolate noise, obtaining the best result of sound attenuation ($> 30\text{dB}$) at mid and high frequencies in the composite material with grain size C.

Keywords: acoustic, insulation, composite, pollution, material, noise.

CARACTERIZACION DE UN MATERIAL COMPUESTO PARA AISLAMIENTO ACUSTICO DE VENTANAS DE UNIDADES HABITACIONALES

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la contaminación acústica del país ha ido en aumento, siendo esta problemática de las menos atendidas por las autoridades. Existe un considerable aumento del parque automotor y es que, según un informe del INEC del 2019, el parque automotor de Ecuador aumentó en 1.4 millones de vehículos en tan sólo una década, con el aumento de edificios e industrias, sobre todo en las grandes ciudades convirtiendo a lugares de construcciones e industrias en fuentes de alto ruido. Además, en el país se han venido efectuando eventos sociales de aforo masivo al aire libre, afectando principalmente a zonas circundantes a proyectos habitacionales generando contaminación, especialmente auditiva. Esta clase de eventos, usualmente, extienden su horario hasta altas horas de la madrugada, impidiendo el descanso adecuado de los residentes. Por todas estas razones y más, la contaminación acústica en la actualidad implica un verdadero problema de salud en general para todos.

En el Ecuador se tiene un débil impulso del desarrollo y uso de materiales atenuantes de ruido, haciendo evidentes los sectores con necesidad de implementar este tipo de tecnologías. Lamentablemente, los materiales aislantes de sonido, concretamente persianas y cortinas acústicas, al ser productos relativamente nuevos tienen un costo elevado en el país.

Con el presente trabajo de titulación se pretende caracterizar un material compuesto buscando que se desempeñe correctamente como aislante acústico atenuando el ruido y al mismo tiempo presente un adecuado comportamiento mecánico de tal manera que pueda formar parte de una estructura. Para el refuerzo del material compuesto se utilizará material reciclado con el objetivo de disminuir costos en caso de futuras ventas del material y también para contribuir con el cuidado del medio ambiente; en este caso, corchos de vino que poseen buenas propiedades acústicas.

Se pretende que el material a pueda funcionar en un futuro como persianas acústicas, utilizándolas en ventanas de viviendas haciendo que sus habitantes vivan de forma confortable atenuando el sonido proveniente del exterior.

Pregunta de investigación

¿Se puede elaborar un material compuesto que proporcione un adecuado aislamiento acústico para futura aplicación en forma de persianas y cortinas en viviendas?

Objetivo general

Caracterizar un material compuesto para aislamiento acústico de ventanas de unidades habitacionales.

Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica de los principios básicos de contaminación acústica, atenuación del sonido.
- Establecer alternativas de materiales, de preferencia reciclables con características idóneas para aislamiento acústico en unidades habitacionales.
- Obtener el material compuesto optimizando las características mecánicas en base a formulaciones específicas.
- Desarrollar un protocolo de pruebas para comprobar el aislamiento acústico que ofrece el material mediante ensayos de contaminación acústica considerando los parámetros que intervienen.
- Realizar un análisis de costos involucrados.

1. MARCO TEORICO

1.1. Contaminación acústica

1.1.1. Funcionamiento del oído

La función del oído humano es transmitir los sonidos al cerebro y está dividido en oído externo, oído medio y oído interno. En la figura 1.1. se puede observar el campo auditivo humano, siendo un sistema sofisticado capaz de reconocer frecuencias acústicas que generalmente van de 20 a 20 000 Hz. Animales como murciélagos y delfines pueden percibir frecuencias por sobre los 20 000 Hz y animales como los elefantes y ballenas perciben frecuencias por debajo de los 20 Hz. El oído humano es sofisticado no por los márgenes de frecuencia que percibe o umbrales de audición sino por la capacidad que posee para distinguir los distintos timbres, producto de millones de años de evolución [1].

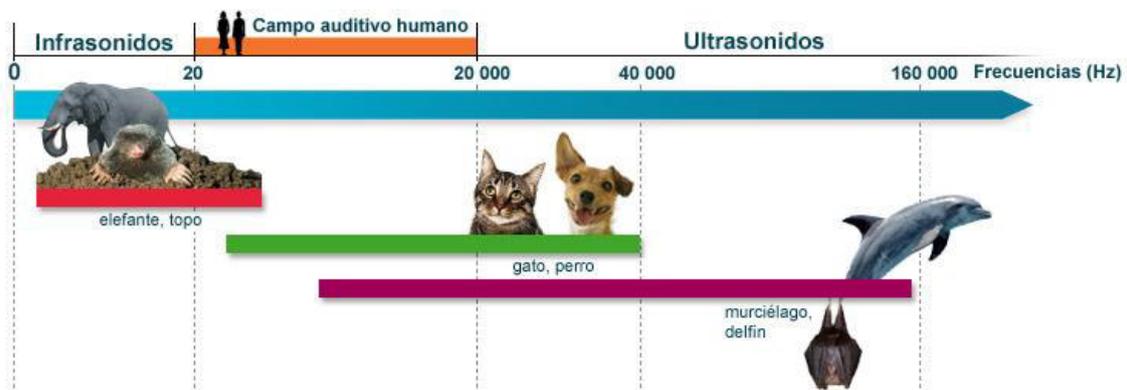


Figura 1.1. Frecuencias percibidas por el hombre y otros mamíferos.

(Fuente: [2])

Cada sonido tiene diferente frecuencia que afectará el tono en el que se escuche el mismo. Dependiendo la fuente que esté emitiendo el sonido, puede haber diferentes tipos de frecuencias entre: bajas o graves (20 – 400 Hz), medias (400 – 1 600 Hz) y altas o agudas (1 600 – 20 000 Hz) como se observa en la figura 1.2. [3].

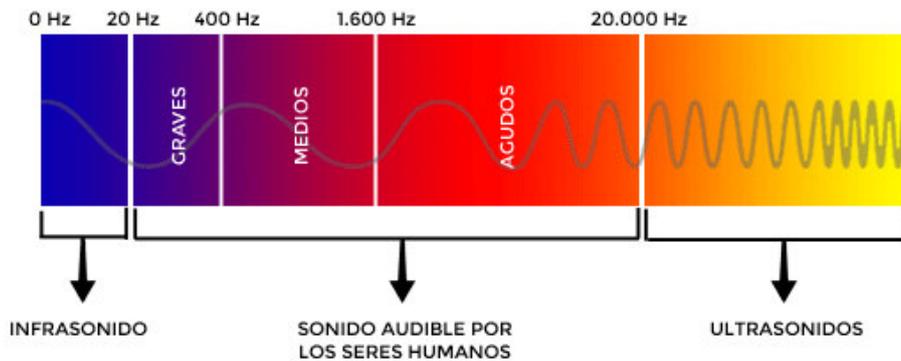


Figura 1.2. Espectro audible para seres humanos.

(Fuente: [3])

1.1.2. El sonido

Es el fenómeno físico que consiste en una onda mecánica longitudinal, la cual se propaga a través de un medio elástico, producida por un elemento en vibración capaz de producir sensación auditiva [4].

Las vibraciones se transmiten desde una fuente a través de un medio, que generalmente es el aire en forma de ondas sonoras. Se introducen por el oído hasta el cerebro donde llegan en forma de impulsos neuronales que finalmente generan la sensación sonora.

El medio que habitualmente utiliza el sonido es el aire. La velocidad del sonido en el aire aumentará a medida que aumente su temperatura; el fenómeno se propaga por la vibración de moléculas de aire que están ubicadas cerca del elemento vibrante. El paso de una onda sonora produce una onda de presión, la cual se propaga en el medio (aire). En condiciones normales de presión y temperatura, la velocidad de propagación en el aire es de 340 m/s. [4].

1.1.3. Nivel de presión acústica

Se define presión acústica como la diferencia en un instante dado entre presión instantánea y presión atmosférica. Varía con el transcurso del tiempo y son estas variaciones las que el oído humano percibe creando la sensación auditiva. Las ondas sonoras van disminuyendo con la distancia de la fuente y también pueden ser absorbidas o reflejadas por los obstáculos que estén a su paso [4].

Los sonidos más altos que se pueden soportar sin un dolor agudo del oído corresponden a aproximadamente 200 [Pa], mientras que los sonidos apenas audibles para un ser humano son de 20 [μPa].

Se creó una escala logarítmica conociendo la relación entre la presión sonora del sonido más intenso y del sonido más débil es de alrededor 1 000 000, y que la relación entre la presión acústica instantánea y la referencia de presión apenas audible es de 20 [μPa] información con la que se puede calcular el nivel de presión sonora que tiene como unidad el decibel [dB] y va en un rango de 0 a 120 dB. La ecuación para calcular el nivel de presión sonora es la siguiente:

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

Ecuación 1.1. Cálculo de nivel de presión sonora.

Donde : L_p = Nivel de presión sonora [dB]

P = Presión acústica instantánea [μPa], se la obtiene de un sonómetro

P_0 = Presión de referencia apenas audible, 20 [μPa] [5]

Se debe considerar que, si supera este rango, (0 a 120 dB), pueden existir daños intensos auditivos e irreparables como se observa en la figura 1.3.

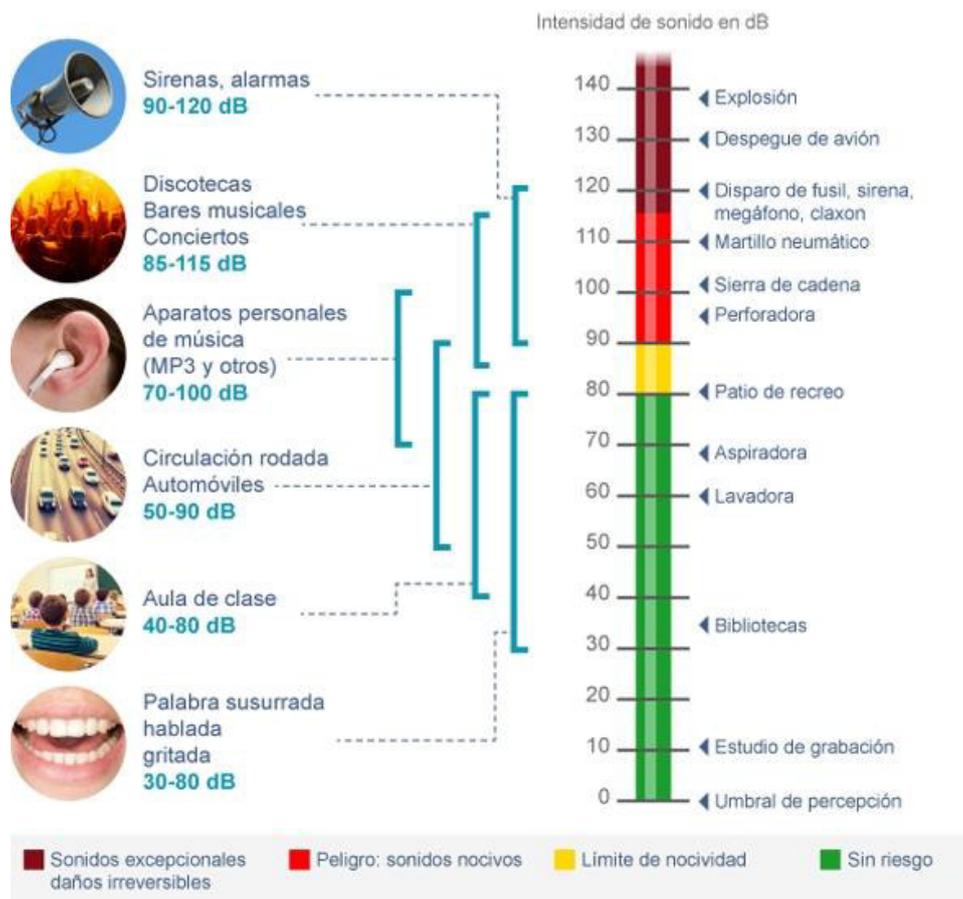


Figura 1.3. Intensidad del sonido percibida por el oído humano.

(Fuente: [2])

1.1.4. Ruido

Se define como un sonido no deseado, que es detectado por el oído y provoca una sensación de molestia. Este puede ser caracterizado por las frecuencias de los sonidos que lo componen y por la amplitud de la presión acústica correspondiente a cada frecuencia; al ser numerosas, se caracteriza al ruido por la repartición de energía sonora en bandas de frecuencias obteniendo lo que se conoce como el espectro de frecuencias, el cual varía aleatoriamente con el tiempo.

Existen variables que permiten diferenciar unos ruidos de otros ya sea por su composición en frecuencias, intensidad, cadencia y ritmo, etc. La figura 1.4. muestra una variedad de tipos de ruido [4].

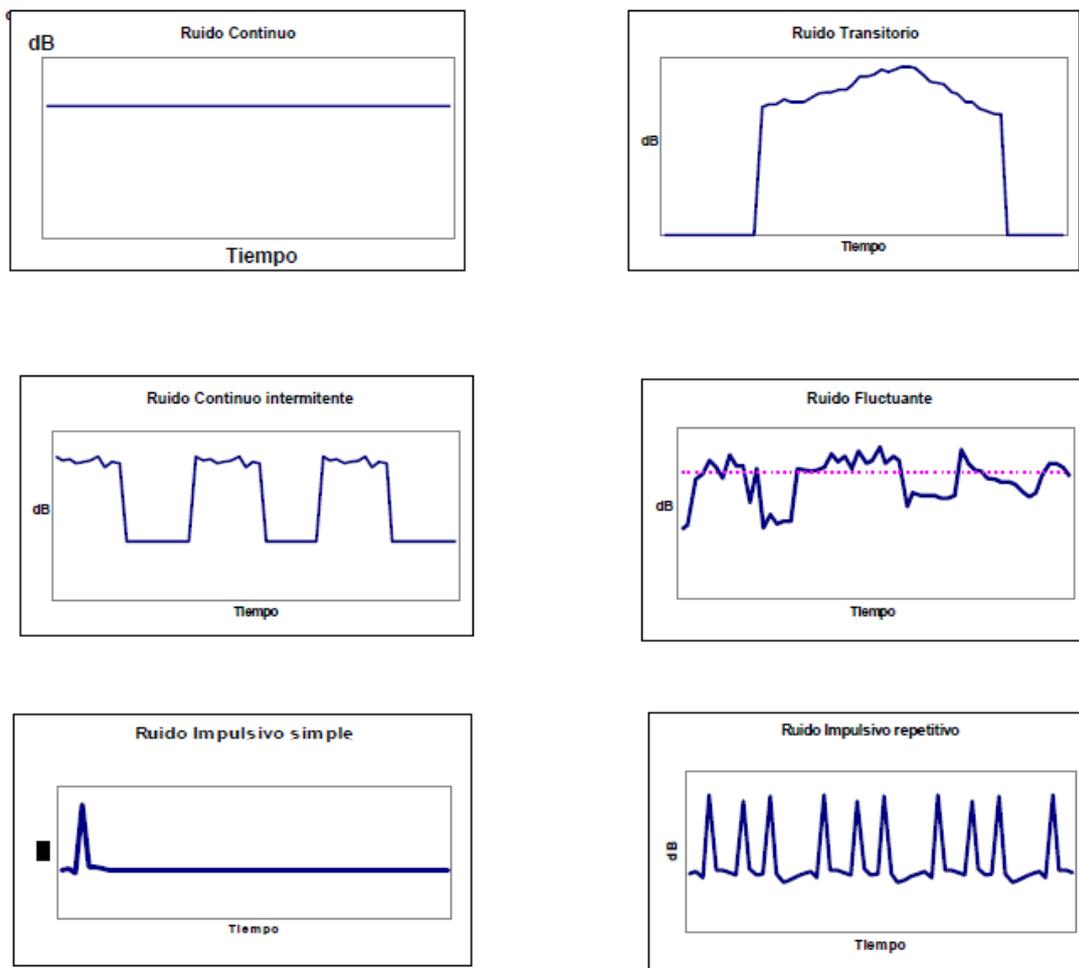


Figura 1.4. Tipos de ruido.

(Fuente: [4])

1.1.5. Contaminación acústica de la ciudad: fuentes de ruido

En las ciudades modernas existe gran variedad de fuentes que producen contaminación acústica, entre ellas están principalmente: las generadas por el tránsito vehicular, las industrias y el ruido generado por actividades como conciertos, discotecas, ferias, fiestas, etc. [6].

El ruido generado por tránsito vehicular se emite en frecuencias bajas y medias y depende de ciertos factores:

- El tipo y tamaño del vehículo, siendo sus principales fuentes de ruido el motor, transmisión del escape y turbulencias aerodinámicas.
- Flujo vehicular, el cual incide directamente en el ruido. En horas pico la contaminación acústica aumenta.
- Composición de tránsito ya sean motocicletas, automóviles, buses y camiones, también dependerá de la pendiente y el perfil de la vía.

Por otro lado, el ruido industrial se clasifica como el generado dentro de la industria y que se emite hacia el exterior de esta. Las frecuencias que emiten las máquinas y herramientas generalmente son altas. El ruido interno de una industria se encuentra normado por lo que se debe tener una exposición de máximo 8 horas diarias a niveles bajo los 85dBA para preservar la salud auditiva y utilizar tapones para oído todo el tiempo. El ruido externo incide directamente en las personas que viven en los alrededores de las industrias y entre más cerca se encuentre una vivienda más contaminación se generará [6].

En el caso de fiestas y lugares como discotecas, bares, conciertos, etc., se conoce que la mayoría de los instrumentos utilizados emiten sonidos a frecuencias medias y altas. Se puede medir la contaminación acústica que existe dentro de los locales y la contaminación externa. La Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene como criterio que un concierto no debe superar los 100 dB y al asistir al mismo solo deberá ser por un lapso de 4 horas y durante 4 veces al año. Aun así, se sabe que fácilmente una discoteca supera los 105 dB y las personas que asisten suelen estar presentes por más de 5 horas y alrededor de 50 veces al año.

El ruido externo influye directamente en las viviendas cercanas y si no existen obstáculos ni condiciones meteorológicas de importancia, el ruido se propagará en forma rectilínea reduciéndose aproximadamente 6 dB por cada duplicación de la distancia entre la fuente y el receptor. Las condiciones meteorológicas y térmicas

influyen considerablemente para una mayor o menor propagación del ruido desde su fuente [6].

1.1.6. Efectos del ruido

La contaminación acústica es uno de los grandes problemas en la sociedad moderna, sobre todo en las grandes ciudades. Según un estudio de la OMS publicado en 2020, solo en Europa causa al año más de 16 600 muertes prematuras y alrededor de 72 000 hospitalizaciones. El ruido se considera perjudicial desde los 75 dB y doloroso desde los 120 dB, por lo que no se debe superar los 53 dB durante el día y los 45 dB en la noche [7].

Se prevé que para 2050 haya casi 2500 millones de personas en el mundo con algún grado de pérdida de audición y que al menos 700 millones requerirán rehabilitación. Esto se puede deber a causas genéticas, enfermedades y van en aumento estos casos por contaminación acústica [7].

A continuación, se presentan los principales efectos que se presentan por la contaminación acústica.

1.1.6.1. Malestar

Este es considerado el efecto más común del ruido. Las personas afectadas por ruido generalmente demuestran intranquilidad, inquietud, depresión, desasosiego, ansiedad o enojo. No solo existe malestar por la intensidad del ruido y otras características menos apreciables, sino que se suele asociar al miedo con el ruido generado por la fuente [8].

1.1.6.2. Interferencia con la comunicación

Una conversación normal entre dos personas se da a una distancia de 1 metro y va entre los 50 dB y 55 dB; gritando se llega alrededor de los 75 dB; para que una conversación tenga un mensaje claro se requiere que la misma supere en 12 dB al ruido de fondo.

Con un ruido de fondo de 40 dB provocará dificultades en la comunicación, la cual se podrá resolver hablando con un tono de voz más alto. Si el ruido de fondo llega a superar los 65 dB, la conversación se tornará muy difícil. En lugares cercanos a aeropuertos, avenidas concurridas, zonas industriales o construcciones es muy difícil tener conversaciones claras. Esto puede ocurrir en establecimientos educativos donde se sabe que el ruido de fondo fácilmente supera los 60 dB dificultando la interacción

profesor – estudiante y por tanto comprometiendo el nivel de enseñanza, también puede ocasionar falta de concentración, sordera por exposición constante al ruido, estrés, irritabilidad y fatiga en los profesores [8].

1.1.6.3. Efectos sobre el sueño

El ruido puede producir interferencias en el mecanismo normal del sueño dificultando su ciclo normal, intensidad del sueño e interrupciones de este, también se puede presentar aumento de la presión arterial, aumento del ritmo cardiaco, arritmia cardiaca y cambios en la frecuencia respiratoria todos estos efectos se denominan “alteraciones primarias del sueño”.

Los efectos que se presentan en la mañana después de la exposición al ruido se denominan alteraciones secundarias y entre los principales efectos se encuentran fatiga, modificaciones del carácter y comportamiento y también alteración del bienestar. Finalmente, estudios recientes muestran posibles efectos a largo plazo, son menos conocidos, pero se manifiestan luego de periodos largos de exposición al ruido. [8].

1.1.6.4. Pérdida de audición

Este es el efecto más conocido producido por un constante ruido por sobre los 75 dB. El primer efecto es conocido como desplazamiento del umbral auditivo y generalmente todas las personas lo han experimentado. Es un taponamiento de oídos luego de un concierto, al salir de una discoteca, luego de un evento deportivo, etc. A las dos horas se recupera casi completamente la audición normal y a las 16 horas es completa, siempre y cuando se permanezca en un estado de confort acústico, máximo 50 dB en el día y 30 dB en la noche.

El desplazamiento permanente del umbral auditivo o hipoacusia aparece con el paso de los años a manera de lesión irreversible cuando se vuelve constante esta exposición a ruido prolongado sobre los 75 dB o ruidos de corta duración sobre los 110 dB y además no se da el tiempo necesario para que el oído pueda descansar y recuperarse [8].

1.1.6.5. Estrés

Las personas manifiestan estrés como respuesta fisiológica del organismo para defenderse ante factores agresivos del entorno físico, psicológico y social. El problema es cuando el estrés es constante, con el paso del tiempo desencadenará en diferentes enfermedades.

El estrés está relacionado a enfermedades cardiovasculares, alteración del sistema digestivo, defensas bajas del sistema inmunitario, alteraciones del aparato reproductor, etc. Varios científicos están de acuerdo en que el ruido puede actuar como un desencadenante de alteraciones permanentes en el organismo, se estima que personas constantemente expuestas a niveles de ruido sobre los 85 dB corren alto riesgo de sufrir afecciones cardiovasculares. Además, las personas sufren estrés con efectos a largo plazo menos conocidos cuando intentan descansar o concentrarse y se exponen a niveles de ruido sobre los 65 dB [8].

1.1.6.6. Efectos en el rendimiento

El ruido afecta directamente al rendimiento de niños y adultos en sus labores diarias, se sabe que suele ser ventajoso el aumento de ruido en actividades sencillas de corto plazo ya que aumenta la activación de la persona al desarrollar su trabajo. El problema está en tareas complejas (lectura, memorización, solución de problemas) donde se ve muy afectado el rendimiento [8].

1.2. Contaminación acústica de la ciudad

La contaminación acústica cada vez es más evidente en casi cualquier lugar de la ciudad. Las zonas donde más se evidencia esta contaminación son en los hogares cerca de industrias durante el día, como por ejemplo en Carcelén Industrial. Por las noches en las zonas cercanas a centros de diversión por ejemplo en La Mariscal, además también en zonas donde el tráfico vehicular contamina por sus altos dB durante todo el día, esta zona sería en la actualidad prácticamente en toda la ciudad [9].

A pesar de que en el país existen normativas legales que van en contra de la contaminación acústica, como el Reglamento Nacional de Control de Ruido el Manual Operativo, y la Ordenanza Municipal 0123 para la ciudad de Quito, estas no son correctamente aplicadas ni controladas. Por ejemplo, en el país el límite es 50 dB en zonas residenciales, aun así, el promedio suele oscilar entre 60 a 65 dB durante el día [9].

A la par de buscar nuevos materiales que ayuden a atenuar el ruido de la ciudad al interior de viviendas, también se debe buscar que las normas ya mencionadas sean garantizadas efectivamente y así disminuya la contaminación acústica de cierta manera.

Además de Quito existen otras ciudades con su propia normativa ambiental, como Cuenca, Ambato, Guayaquil, siendo esta última una ciudad donde se supera en 20 dB

el nivel de ruido recomendado por la OMS, llegando a 65 dB en el día y 50 dB durante la noche. La contaminación acústica de Quito, según estudios del Municipio es insoportable, molestando a la mayoría de sus ciudadanos, con un gran crecimiento de denuncias presentadas por personas que se han visto afectadas de distintas maneras por el ruido. Aunque se sabe que el ruido generado por industrias ha disminuido considerablemente en la ciudad, la contaminación acústica del tráfico vehicular ha ido en aumento por las constantes ventas de nuevos vehículos para transitar en la ciudad haciendo notable un aumento en la contaminación acústica de la ciudad [10].

1.3. Mapa de ruido de Quito

Los mapas de ruido son registros georreferenciados de información acústica pertinente obtenidos en un área geográfica determinada. Un mapa de ruido se puede obtener de diferentes maneras como por medición, simulación, predicción o cálculos.

El tener un mapa de ruido por medición permite conocer problemas de sonido de determinadas áreas y corregir zonas acústicas conflictivas. Un mapa de ruido obtenido mediante cálculos permite realizar una buena planificación de infraestructura urbana [8].

Gracias a la elaboración de mapas de ruido se puede identificar zonas más afectadas de la zona de estudio, determinar posibles causas de contaminación acústica en el lugar y también hacer predicciones [11].

En las imágenes a continuación se pueden observar mapas de ruido de la ciudad de Quito elaborado en el año 2009 en la Universidad Internacional SEK como tesis de titulación.

MAÑANA PROMEDIOS QUIMESTRALES

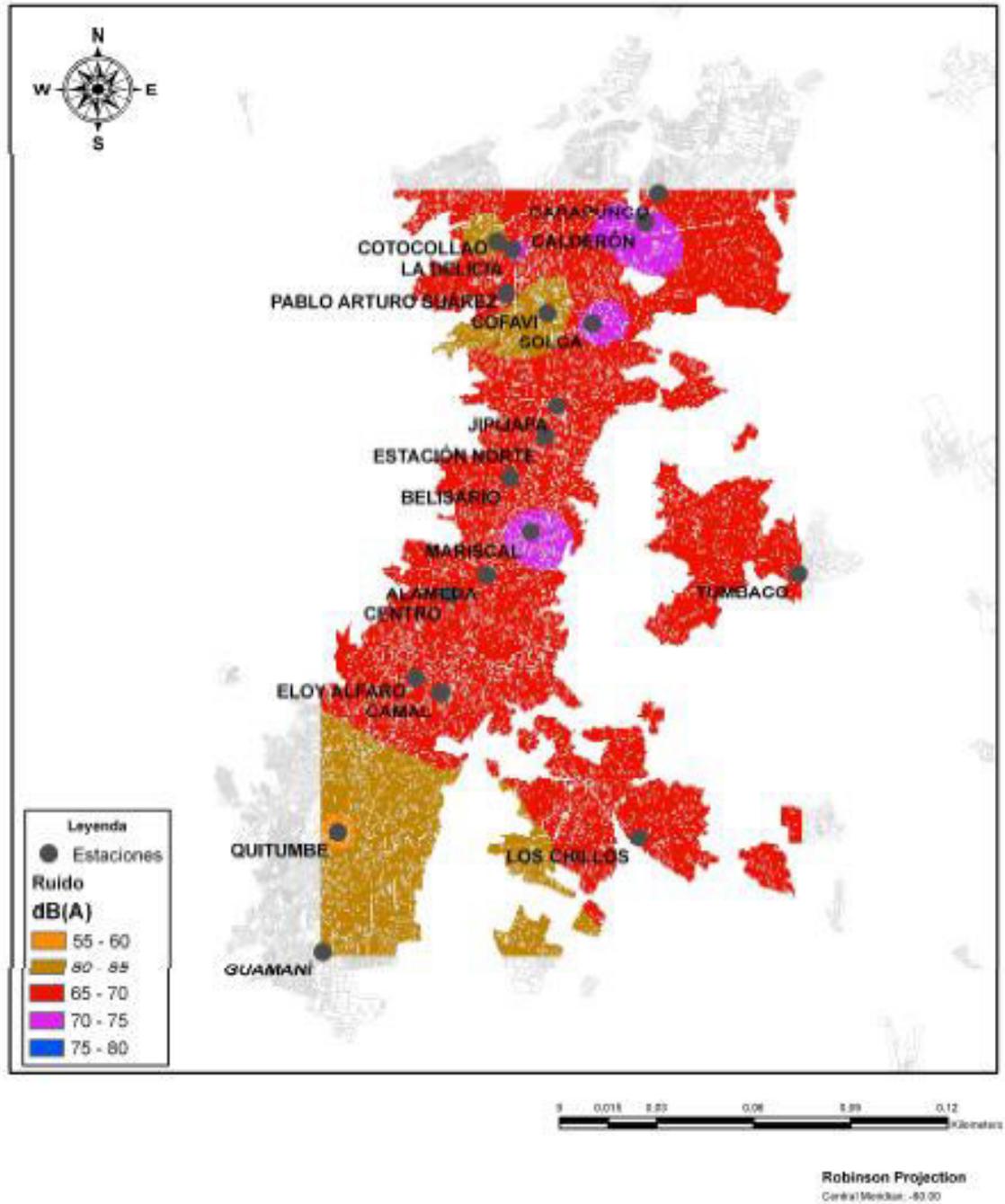


Figura 1.5. Mapa de ruido de Quito de 2009 durante la mañana.
(Fuente: [12])

TARDE PROMEDIOS QUIMESTRALES

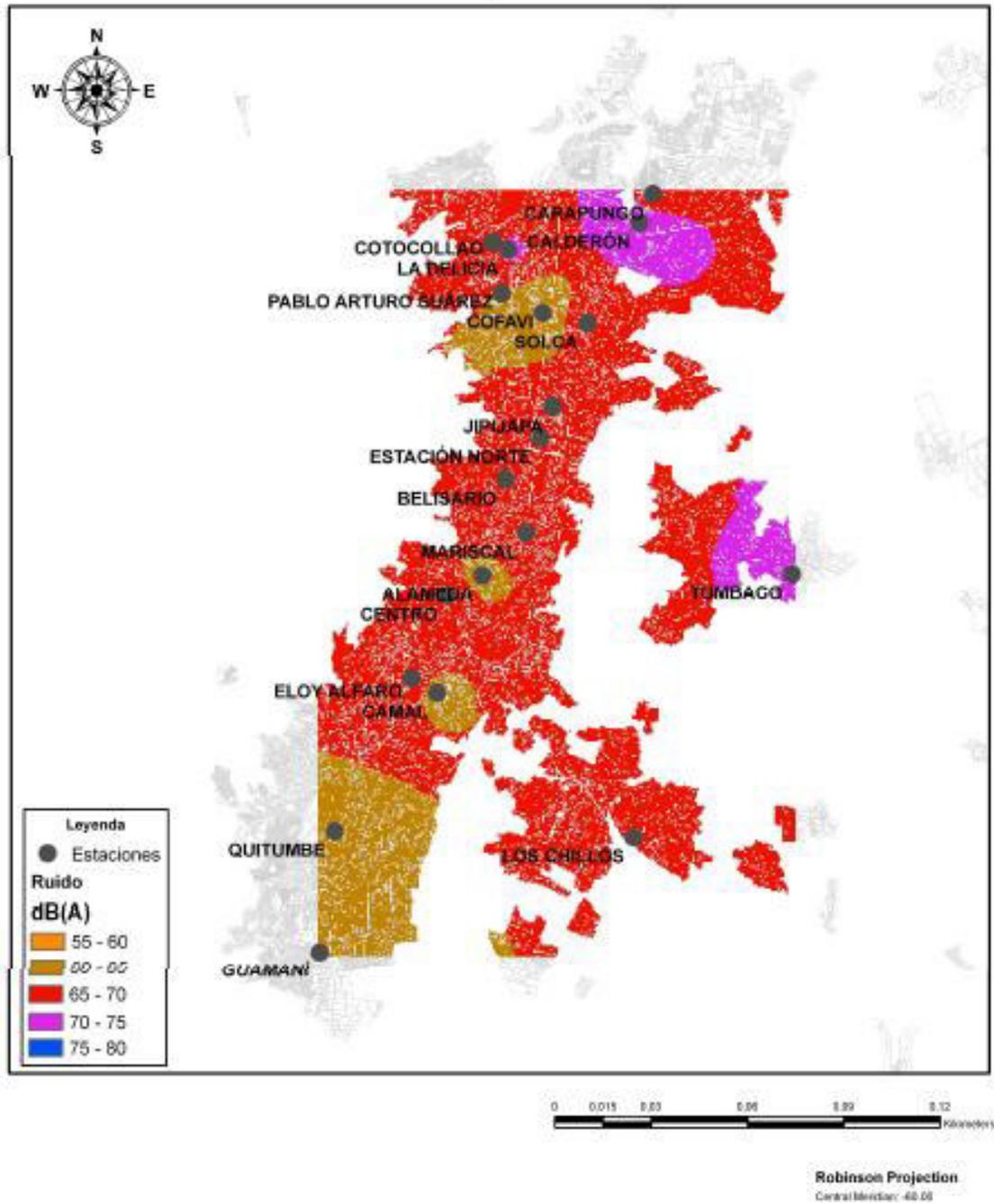


Figura 1.6. Mapa de ruido de Quito de 2009 durante la tarde.

(Fuente: [12])

NOCHE PROMEDIOS QUIMESTRALES

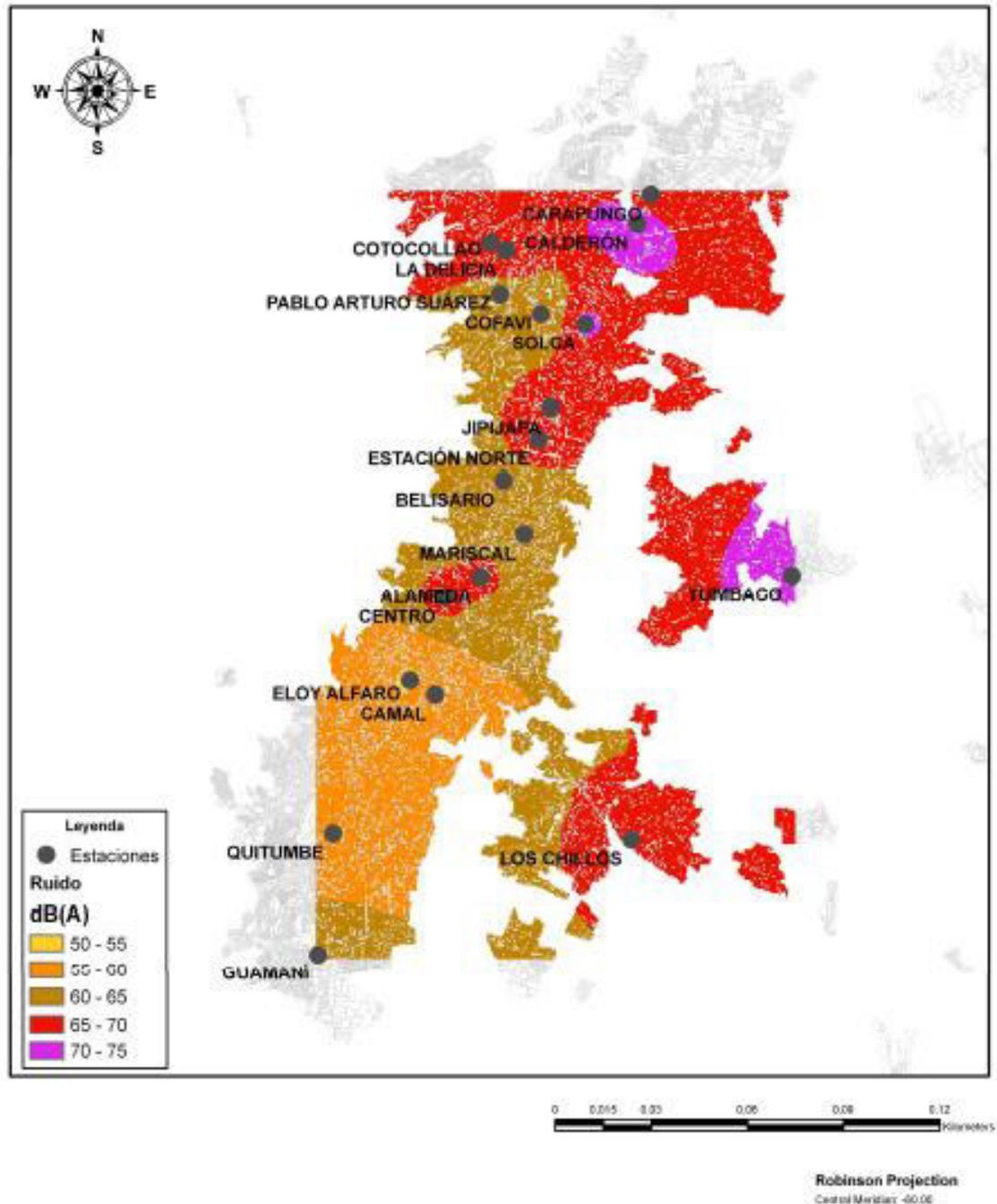


Figura 1.7. Mapa de ruido de Quito de 2009 durante la noche.

(Fuente: [12])

Como se pueden observar en las figuras 1.5, 1.6 y 1.7 los niveles de ruido en la mayoría de los lugares de Quito sobrepasan o están cerca de los límites recomendados por la OMS (65 dB durante el día y 55 dB durante la noche) convirtiendo a lugares cercanos a viviendas en zonas de alto ruido.

En las siguientes imágenes se presenta un mapa de ruido más detallado de una zona específica de la ciudad de Quito que generalmente presenta elevados niveles de contaminación acústica. Dicho lugar es La Mariscal, que es un sector turístico y de entretenimiento. El mapa fue elaborado en el año 2017 en la Universidad de las Américas como trabajo de titulación.

EVALUACIÓN DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN SECTORES TURÍSTICOS Y DE ENTRETENIMIENTO
 MAPA DE RUIDO PARROQUIA MARISCAL SUCRE QUITO ECUADOR

3

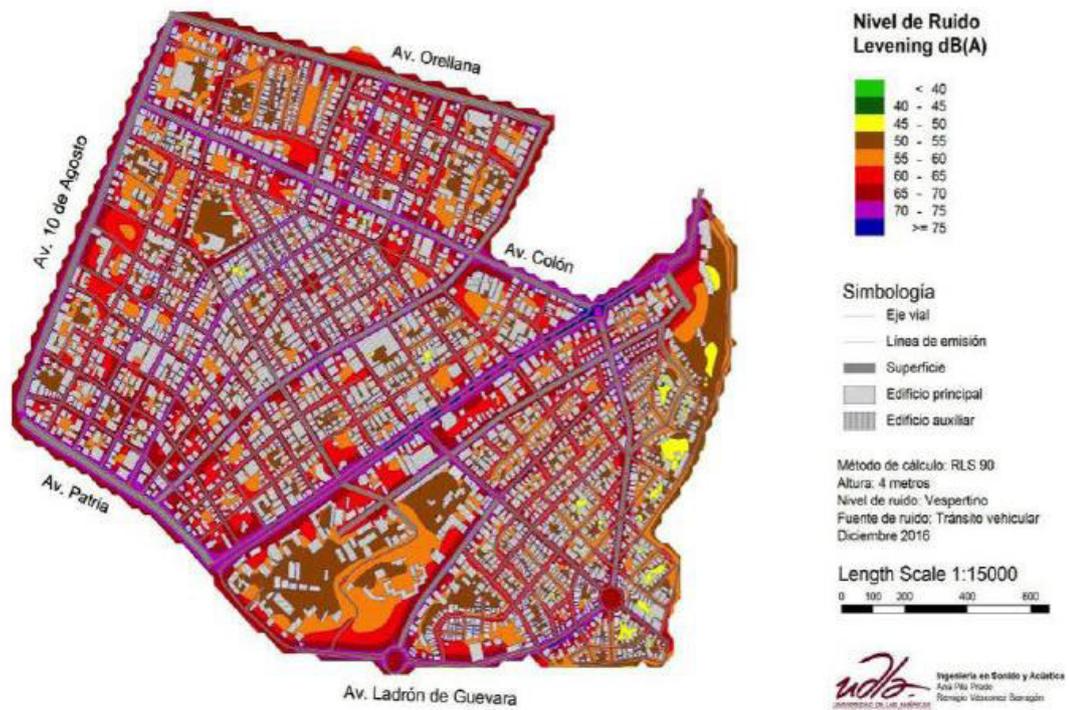


Figura 1.8. Mapa de ruido de Quito sector la Mariscal de 2017 durante el día.

(Fuente: [13])

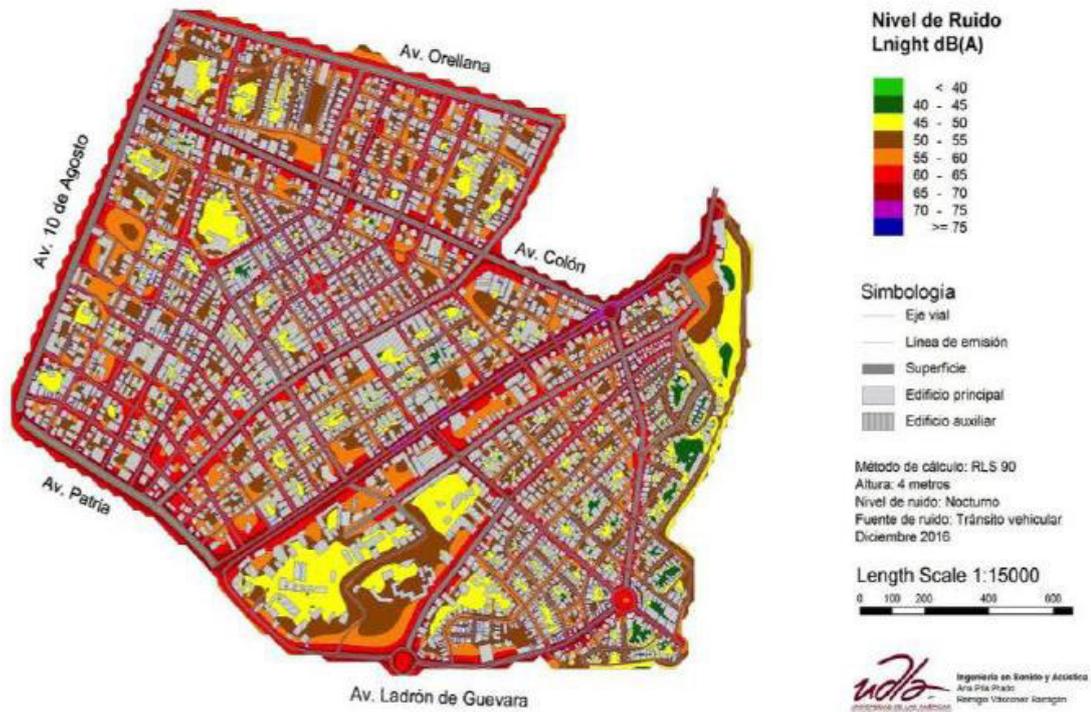


Figura 1.9. Mapa de ruido de Quito sector la Mariscal de 2017 durante la noche.

(Fuente: [13])

En las figuras 1.8. y 1.9. se puede observar detalladamente una zona estratégica de la ciudad bastante concurrida, que presenta elevados índices de contaminación acústica, tanto en el día como en la noche.

Como se puede observar en las imágenes de mapas de ruido, la contaminación acústica de la ciudad es preocupante por los elevados niveles que presenta. A medida que han pasado los años esta contaminación ha ido en aumento porque el número de vehículos se ha elevado, además del incremento en la cantidad de industrias y lugares de diversión como bares, discotecas y conciertos.

1.4. Materiales acústicos, materiales absorbentes

En la actualidad, existe una gran variedad de materiales acústicos que, generalmente, mediante absorción y difusión atenúan el sonido.

1.4.1. Absorción

Capacidad que poseen los materiales para absorber una parte de energía de las ondas sonoras al incidir sobre ellos transformando esta energía en calor. El coeficiente de absorción del material depende de varias características físicas del material, propiedades intrínsecas, posición y muchas más condiciones [14].

1.4.1.1. Materiales porosos

En este tipo de materiales las ondas sonoras penetran en los orificios y al rozar las partículas de aire contra las paredes internas del material provoca una reducción en su movimiento, convirtiendo la energía acústica en calorífica. Algunos ejemplos de materiales porosos son: alfombras, cortinas, tapices, ropa, etc.

Los materiales porosos funcionan bien con altas y medias frecuencias; con frecuencias bajas no tienen ningún efecto pues los poros son “invisibles” y las ondas se reflejan como si fuera una pared lisa. La capacidad de absorción aumentará si el material es ancho y si la distancia entre el material y la pared es grande [15].

1.4.1.2. Trampas de graves

Las ondas de las frecuencias bajas poseen gran energía y con las trampas de graves se pretende atenuarlas. Con el método de absorción se tienen trampas activas y pasivas, las primeras buscan que las ondas de baja frecuencia transformen su energía acústica en movimiento. Los elementos de estas trampas activas por lo general son paneles rígidos y flexibles, poseen buena absorción en determinadas frecuencias

Las trampas pasivas, son construidas de espumas muy densas que actúan gracias a su gran tamaño y ubicación. Su función es impedir que las ondas crezcan en ellas amortiguando su energía, atenuando el sonido de manera uniforme. Si se necesita una gran cantidad de absorción, el tamaño de la trampa se dispararía y no convendría usar una trampa pasiva [15].

1.4.2. Difusión

Este método de atenuación consiste en dispersar las ondas sonoras en múltiples direcciones. Pueden existir diferentes tipos de difusores como Skyline (figura 1.10.) o Space Array (figura 1.11.) y cuentan con formas geométricas que varían en tamaño y disposición, consiguiendo así que las ondas se reflejen de manera distinta en cada una

de ellas, mientras exista más variación de tamaños el rango de frecuencias en el que será efectivo será mayor [15].

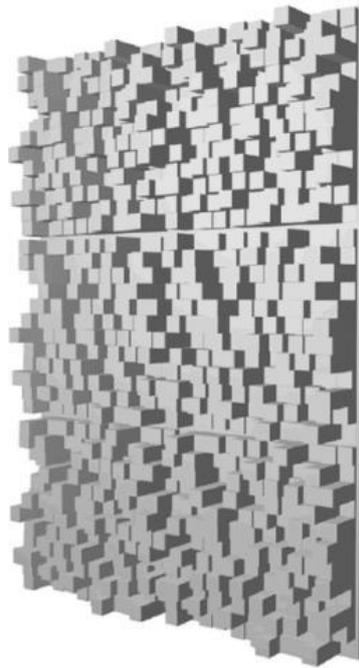


Figura 1.10. Difusor Skyline.
(Fuente: [15])



Figura 1.11. Difusor Space Array.
(Fuente: [15])

1.4.3. Materiales acústicos

Actualmente, en el mercado existe una gran variedad de materiales aislantes de sonido, la gran mayoría cumplen con su función, pero la principal desventaja que presentan este tipo de materiales es su elevado costo.

Cada vez es más importante insonorizar oficinas, viviendas o negocios, convirtiéndolos en lugares confortables. Se pueden destacar los siguientes materiales aislantes de sonido:

- **Espuma acústica**

Material altamente efectivo (figura 1.12.) para absorber el sonido, generalmente se usa en salas de ensayo y locales donde se requieran condiciones ópticas acústicas. Se coloca en las paredes o techos a manera de paneles o en las esquinas como trampas para bajos [16].



Figura 1.12. Espuma acústica.

(Fuente: [17])

- **Bloques de lana mineral, lana de roca y fibra de vidrio**

Se utiliza en paredes de viviendas con el objetivo de aislar la transmisión de sonido entre habitaciones. Se ajustan para ocupar espacios huecos donde se podría transmitir el sonido, en la figura 1.13. se observa la manta de lana de roca [16].



Figura 1.13. Manta de lana de roca.

(Fuente: [18])

- **Paneles acústicos**

Los paneles acústicos (figura 1.14.) son una versión decorativa de las espumas acústicas. Se comercializa en varias formas y colores de manera que sean atractivas

para el hogar, pero que a su vez cumplan la función de aislar acústicamente las zonas donde se coloquen [16].



Figura 1.14. Paneles acústicos.

(Fuente: [16])

- **Tejidos acústicos**

Este tipo de tejidos que se observan en la figura 1.15. cumplen la función de aislamiento acústico al ser más gruesos y pesados que los tejidos normales, se utilizan en cortinas de cines, teatros, etc. [16].



Figura 1.15. Tejidos acústicos en forma de persianas.

(Fuente: [19])

- **Vinilos de alta densidad**

El vinilo de alta densidad (figura 1.16.) es un material compacto de goma que sirve para aislamiento acústico de vehículos, maquinaria industrial, electrodomésticos o en paredes y suelos de viviendas [16].

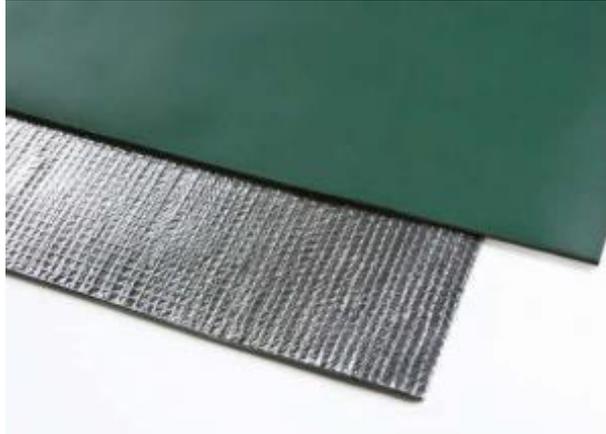


Figura 1.16. Vinilo de alta densidad.
(Fuente: [20])

- **Aislantes estructurales**

Esta clase de aislantes como se observa en la figura 1.17. se utiliza en viviendas y edificios para poder aislar el sonido, entre los principales ejemplos se encuentran: ventanas insonorizadas, paredes, puertas acústicas, y varios elementos más usados para aislar el ruido [16].



Figura 1.17. Ventanas acústicas.
(Fuente: [21])

1.4.4. Cortinas y persianas acústicas

Actualmente, las cortinas o persianas acústicas se ocupan en varios lugares para aislar acústicamente habitaciones de viviendas, cines, teatros, etc. Con el paso del tiempo ha crecido la demanda de este tipo de materiales, pero en países como Ecuador esta

tecnología aún es escasa y tiene un elevado costo, habiendo pocos lugares donde adquirir cortinas y persianas de estas características con buenas propiedades.

Si cortinas y persianas acústicas se comparan con paredes o elementos acústicos más gruesos, tal vez no cumplan la función de aislar acústicamente al 100% como otros materiales lo harían, pero funcionan bastante bien amortiguando el sonido, disminuyendo considerablemente los dB que pasan a través de ellas.

Generalmente, las cortinas (figura 1.18.) son fabricadas de textiles gruesos, bastante densos y cubren una superficie bastante amplia en las ventanas [22].



Figura 1.18. Cortinas acústicas.

(Fuente: [22])

1.5. Materiales para la elaboración del material compuesto.

Para la elaboración de este material compuesto se utilizaron los siguientes elementos como material base: resina poliéster, MEK, cobalto y como refuerzo: corchos de vino reciclados.

1.5.1. Resina poliéster, MEK y cobalto

Esta es una resina de polímero insaturado termo endurecible y se compone de ácidos orgánicos y alcoholes polihídricos, dependiendo de la cantidad de sus componentes se pueden fabricar varios tipos de resinas.

Las resinas poliéster son líquidas a temperatura ambiente y cuando son pre aceleradas o aceleradas con catalizadores se solidifican por medio de una reacción exotérmica. Este cambio es conocido como “curado” y no ocurre de manera inmediata. El tiempo de

solidificación de la resina depende de la cantidad de resina, catalizador, y del espesor y tipo de molde en el que se vierta la mezcla.

Los usos y aplicaciones que se dan a este tipo de resinas son domésticas e industriales, y van desde elementos náuticos como cascos de barcos o tablas de surf hasta depósitos de agua, capos de coches, parachoques, moldes, componentes eléctricos, aislantes térmicos y acústicos.

Entre las resinas poliéster se encuentran: las ortoftálticas utilizadas en ambientes no agresivos y las isoftálticas, de buenas propiedades mecánicas y resistentes a agentes químicos y agua [23].

La principal ventaja que presenta la resina poliéster es su bajo costo y su capacidad de resistir temperaturas de hasta 80°C, pero no resiste gran cantidad de rayos ultravioletas por lo que, con el paso del tiempo se vuelve amarilla; su curación es muy difícil y si no se mezcla con refuerzos adecuados su resistencia será muy baja volviéndola frágil.

Para solidificar el material se debe utilizar el catalizador MEK- Peróxido junto con el acelerador cobalto. Ambos generan una reacción química que ocasiona la solidificación. Se debe ser cuidadoso con el MEK y cobalto que se utilice pues pueden llegar a explotar, por lo que se sugiere que por cada 100 gramos de resina poliéster, se agreguen 40 gotas de catalizador MEK y 8 gotas de cobalto.

Generalmente, se dispone de una ficha técnica donde se mencionan recomendaciones del fabricante en cuanto a cantidad de resina, catalizador y cobalto a utilizar con sus respectivos porcentajes.

En la tabla 1.1 se puede observar la preparación de resinas con recomendaciones de porcentajes de Andercol [24].

Tabla 1.1. Recomendación de porcentajes para preparación de resinas.

PREPARACION DE RESINAS				
REFERENCIA	PESO (gr)	GOTAS COBALTO	GOTAS MEK	USOS
809 PRE-ACELERADA ORTOFTALTICA RIGIDA	100 gr	0	40	Vaciados opacos Fibra de vidrio
818 VIRGEN ORTOFTALTICA SEMIRIGIDA	100 gr	8	40	Vaciados traslucidos Encapsulados
823 ORTOFTALTICA SEMIRIGIDA	100 gr	8	40	Vaciados translúcidos encapsulados
851 pre-acelerada	100 gr	0	31 a 77	Vaciados semi-opacos
863 ISOFTALTICA NPG	100 gr	15	80	Alta resistencia química y al ambiente
872 ISOFTALTICA FLEXIBLE	100 gr	20	40	En combinación con 809 se puede maquinar

(Fuente: [24])

1.5.2. Corchos de vino

Los corchos de vino son conservantes de una amplia variedad de sabores de vinos. Se utiliza desde el año 1670 aproximadamente, y proviene del árbol de Alcornoque de cuya corteza se extrae el corcho evitando que el árbol sea talado lo cual contribuye con el cuidado y preservación del medio ambiente. El corcho consta de características específicas que lo vuelven resistente al agua conservando la temperatura.

El material aglomerado tiene varios usos: revestimientos de paredes, suelos, accesorios de hogar, calzado y ropa, además de planchas de corchos que son utilizadas como aislantes térmicos y acústicos [25].



Figura 1.19. Bosque de Alcornoque.

(Fuente: [26])

Existen 5 tipos de corchos: naturales, son de 100% corteza de alcornoque; aglomerados, elaborados a partir de trozos de corcho, aserrín del corcho y poliuretano; corcho 1+1, que se compone de la combinación de tapón de aglomerado con tapas de

corcho natural; colmatado, formado de corcho natural con polvo de corcho y látex, y sintético, elaborado generalmente con polímeros de alta calidad, plásticos o aluminio [27].

1.6. Materiales compuestos

Los materiales compuestos se crean de la unión de dos o más materiales con el objetivo de obtener mejores propiedades y características que no se encuentran en estos de forma individual [28].

Un material compuesto es un sistema de materiales formado por dos fases o componentes principales, el refuerzo que es una fase discontinua y más rígida, y la matriz que es una fase continua y generalmente menos rígida. La superficie de enlace de estos componentes se denomina interfaz, además, se pueden adicionar agentes de acoplamiento, rellenos y revestimientos, para mejorar la superficie de la interfaz.

Las principales funciones del refuerzo (elemento resistente) son absorber tensiones, incrementar rigidez y la resistencia del conjunto, mientras la matriz transmite las tensiones entre los elementos del refuerzo, manteniéndolo en su posición fija y protegiéndolo también del medio exterior o circundante [29].

1.6.1 Clasificación de materiales compuestos

Como se mencionó anteriormente, un material compuesto consta principalmente de matriz y refuerzo. Estos, a su vez, se clasifican en distintos tipos con diferentes características y propiedades específicas.

1.6.1.1 Tipos de matriz

1.6.1.1.1 Matrices metálicas

Se caracteriza por dar mayor resistencia al material compuesto, además brinda buena rigidez y tenacidad a la fractura, tiene buen comportamiento a elevadas temperaturas.

El costo de producción de este tipo de compuestos generalmente es elevado debido a la tecnología de los equipos necesarios para producirlas y también por la complejidad de sus procesos. Además, este tipo de matriz presenta alta densidad. Las matrices metálicas más utilizadas son: aluminio, magnesio, cobre níquel y aleaciones de compuestos intermetálicos [29].

1.6.1.1.2 Matrices cerámicas

Este tipo de matriz ofrece gran resistencia a los esfuerzos mecánicos. Además, presentan buenas propiedades a elevadas temperaturas, alta resistencia a la oxidación y son menos densas a comparación de la matriz metálica. La tenacidad que presenta la matriz cerámica es muy baja, al igual que su conductividad térmica y eléctrica.

Gracias a su resistencia a la oxidación y al deterioro a elevadas temperaturas, se utilizan los materiales compuestos de matriz cerámica en componentes de automóviles y motores de turbinas a gas de aeronaves [29].

1.6.1.1.3 Matrices poliméricas

Este tipo de matriz es también conocida como matriz de plástico y se utiliza en variadas aplicaciones y en grandes cantidades por su baja densidad, alta tenacidad, buena resistencia a la corrosión, baja resistencia mecánica, costo bajo comparado con los otros tipos de matriz, rapidez y conformado sencillo. Al trabajar con este tipo de matriz se debe tener en cuenta la influencia de las condiciones medioambientales (humedad, temperatura, radiación solar) [29].

Este tipo de matriz puede ser de 3 tipos: termoplásticas, termoestables y elastómeras. Las matrices termoplásticas son utilizadas en aplicaciones de bajos requisitos y cuando son calentadas pasan al estado líquido.

Las matrices termoestables son las más utilizadas en materiales compuestos de altas prestaciones. Este tipo de material es generado por una reacción química que por lo general no es reversible. A diferencia de los termoplásticos, las matrices termoestables no se funden al calentarse, sino que estas empiezan un proceso de degradación.

Finalmente, los elastómeros tienen una zona elástica grande y se pueden estirar hasta cinco o seis veces su longitud inicial, su módulo de elasticidad es bajo. Este tipo de matriz se utiliza en neumáticos y cintas transportadoras [29].

1.6.1.2 Tipos de refuerzo

1.6.1.2.1 Partículas

Las mismas pueden ser de gran tamaño o partículas consolidadas por dispersión, tienden a restringir el movimiento de la matriz en la proximidad de cada partícula. Desde el punto de vista mecánico, el uso de partículas no representa un refuerzo eficiente, pero

se utiliza para mejorar otras propiedades. Además, es el tipo de refuerzo más económico.

1.6.1.2.2 Fibras

Tecnológicamente, dentro de los materiales compuestos las fibras proporcionan elevadas resistencias y rigidez con bajas densidades.

De acuerdo con el diámetro y longitud, se pueden clasificar las fibras en: whiskers, fibras y alambres. Los whiskers son monocristales con una longitud corta y diámetro casi inexistente. Debido a su tamaño tienen un grado muy alto de perfección cristalina y están virtualmente libre de defectos logrando resistencias muy altas a un costo elevado [29].

Las fibras son policristalinas o amorfas, tienen diámetros cortos y una gran longitud, se pueden utilizar fibras sintéticas (polímeros o cerámicos generalmente) o fibras naturales entre las cuales destacan: el abacá, cabuya y coco, la ventaja de este tipo de refuerzo es el bajo costo de manufactura y el bajo impacto ambiental que genera.

Finalmente, los alambres son refuerzos de diámetros grandes, se los suele utilizar como refuerzos radiales en llantas de automóviles.

Las propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras dependerán de su longitud, diámetro, cantidad, propiedades mecánicas, y de propiedades de la matriz [29].

1.6.1.2.3 Elementos estructurales

Sus características no solo dependen de las propiedades de sus materiales, sino principalmente de la geometría de los elementos estructurales. Entre los más comunes están los compuestos laminares y los paneles tipo sánduche. Un compuesto laminar está compuesto por láminas con una dirección preferencial de resistencia alta, es así como diferentes capas son apiladas y consolidadas, de tal manera que la orientación preferencial de las fibras en cada capa va variando para que el resultado final presente alta resistencia en ambas dimensiones.

Los compuestos de tipo sánduche están formados por capas delgadas de material de recubrimiento unidas a un material ligero de relleno como por ejemplo el cartón corrugado. Este material compuesto tipo sánduche no suele ser rígido ni resistente, aunque su ventaja es que posee propiedades de relleno y de recubrimiento [29].

1.6.2 Materiales compuestos eco amigables utilizados para aislamiento acústico

Actualmente existen varios avances tecnológicos en la utilización de materiales reciclados para elaborar materiales compuestos, esto representa una gran ayuda para el medio ambiente y un gran ahorro en costos de materia prima y fabricación, por lo que se busca reciclar desechos provenientes de diferentes industrias como la plástica, textil, maderera, entre otros. De los materiales reciclados y reutilizados se obtienen diferentes matrices o refuerzos que ayudan en el desarrollo de nuevos materiales compuestos con buenas propiedades y buen aislamiento acústico. Generalmente, los materiales reciclados utilizados en la elaboración de materiales compuestos insonorizantes suelen provenir de plásticos y fibras textiles desechados, actualmente se investigan nuevos métodos para utilizar más materiales reciclados de diferentes procedencias en la búsqueda de un mejor aislamiento del sonido [30].

1.7. Reciclaje

El reciclaje es un proceso donde se obtienen materias primas mediante técnicas fisicoquímicas o mecánicas a partir de materiales utilizados, permitiéndoles a estos comenzar un nuevo ciclo de vida. Un material puede ser reciclado de: papel, cartón, plásticos, vidrio, aluminio, corchos, hierro, etc.

Es de vital importancia reciclar, tan solo reciclar 1 tonelada de papel es igual que salvar 17 árboles. Reciclar una lata de aluminio puede ahorrar la energía suficiente para recargar un *smartphone* y con 100 latas se podría iluminar una habitación durante dos semanas. De toda la basura que se desecha a diario, más del 75% se puede reciclar, pero en la actualidad solo se recicla alrededor del 30% [31].

1.7.1. Ventajas del reciclaje

- a) Requiere menos energía producir un nuevo producto si es a partir de materiales reciclados y no de materiales nuevos.
- b) Ayuda a la conservación del medio ambiente.
- c) Representa un gran ahorro de materiales para fabricar un nuevo producto.
- d) Se fomenta una conciencia ecológica, que ayuda a un desarrollo sostenible [32].

1.7.2. Regla de las 4R

Una gran problemática de la actualidad es la constante generación de residuos. En el pasado se utilizaban 3R (reducir, reciclar y reutilizar), ahora se propone también añadir a las 3R conocidas, la acción de recuperar, con el objetivo de minimizar este problema.

Las 4R se definen de la siguiente manera:

- **Reducir:** Se busca crear menos residuos de los que se utilicen, sobre todo rechazando el uso de plásticos de un solo uso y de más envases que se usen y desechen.
- **Reutilizar:** Al cumplir un producto con su objetivo es bueno buscarle un nuevo uso y así no desecharlo.
- **Reciclar:** La mayoría de los materiales que usualmente utilizan las personas a diario son reciclables. Luego de utilizado el material, puede ser sometido a un tratamiento para que ingrese nuevamente en el mercado reduciendo costos de fabricación, de material y consumo de materia prima y energética.
- **Recuperar:** Cuando un residuo no se puede reutilizar o reciclar, se debe buscar la manera de recuperarlo, como por ejemplo en una planta incineradora donde se recuperan los residuos del contenedor verde oscuro para generar electricidad [33].

1.7.3. Reciclaje y contaminación

Con un constante aumento en la contaminación del medio ambiente, el reciclaje viene a ser una gran contribución al cuidado de este. Al utilizar productos reciclados, el consumo de energía disminuye reduciendo la emisión de CO₂ por lo que la lluvia ácida disminuirá y el efecto invernadero producido por el gas también.

Con el reciclaje se evita que los materiales desechados terminen en vertederos saturados que tienen un gran impacto negativo en el medio ambiente [34].

1.8. Aplicación de materiales reciclados

Los materiales reciclados tienen varias aplicaciones entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- Los residuos plásticos se utilizan en la fabricación de bolsas de plástico, señalización, lejías, detergentes, etc.
- Envases de aluminio se reciclan y se obtienen envases similares a los originales.

- Reciclar envases de acero se utilizan para nuevos envases o como chatarra en fundiciones de acero.
- El papel y cartón reciclado sirve para obtener: papel prensa, cartulinas, cartoncillos, sillones, estanterías, etc.
- Con los residuos de envases de vidrio se pueden generar nuevos envases, utensilio de hogar, elementos de construcción, etc.
- Los residuos de madera triturada se emplean para fabricar tableros aglomerados, material de construcción, camas, etc. [35].

2. METODOLOGIA

Con este estudio se busca la elaboración y caracterización de un material compuesto que atenúe el ruido al ser colocado en ventanas a manera de persianas. Para la obtención del material, primero se determinó la composición adecuada de resina, MEK y cobalto. Se buscó que el curado del material genere burbujas debido a que los vacíos de aire aíslan mejor el ruido.

Después, se elaboraron moldes de vidrio con las medidas adecuadas para obtener las probetas del material compuesto. Para poder elegir el refuerzo del material base (resina poliéster) se estudiaron, analizaron y probaron algunas alternativas de materiales reciclados.

Una vez definido el refuerzo que se adaptaría mejor al compuesto y que pueda cumplir con los objetivos propuestos se procedió a obtener el material reciclado (corchos de vino) en grandes cantidades. Alrededor de 2000 corchos se reciclaron y fueron triturados y tamizados en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo 4 tipos diferentes de tamaños de granos para la elaboración del material compuesto.

Una vez obtenidos los moldes y la composición adecuada de resina, MEK y cobalto se determinó la composición de matriz (resina poliéster) y refuerzo (corchos de vino triturados), mediante el método de ensayo y error hasta obtener un material compuesto homogéneo de cada tamaño de grano.

En la caracterización mecánica del material compuesto se utilizaron las normas ASTM D 638, ASTM D 790 y ASTM D 256, para determinar que material actuaba mejor frente a la contaminación acústica se elaboró un protocolo de pruebas basado en estudios previos. Con los resultados de los ensayos acústicos, mecánicos y utilizando el método

de criterios ponderados se seleccionó la composición que cumplía de mejor manera con los objetivos planteados.

La figura 2.1 muestra el diagrama de flujo donde se detalla el proceso completo de elaboración del material compuesto con aislamiento acústico.

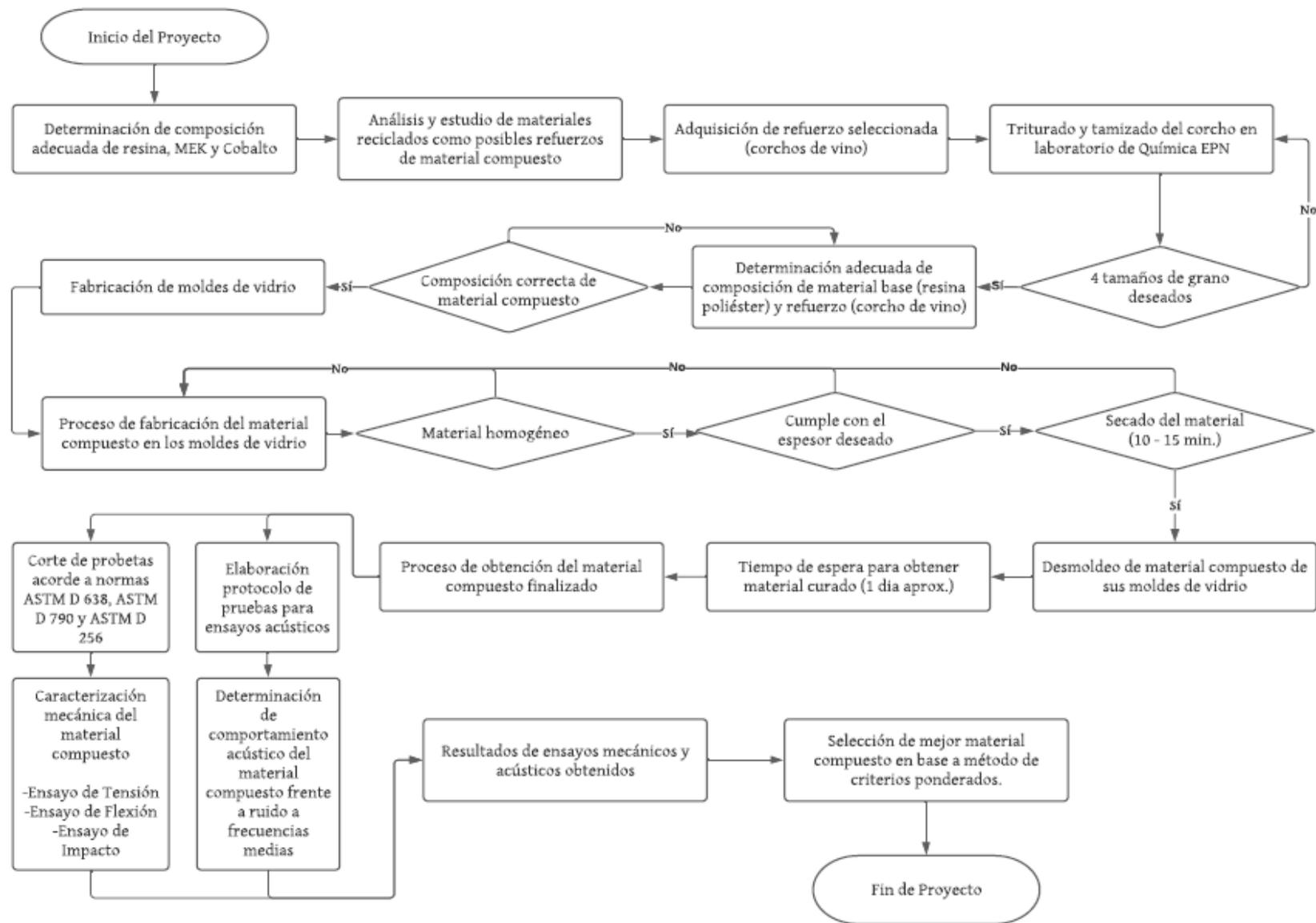


Figura 2.1. Diagrama de flujo para la obtención de material compuesto con resina poliéster y corchos de vino.

(Fuente: Propia)

2.1. Determinación de composición adecuada de resina, MEK y cobalto

Para la formación del material base utilizado en el material compuesto se elaboró combinación de resina poliéster, MEK y cobalto. En ocasiones también suele utilizarse estireno, el cual se utiliza para reducir la viscosidad de la resina poliéster y como disolvente de los componentes, estabilizando su reacción. Generalmente no todo el estireno reacciona con la resina, estas partículas sin reaccionar afectan las propiedades mecánicas del material.

El tipo de resina utilizado (resina ortoftálica) es termoestable y usualmente es la que se consigue en el mercado (figura 2.2.), se encuentra en estado líquido, al mezclarse con MEK y cobalto (figura 2.3.) empieza a reaccionar, se calienta y solidifica luego de un proceso de curado.



Figura 2.2. Resina Poliéster.

(Fuente: Pintulac S.A.)

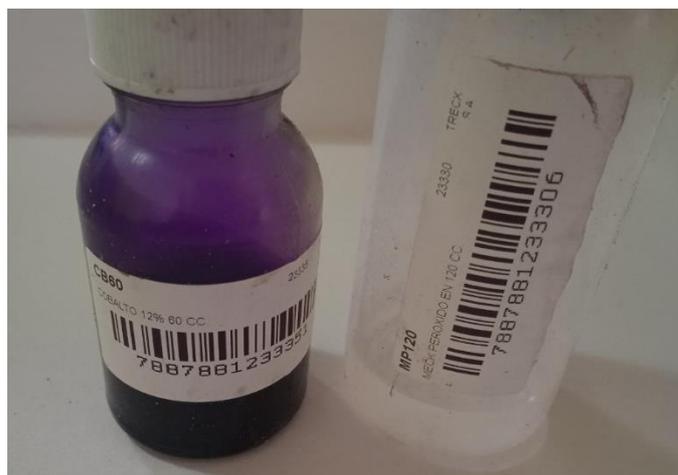


Figura 2.3. Cobalto y MEK.

(Fuente: Propia)

Para obtener una correcta mezcla de resina, MEK y cobalto se siguió la tabla 1.1 donde se dan sugerencias de las cantidades de estos elementos. Generalmente, para la resina poliéster que se consigue en el mercado se sugiere utilizar por cada 100 gr de resina, 8 gotas de cobalto y 40 gotas de MEK. Se debe tener bastante cuidado al mezclar los dos últimos químicos, pues pueden explotar si la mezcla es inestable. Siempre se debe calcular la relación 5 a 1 entre MEK y cobalto.

Al buscar un material compuesto con buenas propiedades acústicas se buscó que sea poroso, aun cuando eso disminuya las propiedades mecánicas. Sin embargo, que el material tenga poros significa que será un mejor aislante acústico.

Se buscó la manera de mejorar el aislamiento acústico generando burbujas dentro del material haciéndolo poroso, al saber más de la reacción que se generaba al mezclar MEK y Cobalto, se decidió utilizar el doble de las dosis sugeridas para 100g de resina, es decir, 80 gotas de MEK y 16 gotas de cobalto, manteniendo su relación de 5 a 1 y pesando estas cantidades para fines más prácticos, al aumentar la cantidad se buscó que la reacción química genere vacíos de aire en todo el material y que el material solidifique en solo minutos para evitar que las burbujas salgan del mismo.

La mezcla de estos materiales es entre uno a dos minutos ya que solidifican rápidamente, si se supera este tiempo el material base no servirá ya que se habrá secado en el recipiente. También se notó que entre más rápido se realice la mezcla se originarán más burbujas presentando mejor homogenización. El resultado de estas cantidades combinadas se muestra en la figura 2.4.



Figura 2.4. Combinación resina, MEK y cobalto.

(Fuente: Propia)

La principal desventaja de esto fue una considerable disminución de propiedades mecánicas, volviendo muy frágil al material, las propiedades mecánicas a simple vista no eran óptimas como consecuencia de no tener un tiempo adecuado de solidificación y curado, pero que el compuesto tenga buenas propiedades mecánicas no es tan importante como la cantidad de sonido que pueda aislar.

La balanza utilizada para medir todas las cantidades del material compuesto es marca CAMRY, (figura 2.5.) tiene una apreciación de 0,1g y su capacidad máxima son 500g.



Figura 2.5. Balanza CAMRY.

(Fuente: Propia)

2.2. Análisis y estudio de materiales reciclados como posibles refuerzos de material compuesto

Para decidir el mejor refuerzo del material compuesto se propuso que el material que se vaya a seleccionar sea reciclado, con el fin de buscar una alternativa de reutilización y ayudar de cierta manera con el impacto ambiental.

En diferentes estudios de utilización de materiales reciclados para aislamiento acústico se sugieren diferentes materiales con buenas propiedades atenuantes de sonido, entre ellos destacan corchos de vino, filtros de cigarrillo y botellas de plástico, se debe mencionar que estos materiales se utilizan en estructuras, acondicionamiento de viviendas y no como persianas o cortinas acústicas [36], [37], [38], [39].

De estas opciones se debía decidir la mejor alternativa para el material compuesto, considerando que el presente proyecto de titulación se desarrolló en pandemia se debía seleccionar materiales reciclables fáciles de conseguir y procesar. El primer material en ser descartado fue las botellas de plástico, el proceso para poder utilizarlas como refuerzo del material compuesto es extenso y más complicado que con los otros dos materiales. Es así, que se consideró utilizar corcho de vino y filtros de cigarrillo, fabricando dos materiales compuestos diferentes con el objetivo de compararlos para analizar cual atenúa mejor el sonido.

Para la preparación de ambos materiales se siguieron distintos procedimientos, para los filtros de cigarrillo se siguió el proceso detallado a continuación para eliminar las toxinas sobrantes [40]. Se consiguieron alrededor de 500 cigarrillos ya utilizados, los cuales se cortaron, separando el sobrante del cigarrillo con los filtros como se muestra en la figura 2.6.



Figura 2.6. Proceso de corte y separación de sobrante de cigarrillo del filtro.

(Fuente: Propia)

Los filtros se sumergieron en 200 ml de agua destilada durante 12 horas (figura 2.7). A continuación, se eliminó el papel de los filtros para sumergirlos en 100 ml de etanol durante 3 horas, cambiando el etanol cada hora, con el fin de limpiar las impurezas (figura 2.8), finalmente se esperó que los filtros estén completamente secos (figura 2.9).



Figura 2.7. Filtros de cigarrillo en agua destilada.
(Fuente: Propia)



Figura 2.8. Filtros de cigarrillo en etanol.
(Fuente: Propia)

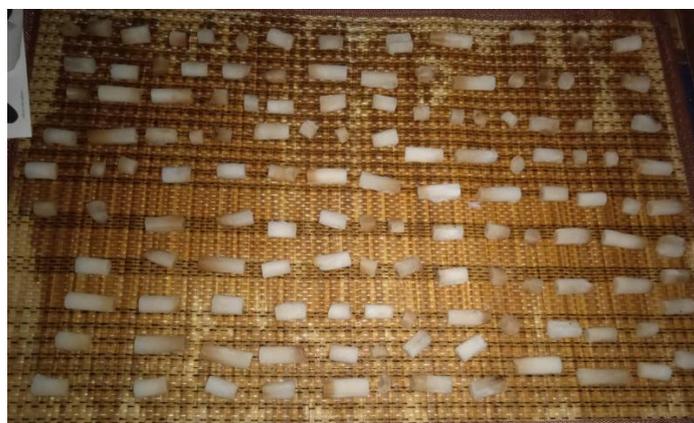


Figura 2.9. Filtros de cigarrillo descontaminados secándose.
(Fuente: Propia)

La figura 2.10 muestra el resultado de los filtros de cigarrillo obteniendo acetato de celulosa lista para ser utilizada como refuerzo del material compuesto en forma de fibras o partículas.



Figura 2.10. Filtros de cigarrillo descontaminados listos para ser utilizados como refuerzo.
(Fuente: Propia)

Cuando se comenzó a trabajar con este material como refuerzo mezclándolo con resina, MEK y cobalto, se buscó obtener algo similar al estudio: *Propuesta de un producto ecoeficiente: paneles para aislamiento térmico a partir de filtros de cigarrillos reciclados y su aplicación en la construcción* [41]. Después se comprobó que para la función que se buscaba del material final este refuerzo no era óptimo, al tener una mezcla tan alta de MEK y cobalto no daba tiempo a incluir el refuerzo en la mezcla. Y cuando se ponía una capa de acetato de celulosa en el molde y luego la mezcla de resina, MEK y cobalto la rapidez de curado no permitía que cubra el material por completo, al intentar hacerlo por el método de sándwich tampoco daba tiempo porque colocar una capa de refuerzo de forma homogénea llevaba aproximadamente 30 minutos tiempo en el que la primera capa de resina, MEK y cobalto ya se encontraba en la etapa de curado, sin dar lugar a colocar la segunda capa ni tener un material homogéneo como se muestran en las figuras 2.11. y 2.12. Por estas razones, el refuerzo de filtro de cigarrillo fue descartado como refuerzo.



Figura 2.11. Resultado de material compuesto con filtros de cigarrillo (lado A).
(Fuente: Propia)



Figura 2.12. Resultado de material compuesto con filtros de cigarrillo (lado B).
(Fuente: Propia)

En 2018 vinos La Rioja vendió 360 millones de botellas de vino en 126 países [42], de estos 360 millones de corchos algunos suelen ser reciclados y utilizados para distintas cosas como: aislamientos de construcciones, pizarras, paneles, suelas de zapatos, aislantes térmicos usados en industria aeronáutica y aeroespacial, bolsos ecológicos, etc. Si de una sola industria se venden más de 300 millones de botellas de vino con sus respectivos corchos se podría decir que fácilmente cada año se desechan más de mil millones de corchos. Al haber tantos corchos siempre es bueno hallar nuevas aplicaciones para estos una vez sean desechados, por estas razones se escogieron los corchos de vino como refuerzo para el material compuesto.

Es así que, se utilizó el corcho de vino, que entre otras propiedades presenta bajo peso, impermeabilidad, aislamiento térmico, baja transmisión de sonido siendo un buen aislante acústico, alta durabilidad, natural y reciclable. Para este material compuesto se escogieron dos tipos de corchos, naturales y semisintéticos, se decidió no utilizar

corchos sintéticos porque su proceso de trituración requiere mayor trabajo de las maquinas empleadas y el resultado no es óptimo.

2.3. Preparación previa del refuerzo (corchos de vino)

Se reciclaron alrededor de 500 corchos de diferentes tamaños y marcas de vino, entre naturales y semisintéticos (figura 2.13)



Figura 2.13. Corchos reciclados.

(Fuente: Propia)

Se decidió fabricar el material compuesto con distintos tamaños de grano de corcho para de esta manera realizar una comparación de la atenuación de sonido del compuesto en función del tamaño de grano empleado. Para la elaboración del triturado de corcho se utilizaron diferentes máquinas (trituradora y tamizadora) del laboratorio de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional.

Como primer paso se utilizó un molino de discos (figura 2.14) el cual lleva a cabo la molienda girando un disco contra otra. El mecanismo de graduación del molino para obtener diferentes granulometrías es variando la distancia de los discos, a pesar de ser muy fácil de utilizar tiene baja productividad en tamaños de granos finos.

Este molino se utilizó principalmente para partir los corchos en pedazos pequeños para así poder reprocesar el material obtenido en la máquina de granulometrías finas.



Figura 2.14. Molino de discos.

(Fuente: Propia)

En la siguiente imagen (figura 2.15) se muestra el interior de un molino de discos y cómo funciona internamente partiendo los corchos.



Figura 2.15. Interior de molino de discos.

(Fuente: Propia)

Finalmente, se muestra el resultado de los corchos triturados luego de pasar por el molino de discos (figura 2.16). Los corchos de vino pasaron dos veces por esta máquina buscando que de a poco reduzcan su tamaño final sin forzar mucho al molino de discos.



Figura 2.16. Corchos triturados en molino de discos.

(Fuente: Propia)

Luego de pasar por el molino de discos, los pedazos de corchos de vino fueron llevados a la máquina de molino de cuchillas (figura 2.17), el cual fragmenta las sustancias que se introduzcan de manera homogénea y son utilizados como molienda secundaria para tamaños menores a 2 cm. El resultado de corte final suele encontrarse entre los 2 a 6 mm. Esta máquina consta de: garganta de alimentación donde se introduce el material hacia la cámara de molienda; cuchillas, las cuales rotan dentro de la cámara de triturando al material seleccionado y una criba, que regula la salida de partículas dentro de un rango específico de tamaño. Para el proyecto se eligió la de 3,5 mm.



Figura 2.17. Molino de cuchillas.

(Fuente: Propia)

La figura 2.18 muestra una imagen de la garganta de alimentación con los pedazos de corcho de vino ingresando al molino de cuchillas para ser triturados.



Figura 2.18. Garganta de alimentación de molino de cuchillas.

(Fuente: Propia)

En la figura 2.19 se presenta el interior del molino de cuchillas donde fácilmente se pueden identificar las partes principales donde se trituraron los corchos.



Figura 2.19. Interior de molino de cuchillas.

(Fuente: Propia)

En la figura 2.20 se observa el resultado final de los corchos de vino triturados al salir del molino de cuchillas



Figura 2.20. Resultado de corcho triturado por molino de cuchillas.

(Fuente: Propia)

Una vez obtenido el corcho de vino triturado, se utilizó la tamizadora como paso final de preparación del refuerzo, con 5 diferentes tamices de medidas (3,32; 2,36; 2; 1,70 y 1,40 mm) ordenados desde el mayor al menor. Para el proceso de tamizaje se coloca el corcho triturado sobre el primer tamiz, se tapa y se procede a encender la máquina dejándola funcionar un tiempo aproximado de 3 minutos, tiempo suficiente para que el movimiento que produce la tamizadora vaya clasificando el corcho triturado acorde a su tamaño de grano. En la siguiente imagen se observan todos los tamices utilizados en la tamizadora y cómo fueron ordenados (figura 2.21).



Figura 2.21. Tamices utilizados.

(Fuente: Propia)

Finalmente, se obtuvieron casi 300 gramos de corcho de vino por cada tamaño de grano, A=3,32 mm, B=2,36 mm, C=2 mm, D=1,70 mm y E=1,40 mm (figuras 2.22 y 2.23), para la elaboración de los distintos materiales compuestos.



Figura 2.22. Tamaño de grano de corcho A, B y C.

(Fuente: Propia)



Figura 2.23. Tamaño de grano de corcho D y E.

(Fuente: Propia)

2.4. Composición de material compuesto, material base y refuerzo.

Una vez obtenida la composición adecuada de resina, MEK y cobalto como material base y los corchos triturados en 5 diferentes tamaños de granos como refuerzo, se procedió a elaborar el material compuesto.

Anteriormente se estableció el uso de 80 gotas (2,5g) de MEK por cada 16 gotas (0,5 g) de cobalto en cada 100 g de resina poliéster. Esta mezcla seca y cura rápidamente por lo que se determinó utilizar diferentes tamaños de granos en el material compuesto, pero con la misma composición.

Para determinar la cantidad correcta del refuerzo, se colocó corcho triturado distribuido uniformemente en el molde hasta alcanzar el espesor deseado en el material (figura 2.24). Considerando posibles pérdidas propias durante el proceso de fabricación (vertido, mezcla, etc.), se incrementó la cantidad del refuerzo en 0,2 g. Se repitió el proceso con los 5 tamaños de grano obteniendo un promedio y determinando así la cantidad de corcho a utilizar.



Figura 2.24. Corcho triturado en molde.

(Fuente: Propia)

De esta manera, se decidió colocar 6,3 g de corcho por cada 100 g de resina, 2,5 g de MEK y 0,5 g de cobalto. Al mezclar en el molde el material base sobre el refuerzo, no proporciona el tiempo suficiente para formar un material compuesto homogéneo debido a que el secado ocurría muy rápido (figura 2.25) y el espesor final aumentaba.



Figura 2.25. Primer intento de material compuesto.

(Fuente: Propia)

Otra opción empleada fue colocar capas alternadas de matriz y refuerzo, tipo sánduche (figura 2.26), sin embargo, la rapidez de curado no permite elaborar capas homogéneas.



Figura 2.26. Segundo intento de material compuesto.
(Fuente: Propia)

La mejor forma de elaborar el material compuesto fue mezclando todos los componentes en un recipiente. Se pudo observar que al colocar el corcho dentro de la mezcla ayudaba a controlar la reacción ocasionada por el MEK y el cobalto, además, al verter esta combinación en el molde permitió una mayor formación de burbujas, distribución más homogénea, buena estética y espesor controlado (figura 2.27), lo que supone una ventaja al utilizar este material como persiana o cortina.



Figura 2.27. Tercer intento de material compuesto, material compuesto obtenido correctamente.
(Fuente: Propia)

2.5. Fabricación de moldes de vidrio y elaboración final del material compuesto

La selección apropiada del molde es muy importante, con éste se controlan las dimensiones del material compuesto. En un inicio la composición del material compuesto se colocó en un molde de aluminio y se calculó el volumen. En base a este

volumen inicial y las cantidades de compuestos empleados se calcularon fácilmente las cantidades de resina, MEK, cobalto y corcho a utilizar para obtener diferentes moldes.

Por costo y facilidad de fabricación se optó emplear un molde de vidrio, el material compuesto se adaptó correctamente y su desmolde fue relativamente fácil con ayuda de cera desmoldante (figura 2.28).



Figura 2.28. Cera desmoldante utilizada.

(Fuente: Propia)

Se consideró que si este material compuesto iba a ser empleado como protección acústica en ventanas lo mejor era fabricarlo de tal manera que se asemeje a una persiana determinado así un espesor que no supere los 3 mm, permitiendo el paso de luz mientras aísla el sonido. Para controlar el espesor del material se utilizó una tapa de vidrio sobre el molde, se coloca la mezcla desde el centro y a lo largo del molde para luego ejercer presión manual obteniendo una distribución homogénea.

Otro factor que se consideró era que el molde no podía ser tan grande porque el compuesto necesitará más resina, MEK, cobalto y corcho, y el vaciado deberá realizarse antes que la mezcla empiece con el proceso de secado y curado. Como prueba se intentó realizar probetas en moldes de 1,12 m de largo x 17 cm de ancho x 3 mm de espesor, pero solo en el proceso de mezclado ya hubo problemas. Al requerir más material no se lograba homogenizar correctamente la mezcla antes que empiece el proceso de curado, además, al usar más MEK y cobalto la reacción que se generó fue mucho más fuerte. Otro defecto al utilizar un molde tan grande fue que al depositar la mezcla no se podía distribuir por todo el molde de vidrio pues la presión se aplicaba de forma manual lo que no producía homogeneidad en la superficie.

Finalmente, se decidió utilizar moldes de vidrio de 56 cm de largo por 17 cm de ancho y 3 mm de espesor (figura 2.29), que son lo suficientemente grandes para poder obtener probetas que funcionen en los ensayos acústicos. Este tamaño permite controlar el espesor y obtener una correcta distribución del compuesto en el molde con ayuda de la tapa. Para este molde se utilizaron 128 g de resina, 3,3 g de MEK, 0,7 g de cobalto y 8 g de corcho.

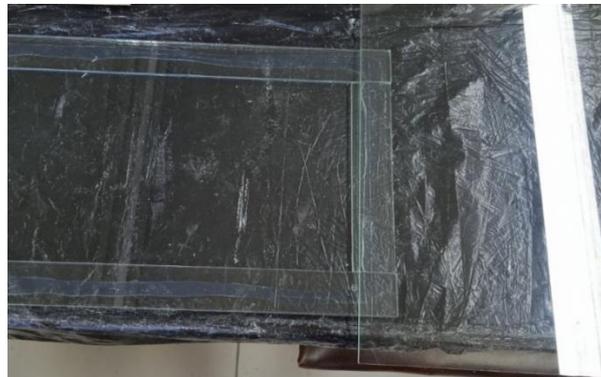


Figura 2.29. Molde de vidrio.

(Fuente: Propia)

En un inicio se utilizaron 5 tamaños de grano de corcho como refuerzo del material compuesto A=3,32 mm, B=2,36 mm, C=2 mm, D=1,70 mm y E=1,40 mm. Al tomar la decisión de realizar moldes de 3 mm de espesor el tamaño de grano A no pudo ser empleado pues su tamaño fue más grande que el espesor del molde, por lo que fue triturado nuevamente para obtener más corcho de los otros tamaños de grano. Con los 4 tamaños de grano se obtuvieron 4 tipos de materiales compuestos que se diferencian únicamente por el tamaño de grano del refuerzo.

Con todas las variables resueltas, el proceso final de obtención del material compuesto sería el siguiente: colocar dos capas de cera desmoldante en el molde de vidrio (figura 2.30) en intervalos de tiempo de 5 a 7 minutos por capa para que haga efecto la cera, siempre limpiando el molde para que el material compuesto resultante no sea opaco. En la tapa de vidrio solo bastará una capa de cera, pero esta no se limpia (figura 2.31) porque en las pruebas que se hicieron al limpiar la cera es casi imposible desmoldar, además, los moldes de vidrio se rompieron por la fuerza utilizada al intentar desmoldar.



Figura 2.30. Molde de vidrio con cera desmoldante.

(Fuente: Propia)



Figura 2.31. Molde de vidrio con cera desmoldante limpia en la base.

(Fuente: Propia)

Luego de realizar el proceso de encerado, se debe colocar en el molde la mezcla de los distintos componentes del material compuesto para poder fabricarlo. En la siguiente tabla se observan las cantidades utilizadas de cada componente para el molde de vidrio especificado.

Tabla 2.1. Cantidades utilizadas de cada elemento para fabricar el material compuesto.

Cantidades a usar para fabricar el material compuesto			
Resina Poliéster	MEK	Cobalto	Corcho (B,C,D,E)
128 g	3,3 g	0,7 g	8 g

(Fuente: Propia)

En un recipiente se deben combinar todos los elementos especificados en la tabla 2.1 independientemente del tamaño de grano de corcho que se utilice y mezclarlo rápidamente generando burbujas durante máximo 2 minutos, verter la mezcla en el molde e ir presionando con la tapa de manera que se distribuya todo el compuesto. Cuando el material esté distribuido homogéneamente (figura 2.32) se debe seguir presionando durante un tiempo de 3 a 5 minutos hasta que empiece el proceso de secado, caso contrario, el espesor puede variar en algunas zonas del compuesto.



Figura 2.32. Material compuesto distribuido en molde de vidrio.

(Fuente: Propia)

Cuando empieza el proceso de secado se deja a un lado al compuesto en su molde durante 15 minutos, luego se desmolda con bastante cuidado (figura 2.33) y se deja curar durante aproximadamente 1 día. Este material compuesto no puede curarse dentro del molde, pues será bastante complicado desmoldarlo llegando incluso a partirse en el proceso.



Figura 2.33. Material compuesto desmoldado en proceso de curación.

(Fuente: Propia)

Una vez curado, se lo limpia con paños de microfibras para eliminar cualquier impureza o restos de cera desmoldante y de esta manera queda listo el material compuesto como se muestra en la figura 2.34.

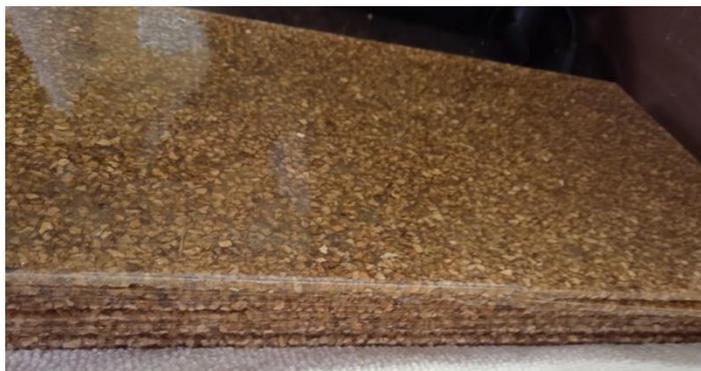


Figura 2.34. Material compuesto listo.
(Fuente: Propia)

Se elaboraron 8 probetas de material compuesto de cada uno de los 4 tamaños de grano, en total 32 probetas para realizar las pruebas necesarias con el fin de comprobar su nivel de aislamiento acústico y propiedades mecánicas.

2.6. Caracterización mecánica de las probetas

Para caracterizar mecánicamente el material compuesto se realizaron ensayos de tracción, flexión e impacto, de acuerdo a las normas de la American Society for Testing and Materials, ASTM.

Las probetas obtenidas de 56 x 17 cm y 3 mm de espesor, de los 4 diferentes tamaños de grano se enviaron a cortar por láser para obtener las medidas de probetas solicitadas acorde a cada norma aplicada.

2.6.1. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción o tensión brinda información de la resistencia y ductilidad de determinado material mediante tensiones de tracción uniaxiales generalmente hasta su fractura [43].

Para el ensayo de tracción se utilizó la norma ASTM D 638 - 14 en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros CIAP de la Escuela Politécnica Nacional. Según la norma, se pueden ensayar diferentes tipos de probetas acorde a su espesor, depende de este valor para que el resto de las medidas varíe.

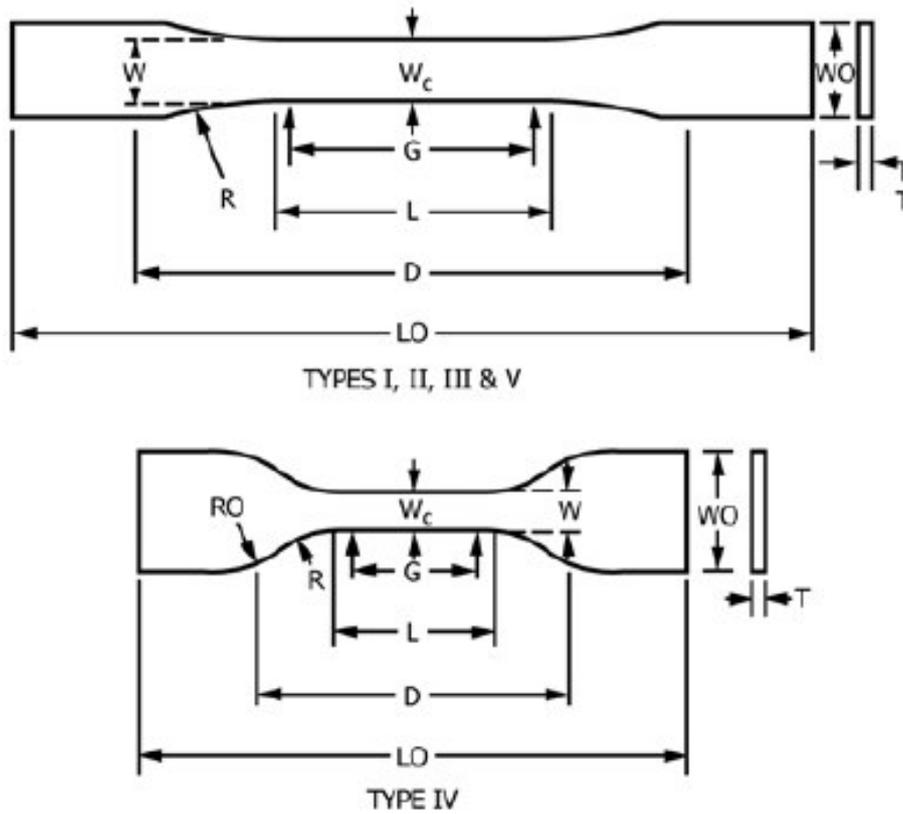


Figura 2.35. Gráfica de tipo de probetas.

(Fuente: [44])

Tabla 2.2. Medidas a utilizar en las probetas acorde a su espesor

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.) ^A					
	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	± 0.5 (± 0.02) ^{B,C}
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	± 0.5 (± 0.02) ^C
WO —Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO —Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO —Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	± 0.25 (± 0.010) ^C
G —Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	± 0.13 (± 0.005)
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	± 5 (± 0.2)
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	± 1 (± 0.04) ^C
RO —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	± 1 (± 0.04)

(Fuente: [44])

En la tabla 2.3 se especifican las medidas que debe tener el compuesto en función de su espesor de 3mm (probetas tipo IV) [36].

Tabla 2.3. Dimensiones que se utilizan en probetas para ensayo de tracción.

Dimensions (see drawings)	4 (0.16) or under	
	Type IV ^B	Type V ^{C,D}
W—Width of narrow section ^{E,F}	6 (0.25)	3.18 (0.125)
L—Length of narrow section	33 (1.30)	9.53 (0.375)
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	...
WO—Width overall, min ^G	...	9.53 (0.375)
LO—Length overall, min ^H	115 (4.5)	63.5 (2.5)
G—Gage length ^I	...	7.62 (0.300)
G—Gage length ^I	25 (1.00)	...
D—Distance between grips	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)
R—Radius of fillet	14 (0.56)	12.7 (0.5)
RO—Outer radius (Type IV)	25 (1.00)	...

(Fuente: [44])

Las medidas especificadas en la tabla 2.3 se deben utilizar para obtener probetas como la de la figura 2.35. En la siguiente imagen se pueden observar las probetas listas para ser ensayadas a tracción.

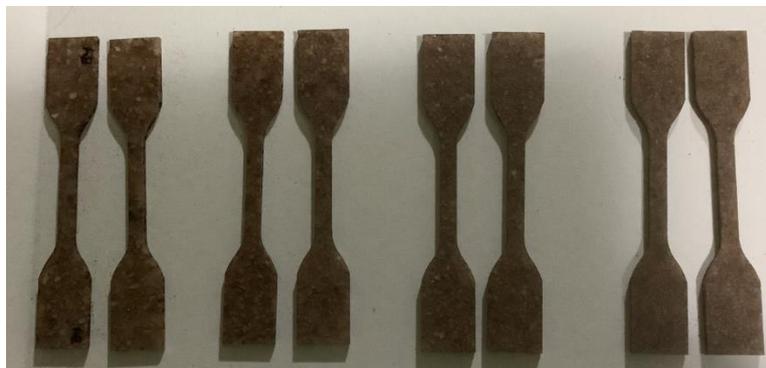


Figura 2.36. Probetas para ensayo de tracción de izquierda a derecha (B, C, D y E).

(Fuente: Propia)

Con la ayuda de este ensayo se puede obtener información de la resistencia de determinado material mediante tensiones de tracción uniaxiales [43], se busca saber cuánto resistirá el material compuesto a los esfuerzos de tracción, obteniendo del ensayo los siguientes datos: módulo de elasticidad, resistencia a la tracción a carga máxima y alargamiento a la rotura.

El módulo de elasticidad o módulo de Young es la medida de resistencia de un material a la deformación elástica bajo una tracción aplicada a un determinado eje, también se puede interpretar como la rigidez que presenta un material, el símbolo con el que se representa al módulo de elasticidad es E y la fórmula con la que se obtiene se encuentra en la ecuación 2.1:

$$E = \frac{F/A}{dL/L} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Ecuación 2.1. Cálculo para obtener módulo de elasticidad.

Donde:

F= Fuerza aplicada en Newtons

A= Área sometida a tracción del material en Metros cuadrados

dL= Cambio de longitud del material a lo largo del eje

L= Medida inicial de la probeta

σ= Tensión medida en N / m²

ε= Deformación, de unidades adimensionales [45]

La máxima resistencia a la tracción es la mayor carga que se puede colocar sobre determinadas muestras antes de que se rompa [46].

El alargamiento a la rotura (ε) es también conocido como alargamiento por tracción a la rotura y se define como la relación entre el aumento de longitud y la longitud inicial después de romperse, midiendo el % de elongación de la probeta frente al tamaño que tenía cuando se produjo la rotura y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100 \quad [47]$$

Ecuación 2.2. Cálculo de porcentaje de elongación.

2.6.2. Ensayo de flexión

El ensayo de flexión determina las propiedades mecánicas de los materiales relacionadas con los esfuerzos y deformaciones en sus puntos máximos de rotura. Este ensayo consiste en apoyar una probeta en los extremos y ejercer una fuerza en su eje perpendicular [48].

Este ensayo fue realizado bajo la norma ASTM D 790 – 17 [49] en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros CIAP de la Escuela Politécnica Nacional. Según la norma mencionada, las probetas deben cumplir con determinadas dimensiones para poder ser ensayadas, estas medidas se muestran en la tabla 2.4. En el ANEXO 1 se muestra la carta de aprobación para realizar los ensayos de tracción y flexión en los laboratorios del CIAP.

Tabla 2.4. Dimensiones que se utilizan en probetas para ensayo de flexión.

Ensayo de Flexión ASTM D790	
Longitud	127 mm
Ancho	12,7 mm

(Fuente: Propia)

En la imagen que se muestra a continuación se pueden observar las diferentes probetas con sus tamaños de grano (B, C, D y E) que se utilizaron en este ensayo.



Figura 2.37. Probetas para ensayo de flexión de izquierda a derecha (B, C, D y E).

(Fuente: Propia)

Gracias al ensayo de flexión realizado sobre las probetas se pueden obtener los siguientes datos: módulo tangente, fuerza flexible y deformación por flexión. Se entiende como módulo tangente a la pendiente de una línea tangente a la curva tensión – deformación en determinado punto. Se utiliza principalmente para describir la rigidez de un material en el rango plástico denotado por E_t [50].

Fuerza flexible es una propiedad del material también conocida como resistencia a la flexión y se define como una tensión máxima en un material justo antes de ceder en una prueba de flexión [51].

La deformación por flexión se entiende como el cambio fraccional en la longitud de un elemento de la superficie de la probeta en el punto medio, lugar donde se produce la deformación máxima, es adimensional [52].

2.6.3. Ensayo de impacto

Los ensayos de impacto son pruebas mecánicas que evalúan la tenacidad de los materiales, es decir, la capacidad que tiene el material ensayado de absorber energía hasta su fractura, la prueba se realiza mediante choques o golpes al material [53].

El ensayo de impacto se realizó en el Laboratorio de Nuevos Materiales LANUM de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional bajo la norma ASTM 256 – 10, con una máquina para ensayos de impacto por péndulo marca: Tinius Olsen, modelo: IT 504 de apreciación 0,001 J, cumple su función de medir la energía de impacto con la que las probetas fallan. En el ANEXO 2 se encuentra el documento de aceptación enviado por parte del LANUM para poder realizar el ensayo de impacto sobre el material compuesto. Las dimensiones de la probeta para este ensayo se muestran en la norma.

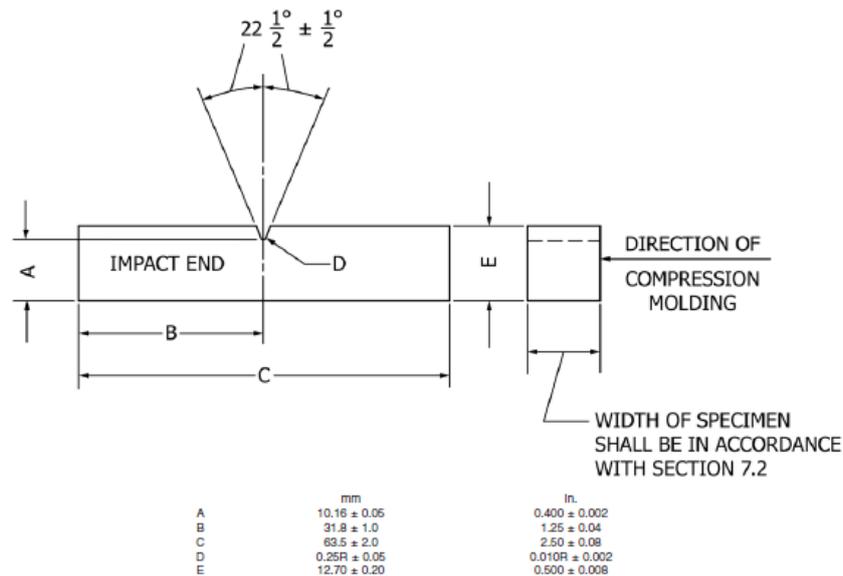


FIG. 6 Dimensions of Izod-Type Test Specimen

Figura 2.38. Dimensiones de probeta y zona de impacto.

(Fuente: [54])

Las probetas ensayadas serán sin muesca según el método E de la norma ASTM 256. Se deben cumplir con las dimensiones de la tabla 2.5 para poder ser ensayadas.

Tabla 2.5. Dimensiones que se utilizan en probetas para ensayo de impacto.

Ensayo de Impacto ASTM 256 método E	
Longitud	$63,50 \pm 2,0$ mm
Ancho	$12,70 \pm 0,20$ mm

(Fuente: Propia)

Con las medidas de longitud y ancho ya especificadas, solo falta definir el espesor para este ensayo, que debe estar entre 6 y 12 mm. Para cumplir con este requerimiento se unieron tres probetas de aproximadamente 3 mm de espesor, obteniendo las probetas para este ensayo.



Figura 2.39. Probetas para ensayo de impacto de izquierda a derecha (B, C, D y E).

(Fuente: Propia)

2.7. Protocolo de pruebas para ensayos acústicos

Se elaboró un protocolo de pruebas para poder comprobar el aislamiento acústico que posee el material compuesto. Para realizar la medición de un sonido, se tienen en cuenta al menos tres magnitudes relacionadas con su agresividad: nivel de presión acústica (dB) a la que puede llegar, frecuencia a la que se encuentra el sonido y la duración de este, con estas tres magnitudes se puede saber el nivel de contaminación del sonido.

Para esto se decidió elaborar una caja con las planchas fabricadas con excepción del suelo donde se aislará con cartón y espuma (figura 2.40). Dentro de estas cajas se colocaron dos celulares con aplicaciones de sonómetros funcionando (figura 2.41), del otro lado estaría funcionando un parlante con un sonido predeterminado de frecuencia media y a volumen alto, se medirán los dB generados sin la caja del material compuesto y los dB cuando los celulares están dentro de la caja, para así comprobar el aislamiento que puede llegar a tener el material.



Figura 2.40. Caja de material compuesto para ensayos acústicos.

(Fuente: Propia)



Figura 2.41. Aplicación de sonómetros para medir dB.

(Fuente: Propia)

No se pueden utilizar frecuencias bajas, esto se debe a que el material por su composición está diseñado para atenuar frecuencias medias y altas, además, no se pudieron utilizar frecuencias altas como las que se generan en un concierto, al realizar las pruebas en un lugar cerrado sin tanto espacio puede resultar muy perjudicial utilizar frecuencias altas, con bastantes vibraciones, además, el parlante no resiste altas frecuencias por un largo periodo de tiempo antes de fallar y no hay muchos sonidos a esas frecuencias que mantengan constante su nivel de ruido durante un periodo de tiempo lo suficientemente largo para realizar una correcta medición de sus dB.

Este ensayo se realizó en el Laboratorio de Conformado Mecánico de la Facultad de Ingeniería Mecánica con la finalidad de hacerlo en un lugar amplio, apartado de agentes externos y personal que pudiera ser perturbado

Se colocó la fuente de sonido, en este caso el parlante, en línea recta y a dos metros y medio de distancia de donde se colocarían los sonómetros (figura 2.42). Se decidió utilizar dos celulares con la misma aplicación de sonómetro para tener más mediciones y reducir errores. Se eliminaron todos los posibles obstáculos que se encuentren a la altura de la fuente y sonómetros, que puedan causar reverberación; es decir, “la permanencia del sonido en determinado lugar después de haber cesado de emitir la fuente debido a las múltiples reflexiones del mismo” [55].



Figura 2.42. Fuente de sonido (parlante) y caja de material compuesto.

(Fuente: Propia)

En los celulares se utilizó la aplicación “Sonómetro: medidor de dB, medidor de ruido” y se grabó la pantalla para así saber cuál fue la medición durante todo el tiempo que se emitió el sonido de frecuencia media, el sonido elegido fue: “tono de referencia LA a 440 Hz”. Se eligió este sonido porque es constante y su frecuencia es media. El parlante emitió el sonido al volumen máximo, con pausas entre cada medición para evitar su fallo, cada medición se realizó en intervalos de tres minutos, tiempo en el cual se esperaban 10 segundos hasta que el sonido se estabilice, 40 segundos para recopilar datos y 10 segundos más hasta detener el sonido y los sonómetros. Los dos minutos restantes se utilizaron para apagar el parlante y evitar que se sobrecaliente, además, también sirvió para que las personas presentes durante estas pruebas tengan un descanso del ruido y vibraciones generadas por la frecuencia del sonido, aun cuando durante el ensayo siempre se utilizaron tapones para oídos.

Se realizaron 3 ensayos acústicos por cada tamaño de grano y 3 ensayos acústicos más sin material compuesto para así verificar la atenuación del sonido, es decir, en total se realizaron 15 pruebas acústicas.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se muestran las probetas que se elaboraron mediante la metodología que se definió en la sección anterior. Se incluye un apartado en el cual se observa con la ayuda de un microscopio la estructura del material compuesto y los vacíos de aire que se generan en un área determinada. Además, se muestran todos los resultados obtenidos de los diferentes ensayos mecánicos y acústicos realizados en el material compuesto.

Como ya fue especificado en el capítulo anterior, la composición del material varía únicamente en el tamaño de su refuerzo. Analizando los ensayos realizados y mediante el método de criterios ponderados utilizando algunas alternativas previamente definidas se busca conocer con que tamaños de grano el compuesto cumplirá mejor su función.

Finalmente, se presenta el análisis de los costos involucrados en la elaboración del material compuesto.

3.1. Estructura de material compuesto utilizando microscopio

La razón de aumentar la composición de MEK y cobalto fue generar más burbujas en el compuesto. Como se ha mencionado, estos vacíos de aire contribuyen a mejorar el aislamiento acústico, por eso se consideró importante hacer un análisis de cuántas burbujas se llegan a generar en determinada área del material con la cantidad de MEK y cobalto que se utilizó.

Con la ayuda de un microscopio digital zoom óptico de 2.0 Mpx. (figura 3.1) se puede visualizar la microscopia del material compuesto en un área determinada de 10 mm², observando así las burbujas de diferentes tamaños que se generan.



Figura 3.1. Microscopio utilizado sobre el material compuesto.

(Fuente: Propia)

Las figuras 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 3.10, 3.12 y 3.14 muestran imágenes de cada material compuesto con su respectivo tamaño de grano, tomadas en diferentes posiciones de cada plancha del material compuesto. Para poder procesar las imágenes obtenidas del microscopio y conocer la cantidad de burbujas en un área determinada se utilizó el software ImageJ (figuras 3.3, 3.5, 3.7, 3.9, 3.11 y 3.13).

Material compuesto con tamaño de grano B:



Figura 3.2. Microscopía 1 de material compuesto con tamaño de grano B.

(Fuente: Propia)

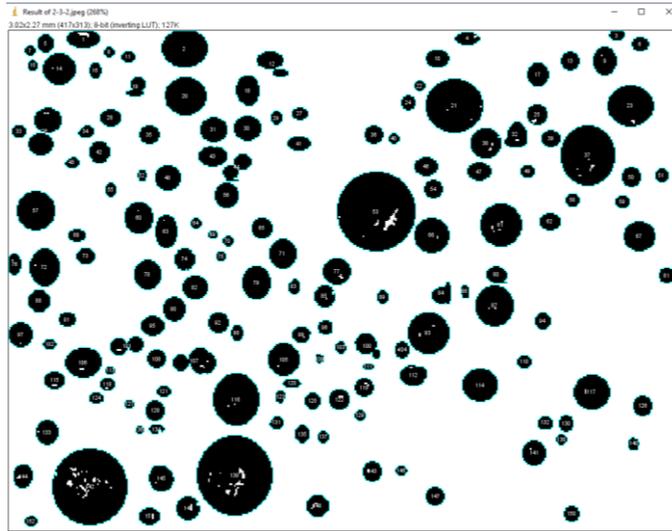


Figura 3.3. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano B procesada con ImageJ para conteo de burbujas.

(Fuente: Propia)

En la primera microscopia del material compuesto con tamaño de grano B que se procesó con el software ImageJ se obtuvieron 152 burbujas en un área de 10 mm².



Figura 3.4. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano B.

(Fuente: Propia)

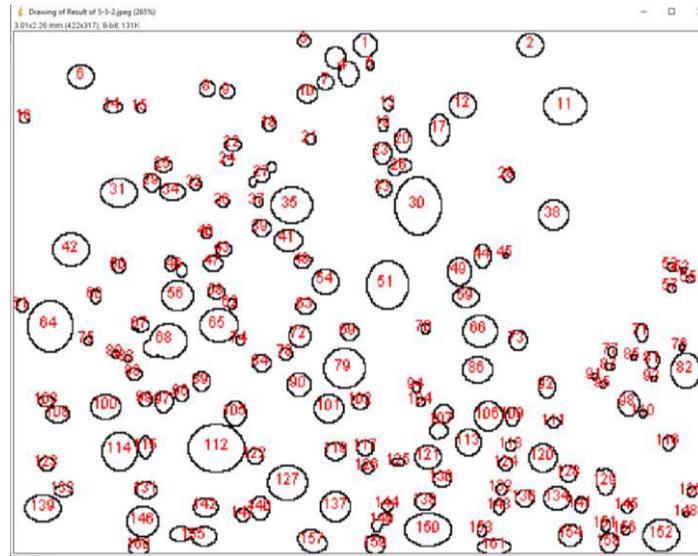


Figura 3.5. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano B procesada con ImageJ para conteo de burbujas.

(Fuente: Propia)

Al obtener la segunda microscopia del material compuesto con tamaño de grano B procesado con el software ImageJ se obtuvieron 161 burbujas en un área de 10 mm².

Material compuesto con tamaño de grano C:



Figura 3.6. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano C.

(Fuente: Propia)

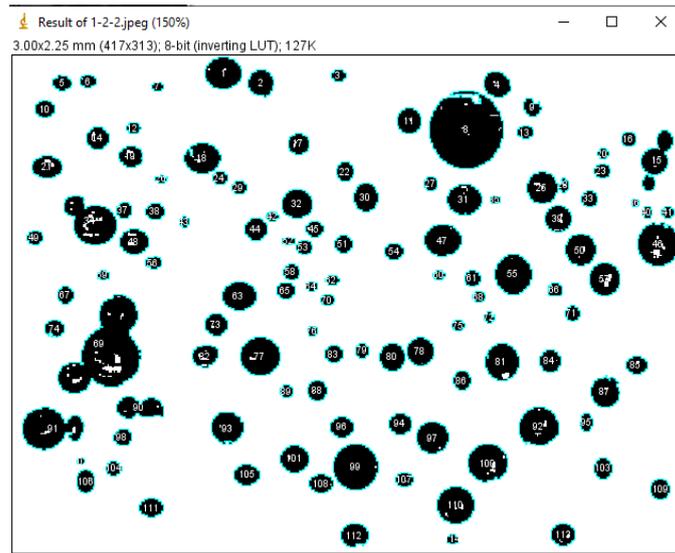


Figura 3.7. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano C procesada con ImageJ para conteo de burbujas.

(Fuente: Propia)

Para la primera microscopia procesado con el software ImageJ del material compuesto con tamaño de grano C se obtuvieron 114 burbujas en un área de 10 mm².



Figura 3.8. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano C.

(Fuente: Propia)

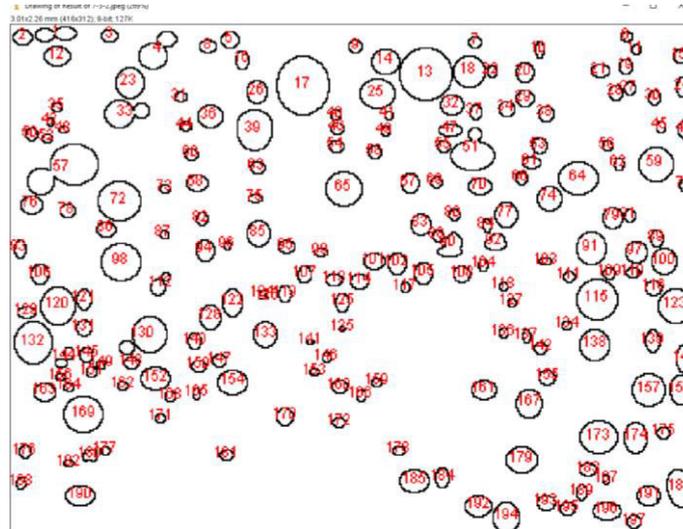


Figura 3.9. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano C procesada con ImageJ para conteo de burbujas.

(Fuente: Propia)

En la segunda microscopia del material compuesto con tamaño de grano C que se procesó con el software ImageJ se obtuvieron 149 burbujas en un área de 10 mm².

Material compuesto con tamaño de grano D:



Figura 3.10. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano D.

(Fuente: Propia)

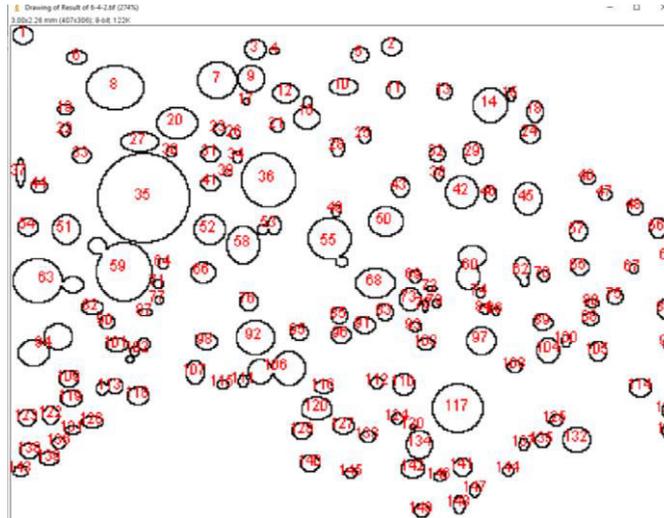


Figura 3.11. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano D procesada con ImageJ para conteo de burbujas.

(Fuente: Propia)

Al procesar la primera microscopia del material compuesto con tamaño de grano D con el software ImageJ se obtuvieron 114 burbujas en un área de 10 mm².

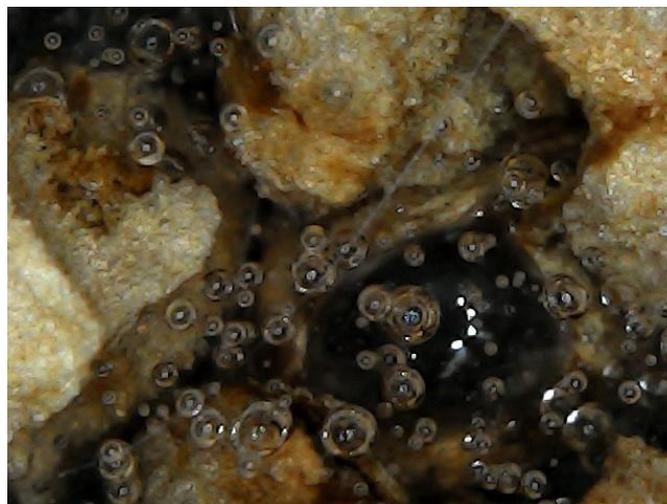


Figura 3.12. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano D.

(Fuente: Propia)

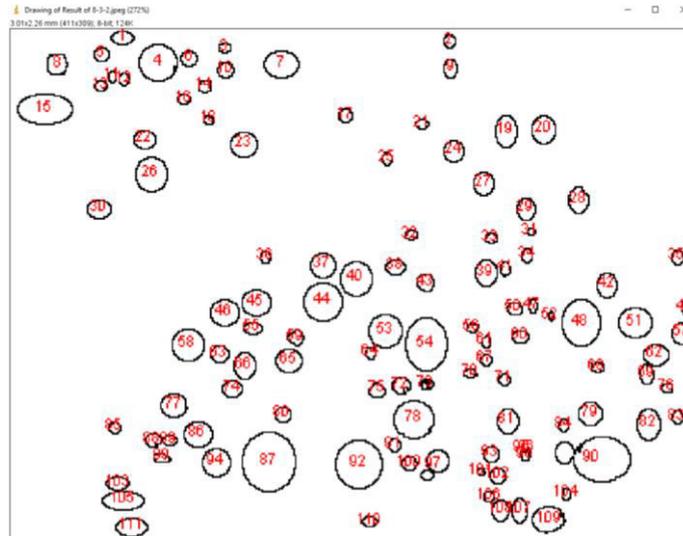


Figura 3.13. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano D procesada con ImageJ para conteo de burbujas.
(Fuente: Propia)

Al obtener la segunda microscopia del material compuesto con tamaño de grano D procesado con el software ImageJ se obtuvieron 197 burbujas en un área de 10 mm².

Material compuesto con tamaño de grano E:

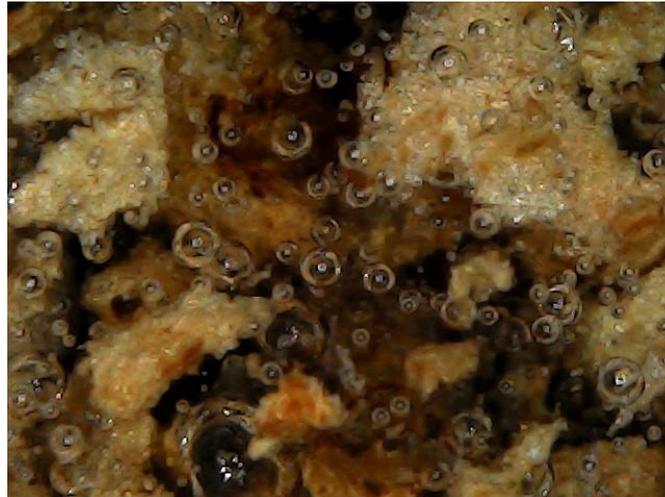


Figura 3.14. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano E.
(Fuente: Propia)

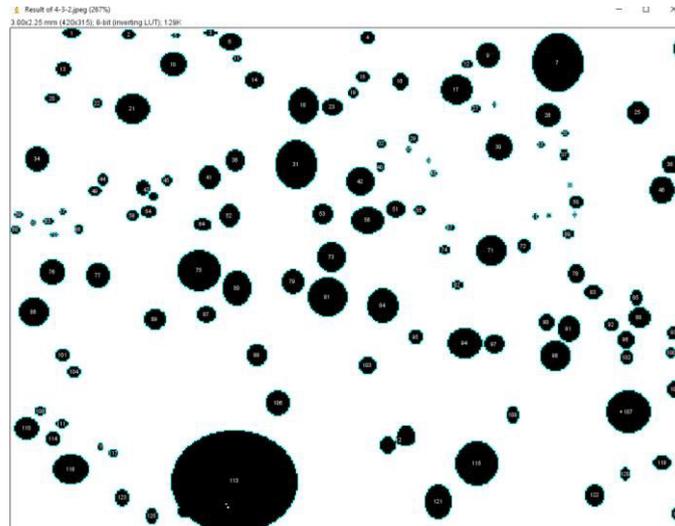


Figura 3.15. Microscopia 1 de material compuesto con tamaño de grano E procesada con ImageJ para conteo de burbujas.

(Fuente: Propia)

Luego de procesar la primera microscopia del material compuesto con tamaño de grano E con el software ImageJ se obtuvieron 125 burbujas en un área de 10 mm².

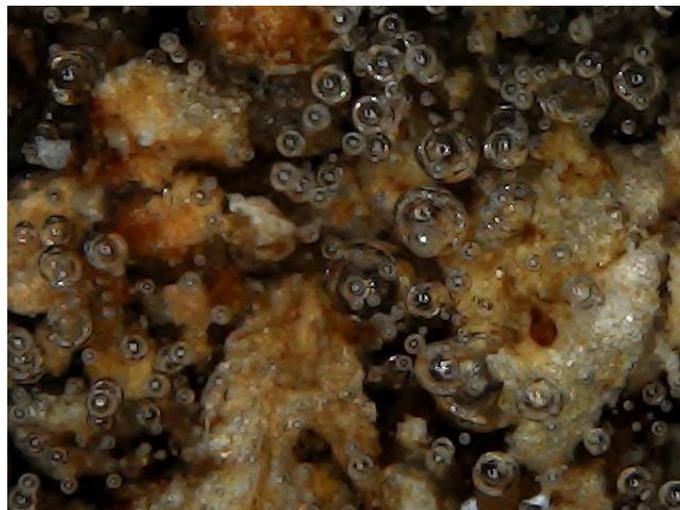


Figura 3.16. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano E.

(Fuente: Propia)

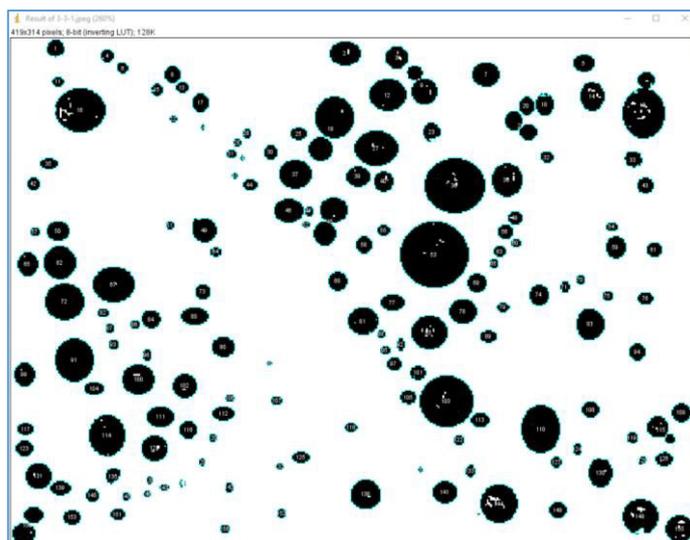


Figura 3.17. Microscopia 2 de material compuesto con tamaño de grano E procesada con ImageJ para conteo de burbujas.

(Fuente: Propia)

Al procesar la segunda microscopia del material compuesto de tamaño de grano E con el software ImageJ se obtuvieron 156 burbujas en un área de 10 mm².

En la tabla 3.1 se muestran todos los resultados obtenidos con el software ImageJ para obtener el conteo de burbujas a partir de la microscopia realizada en los diferentes materiales compuestos con sus tamaños de grano.

Tabla 3.1. Cantidad de burbujas halladas en 1mm² de material compuesto.

	Mat. Comp. con tamaño de grano B	Mat. Comp. con tamaño de grano C	Mat. Comp. con tamaño de grano D	Mat. Comp. con tamaño de grano E
Microscopia 1	152	114	114	125
Microscopia 2	161	149	197	156

(Fuente: Propia)

Una vez obtenidas las cantidades de burbujas que se generan en un área tan pequeña se puede analizar cómo influye el tamaño de grano en la cantidad de burbujas que se puedan llegar a generar. Como se observa en la tabla 3.1 el tamaño de grano utilizado no influirá en la cantidad de burbujas que se puedan llegar a generar. Todo el compuesto se compone de una gran cantidad de vacíos de aire que proporcionan un mejor aislamiento acústico sin importar el tamaño de grano utilizado en el compuesto.

3.2. Resultados y análisis de ensayos de flexión y tracción

En la tabla 3.2, se presentan los resultados de los ensayos de flexión y tracción a los que fue sometido el material compuesto, en 4 grupos de muestras diferentes (B, C, D y E) con un total de 40 probetas diferentes, 20 por cada ensayo.

Tabla 3.2. Resultados de ensayo de flexión y tracción entregados por el CIAP.

GRUPO		B	C	D	E
ASTM D 790	Tangent Modulus [MPa]	2250 ± 251	N/A	N/A	2280 ± 365
	Flexural Strength [MPa]	24,6 ± 7,1	20,2 ± 2,7	16,5 ± 2,6	25,1 ± 2,3
	Flexural Strain [%]	1,27 ± 0,34	1,13 ± 0,24	1,51 ± 0,10	1,50 ± 0,09
ASTM D638 – TIPO IV	Modulus of elasticity [MPa]	1830 ± 153	2080 ± 363	2060 ± 72	2130 ± 436
	Tensile strength at max load [MPa]	2,97 ± 0,81	4,42 ± 0,60	3,60 ± 1,10	4,65 ± 1,05
	Elongation at break [%]	0,32 ± 0,04	0,39 ± 0,03	0,35 ± 0,05	0,39 ± 0,04

(Fuente: Centro de Investigación y Aplicación de Polímeros CIAP)

Las primeras 3 filas de la tabla 3.2 corresponden a los resultados obtenidos del ensayo de flexión bajo la norma ASTM D 790 – 17 utilizando 5 probetas por cada tipo de material compuesto, en total 20 para este ensayo. En la figura 3.18 se puede observar que el material compuesto con el tamaño de grano E tiene mejor resistencia a la flexión (25,1 MPa) antes de fallar, aunque sin mayor diferencia con el material compuesto del tamaño de grano B (24,6 MPa), si se analiza la diferencia de precisión que puede haber en cada resultado el material compuesto con tamaño de grano más grande (B) podría tener una mayor resistencia a la flexión.

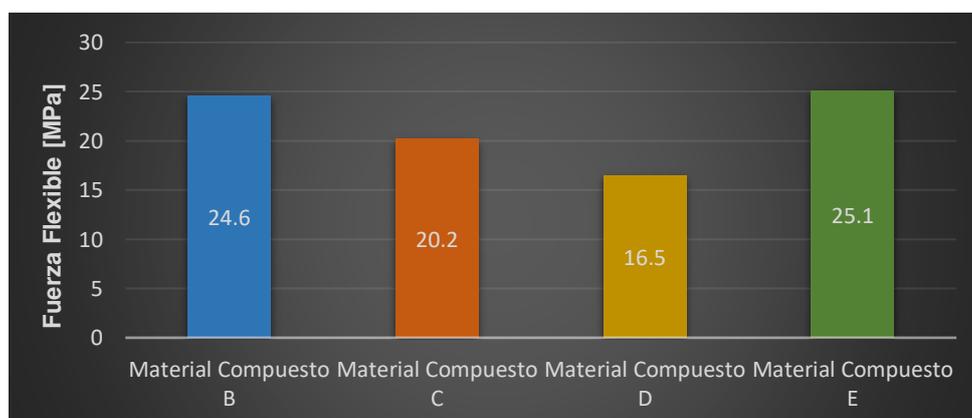


Figura 3.18. Resistencia a la flexión.

(Fuente: Propia)

Mientras tanto en la figura 3.19, se observa que la deformación por flexión que resisten los materiales compuestos con sus diferentes tamaños de grano, al igual que en los anteriores resultados, es muy parecida entre los diferentes compuestos con sus tamaños de grano, siendo el material con el compuesto D, el que más se deforma antes de fallar. Seguido por el material con el compuesto E que solo se deforma 0,1% menos que el D antes de fallar. La deformación por flexión que pueden presentar estos compuestos será mayor cuando el tamaño de grano sea menor.

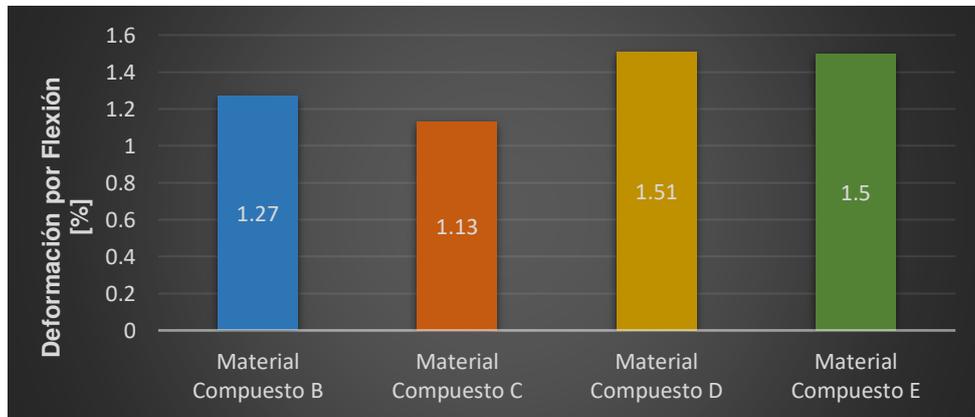


Figura 3.19. Deformación por flexión.

(Fuente: Propia)

De la misma manera, los resultados obtenidos del ensayo de tracción se muestran en la tabla 3.2. Este ensayo fue realizado bajo la norma ASTM D638, siguiendo todos los requerimientos, se ensayaron 5 probetas de cada tamaño de grano con un total de 20 probetas con las medidas especificadas en la norma.

En la figura 3.20 se observan los resultados obtenidos del material compuesto sometido a esfuerzos de tracción. Se puede notar que el material compuesto con el tamaño de grano más pequeño (E = 1,40 mm) es el que presenta mayor resistencia a la tracción sometido a carga máxima. De igual manera, el material que le sigue es el compuesto con tamaño de grano C (2,00 mm), mientras que la menor resistencia a la tracción es del material compuesto con tamaño de grano B. Aun así, todos los materiales compuestos presentan muy baja resistencia a la tracción, esto significa que si se somete al material compuesto a elevados esfuerzos muy seguramente fallará.

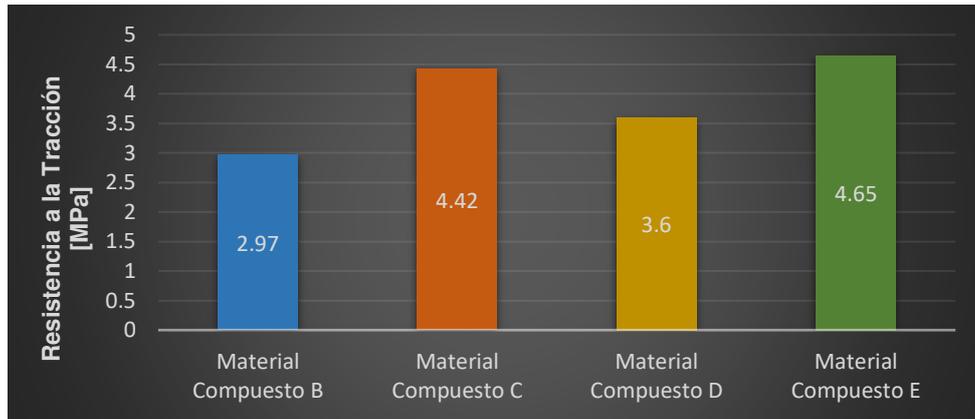


Figura 3.20. Resistencia a la tracción.

(Fuente: Propia)

Finalmente, en la figura 3.21 se puede observar que todos los materiales compuestos con sus respectivos tamaños de grano presentan casi el mismo porcentaje de deformación plástica antes de que el compuesto se rompa. El porcentaje que se pueden deformar estos compuestos antes de fracturarse es muy bajo, siendo el material compuesto con tamaño de grano C y E el más alto.

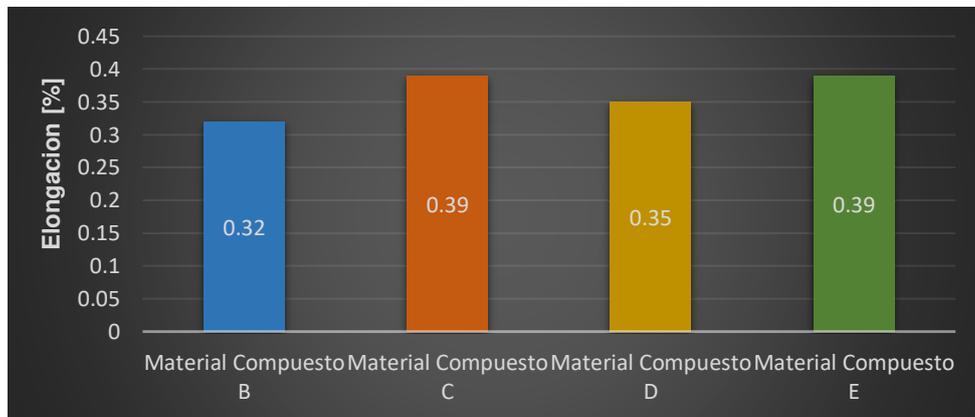


Figura 3.21. Porcentaje de elongación.

(Fuente: Propia)

Una vez analizados los resultados obtenidos del ensayo de tracción y flexión, se puede decir que el material compuesto no presenta buenas propiedades mecánicas cuando está sometido a flexión o tracción. Además, no existe una gran diferencia de resultados entre las probetas B, C, D y E, lo que significa que el tamaño de grano no influye en la resistencia a tracción o flexión que presenta el material. Estas propiedades mecánicas se vieron afectadas no solo por la composición del material compuesto sino por la presencia de poros.

3.3. Resultados y análisis de ensayo de impacto

El ensayo de impacto se realizó en el Laboratorio de Nuevos Materiales (LANUM) siguiendo la norma ASTM D256 y todos los resultados del ensayo se encuentran en el ANEXO 3. Se utilizaron 10 probetas de determinadas medidas por cada material compuesto con su tamaño de grano (B, C, D, E) dando un total de 40 probetas. Los resultados de estos ensayos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.3. Resultados del ensayo de impacto.

ENSAYO DE IMPACTO IZOD ASTM D 256 - 10			
	Energía de Impacto (J)	Energía / Longitud (J / m)	Energía / Área (kJ / m ²)
B	0,088	7,065	0,753
C	0,089	7,194	0,818
D	0,078	6,302	0,681
E	0,084	6,803	0,761

(Fuente: Propia)

En la tabla 3.3 se observan los resultados obtenidos luego de que se realizaran los ensayos de impacto por péndulo a los diferentes grupos de probetas. De estos resultados se puede observar en la imagen 3.22 la cantidad de energía que absorbe el material compuesto linealmente, donde la probeta del tamaño de grano C presenta una leve ventaja sobre los demás, con una capacidad de absorber 7,194 J en un metro lineal del material compuesto antes de fracturarse.

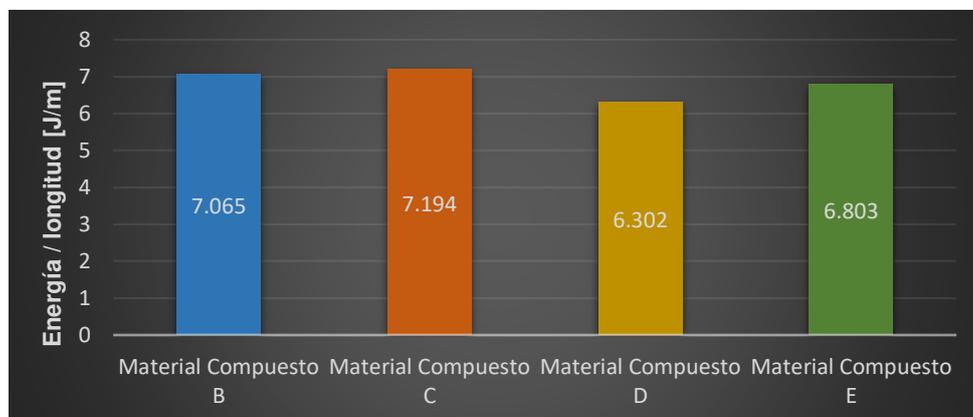


Figura 3.22. Cantidad de energía absorbida por metro.

(Fuente: Propia)

En la imagen 3.23 se puede observar la capacidad que tiene el material compuesto de absorber en un metro cuadrado antes de fallar y romperse. El material compuesto con tamaño de grano C es el que mejor absorberá energía sin sacar mayor diferencia al compuesto con tamaño de grano E y B. Siendo el menos resistente al impacto el material compuesto con tamaño de grano D, pero sin representar una gran diferencia con respecto a los demás.

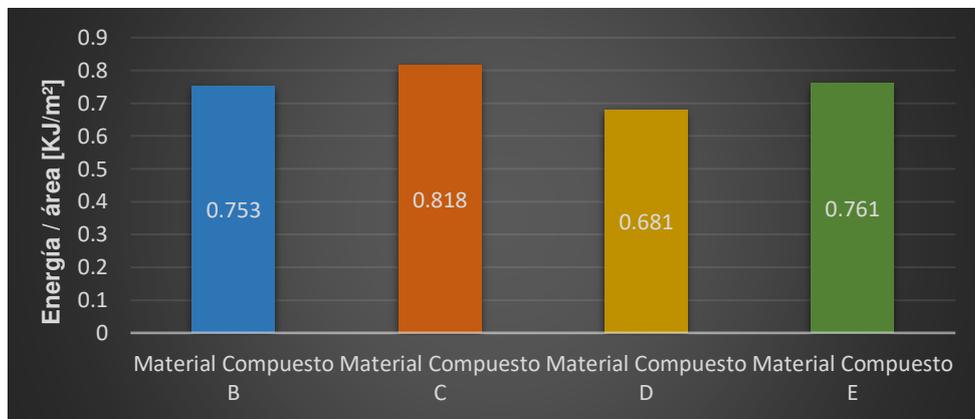


Figura 3.23. Cantidad de energía absorbida por metro cuadrado.

(Fuente: Propia)

Al comparar los resultados de los ensayos de tracción, flexión e impacto realizados sobre el material compuesto con sus distintos tamaños de grano, se puede decir que el material compuesto con tamaño de grano E generalmente presenta las mejores características. El material compuesto con tamaño de grano C fue el segundo mejor en los diferentes ensayos mecánicos. Después se encuentra el material compuesto con tamaño de grano B y finalmente, está el compuesto con tamaño de grano D.

Al igual que en los ensayos de tracción y flexión, el ensayo de impacto por péndulo no presenta una gran diferencia en sus resultados entre las diferentes probetas del material compuesto con sus respectivos tamaños de grano, dando a entender que el tamaño de grano no es tan influyente en las propiedades mecánicas como la composición que se utilizó. La reacción que se generó al utilizar una gran cantidad de MEK y cobalto da como resultado que se generen varias burbujas en todo el material compuesto, todas estas burbujas son poros, defectos mecánicos, los cuales afectan directamente a las propiedades mecánicas del material.

De acuerdo a la aplicación de este material compuesto en particular no será sometido a elevadas sollicitaciones mecánicas por lo que sus propiedades mecánicas no son un factor relevante.

3.4. Resultados de ensayos acústicos realizados

Finalmente, se muestran los datos obtenidos de los ensayos acústicos realizados en el material compuesto (B, C, D y E). Al analizar los resultados se determinará qué tamaño de grano del material compuesto aislará mejor el ruido externo.

Este protocolo de pruebas se dividió en 5 partes; cada medición se realizó teniendo siempre la misma distancia entre fuente y sonómetro, con el mismo nivel de ruido y con el mismo sonido. Desde aproximadamente los 100 Hz el sonido empieza a ser direccional por lo que el sonido que se emita desde la fuente irá directamente hacia la zona de medición donde se encontrarán los sonómetros [56].

En cada prueba realizada se tomaron los datos de dB a los 25 segundos, para este tiempo el sonido del parlante y las medidas tomadas por los sonómetros se encuentran más estables. Se tomaron los datos de 3 pruebas sin aislamiento y 3 por cada tamaño de grano para reducir errores de medición. En el ANEXO 4 se encuentran los enlaces a los videos completos que se grabaron de las mediciones del ensayo acústico.

A continuación, se muestran las pantallas de la aplicación de las pruebas sin aislamiento (figuras 3.24, 3.25 y 3.26), donde se mide el nivel de ruido a 2,5 metros del parlante funcionando a máximo volumen sin el material compuesto.



Figura 3.24. Prueba acústica 1 sin aislamiento.

(Fuente: Propia)



Figura 3.25. Prueba acústica 2 sin aislamiento.
(Fuente: Propia)



Figura 3.26. Prueba acústica 3 sin aislamiento.
(Fuente: Propia)

Como se puede observar en las figuras el ruido generado por la fuente hacia los sonómetros sin aislamiento se mantiene sobre los 81 dB en la primera medición, y sobre los 85 dB en la segunda y tercera medición con un equivalente al ruido generado por tráfico pesado: discotecas, conciertos (figura 1.3). De las tres mediciones se obtiene un promedio de 83,9 dB y frecuencia de 440 Hz emitida por el sonido predeterminado. La gráfica intensidad de sonido vs tiempo muestra un ruido uniforme en el tiempo, que se mantenga de esa forma ayuda a minimizar los errores de mediciones. Con la frecuencia media predeterminada y estando al límite de que el sonido se vuelva nocivo con posibles afecciones irreversibles, el ruido ocasiona grandes vibraciones y molestias por los altos dB generados.

En las figuras 3.27, 3.28 y 3.29 se muestran las pruebas acústicas realizadas en el material compuesto con el tamaño de grano B (2,36 mm), donde se midieron los dB que llegan a los sonómetros dentro de la caja del material compuesto desde la fuente.



Figura 3.27. Prueba acústica 1 en material compuesto con tamaño de grano B.

(Fuente: Propia)

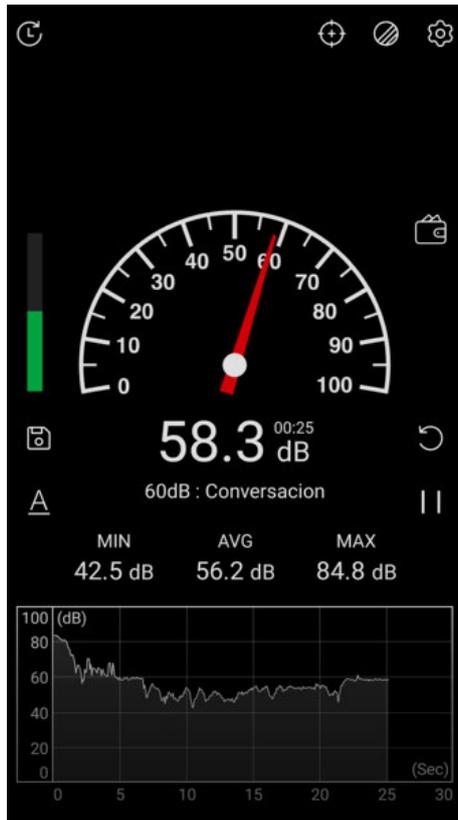


Figura 3.28. Prueba acústica 2 en material compuesto con tamaño de grano B.
(Fuente: Propia)

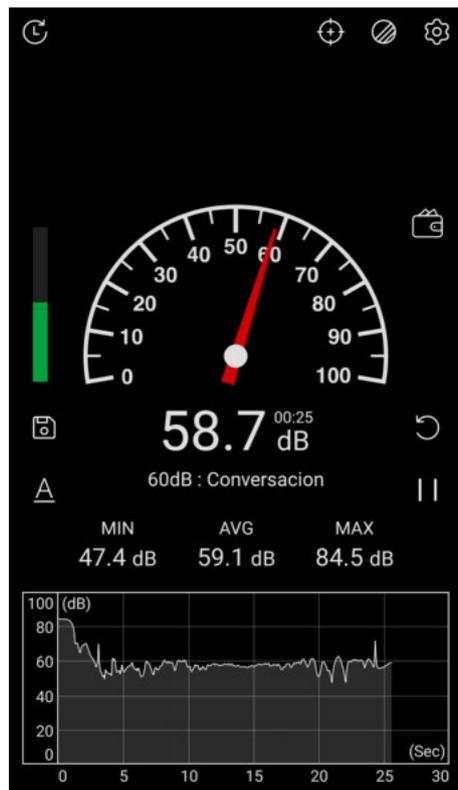


Figura 3.29. Prueba acústica 3 en material compuesto con tamaño de grano B.
(Fuente: Propia)

En las figuras se pueden observar los dB medidos en los sonómetros dentro de la caja de material compuesto de tamaño de grano B, las mediciones de las 3 pruebas a los 25 segundos dieron como resultado 56,3 dB, 58,3 dB y 58,7 dB. El promedio de las 3 mediciones fue de 57,8 dB dentro de la caja del material compuesto. Los primeros casi 5 segundos de cada prueba son inestables como se puede observar en las gráficas intensidad de sonido vs tiempo, porque ese es el tiempo que tarda en comenzar a grabar la pantalla mientras funcionan los sonómetros y se ubica dentro de la caja del material compuesto, luego de este tiempo las mediciones de dB se vuelven más estables.

La medida promedio de dB tomada de los sonómetros dentro de la caja fue de 57,8 dB, y la medida promedio obtenida sin ningún aislante fue de 83,9 dB, lo que quiere decir que al utilizar el material compuesto de tamaño de grano B existe una reducción de 26.1 dB.

Las figuras 3.30, 3.31 y 3.32 corresponden a las mediciones realizadas de ruido en los sonómetros al interior del material compuesto de tamaño de grano C = 2,00 mm desde el parlante.



Figura 3.30. Prueba acústica 1 en material compuesto con tamaño de grano C.
(Fuente: Propia)

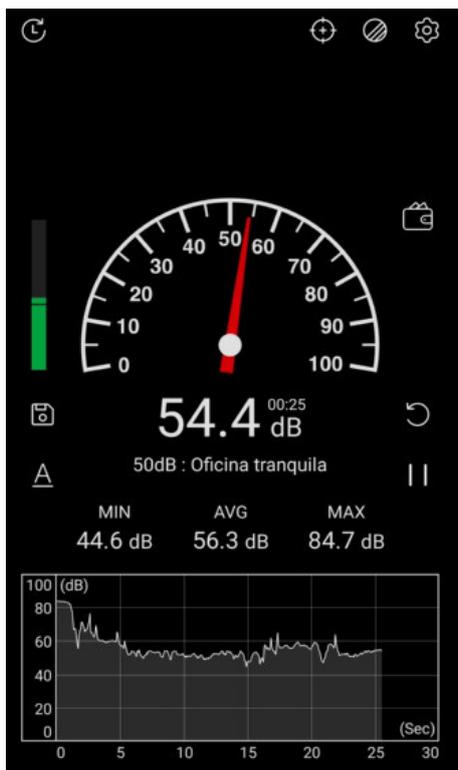


Figura 3.31. Prueba acústica 2 en material compuesto con tamaño de grano C.
(Fuente: Propia)



Figura 3.32. Prueba acústica 3 en material compuesto con tamaño de grano C.
(Fuente: Propia)

En las figuras se aprecian los resultados obtenidos de los sonómetros dentro del material compuesto de tamaño de grano C. Las medidas de las 3 pruebas tomadas a los 25 segundos tienen los siguientes resultados: 50,9 dB, 54,4 dB y 52,3 dB. El promedio de estas medidas tomadas a los 25 segundos fue de 52,5 dB y de la prueba acústica sin la caja del material compuesto es de 83,9 dB. Es decir, que si se utiliza la de caja de material compuesto C como aislante acústico el ruido generado se verá disminuido en 31,4 dB.

Las figuras 3.33, 3.34 y 3.35 muestran las pruebas acústicas realizadas en los sonómetros para medir los dB obtenidos al interior del material compuesto de tamaño de grano D (1,70 mm) desde la fuente del sonido.



Figura 3.33. Prueba acústica 1 en material compuesto con tamaño de grano D.

(Fuente: Propia)

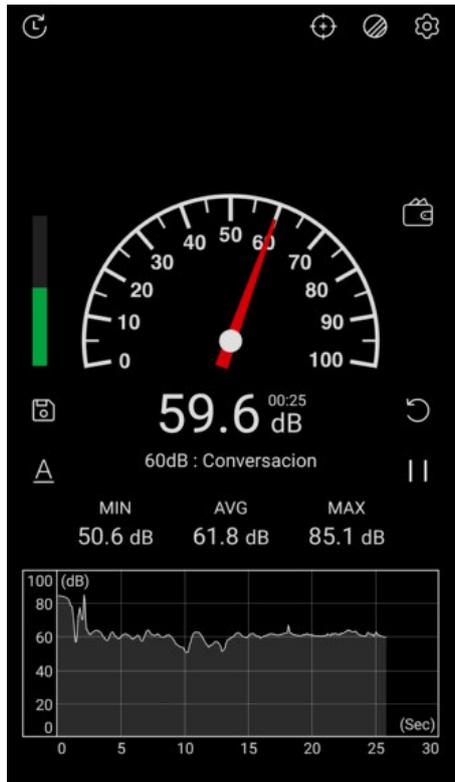


Figura 3.34. Prueba acústica 2 en material compuesto con tamaño de grano D.
(Fuente: Propia)



Figura 3.35. Prueba acústica 3 en material compuesto con tamaño de grano D.
(Fuente: Propia)

Como se puede observar en las imágenes los sonómetros ubicados dentro de la caja del material compuesto de tamaño de grano D, los dB obtenidos de las 3 pruebas acústicas a los 25 segundos muestran los siguientes resultados: 61,3 dB, 59,6 dB y 54,2 dB con un promedio de 58,4 dB. De la prueba acústica sin el material compuesto se obtuvieron 83,9 dB, al utilizarse la caja del material compuesto con el tamaño de grano D se disminuye en 25,5 dB.

Finalmente, se muestran las 3 pruebas acústicas que miden los sonómetros ubicados dentro de la caja del material compuesto de tamaño de grano E (1,40 mm) desde la fuente del sonido.

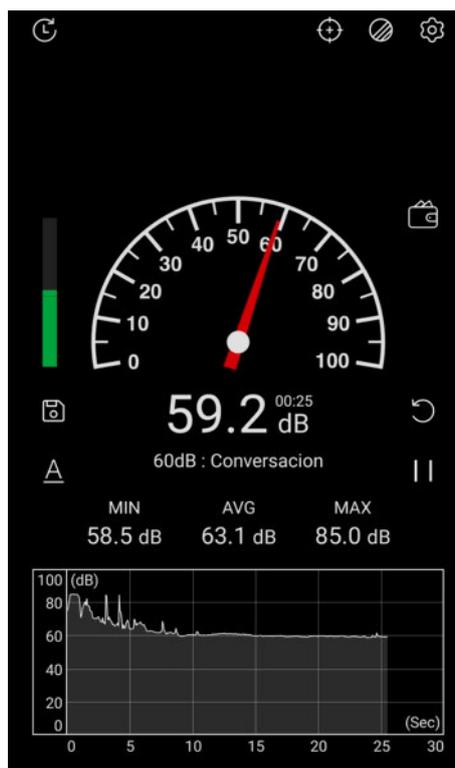


Figura 3.36. Prueba acústica 1 en material compuesto con tamaño de grano E.

(Fuente: Propia)

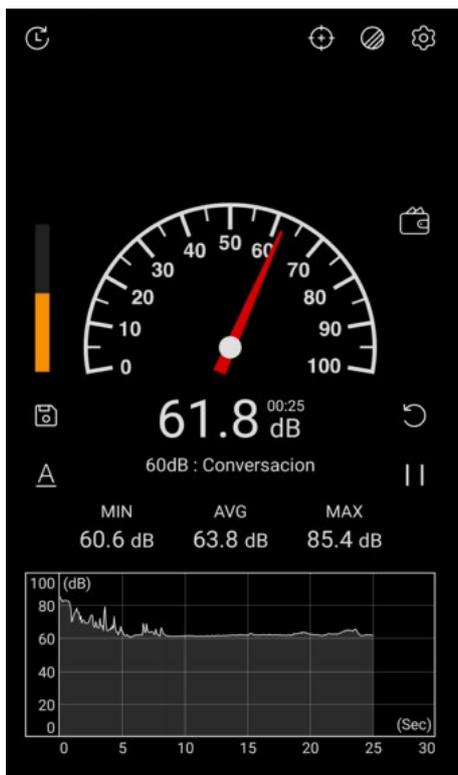


Figura 3.37. Prueba acústica 2 en material compuesto con tamaño de grano E.
(Fuente: Propia)



Figura 3.38. Prueba acústica 3 en material compuesto con tamaño de grano E.
(Fuente: Propia)

Los datos obtenidos de estas 3 pruebas acústicas fueron de: 59,2 dB, 61,8 dB y 61,7 dB dando como resultado un promedio de 60,9 dB, comparando este resultado promedio con la medición obtenida de la prueba acústica sin aislante de sonido (83,9 dB) se puede decir que si se utiliza el material compuesto con el tamaño de grano E como aislante acústico el ruido disminuirá en 23 dB.

Una vez realizadas todas las pruebas acústicas en el material compuesto con sus distintos tamaños de grano, se puede observar la cantidad de ruido que es capaz de aislar cada uno de ellos. En la tabla que se encuentra a continuación se pueden observar de mejor manera todos los resultados que se obtuvieron de las pruebas acústicas.

Tabla 3.4. Resultados obtenidos de pruebas acústicas.

	Sin Aislamiento Acústico	Material Compuesto (B)	Material Compuesto (C)	Material Compuesto (D)	Material Compuesto (E)
Prueba 1	81,4 dB	56,3 dB	50,9 dB	61,3 dB	59,2 dB
Prueba 2	85,2 dB	58,3 dB	54,4 dB	59,6 dB	61,8 dB
Prueba 3	85,1 dB	58,7 dB	52,3 dB	54,2 dB	61,7 dB
Promedio Obtenido	83,9 dB	57,8 dB	52,5 dB	58,4 dB	60,9 dB
Cantidad de ruido que aísla el compuesto		26,1 dB	31,4 dB	25,5 dB	23,5 dB

(Fuente: Propia)

En la figura 3.39 se tiene representado el resultado de la cantidad de ruido que aísla cada compuesto en un gráfico que permite una rápida comparación entre los materiales compuestos con sus diferentes tamaños de grano y el resultado de la prueba acústica.

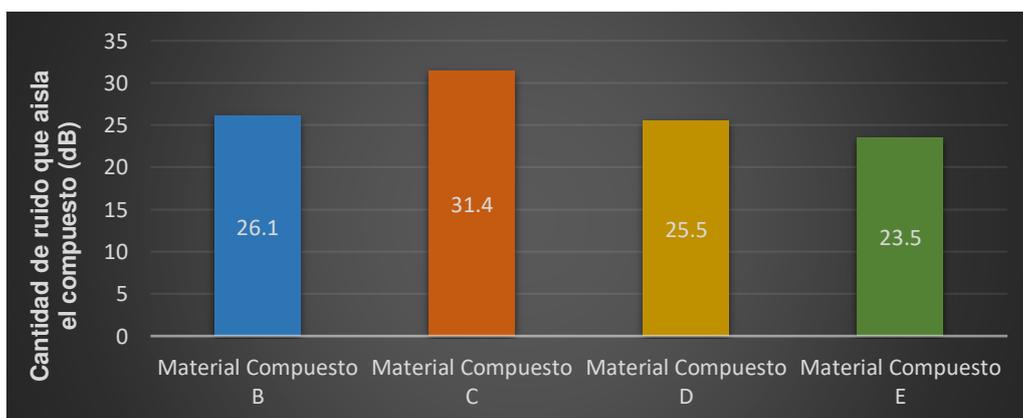


Figura 3.39. Cantidad de ruido que aísla el compuesto (dB)

(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la figura las mediciones obtenidas utilizando las cajas de material compuesto sí aíslan el ruido producido por el parlante, actuando de mejor manera una comparada con la otra sin una marcada diferencia. El material compuesto con el tamaño de grano C es el que mejor funciona logrando atenuar 31,4 dB del ruido externo, seguido por el material compuesto con tamaño de grano B con 26,1 dB de atenuación. Luego el material D con 25,5 dB que es prácticamente el mismo aislamiento que el compuesto con tamaño de grano B y finalmente el material E que atenuó 23,5 dB del ruido generado por la fuente. Los materiales compuestos con tamaño de grano B, D y E no presentan mayor diferencia en su atenuación y aunque el material compuesto con tamaño de grano C actúa mejor atenuando el sonido tampoco es una gran diferencia hablando de nivel de ruido, por lo que se puede decir que, aunque los compuestos con tamaños de grano medianos pueden actuar mejor en el material compuesto para atenuar el sonido no hay gran diferencia. Por lo tanto, lo que más influirá en el aislamiento del ruido externo será la composición que posea el material; en este caso, los 4 materiales compuestos tienen la misma composición con el mismo material base y el mismo refuerzo.

Este compuesto funciona correctamente porque en todos los casos se llega a atenuar en más de 23 dB el ruido externo lo cual pasa de percibirse como un equivalente a ruido generado por tráfico pesado, discotecas, conciertos a un sonido equivalente de una conversación o de una oficina tranquila (figura 1.3).

3.5. Selección de mejor material compuesto en base a método de criterios ponderados

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos mecánicos y acústicos, se debe elegir el material compuesto que mejor se desenvuelva acústica y mecánicamente y que además al tener como finalidad ser empleado al interior de una vivienda tenga una buena estética y que permita el paso de la luz.

Determinados los criterios para selección de mejor material compuesto, se procede a seleccionar el mejor material compuesto, empleando el método de criterios ponderados, dando un orden de importancia a los criterios que debe cumplir el material como se muestra a continuación:

Aislamiento acústico > Translúcido > Aspecto Estético > Propiedades Mecánicas

Para el desarrollo de este método se debe crear una matriz de criterios ponderados con las siguientes alternativas que se nombraron en base al tamaño de grano: Alternativa B, Alternativa C, Alternativa D y Alternativa E.

Este método se basa en que cada criterio debe confrontarse con los demás y se les va dando los siguientes valores en las diferentes tablas:

- 1: Si el criterio de la fila supera al de la columna
- 0.5: Si el criterio de la fila es igual al de la columna
- 0: Si el criterio de la fila es inferior al de la columna

Siguiendo el método de criterios ponderados se suman todos estos valores en una ponderación final donde a cada criterio se le suma uno para evitar un resultado nulo en el criterio o alternativa más desfavorable.

Para obtener la tabla de la solución final (tabla 3.5), se van sumando los productos de los pesos específicos de cada alternativa por el peso específico de cada criterio [57]. En las siguientes tablas se desarrolla el método de criterios ponderados para hallar la mejor alternativa de tamaño de grano del material compuesto.

Tabla 3.5. Evaluación del peso específico de cada criterio.

Criterio	Aislamiento Acústico	Translúcido	Aspecto Estético	Propiedades Mecánicas	$\Sigma + 1$	Ponderación
Aislamiento Acústico		1	1	1	4	0,4
Translúcido	0		1	1	3	0,3
Aspecto Estético	0	0		1	2	0,2
Propiedades Mecánicas	0	0	0		1	0,1
				Total	10	1

(Fuente: Propia)

En la tabla 3.6 se observa la evaluación de peso específico del criterio aislamiento acústico.

$$C > B = D > E$$

Tabla 3.6. Evaluación de peso específico del criterio aislamiento acústico.

Aislamiento Acústico	B	C	D	E	$\Sigma + 1$	Ponderación
B		0	0,5	1	2,5	0,25
C	1		1	1	4	0,4
D	0,5	0		1	2,5	0,25
E	0	0	0		1	0,1
Total					10	1

(Fuente: Propia)

En la tabla 3.7 se observa la evaluación de peso específico del criterio translúcido.

$$B > C > D > E$$

Tabla 3.7. Evaluación de peso específico del criterio translúcido.

Translúcido	B	C	D	E	$\Sigma + 1$	Ponderación
B		1	1	1	4	0,4
C	0		1	1	3	0,3
D	0	0		1	2	0,2
E	0	0	0		1	0,1
Total					10	1

(Fuente: Propia)

En la tabla 3.8 se observa la evaluación de peso específico del criterio aspecto estético.

$$E > D > C > B$$

Tabla 3.8. Evaluación de peso específico del criterio aspecto estético.

Aspecto Estético	B	C	D	E	$\Sigma + 1$	Ponderación
B		0	0	0	1	0,1
C	1		0	0	2	0,2
D	1	1		0	3	0,3
E	1	1	1		4	0,4
Total					10	1

(Fuente: Propia)

En la tabla 3.9 se observa la evaluación de peso específico del criterio propiedades mecánicas.

$$E > C > B > D$$

Tabla 3.9. Evaluación de peso específico del criterio propiedades mecánicas.

Propiedades Mecánicas	B	C	D	E	$\Sigma + 1$	Ponderación
B		0	1	0	2	0,2
C	1		1	0	3	0,3
D	0	0		0	1	0,1
E	1	1	1		4	0,4
Total					10	1

(Fuente: Propia)

Finalmente, la tabla 3.10 se observan las conclusiones que determina la mejor alternativa de tamaño de grano en el material compuesto.

Tabla 3.10. Conclusión del método de criterios ponderados.

Criterio Alternativa	Aislamiento Acústico	Translúcido	Aspecto Estético	Propiedades Mecánicas	Σ	Prioridad
B	0,1	0,12	0,02	0,02	0,26	2
C	0,16	0,09	0,04	0,03	0,32	1
D	0,1	0,06	0,06	0,01	0,23	3
E	0,04	0,03	0,08	0,04	0,19	4

(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la tabla de conclusión del método de criterios ponderados, la opción del material compuesto con tamaño de grano C es la más adecuada para ser utilizada, tiene el mejor aislamiento acústico que es lo más importante y es translúcido. Después, se encuentra el material compuesto con tamaño de grano B seguido de cerca por el material compuesto con tamaño de grano D y finalmente está el tamaño compuesto con tamaño de grano E que es el que más paso de ruido permite. Estos resultados podrían variar en algo si el habitante de la vivienda prefiere que su ventana esté cubierta por un material que no permita el paso de luz.

De esta manera gracias al método de criterios ponderados el orden de mejor a peor material compuesto de acuerdo con su tamaño de grano sería:

- 1) Material Compuesto con tamaño de grano C

- 2) Material Compuesto con tamaño de grano B
- 3) Material Compuesto con tamaño de grano D
- 4) Material Compuesto con tamaño de grano E

El material compuesto fabricado se desenvuelve mejor acústicamente con tamaños de grano medianamente grandes.

3.6. Análisis de costos involucrados en la fabricación del material compuesto.

Una vez definido el tamaño de grano adecuado para el material compuesto que mejor aísla el sonido, se procede a definir los costos que se involucran en obtener el material compuesto (tabla 3.11).

Tabla 3.11. Costos de materiales involucrados en la fabricación del compuesto.

Descripción	Proveedor	Cantidad	Precio	Cantidad Utilizada en Compuesto	Precio Final
Resina Poliéster	PINTULAC	1000 g	\$ 4,45	128 g	\$ 0,57
MEK	PINTULAC	1000 g	\$ 6,83	3,3 g	\$ 0,02
Cobalto	PINTULAC	1000 g	\$ 19,89	0,7 g	\$ 0,01
Corcho	Reciclado	-	-	8 g	\$ 0
				Precio Total	\$ 0,60

(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la tabla 3.11, obtener una plancha de material compuesto de 56 cm de largo x 17 cm de ancho x 3 mm de espesor, equivale a un precio de solo 60 centavos. Adicional, se debería incluir el precio de utilizar el molino de cuchillas y la tamizadora para el corcho, para el proyecto de titulación no tuvo ningún costo debido a que se utilizaron las máquinas del laboratorio de Química de la Escuela Politécnica Nacional.

También se deben considerar 5 dólares extra del precio del molde de vidrio, aunque este valor solo será pagado al inicio, con un solo molde se pueden obtener todas las planchas del material compuesto. Finalmente, se le aumenta al precio total una utilidad que puede ir del 10 al 20 % que sería el porcentaje de ganancia del fabricante, en este caso se escogió una utilidad del 15%.

Se elaboró un armazón de madera donde se colocan las planchas del compuesto (figura 3.39) y se coloca tras la ventana. No se lo considera un prototipo de persiana acústica para la ventana, pero sirvió para observar la cantidad de planchas necesarias para cubrir una ventana estándar (110 x 80 cm).



Figura 3.40. Armazón de madera con planchas del material compuesto.
(Fuente: Propia)

Como se observa en la imagen se necesitan 10 planchas del material compuesto para cubrir una ventana estándar lo cual daría un total de 6 dólares por todas las planchas. En la tabla 3.12 se muestra el precio final que costaría obtener las planchas necesarias para cubrir una ventana, sin considerar el sistema de persianas que se pueda diseñar el cual incurriría en varios gastos extras adicionales.

Tabla 3.12. Precio final para obtener planchas de material compuesto para cubrir una ventana.

	Costo Total
Planchas de Material Compuesto	\$ 6
Moldes de Vidrio	\$ 5
Subtotal	\$ 11
Utilidad (15%)	\$ 1,65
TOTAL	\$12,65

(Fuente: Propia)

El costo total final de obtener las planchas del material compuesto necesarias para cubrir una ventana será de \$12,65. En el país no se encuentran en el mercado cortinas o persianas acústicas y en el extranjero, concretamente en España adquirir cortinas acústicas de las mismas medidas que el armazón de madera con las planchas de material compuesto elaboradas (110 x 80 cm) tienen los siguientes costos: Si se busca una reducción de hasta 15 dB tiene un costo de \$ 77,56; para cortinas con un aislamiento de hasta 20 dB el costo es de \$ 88,88; y si se busca adquirir cortinas que aíslen hasta 30 dB como fue el caso del mejor material compuesto el costo de adquirirlo en el extranjero será de \$ 341,23 [58]. El costo de este producto es muy elevado y por tanto de difícil acceso para todos, de encontrar o importar este tipo de cortinas o persianas en el país el costo seguramente sería mucho más alto.

4. CONCLUSIONES

Se estudiaron varias posibles alternativas de materiales reciclables que actúen como refuerzo del compuesto mientras cumplen la función de atenuar el sonido. Luego de estudiar algunas alternativas como el plástico de las botellas o realizar pruebas con filtros de cigarrillos, se llegó a la decisión de utilizar corchos de vino, pues se consiguen fácilmente en grandes cantidades y luego de triturados se comportaron adecuadamente en la mezcla con la resina poliéster.

Se fabricó un material compuesto con una composición diferente a la sugerida en cuanto a la relación de resina poliéster con MEK y cobalto, obteniendo un material compuesto con muchos poros y frágil. Los ensayos mecánicos demostraron que el compuesto no presenta buenas propiedades mecánicas como resultado de los defectos presentes en el material, pero gracias a la composición se logró también tener un mejor aislamiento acústico. Por lo tanto, aunque no se haya conseguido buenas propiedades mecánicas, se lograron buenas propiedades acústicas que es el objetivo principal de este trabajo. Gracias al rápido proceso de secado y curado los vacíos de aire se mantuvieron en el material compuesto.

Basándose en anteriores estudios de aislamiento acústico, se consideraron todos los parámetros que pueden intervenir para determinar el nivel de atenuación del sonido y de esta manera se elaboraron pruebas acústicas, donde, el material compuesto fabricado funciona correctamente aislando el ruido en más de 30 dB en frecuencias medias y altas, adicionalmente de utilizarlo como aislamiento de ventanas a manera de persianas. También se pueden utilizar estas planchas del material compuesto en paredes de habitaciones para mejorar la atenuación del sonido externo.

Fabricar este material compuesto aislante de ruido resulta bastante económico. Es una tecnología nueva en el país, mientras que en el extranjero todavía es una tecnología cara. Por lo tanto, si a esta tecnología se la sigue desarrollando, mejorando y adaptándola a un sistema mecánico para que las planchas actúen como persianas, puede ser una buena y barata opción para utilizarse en las ventanas de una vivienda en el futuro.

Cuando el material es evaluado con ruido a frecuencias medias y altas responderá correctamente, a este nivel de frecuencias es cuando más consecuencias negativas se presentan en el ser humano. El material funcionará para aislar el ruido de conciertos. La mayoría de los instrumentos que se utilizan presentan frecuencias medias y altas dependiendo el instrumento utilizado. Ante el ruido del tráfico el material responderá

medianamente bien, dependiendo el tipo de vehículo se emitirán frecuencias bajas o medias. En cuanto a la contaminación acústica generada por industrias, este material compuesto también responderá de forma positiva porque las frecuencias de las herramientas y máquinas utilizadas en las diferentes industrias son en su mayoría altas. En resumen, el material compuesto fabricado actuará correctamente frente a las diversas fuentes de contaminación acústica que se presentan en los exteriores de viviendas.

5. RECOMENDACIONES

Aunque el material se puede utilizar en ventanas a manera de persianas, la vida útil del compuesto será muy corta, la resina poliéster se degrada muy rápido si se expone constantemente al sol.

Cambiar la resina poliéster por resina epóxi es una gran opción para mejorar las propiedades mecánicas y vida útil del material compuesto. Se pueden realizar estudios con la misma composición del compuesto donde se cambie el tipo de resina que si bien es más cara presenta mejores propiedades.

Al utilizar MEK y cobalto tener cuidado de conservar la relación 5:1 entre estos elementos; caso contrario, pueden ocurrir accidentes, una incorrecta mezcla de estos materiales podría actuar como ácido o explotar.

Elegir correctamente el molde donde se depositará el material compuesto en su estado líquido, un adecuado molde asegura un fácil desmoldeo, medidas precisas del compuesto y un buen acabado superficial.

Al mezclar los diferentes componentes con cantidades preestablecidas, se debe considerar que el tiempo de mezclado debe ser muy corto y a alta velocidad. Si se supera el tiempo recomendado, el compuesto empezará el proceso de secado y curado y la mezcla no servirá si no fue homogenizada y depositada en el molde antes de eso.

Utilizar 2 capas de cera desmoldante en el molde asegura que el compuesto podrá ser desmoldado fácilmente. Cada capa de cera luego del tiempo recomendado debe ser limpiada en su totalidad para no obtener un material compuesto opaco. La cera colocada en la tapa del molde de vidrio no se debe limpiar. Si se quita la cera de la tapa será casi imposible retirar la tapa del molde y del compuesto sin romper el molde o la tapa o dañar el material compuesto.

Sabiendo que los tamaños de grano medianamente grandes funcionan un poco mejor aislando acústicamente este tipo de material compuesto, se pueden hacer estudios teniendo el tamaño de grano establecido donde la variante sea la cantidad de corcho, con la finalidad de conocer si el compuesto aísla mejor el sonido si se varía esta cantidad.

Previo a fabricar o adquirir un material acústico tener claro si se desea un aislante acústico de bajas frecuencias o de medias y altas, dependiendo de eso se deberá

buscar que el material cumpla con diferentes características y tenga determinadas propiedades.

Buscar mejorar el material compuesto de manera que aísle no solo frecuencias medias y altas, sino también frecuencias bajas es una buena opción para futuros estudios, de esa manera el material aislaría siempre el ruido independientemente el nivel de frecuencia que emita la fuente.

Si se llega a diseñar el material compuesto como un sistema de persianas o recubrimiento externo para ventanas, realizar un análisis de costos de todos los materiales utilizados, proceso de fabricación y mano de obra, para comparar el precio con el costo de cortinas o persianas acústicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] de la Fuente, J. M. M., & Muñoz-Repiso, L. (2013). *La percepción acústica: física de la audición*. España, Dpto. de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Valladolid: Revista de ciencias, (2), 19-26.
- [2] Pujor Remy y Morell María. (2018). *Campo auditivo humano*. Francia: Neuroreille
Recuperado de: <http://www.cochlea.org/es/sonidos/campo-auditivo-humano>
- [3] del Valle Hernández Luis (2016). *Sensor ultrasonidos Arduino para medir distancias*. España: Programarfacil.com. Recuperado de: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-ultrasonico-arduino-medir-distancia/>
- [4] Fernández, L. (2000). *Conceptos físicos de las ondas sonoras*. Física y Sociedad, Revista del Colegio Oficial de Físicos, (11).
- [5] Ayala Santiago y Núñez Roberto. (2011). *Diseño y construcción de un módulo anti ruido para un generador eléctrico a gasolina de 3 KVA*. Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- [6] Miyara, F. (2004). *Ruido urbano: tránsito, industria y esparcimiento*. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) de Uruguay. Uruguay.
- [7] All Ears International. (2021). *Sordera y pérdida de la audición*. Organización Mundial de la Salud OMS. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- [8] Chávez M.J.R. (2006). *Ruido: Efectos sobre la salud y criterio de su evaluación al interior de recintos*. Chile, Asociación Chilena de Seguridad. Revista ciencia y trabajo. 8(20), 42-6.
- [9] Cabezas LLumiquinga J. (2016). *La contaminación acústica vulnera los derechos ambientales en el distrito metropolitano de Quito en el año 2015*. Ecuador, Universidad Central, Carrera de Derecho.
- [10] Contreras Palma P. (2013). *Límite y alcance de la ordenanza municipal 123 para controlar la contaminación acústica en la legislación ambiental ecuatoriana*. Ecuador, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales.

- [11] Coral Katty. (2010). *Elaboración de un mapa de ruido del Distrito Metropolitano de Quito – zona sur*. Ecuador, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales.
- [12] Coral Katty. (2009). *Elaboración de un mapa de ruido ambiental para determinar la ubicación más apropiada de los puntos de monitoreo para la red mínima de monitoreo del ruido ambiental en el Distrito Metropolitano de Quito, zonas 2: Calderón, Carapungo, Centro, Los Chillos y Tumbaco*. Ecuador, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales.
- [13] Vásconez Barragán R. y Pila Prado A. (2017). *Evaluación de la contaminación acústica en sectores urbanos, turísticos y de entretenimiento: caso de estudio sector La Mariscal, Quito*. Ecuador, Universidad de las Américas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias.
- [14] Jaén A. (2015). *¿Qué es la absorción acústica?* Skumacoustics. España. Recuperado de: <https://skumacoustics.com/blog/que-es-la-absorcion-acustica/>
- [15] Montejano Roger (2006). *Materiales acústicos*. Estados Unidos, Berklee Music.
- [16] (2020). *¿Cuáles son los tipos de aislantes acústicos más utilizados?*. European ACÚSTICA. España. Recuperado de: <https://www.europeanacustica.com/aislamiento-acustico/tipos-de-acusticos-mas-utilizados>
- [17] Huerta Tejada A. (s.f.). *Cómo pegar espuma acústica sin dañar la pared*. España. Recuperado de: <https://www.pegamento.org/como-pegar-espuma-acustica/>
- [18] Palomo Cano M. (2017). *Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos*. España, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- [19] Rodríguez Rial S. (2013). *Acondicionamiento acústico la conversación en espacios de ocio: bares y restaurantes*. España, Universidad de Coruña, Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Departamento de Física.
- [20] FONAC. (s.f.). *Bicapa aislante acústico multipropósito con capa de desacople*. Argentina, Fonac Materiales Acústicos. Catálogo Sonoflex

- [21] García. (2018). *Ventanas acústicas de PVC y aluminio*. Perú, Arquitecturas en Vidrios LEAL. Recuperado de: <https://arqvidriosleal.com/ventanas-acusticas/>
- [22] Pascual Juan. (2019). *Cortinas insonorizantes. Aislamiento Acústico Cómo insonorizar y crear un lugar tranquilo*. Recuperado de: <https://aislamientoacustico.online/cortinas-insonorizantes/>
- [23] Vásquez Arturo. (2020). *¿Qué es la resina de poliéster?* México, REAXSOL. Recuperado de: <https://www.reaxsol.com/2020/01/23/que-es-la-resina-de-poliester/>
- [24] Gil Alexander. (2012). *Resinas de poliéster guía de manejo*. Colombia, Andercol.
- [25] Gaitán Becerra, N. H., & Torres Torres, S. B. (2018). *El corcho una estructura que conserva el mejor sabor del vino*. Colombia, Politécnico Grancolombiano. Punto De Vista, 9(14).
- [26] Ibañez Juan José. (2009). *Al buen vino buen corcho: dehesas, alcornoques, sustentabilidad y consumo*. España, Fundación para el conocimiento de Madrid. Recuperado de: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2009/04/18/116629>
- [27] Ponce Pablo. (2018). *¿Sabías que existen 5 tipos de corchos?* Argentina, Mendoza “The big wine theory”. Recuperado de: <https://www.vondom.com.ar/blog/post/sabias-que-existen-5-tipos-de-corchos/>
- [28] Askeland Donald R. (2012). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. (6ª ed.) México: S.A. Ediciones Paraninfo.
- [29] Guerrero V., Dávila J., Galeas S., Pontón P., Rosas N., Sotomayor V y Valdivieso C. (2011). *Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales*. (1ª ed.) Ecuador: imprefepp.
- [30] Ortiz Miguel (2010). *Composites con reciclados para la mejora del aislamiento acústico*. España. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia
- [31] Tentudía. (2019). *La importancia del reciclaje*. Mancomunidad Tentudía. Tentudía Turismo. España. Recuperado de: <http://www.mancomunidaddetentudia.com/portal/la-importancia-del-reciclaje/>
- [32] Recytrans (2013). *¿Qué es el reciclaje?* RECYTRANS Soluciones globales para el reciclaje. España. Recuperado de: <https://www.recytrans.com/blog/que-es-el-reciclaje/>

- [33] (2010). *La regla de las 4R: reducir, reutilizar, reciclar y recuperar*. Ayuntamiento Leganés. España. Recuperado de: https://www.leganes.org/portal/contenedor_ficha.jsp?seccion=s_fdes_d4_v1.jsp&contenido=829&nivel=1400&tipo=6&codMenuPN=49&codMenuSN=218&codMenuTN=372&codMenu=375
- [34] Cairplas (2018). *Reciclado y medio ambiente*. CAIRPLAS Cámara de la Industria de Reciclados Plásticos. Argentina. Recuperado de: <https://cairplas.org.ar/reciclado-y-medio-ambiente/>
- [35] Gil Marielba. (2006). *El reciclaje como instrumento para la concientización de la conservación del ambiente, en el preescolar “mi casita de colores”*. Venezuela, Universidad Católica Andrés Bello, Escuela de Educación.
- [36] Marian Florin, Bârsan Narcis (2017). *Studies and research concerning the use of some recyclable absorbent materials for increasing acoustic comfort into a room designed for speaking*. Rumania, Bacău, Universidad de Bacău. Facultad de Ingeniería
- [37] Borja Kerlly, Castillo Ninfa (2019). *Elaboración de un panel aislante térmico a base de cartón y tapones de corcho reciclado para viviendas de interés social*. Ecuador, Guayaquil, Universidad Laica Vicente Rocafuerte
- [38] Luna Rafael (2015). *Procesado de filtros de cigarro para la construcción de paneles divisorios*. México, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura
- [39] Rey Tormos, R. D., Alba Fernández, J., Ramis-Soriano, J., & Sanchís Rico, V. J. (2011). *Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico*.
- [40] Tian Xie Zheng (2020). *Superfast Flow reactor derived from the used cigarette filter for the degradation of pollutants in water*. Japón, Osaka, Universidad de Osaka, Escuela de Ingeniería, Departamento de Química Aplicada.
- [41] Ramírez Fernández, J. (2020). *Propuesta de un producto eco-eficiente: paneles para aislamiento térmico a partir de filtros de cigarrillos reciclados y su aplicación en la construcción*.

- [42] Vinetur (2019). *Rioja vendió 360 millones de botellas de vino en 126 países en 2018*. España, Pontevedra. Recuperado de: <https://www.vinetur.com/2019020849281/rioja-vendio-360-millones-de-botellas-de-vino-en-126-paises-en-2018.html>
- [43] Balvantín Antonio. (2016). *Ensayos y propiedades mecánicas de los materiales*. México, Universidad de Guanajuato, División de ingenierías campus Trapatu-Salamanca.
- [44] ASTM International (s.f.). *ASTM D 638 – 14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.
- [45] DP (2020). *What does stress, strain, and modulus of elasticity mean and how does it relate to carbon fiber?* Estados Unidos, Nueva York, DragonPlate Company. Recuperado de: <https://dragonplate.com/what-does-stress-strain-and-modulus-of-elasticity-mean-and-how-does-it-relate-to-carbon-fiber>.
- [46] Howie Philip (2017). *Ultimate tensile strength, is the maximum load point or maximum stress point?* Reino Unido, Cambridge, Springbroad Pro Ltd. Recuperado de: <https://www.quora.com/Ultimate-tensile-strength-is-the-maximum-load-point-or-maximum-stress-point>
- [47] Omnexus (2021). *Elongation at break*. Omnexus, Special Chem. Recuperado de: <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/elongation-at-break>
- [48] Soriano Neus (s.f.). *Ensayo de flexión*. España, AIMPLAS. Recuperado de: <https://www.aimplas.es/tipos-ensayos/propiedades-mecanicas-de-los-materiales-plasticos/ensayo-de-flexion/>
- [49] ASTM International (s.f.). *ASTM D 790 – 17 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*.
- [50] (s.f.). *Strength and Stiffness Characteristics*. Estados Unidos, Mississippi State University, Departamento de Ingeniería Aeroespacial. Recuperado de: https://www.ae.msstate.edu/vlsm/materials/strength_chars/tangent.htm
- [51] Meyers Marc André, Chawla Krishan (2009). *Flexural Strength*. Matmatch. Recuperado de: <https://matmatch.com/learn/property/flexural-strength>

- [52] Yalcin Deniz (2020). *Flexural Testing Essentials*. Estados Unidos, Massachusetts, Norwood, ADMET. Recuperado de: <https://www.admet.com/flexural-testing-essentials/>
- [53] Metalinspec (2019). *¿Para qué son útiles las pruebas de impacto?* México, Metalinspec blog. Recuperado de: <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/para-que-son-utiles-las-pruebas-de-impacto>
- [54] ASTM International (s.f.). *ASTM D 256 – 10 Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics*.
- [55] Jaramillo, A. M. J. (2007). *Acústica: la ciencia del sonido*. ITM.
- [56] Rodríguez Paco (2018). *Altavoces*. España. Madrid. Xataka Smarthome. Recuperado de: <https://www.xatakahome.com/altavoces/errores-basicos-que-debes-evitar-al-comprar-instalar-y-configurar-tu-sistema-de-sonido-ii>
- [57] Riba Carles (2002). *Diseño Concurrente*. España. Barcelona. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL
- [58] Insoudtex (2021). *Cortinas Acústicas Insoudtex*. España. Recuperado de: <http://www.decoratel-industriastextiles.net/cortinas-aislamiento>

ANEXOS

ANEXO I.

CARTA DE APROBACION PARA REALIZAR ENSAYOS DE TRACCION Y FLEXION EN EL CIAP



SANDRA PAOLA GUTIERREZ MONTALVAN

Lun 11/10/2021 14:42



Para: FREDDY SEBASTIAN GARZON TIPAN

Estimado,

Gracias por la comunicación, por favor los ítems a ser entregados deben venir etiquetados de forma clara e inequívoca, así como con el dato del espesor de cada probeta, el espesor debe ser determinado con al menos 5 mediciones a lo largo de la sección de ensayo y reportar el promedio.

Se podrá receptor las muestras el día de mañana o jueves en el horario de 9 a 16 horas, por favor confirmar el día y hora para coordinar la gestión.

Los resultados serán entregados a su correo, por favor indicar exactamente los datos que van a requerir.

A la espera de su gentil respuesta.

Saludos cordiales,
Quím. Paola Gutiérrez

A [REDACTED]

ANEXO II.

DOCUMENTO DE ACEPTACION PARA REALIZAR ENSAYO DE IMPACTO EN EL LANUM



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orrellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 3000
E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



SOLICITUD DE TRABAJOS DE LABORATORIO PARA CLIENTE INTERNO O INVESTIGADOR

Solicitud de trabajo: LANUM-2021-ST.032

Referencia: Memorando Nro. EPN-DMT-2021-1661-M

Cliente: EPN-FIM-DMT

Representante: Ing. Verónica Sotomayor, M.Sc.

Fecha de realización de monitoreo: 21-09-2021

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253

Teléfono: 2976-300 ext. 3003 Fax:

E-mail: veronica.sotomayor@epn.edu.ec

Oferta No. LANUM-2021-044

TRABAJO SOLICITADO:

No.	ENSAYO / PARÁMETRO	Procedimiento / Norma	No. de ítems de ensayo	Identificación de los ítems de ensayo
1	Impacto Izod	ASTM D256-10	40	Etiquetado por el cliente en el momento de entregar la muestra al analista del LANUM.

El LANUM trabaja con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad, basado en la Norma NTE ISO/IEC 17025:2018

**Parámetros subcontratados

Fecha de entrega del informe de resultados:

15 días a partir de la entrega de la última muestra

Observaciones:

El cliente debe codificar las muestras antes de entregarlas al LANUM

Las muestras permanecerán en el LANUM por un plazo máximo de 30 días a partir de la entrega del informe, es responsabilidad del cliente retirarlas en el plazo previsto, después del mismo las muestras serán desechadas sin opción a reclamo alguno.

La normativa para la organización y gestión de los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, capítulo IV (De la difusión) menciona: "Si la contribución de un laboratorio es significativa y sustancial para la realización de una publicación, se deberá colocar al miembro(s) del laboratorio que contribuyó al desarrollo de la investigación como co-autor(es) de la publicación realizada". Por favor mantener comunicado al LANUM al respecto de este punto.

CONFIDENCIALIDAD:

1. Cuando el laboratorio sea requerido por la ley o autorizado por las disposiciones contractuales; para revelar información confidencial, se notificará al cliente la información proporcionada y se procederá conforme la ley establezca.
2. La información del cliente que sea adquirida por fuentes diferentes al mismo será confidencial entre el laboratorio y el cliente. Asimismo, se mantendrá la confidencialidad de la fuente de información y no se compartirá al cliente, salvo que la fuente lo autorice.

ANEXO III.

RESULTADOS DE ENSAYO DE IMPACTO ENTREGADOS POR PARTE DEL LANUM



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS No. II-2021-026

Solicitud de trabajo No. LANUM-2021-ST.032

Quito, 11 de octubre de 2021

DATOS DE LA EMPRESA/INSTITUCIÓN SOLICITANTE

Solicitado por: Ing. Verónica Sotomayor, M.Sc.

Empresa / Institución: EPN- DMT-FIM

Dirección: Bilbao S/N y A. Mena Caamaño. Edificio No.14

Teléfono: 2976-300 ext. 3003

E-mail: veronica.sotomayor@epn.edu.ec

Identificación de la(s) muestra(s) (cliente):

10 Probetas "IB"

10 Probetas "IC"

10 Probetas "ID"

10 Probetas "IE"

Descripción de la(s) muestra(s):

40 probetas de material compuesto para aplicaciones de aislamiento acústico.

LABORATORIO

Fecha de ingreso al Laboratorio: 28/09/2021

Identificación de la(s) muestra(s) (código LANUM):

MI-21-0698 a MI-21-0707 para las probetas del grupo "IB"

MI-21-0708 a MI-21-0717 para las probetas del grupo "IC"

MI-21-0718 a MI-21-0727 para las probetas del grupo "ID"

MI-21-0728 a MI-21-0737 para las probetas del grupo "ID"

Fechas en las que se realizaron los ensayos: 30/09/2021 y 04/10/2021

Área del laboratorio donde se realizó el ensayo: Área de Caracterización Mecánica

Condiciones ambientales corregidas: En la tabla 1 se presentan las condiciones ambientales en las fechas que se ensayaron cada uno de los grupos de probetas.

Tabla 1. Condiciones ambientales en las fechas que se ensayaron los grupos de probetas.

Id. Muestra	Fecha	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Humedad inicial (% HR)	Humedad final (% HR)
IB MI-21-0698 a MI-21-0707	30/09/2021	19,2	19,4	57,0	56,3
IC MI-21-0708 a MI-21-0717	30/09/2021	19,4	19,5	56,1	56,0
ID MI-21-0718 a MI-21-0727	04/10/2021	19,6	19,7	57,6	57,4
IE MI-21-0728 a MI-21-0737	04/10/2021	19,7	19,8	57,3	57,2

F-PT-07-05

Página 1 de 6

EQUIPOS UTILIZADOS

- Máquina para ensayos de impacto por péndulo marca: Tinius Olsen, modelo: IT 504; apreciación: 0,001 J; 0,001 kJ/m²; 0,01 J/m. Utilizada para medir la energía de impacto con la que fallan las probetas.
- Calibrador de vernier marca: Mitutoyo, modelo: Absolute Digimatic (12"/300 mm) con una apreciación de 0,01 mm. Utilizado para medir las dimensiones de las probetas.
- Termohigrómetro marca ELITECH, modelo RCW-800 wifi con una apreciación de 0,1 °C y 0,1 %HR. Utilizado para medir y registrar las condiciones ambientales.

MÉTODO EMPLEADO

El método empleado es el descrito en la norma ASTM D256-10 (2018)

- Masa del péndulo: 462,9 +/- 9,3 kg
- Peso nominal del péndulo: 4,537 N
- Energía nominal del péndulo calibrado (descontando las pérdidas de energía por fricción y efecto de viento): 2,7848 J

RESULTADOS

En las tablas 2, 3, 4 y 5 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de impacto realizados en las probetas de material compuesto de los grupos "IB", "IC", "ID", "IE" respectivamente.

Tabla 2. Ensayo de impacto según ASTM D256-10 (2018) para las probetas del grupo "IB" (MI-21-0698 a MI-21-0707)

ENSAYO DE IMPACTO IZOD ASTM D256-10 (2018) "IB"							
Muestra No.	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Tipo de probeta (ASTM D256-10)	Tipo de Falla	Energía de impacto (J)	Energía / longitud (J/m)	Energía / área (kJ/m ²)
IB-1 MI-21-0698	12,34	9,85	E (sin muesca)	Completa (C)	0,0695	5,63850	0,57216
IB-2 MI-21-0699	12,50	9,70		Completa (C)	0,0778	6,22779	0,64204
IB-3 MI-21-0700	12,48	9,40		Completa (C)	0,1022	8,19428	0,87173
IB-4 MI-21-0701	12,38	9,24		Completa (C)	0,0616	4,98365	0,53935
IB-5 MI-21-0702	12,46	9,01		Completa (C)	0,0817	6,56014	0,72809
IB-6 MI-21-0703	12,49	9,15		Completa (C)	0,0743	5,95355	0,65066
IB-7 MI-21-0704	12,53	9,42		Completa (C)	0,0801	6,39907	0,67930
IB-8 MI-21-0705	12,36	9,78		Completa (C)	0,0962	7,79083	0,79660
IB-9 MI-21-0706	12,46	9,46		Completa (C)	0,1281	10,2871	1,08743
IB-10 MI-21-0707	12,38	8,91		Completa (C)	0,1066	8,61613	0,96701
			Promedio	\bar{x}	0,088	7,065	0,753
			Desviación estándar	S_{n-1}	0,020	1,619	0,177
			Coefficiente de variación	CV	22,951	22,916	23,445

F-PT-07-05

Página 2 de 6

En la figura 1 se muestran las condiciones finales de las probetas del grupo "IB" (MI-21-0698 a la MI-21-0707)



Figura 1. Probetas del grupo "IB" (MI-21-0698 a la MI-21-0707) después de los ensayos de impacto por péndulo.

Tabla 3. Ensayo de impacto según ASTM D256-10 (2018) para las probetas del grupo Compuesto "IC" (MI-21-0708 a la MI-21-0717)

ENSAYO DE IMPACTO IZOD ASTM D256-10 (2018) "IC"							
Muestra No.	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Tipo de probeta (ASTM D256-10)	Tipo de Falla	Energía de impacto (J)	Energía / longitud (J/m)	Energía / área (kJ/m ²)
IC-1 MI-21-0708	12,46	8,84	E (sin muesca)	Completa (C)	0,0864	6,93688	0,78471
IC-2 MI-21-0709	12,41	8,83		Completa (C)	0,0666	5,37165	0,60834
IC-3 MI-21-0710	12,36	8,45		Completa (C)	0,0958	7,75876	0,91819
IC-4 MI-21-0711	12,32	9,08		Completa (C)	0,0923	7,49489	0,82542
IC-5 MI-21-0712	12,42	8,69		Completa (C)	0,1409	11,3512	1,30624
IC-6 MI-21-0713	12,37	9,03		Completa (C)	0,0852	6,89228	0,76326
IC-7 MI-21-0714	12,55	9,00		Completa (C)	0,0982	7,83111	0,87012
IC-8 MI-21-0715	12,37	9,02		Completa (C)	0,0708	5,73056	0,63531
IC-9 MI-21-0716	12,29	8,53		Completa (C)	0,1030	8,38597	0,98311
IC-10 MI-21-0717	12,49	8,68		Completa (C)	0,0522	4,18229	0,48183
			Promedio	\bar{x}	0,089	7,194	0,818
			Desviación estándar	S_{n-1}	0,024	1,950	0,229
			Coefficiente de variación	CV	27,068	27,102	28,034

En la figura 2 se muestran las condiciones finales de las probetas del grupo "IC" (MI-21-0708 a la MI-21-0717)



Figura 2. Probetas del grupo "IC" (MI-21-0708 a la MI-21-0717) después de los ensayos de impacto por péndulo.

Tabla 4. Ensayo de impacto según ASTM D256-10 (2018) para las probetas del grupo Compuesto "ID" (MI-21-0718 a la MI-21-0727)

ENSAYO DE IMPACTO IZOD ASTM D256-10 (2018) "ID"							
Muestra No.	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Tipo de probeta (ASTM D256-10)	Tipo de Falla	Energía de impacto (J)	Energía / longitud (J/m)	Energía / área (kJ/m ²)
ID-1 MI-21-0718	12,30	9,39	E (sin muesca)	Completa (C)	0,0582	4,73810	0,50459
ID-2 MI-21-0719	12,33	9,20		Completa (C)	0,0927	7,52083	0,81748
ID-3 MI-21-0720	12,28	8,99		Completa (C)	0,0712	5,80393	0,64559
ID-4 MI-21-0721	12,35	9,69		Completa (C)	0,0958	7,76504	0,80134
ID-5 MI-21-0722	12,33	9,2		Completa (C)	0,0732	5,93679	0,64530
ID-6 MI-21-0723	12,24	8,79		Completa (C)	0,0844	6,90151	0,78515
ID-7 MI-21-0724	12,27	9,41		Completa (C)	0,0594	4,84245	0,51460
ID-8 MI-21-0725	12,42	9,34		Completa (C)	0,0790	6,36176	0,68113
ID-9 MI-21-0726	12,28	9,28		Completa (C)	0,0829	6,75168	0,72755
ID-10 MI-21-0727	12,29	9,29		Completa (C)	0,0786	6,39744	0,68863
Promedio				\bar{x}	0,078	6,302	0,681
Desviación estándar				S_{n-1}	0,012	1,009	0,109
Coeficiente de variación				CV	16,110	16,007	16,047

F-PT-07-05

Página 4 de 6

En la figura 3 se muestran las condiciones finales de las probetas del grupo "ID" (MI-21-0718 a la MI-21-0727)



Figura 3. Probetas del grupo "ID" (MI-21-0718 a la MI-21-0727) después de los ensayos de impacto por péndulo.

Tabla 5. Ensayo de impacto según ASTM D256-10 (2018) para las probetas del grupo Compuesto "IE" (MI-21-0728 a la MI-21-0737)

ENSAYO DE IMPACTO IZOD ASTM D256-10 (2018) "IE"							
Muestra No.	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Tipo de probeta (ASTM D256-10)	Tipo de Falla	Energía de impacto (J)	Energía / longitud (J/m)	Energía / área (kJ/m ²)
IE-1 MI-21-0728	12,36	8,80	E (sin muesca)	Completa (C)	0,0856	6,92954	0,78744
IE-2 MI-21-0729	12,24	8,82		Completa (C)	0,0739	6,04356	0,68521
IE-3 MI-21-0730	12,35	8,61		Completa (C)	0,0666	5,39775	0,62691
IE-4 MI-21-0731	12,31	9,35		Completa (C)	0,0790	6,41861	0,68648
IE-5 MI-21-0732	12,31	9,16		Completa (C)	0,1030	8,37234	0,91401
IE-6 MI-21-0733	12,35	9,22		Completa (C)	0,1046	8,47480	0,91917
IE-7 MI-21-0734	12,35	8,95		Completa (C)	0,0958	7,76504	0,86760
IE-8 MI-21-0735	12,32	8,54		Completa (C)	0,0643	5,22460	0,61178
IE-9 MI-21-0736	12,46	8,79		Completa (C)	0,0755	6,06108	0,68954
IE-10 MI-21-0737	12,31	8,94		Completa (C)	0,0903	7,34076	0,82111
			Promedio	\bar{x}	0,084	6,803	0,761
			Desviación estándar	S_{n-1}	0,014	1,166	0,116
			Coefficiente de variación	CV	17,128	17,135	15,223

En la figura 4 se muestran las condiciones finales de las probetas del grupo "IE" (MI-21-0728 a la MI-21-0737)



Figura 4. Probetas del grupo "IE" (MI-21-0728 a la MI-21-0737) después de los ensayos de impacto por péndulo.

Bibliografía

- American Society for Testing and Materials; ASTM D256-10 (2018); Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics; West Conshohocken; 2015

OBSERVACIÓN: La normativa para la organización y gestión de los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, capítulo IV (De la difusión) menciona: "Si la contribución de un laboratorio es significativa y sustancial para la realización de una publicación, se deberá colocar al miembro(s) del laboratorio que contribuyó al desarrollo de la investigación como co-autor(es) de la publicación realizada". En este caso, por favor mantener comunicado al LANUM.

"El cliente puede hacer uso académico de los resultados presentados en este informe, así como de los respaldos enviados en formato digital para su tratamiento".

NOTA: ESTOS RESULTADOS ESTÁN RELACIONADOS ÚNICAMENTE A LA(S) MUESTRA(S) SOMETIDA(S) A ENSAYO

NOTA DE DESCARGO DE RESPONSABILIDAD: En caso de que las muestras entregadas no cumplieran con las especificaciones solicitadas por el LANUM (dimensiones, cantidad de muestra), y a pesar de eso el cliente diera su consentimiento para la realización de análisis, el LANUM no se responsabiliza si los resultados son afectados debido a estas desviaciones (no cumplimiento de especificaciones)

Realizado por:

Ing. Orlando Campaña

Analista Técnico

Revisado y aprobado por:

Ing. Karina Lagos

Responsable Técnica (S)

Autorizado por:

Paulina Romero, Ph.D.

Coordinadora del Laboratorio

ANEXO IV.

ENLACES DE VIDEOS DE PRUEBAS ACUSTICAS

Video de medidas tomadas para las 3 pruebas sin aislamiento:

<https://youtu.be/5WQqZuvDOeg>

Video de medidas tomadas para las 3 pruebas de material compuesto de tamaño de grano B:

https://youtu.be/0LDM1Sw_yKg

Video de medidas tomadas para las 3 pruebas de material compuesto de tamaño de grano C:

<https://youtu.be/71vW1wEo1P4>

Video de medidas tomadas para las 3 pruebas de material compuesto de tamaño de grano D:

<https://youtu.be/Go-GQy6s9l8>

Video de medidas tomadas para las 3 pruebas de material compuesto de tamaño de grano E:

https://youtu.be/_QldLFxxkKc

ORDEN DE EMPASTADO