



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

**PANELES DE REVESTIMIENTO ACÚSTICO. USO DE
MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON
FIBRAS DE TOTORA ADAPTADOS AL CENTRO
PEDAGÓGICO DE LA CIUDAD DE CUENCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ARQUITECTO**

AUTORES: JONNATHAN PAÚL RIVAS PEÑA

INÉS YULIANA TORRES CARRIÓN

DIRECTOR: ARQ. JOSÉ FRANCISCO PESÁNTEZ PESÁNTEZ

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

**PANELES DE REVESTIMIENTO ACÚSTICO. USO DE
MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON
FIBRAS DE TOTORA ADAPTADOS AL CENTRO
PEDAGÓGICO DE LA CIUDAD DE CUENCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ARQUITECTO**

AUTORES: JONNATHAN PAÚL RIVAS PEÑA

INÉS YULIANA TORRES CARRIÓN

DIRECTOR: ARQ. JOSÉ FRANCISCO PESÁNTEZ PESÁNTEZ

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Jonnathan Paúl Rivas Peña y Inés Yuliana Torres Carrión portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0104702923** y **0706432721**. Declaramos ser autores de la obra: **“Paneles de revestimiento acústico uso de materiales compuestos reforzados con fibras de Totora adaptados al centro pedagógico de la ciudad de Cuenca”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **31 de octubre de 2022**

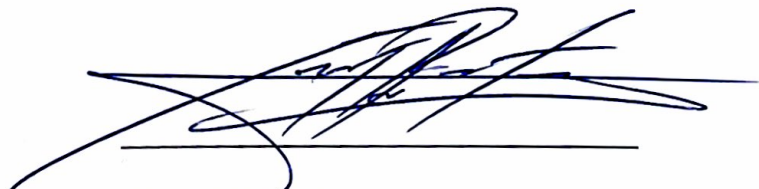
F: 
Jonnathan Paul Rivas Peña
0104702923

F: 
Inés Yuliana Torres Carrión
0706432721

Certificación

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de ARQUITECTO con el título: *“Paneles de revestimiento acústico. Uso de materiales compuestos reforzados con fibras de Totorá adaptados al Centro pedagógico de la ciudad de Cuenca.”* ha sido elaborado por la Sr. **Jonnathan Paúl Rivas Peña** y la Srta. **Inés Yuliana Torres Carrión**, mismo que ha sido realizado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



Arq. José Francisco Pesantez Pesantez

Dedicatoria

Un largo camino lleno de pruebas hasta alcanzar un objetivo, no se lo puede realizar sin el apoyo de las personas que día a día fueron testigos del esfuerzo y la dedicación que el mérito conlleva. Agradecemos a Dios, a nuestra familia, amigos y docentes, que durante el transcurso de este tiempo, nunca dejaron de alentarnos a continuar luchando. Sin ustedes este logro no hubiese sido posible.

Agradecimientos

Agradecemos a todos quienes apoyaron el proyecto de investigación.

De manera especial al Arq. José Pesántez por ser el guía durante este proceso de formación, a la Universidad Católica de Cuenca y todo su personal docente, al Dr. Luis Bravo director del laboratorio en Ingeniería en sonido y acústica de la Universidad de las Américas.

Resumen

La salud es primordial para el ser humano, dentro de esto la salud auditiva cumple un rol preponderante, puesto que escuchar perfectamente permite mantener una buena comunicación con los demás; con la tecnología han llegado máquinas que facilitan el diario vivir, pero son muy ruidosas y esto está perjudicando la audición. En tal virtud se han creado normas nacionales e internacionales que establecen el nivel de ruido admisible dependiendo del lugar y la actividad que se desarrolle. El ruido se ha constituido en un grave problema, de acuerdo a su intensidad puede provocar daños temporales e incluso permanentes. Este problema afecta también al desarrollo del aprendizaje en centros pedagógicos, que carecen de un efectivo acondicionamiento acústico capaz de mitigar el ruido proveniente de diversas fuentes (tráfico aéreo, vehicular, industrias, el ruido comunitario, etc.).

En este contexto, el presente trabajo, propone una solución a través de la implementación de un panel acústico a base de la fibra de totora. Dicho panel ha sido fabricado de acuerdo a estándares internacionales, logrando pasar las pruebas mecánicas y de coeficiente de absorción sonora. También se ha realizado el análisis de un caso de estudio, llegando a concluir que las aulas poseen un nivel promedio de ruido de 65,45 dB, lo cual significa que es superior al límite admitido (40 dB). Es por esta razón que se recomienda la aplicación de los paneles de totora, además al ser de origen natural su huella ecológica es muy baja en comparación con otros tipos de materiales.

Palabras clave: fibras naturales, Schoenoplectus californicus, aislamiento acústico, propiedades acústicas

Abstract

Health is essential for human beings, and a field such as hearing health plays a vital role since listening perfectly allows us to maintain good communication. Along with technology, some machines that make daily life easier have arrived, but they are very noisy, damaging our hearing. As a result, national and international standards have been created, which establish the permissible noise level depending on the place and the activity being carried out. Noise has become a severe problem. Depending on its intensity, it can cause temporary or permanent damage. This problem also affects learning development in educational centers, which lack effective acoustic conditioning capable of mitigating noise from various sources (air traffic, vehicles, industry, community noise, etc.).

In this context, the present work proposes a solution by implementing an acoustic panel based on reed fiber. This panel has been manufactured according to international standards, passing mechanical and sound absorption coefficient tests. A case study analysis was also conducted, concluding that the classrooms have an average noise level of 65.45 dB, which is higher than the permissible limit (40 dB). For this reason, applying totora reed panels is recommended. Besides being of natural origin, its ecological footprint is shallow compared to other types of materials.

Keywords: natural fibers, Schoenoplectus californicus, acoustic insulation, acoustic properties

Índice de Contenidos

Certificación	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Abstract	V
Índice de contenidos	VI
Índice de figuras	X
Índice de tablas	XVI
Introducción	XVIII
Problemática	XX
Objetivos	XXI
Justificación	XXII
Metodología	XXIII
1 Contaminación acústica, Un enemigo entre nosotros	1
1.1 El sonido y su naturaleza	1
1.1.1 Definición e historia del sonido	1
1.2 Propiedades físicas del sonido	3
1.2.1 Naturaleza del movimiento ondulatorio	6
1.2.2 Las ondas sonoras	7
1.2.3 Fluctuaciones de presión	9

1.2.4	Generación del sonido	11
1.2.5	Frecuencia y longitud de onda	12
1.2.6	Espectro de frecuencia	13
1.3	Velocidad del sonido	14
1.4	Mecanismos de la audición humana	15
1.4.1	Efectos del ruido sobre la audición	17
1.4.2	Interferencia con el aprendizaje y la lectura	19
1.5	Fuentes de contaminación acústica	20
1.5.1	Ruido de tráfico	22
1.5.2	Ruido de las industrias	23
1.5.3	Ruido comunitario	24
1.6	Acústica arquitectónica y su relación con el ser humano	25
1.6.1	La acústica en la arquitectura: difusión del sonido y absorción	26
1.6.2	Aislamiento acústico de edificios	29
1.6.3	Aislamiento acústico de paredes	31
1.6.4	Aislamiento acústico de forjados y suelos	33
1.6.5	Metas del diseño de ruido interior	36
1.7	Problemática acústica y normativa internacional	37
1.7.1	Crítica en el contexto Latinoamérica	38
1.8	Marco Legal	40
1.8.1	Normativa Internacional	40
1.8.2	Normativa Ecuatoriana	41
1.8.3	Normativa Local Cuenca	41
1.9	Conclusiones del Capítulo 1	42
2	El regalo de la naturaleza	44
2.1	Fibras Naturales	44
2.1.1	Fibras presentes en el contexto de la ciudad de Cuenca	44
2.1.2	Ventajas de la utilización de aislantes acústicos naturales	47
2.1.3	La Totora historia y antecedentes	48
2.1.4	Propiedades físicas y morfológicas	51
2.1.5	Aplicaciones y uso de la Totora	52
2.1.6	Tipos de materiales compuestos	54
2.1.7	Propiedades de los materiales compuestos	55
2.2	Materiales absorbentes acústicos	56

2.2.1	Materiales porosos acústicos	56
2.2.2	Propiedades y características	57
2.2.2.1	Propiedades macroscópicas	57
2.3	Conclusiones del Capítulo 2	58
3	Antecedentes	59
3.1	Soluciones en Europa contra el ruido	59
3.2	Aislante térmico y acústico para paredes hecho a partir de paja de arroz .	61
3.2.1	Evaluación de paneles aislantes fabricados en fibras de totora (typha latifolia)	62
3.3	Aislante térmico y acústico hecho a partir de fibra de madera	63
3.4	Análisis de referentes arquitectónicos	65
3.4.1	Análisis de la Universidad del Nordeste de Boston, Estados Unidos	65
3.4.2	Análisis Escuela Primaria Woodland	70
3.4.3	Análisis Escuela Secundaria Manor New Tech	75
3.5	Conclusiones del Capítulo 3	84
4	Propuesta y caso de estudio	85
4.1	Diseño y elaboración paneles de aislamiento acústico	85
4.1.1	Obtención de la materia prima	85
4.1.2	Elaboración del aglomerante	86
4.1.3	Dosificación de aglomerante natural	88
4.1.4	Conformación del panel base totora triturada.	88
4.1.5	Dosificación panel base totora triturada.	91
4.1.6	Conformación del panel compuesto acabado en cemento blanco . . .	91
4.1.7	Dosificación panel compuesto acabado en cemento blanco	93
4.1.8	Conformación del panel compuesto acabado en tallo de totora . . .	93
4.1.9	Dosificación panel compuesto acabado en tallo de totora.	94
4.2	Ensayos de caracterización	95
4.2.1	Ensayo a la compresión	95
4.2.2	Ensayo de compresión muestras de Totora Triturada	96
4.2.3	Ensayo de compresión muestras de panel compuesto de Totora Triturada + malla polietileno + cemento blanco	98
4.2.4	Ensayo de compresión muestras de panel compuesto de Totora Triturada + malla polietileno + tallo de totora	100

4.2.5	Análisis de resultados finales al ensayo de compresión en los grupos de materiales propuestos.	102
4.3	Ensayo a la flexión	103
4.4	Proceso de ensayo	103
4.5	Ensayo a la flexión probetas compuestas de totora triturada.	104
4.6	Ensayo a la flexión probetas compuestas de totora triturada + cemento blanco	106
4.7	Ensayo a la flexión probetas compuestas de totora triturada + cemento blanco	108
4.8	Análisis final de ensayos a la flexión en los grupos de materiales propuestos	111
4.9	Ensayo para la determinación del coeficiente de absorción sonora	112
4.10	Ensayo y análisis para la determinación de la pérdida de transmisión sonora	117
4.11	Caso de Estudio	123
4.11.1	Análisis caso de estudio	123
4.11.2	Descripción de la Unidad Académica	123
4.11.3	Mediciones de sonido en el caso de estudio	123
4.11.4	Proceso de medición	124
4.11.5	Análisis de resultados de las mediciones de sonido en el caso de estudio.	131
4.11.6	Aplicación en caso de estudio	132
4.11.7	Solución constructiva de instalación	133
4.11.8	Análisis y evaluación de la factibilidad del panel	137
4.11.9	Factibilidad del panel	140
4.11.10	Aplicación y uso de paneles acústicos	141
4.12	Conclusiones del Capítulo 4	148
Conclusiones		149
Recomendaciones		151
Referencias		152
Anexos		161

Lista de Figuras

Figura 1.1:	Coliseo o Anfiteatro de Flavio. Tomado de Gladiatrix en la arena. Publicado por Maribel, 2015.	2
Figura 1.2:	Las ondas sonoras. Tomado de Clase de música 2.0.	3
Figura 1.3:	Ondas de Sonido. Tomado de Sonar Principle.	3
Figura 1.4:	Partes de una Onda. Fuente: Lifeder	6
Figura 1.5:	Tipos de Ondas. Los tipos de ondas dependen del medio en el que son transportadas. Fuente: European Acústica (2020).	7
Figura 1.6:	Tipos de Ondas Direccionales. La clasificación de las ondas obedece a 4 aspectos: el medio en el que se irradian, el frente de onda, la trayectoria de la perturbación y la periodicidad. Tomado de Cultura Científica.	8
Figura 1.7:	Ondas según la dimensión de propagación. Fuente: Slide To Doc.	8
Figura 1.8:	Ondas viajeras y estacionarias. Fuente: Física I. Mendoza Z. P.	9
Figura 1.9:	Presión de referencia y presión sonora. Fuente: MicroSonus	10
Figura 1.10:	Fluctuación de presión. Fuente: EBMCBleik, 2022.	10
Figura 1.11:	Generación del sonido. Fuente: Megafonía y sonorización Ronald.	11
Figura 1.12:	Onda sinusoidal. Fuente: Tipos de ondas, por Camila Barragán.	12
Figura 1.13:	Frecuencia y Longitud de onda. Fuente: Esero	12
Figura 1.14:	Espectro de frecuencia. Los relativos rangos de todos los armónicos se muestran en vertical, y los niveles más altos muestran los rangos más eminentes. Fuente: Hispasonic	13
Figura 1.15:	Espectro de frecuencia de un sonido. Espectro de frecuencia de un sonido de un órgano. Fuente: Apple.	14
Figura 1.16:	Velocidad del sonido. Fuente: Posada M. Luis, 2015.	14
Figura 1.17:	Another figure	17
Figura 1.18:	Rangos de la Variación. Fuente: Rodriguez (2016)	17
Figura 1.19:	Efectos de ruido sobre la audición. Los trabajos industriales tienen un alto riesgo de sufrir daños por ruido. Fuente: Victory (2021)	18

Figura 1.20: Sonido directo y reverberativo. El ruido puede originarse de forma interna como un ventilador o el aire acondicionado o puede proceder del exterior por múltiples causas como el tráfico, salones de clase adyacentes, cafeterías, restaurantes, aviones y helicópteros.	19
Figura 1.21: Fuentes de Contaminación de Ruido.	21
Figura 1.22: Ruido del tráfico que afecta la salud humana. En la actualidad, cerca de la mitad de habitantes a nivel mundial se exponen regularmente a elevaciones de ruido del tráfico que son altamente nocivos para la salud.	22
Figura 1.23: Equipo para proteger del ruido en la industria.	23
Figura 1.24: Ruido Comunitario. El ruido en áreas suburbanas pequeñas en comparación con los centros urbanos concurridos puede ser muy diferente y dar lugar a otros tipos de desafíos cuando se trata de abordar el ruido comunitario.	24
Figura 1.25: Sonido espacial. Fuente: Plataforma Arquitectura, 2011	26
Figura 1.26: Tipos de superficie para difundir el sonido. Clases de superficies: (1) Reflexivas; (2) Absorbentes; (3) Difusoras.	26
Figura 1.27: Aislamiento acústico de edificio escolar. Fuente: ArchDaily México (2018)	30
Figura 1.28: Entramado de Madera. Fuente: Madera y Construcción, 2021.	31
Figura 1.29: Detalle de pared acústica	32
Figura 1.30: Aislamiento Acústico	32
Figura 1.31: Descripción Subjetiva del Aislamiento Acústico	33
Figura 1.32: Intensidad del sonido transmitido. Fuente: Madera y Construcción, 2022.	34
Figura 1.33: Aislamiento acústico del suelo. Fuente: Madera y Construcción, 2022.	35
Figura 1.34: Aislamiento de suelo flotante sobre losas y forjados. Fuente: Knauf Insulation S.L, 2016.	35
Figura 1.35: Detalle de como insonorizar un espacio. Los requerimientos de aislamiento sonoro a ruido de impactos, se emplean en las partes constructivas de espacios que colinden horizontal o verticalmente o compartan una arista con cualquier otro espacio que no concierna al mismo elemento de uso. Fuente: ArchDaily México (2018)	37
Figura 1.36: Cantidad de decibeles según el tipo de pared. Fuente: Rebuild, 2019. .	37
Figura 1.37: Generación de ruido. La contaminación invisible, el tráfico rodado pasa a ser una de las causas de la contaminación acústica, generadora de trastornos de sueño y constituyéndose en un serio inconveniente de salud pública, el, mismo que se encuentra asociado a hipertensión y cardiopatías.	39

Figura 1.38:	Mapa de Ruido de Cuenca. En la Figura 1.38 se puede evidenciar el nivel de contaminación del ruido en la ciudad de Cuenca, el mapa de colores representa claramente las zonas de menor y mayor intensidad de ruido ambiente. Tomado de Sistema de monitoreo del ruido ambiente en Cuenca por IERSE Universidad del Azuay, 2021.	40
Figura 2.1:	Fibras naturales de Ecuador. Adaptado de fibras naturales, Fuente: Doc Player (2020).	44
Figura 2.2:	Fibra de Totora. Adaptado de fibras naturales. Fuente: Timetoast (2020).	45
Figura 2.3:	Paneles Prefabricados con Fibras Naturales de coco y yute. Adaptado de Paneles de fibra de coco natural y yute. Fuente: Abriga Nature (2020)	46
Figura 2.4:	Panel con lana de oveja. Adaptado de fibras naturales, Fuente: Panel Sheep (2020).	47
Figura 2.5:	Panel prefabricado con corcho para vivienda. Adaptado de ArchDaily Chile, Fuente: Ella Thorns 2018.	48
Figura 2.6:	Extracción, almacenamiento, secado y trituración. Fuente: Rangel 2018.	50
Figura 2.7:	Producto final de la Totora. Adaptado del modelo como producto final con la fibra de Totora, de Rengel (2022)	50
Figura 2.8:	Plantación de Totora. Totora Ecuador. Tomado de Plantación de Totora. Fuente: Doc Player (2022)	52
Figura 2.9:	Cubo de Totora. Tomado de Cubo de Totora. Fuente: ArchDaily México (2018)	53
Figura 2.10:	Paneles de fibra de totora. Fuente: Timetoast (2022)	54
Figura 2.11:	Paneles tipo sándwich para muros. Fuente: ArchiExpo (2022).	55
Figura 2.12:	Planchas de espuma acústica pirámide. Fuente: Civicfellows.	56
Figura 3.1:	Fachada Ventilada con Lanás Minerales. Las funciones de las lanas minerales con respecto a la contaminación sonora son, el amortiguamiento del ruido y la corrección de la acústica, ya que disminuyen la reverberación de los espacios facilitando ambientes más silenciosos y confortables.	60
Figura 3.2:	Panel de fibra de arroz y estructura aislante de pared a base de paneles de paja de arroz. Producto ecológico utilizado para el aislamiento térmico y acústico de las paredes. Adaptado a las exigencias de sismo resistencia de la NEC por ser un material liviano. Adaptado de Construcción con biomateriales, RT Actualidad (2017)	62
Figura 3.3:	Prensa para fabricación de paneles. Prensa para la fabricación de paneles de muestra con su esquema funcional y construida. Fuente: Revista Gaceta Técnica. Volumen 14. p. 26.	63

Figura 3.4:	Panel de fibra de madera. Panel de fibra de madera, Archi Expo (2017) y Arquitectura y Empresa, 2022.	64
Figura 3.5:	Campus Universitario. Engineers+Planners. Fuente: Stein Hudson (2017)	65
Figura 3.6:	Interior de techo, Northeastern University. Fuente: Wescover (2017)	66
Figura 3.7:	Barrera de Plafones en la Cubierta De Luz. Fuente: Acoustical Solutions (2017)	67
Figura 3.8:	Silenciador de Retorno del Pleno, la Cubierta de Luz y la Barrera de Tejas de Techo. Fuente: Acoustical Solutions (2017)	68
Figura 3.9:	Interior Northeastern University, Boston. Fuente: Choffnes (2017)	69
Figura 3.10:	Aulas Internas de la Universidad. Fuente: Línea 5 (2016)	70
Figura 3.11:	Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)	70
Figura 3.12:	Elevación Escuela Primaria Woodland.	71
Figura 3.13:	Aulas Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)	71
Figura 3.14:	Zona de recreación Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)	72
Figura 3.15:	Aulas Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)	72
Figura 3.16:	Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)	73
Figura 3.17:	Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)	74
Figura 3.18:	Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)	75
Figura 3.19:	Escuela Primaria Woodland. Sala de clases y sección de fachada. Fuente: ArchDaily México (2018)	75
Figura 3.20:	Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: VIRCO (2022)	76
Figura 3.21:	Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: VIRCO (2022)	76
Figura 3.22:	Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: VIRCO (2022)	77
Figura 3.23:	Salas de ciencia y Makerspace. Fuente: VIRCO (2022)	77
Figura 3.24:	Diseño de espacios. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: VIRCO (2022)	79
Figura 3.25:	Cafetería. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: VIRCO (2022)	80
Figura 3.26:	Panel altamente absorbente (40mm). Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: Rockfon (2021)	81
Figura 3.27:	Cafetería. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: Rockfon (2021)	82
Figura 3.28:	Interior de Vestidores. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: Rockfon (2021)	83
Figura 3.29:	Perfilería para techos acústicos anti humedad. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: Rockfon (2021)	83

Figura 4.1:	Mapa de Ecuador donde se cultiva y desarrolla fibra de Totora.	85
Figura 4.2:	Recolección de materia prima.	86
Figura 4.3:	Elaboración de aglomerante natural.	88
Figura 4.4:	Encofrado base para panel de totora.	89
Figura 4.5:	Proceso de llenado.	90
Figura 4.6:	Proceso de desencofrado y secado.	90
Figura 4.7:	Proceso de panel compuesto con cemento blanco.	92
Figura 4.8:	Elaboración de acabado en totora entera.	94
Figura 4.9:	Ensayo de compresión probetas y equipo utilizado.	95
Figura 4.10:	Ensayo de compresión probeta de Totora triturada (P3).	97
Figura 4.11:	Ensayo de compresión probeta de Totora triturada + tallo de Totora (P2).	99
Figura 4.12:	Ensayo de compresión probeta de Totora triturada + cemento blanco (P3).	101
Figura 4.13:	Ensayo de compresión probeta de Totora triturada + cemento blanco (P3).	102
Figura 4.14:	Probetas (P1, P2, P3) y equipo para el ensayo.	103
Figura 4.15:	Ensayo de flexión (P1).	106
Figura 4.16:	Ensayo de flexión (P2)	108
Figura 4.17:	Ensayo de flexión (P3)	110
Figura 4.18:	Carga máxima de ruptura en ensayo de flexión.	111
Figura 4.19:	Componentes del tubo de impedancia Spectronics para el ensayo del coeficiente de absorción sonora	113
Figura 4.20:	Tubo de impedancia Spectronics prueba coeficiente de absorción	114
Figura 4.21:	Muestras para ensayos acústicos	114
Figura 4.22:	Ensayo de coeficiente de absorción sonora sobre muestra M1 (Totora triturada + totora entera)	115
Figura 4.23:	Resultado ensayo de coeficiente de absorción sonora.	116
Figura 4.24:	Componentes del tubo de impedancia Spectronics para la el ensayo de la determinación de perdida sonora.	118
Figura 4.25:	Componentes del tubo de impedancia Spectronics para la el ensayo de la determinación de perdida sonora.	119
Figura 4.26:	Preparación ensayo para la determinación de la pérdida de transmisión sonora.	120

Figura 4.27: Resultado ensayo para la determinación de pérdida de transmisión sonora	121
Figura 4.28: Ubicación caso de estudio Universidad Católica de Cuenca	123
Figura 4.29: Fachada frontal Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción . . .	124
Figura 4.30: Instrumentos de medición Sper Scientific (sonómetro y software) . . .	125
Figura 4.31: Medición de ruido salón de clases 210.	126
Figura 4.32: Resultados de mediciones de ruido medioambientales salón de clases 210.	127
Figura 4.33: Medición de ruido al exterior del salón de clases 210.	128
Figura 4.34: Resultados de mediciones de ruido medioambientales al exterior salón de clases 210.	129
Figura 4.35: Medición de ruido al exterior de la facultad.	130
Figura 4.36: Resultados de las mediciones de ruido medioambiental al exterior de la facultad.	131
Figura 4.37: Salón de clases 210 con panel de aislamiento acústico acabado en tallo de totora (PAAT)	133
Figura 4.38: Detalles constructivos PAAT	134
Figura 4.39: Detalles constructivos PAAT	135
Figura 4.40: Detalles constructivos PAAT	136
Figura 4.41: Salón de reuniones con sistema constructivo de aislamiento acústico PAAT.	141
Figura 4.42: Auditorio con sistema constructivo PAAT.	142
Figura 4.43: Biblioteca con aislamiento acústico PAAT en cielo raso.	143
Figura 4.44: Recepción aplicada el sistema constructivo PAAT.	144

Lista de Tablas

Tabla 1.1: Límites máximos de ruido permisibles según uso del suelo (MAE, 2020)	5
Tabla 1.2: Velocidad del Sonido en Diferentes Materiales. Fuente: Siemens Stiftung (2016).	15
Tabla 1.3: Variación del Nivel Sonoro. Fuente: Arauacustica (2020).	16
Tabla 1.4: Variaciones	17
Tabla 1.5: Niveles de Contaminación acústica por actividad. Fuente: Fuentes del Ruido, por Futuro Sostenible 2022.	25
Tabla 1.6: Coeficiente de Absorción de Paneles Acústicos	27
Tabla 1.7: Coeficiente de materiales altamente absorbentes.	36
Tabla 3.1: Acústica aplicable a Centros Docentes.	78
Tabla 3.2: Acústica aplicable en Aulas.	81
Tabla 3.3: Acústica aplicada en cocinas y cafeterías.	82
Tabla 4.1: Dosificaciones específicas del aglomerante.	88
Tabla 4.2: Dosificaciones específicas.	91
Tabla 4.3: Dosificaciones específicas.	93
Tabla 4.4: Dosificaciones específicas.	94
Tabla 4.5: Dosificaciones específicas para ensayo de compresión.	96
Tabla 4.6: Esfuerzo de deformación máxima.	96
Tabla 4.7: Resistencia máxima a la compresión.	97
Tabla 4.8: Dosificaciones específicas para ensayo de compresión.	98
Tabla 4.9: Esfuerzo de deformación máxima.	98
Tabla 4.10: Resistencia máxima a la compresión.	99
Tabla 4.11: Dosificaciones específicas para ensayo de compresión.	100
Tabla 4.12: Esfuerzo deformación máxima.	100
Tabla 4.13: Resistencia máxima a la compresión.	101
Tabla 4.14: Probetas con los mejores resultados a los ensayos de compresión.	102
Tabla 4.15: Dosificaciones específicas para ensayo de flexión.	104

Tabla 4.16: Carga máxima a la flexión soportada por las probetas. Fuente y Elaboración: Autores	105
Tabla 4.17: Cálculo del módulo de rotura a flexión.	105
Tabla 4.18: Dosificaciones específicas para ensayo de flexión.	106
Tabla 4.19: Carga máxima a la flexión soportada por las probetas.	107
Tabla 4.20: Cálculo del módulo de rotura a flexión.	108
Tabla 4.21: Dosificaciones específicas para ensayo de flexión.	109
Tabla 4.22: Carga máxima a la flexión soportada por las probetas.	109
Tabla 4.23: Cálculo del módulo de rotura a flexión.	110
Tabla 4.24: Probetas con los mejores resultados a los ensayos de flexión.	111
Tabla 4.25: Resultados para mediciones de coeficiente de absorción sonora.	115
Tabla 4.26: Coeficiente de absorción acústica de materiales.	116
Tabla 4.27: Resultados del ensayo de pérdida de transmisión sonora.	121
Tabla 4.28: Tabla de materiales y su valor de pérdida de transmisión sonora.	122
Tabla 4.29: Principales problemas acústicos.	124
Tabla 4.30: Análisis de precios unitarios PAAT.	137
Tabla 4.31: Análisis de precios unitarios PAAT.	138
Tabla 4.32: Análisis de precios unitarios PAAT.	139
Tabla 4.33: Precio de panel por m ²	140
Tabla 4.34: Precio de panel por m ²	140
Tabla 4.35: Precio de panel por m ²	140
Tabla 4.36: Precios comparativos de materiales para aislamiento acústico.	141
Tabla 4.37: Resultados y fichas técnicas de las propuestas.	145

Introducción

Actualmente la construcción crece aceleradamente, la tecnología empleada para resolver problemas constructivos es más avanzada, las ciudades cada vez responden a nuevas necesidades que mediante la arquitectura se tratan de satisfacer en su totalidad, sin embargo la continua expansión y sobrepoblación de las ciudades han hecho que un enemigo se apodere de las urbes, la contaminación acústica, instituciones como la AEMA¹ y la OMS² concuerdan en que, el exponerse al ruido de manera prolongada por mucho tiempo se asocia directamente a los problemas de concentración, aprendizaje, estrés, pudiendo llegar a causar pérdida de la audición y causar afecciones cardíacas y mentales.

Países desarrollados como España, han generado estudios sobre el tema, uno de ellos llamado “*La seguridad integral en los centros de enseñanza obligatoria en España*” (MAP-FRE, 2021), demostró que, al menos el 60 % de los establecimientos estudiados no poseen medidas de prevención contra el ruido mismo que se incrementa en los pasillos con cada descanso.

En Latinoamérica la problemática se agudiza aún más debido a la falta de reglamentos que aborden con claridad el tema, los pocos estudios que existen no son divulgados y sus resultados son alarmantes Brasil, Argentina, Chile, Ecuador son de los países que menos invierten en contrarrestar la contaminación acústica en centros pedagógicos.

En la ciudad de Cuenca la mayoría de entidades educativas carece de espacios cuidadosamente diseñados para los sentidos de los alumnos, creando espacios con poca estimulación sensorial lo cual se traduce en la falta de aprendizaje, para ello es preciso explotar al máximo el análisis de este tipo de contaminación. La implementación e importancia de sistemas de aislamiento acústico en centros pedagógicos, radica en la necesidad de generar una barrera protectora contra el sonido, emitido en los exteriores de las inmediaciones educativas. La presente investigación tiene como objetivo la fabricación de paneles de revestimiento acústico a partir de materiales compuestos cuya materia prima es, la fibra de totora, con esto se pretende dar una respuesta a la problemática del ruido en centros pedagógicos de la ciudad.

Los centros educativos a nivel nacional han descuidado el diseño de sus inmediaciones donde prima la forma más no su funcionalidad, lo que ocasiona que el confort de sus usuarios se vea alterado continuamente. Los usuarios de los establecimientos son poco conscientes del nivel de impacto que genera el ruido de todas sus actividades cotidianas y de ocio, y no le dan la importancia real que esto posee.

¹Agencia Europea de Medio Ambiente

²Organización Mundial de la Salud.

La utilización de fibras naturales representa la oportunidad de aprovechar sus características físicas y mecánicas en conjunto con materiales sintéticos con la finalidad de dar una alternativa híbrida de un material enfocado en la problemática acústica que afecta a la ciudad y sus edificaciones (Díaz, 2016).

El análisis de conceptos acústicos y normativa aplicada en el espacio arquitectónico aportará el conocimiento científico óptimo para el tratamiento de la problemática, como resultado se propondrá un panel de aislamiento acústico basado en la investigación previa de las diferentes fibras naturales que permitan la elaboración de los materiales compuestos, para finalmente ser utilizados en el ámbito pedagógico de la ciudad de Cuenca.

Problemática

En la actualidad la contaminación acústica es factor determinante que altera de vida de los seres humanos, más aún en zonas mayormente pobladas (ciudades); pudiendo generar conflictos, afecciones de salud y un golpe económico importante. Principalmente se relaciona con actividades humanas, siendo provocada por diversas fuentes como: la actividad industrial y comercial, la construcción, el transporte, las actividades recreativas, laborales, escolares, festivas, entre otras, que derivan en una ‘contaminación acústica urbana’.

En cuanto a la construcción a parte de la contaminación propia que la actividad de ésta genera, es muy común observar a nivel nacional que existe un gran descuido en el diseño de los centros pedagógicos, pues prima más la forma que la funcionalidad de los espacios, causando alteraciones en el confort de los usuarios, destacando el poco confort acústico de los mismos. Y en la ciudad de Cuenca no es la excepción, basta con visitar un centro educativo para evidenciar que mientras se está impartiendo una clase dentro del aula, los ruidos que llegan del exterior dificultan poder escuchar claramente al profesor. Lo cual evidencia que los materiales utilizados no son del todo acústicos o no cumplen con la normativa referente a los niveles de ruido admisibles para este tipo de edificaciones.

Objetivos

Objetivo General:

Fabricar un panel de revestimiento acústico a partir de materiales compuestos reforzados con fibras de Totorá que puedan ser adaptados a centros pedagógicos de la ciudad de Cuenca.

Objetivos Específicos:

1. Analizar conceptos acústicos que aborden la problemática existente y normativa vigente en el espacio arquitectónico.
2. Proponer un panel acústico que cumpla con las características físicas y mecánicas establecidas en la normativa analizada.
3. Establecer las características físicas del material que inciden en la absorción acústica del panel.
4. Determinar mediante pruebas de experimentación el coeficiente de absorción sonora del panel propuesto.

Justificación

Claramente el ruido se ha constituido en un contaminante atmosférico, principalmente en las sociedades en vías de desarrollo y en las industrializadas, pero con mayor presencia en los centros urbanos más poblados. Entre diferentes culturas la aceptación y sensibilidad al ruido son diferentes, sin embargo, los efectos negativos no distinguen patrones culturales.

Estudios de la Universidad de Harvard publicados en “The 9 Foundations of a Healthy Building” han demostrado que la distracción que se crea en entornos ruidosos altera el rendimiento cognitivo, las condiciones acústicas no solo afectan la comprensión oral, además causan impacto en la comprensión y expresión escritas, debido a la capacidad reducida para concentrarse y recordar los hechos, se verifico que el ruido provoca distracción e interfiere con el aprendizaje de los estudiantes y puede afectar el desarrollo cognitivo especialmente en niños menores de 15 años que todavía están en proceso de desarrollar habilidades lingüísticas ([Harvard T.H. Chan, 2017](#)).

El acondicionamiento en el ámbito arquitectónico de los espacios de uso pedagógico, dan viabilidad a la incorporación de materiales basados en procesos de bajo consumo energético, compuesto por elementos naturales, los cuales suponen un cambio de dirección sobre materiales para la construcción aplicado al aislamiento acústico. Es importante crear barreras contra el sonido en este tipo de centros puesto que los estudiantes precisan de un ambiente tranquilo y silencioso para adquirir conocimientos y desarrollar sus múltiples capacidades.

De acuerdo a [Hidalgo \(2017\)](#) el contexto analizado las fibras naturales de Totorá brindan la factibilidad de su uso, aproximadamente 56 toneladas de materia seca de totora se pueden recolectar por hectárea al año, en la actualidad la investigación encaminada a fibras naturales ha demostrado su potencial uso y versatilidad; por medio de la investigación se pretende dar al material las características cualitativas necesarias para ser empleado en los espacios de educación.

a. Recopilación y ordenamiento de la información.

Se investigará y ordenará toda la información referente a los conceptos, la normativa y los antecedentes históricos que ayudarán en el desarrollo del presente trabajo.

- Se escogerá la bibliografía y los referentes específicamente en función del tema propuesto.
- Se estudiarán varios referentes para comparar la información.
- Se considerará información de índole nacional e internacional que aporte efectivamente al proyecto.
- Se analizarán y escogerán los conceptos acordes al tema propuesto.
- Se analizará y escogerá la normativa adecuada para el desarrollo de la propuesta.

b. Investigación de referentes

El presente trabajo se sustenta en la investigación, selección y posterior análisis de referentes acordes al tema propuesto.

- Se buscará información de referentes nacionales e internacionales que hayan desarrollado o aplicado paneles acústicos o absorbentes del ruido.
- Se seleccionará un número máximo de 6 referentes, mismos que serán analizados y se considerará finalmente 2 o 3 como aporte final al proyecto.

c. Análisis Caso de Estudio

Se obtiene toda la información necesaria del caso de estudio y se realiza el análisis arquitectónico pertinente para el desarrollo de la propuesta de mejora.

- Se hará un recorrido de observación en la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad para establecer el sitio de estudio.
- Se seleccionará una de las aulas de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción.
- Se realizará las mediciones necesarias para establecer los parámetros a considerar.

d. Mediciones y comparaciones

Se realizará ensayos según la normativa acústica y mecánica vigente con la finalidad de obtener informes de las características y el comportamiento del material propuesto.

-
- Una vez seleccionado el caso de estudios, se procederá a seleccionar el sitio ideal para realizar las mediciones de los niveles de contaminación auditiva.
 - Se colocarán los instrumentos y el equipo de medición necesario y se procederá a realizar las pruebas.
 - Se recopilarán y ordenarán los datos para luego realizar el análisis e interpretación de los mismos.
 - Se hará las comparaciones entre los datos obtenidos en cada una de las pruebas realizadas.
 - Finalmente se llegará a las conclusiones del caso y se realizarán las recomendaciones pertinentes.

Contaminación acústica, Un enemigo entre nosotros

1.1. El sonido y su naturaleza

El sonido en la naturaleza es una continua transmisión de voces que se activan en un determinado lugar, desde su propia vibración rodeada de una serie de elementos como el bosque o laguna que permite desarrollar otros matices acústicos, creando su propio diseño de arte que se ha mantenido en el transcurrir de los tiempos, siendo una forma de comunicación que funciona como canales que evocan la calidez y el significado de contactarse consigo mismo; disfrutando de ese entorno mágico que representa la realidad natural de estos espacios. La creencia sonora mediante la presencia de animales, plantas, riachuelos, vientos, ecos, entre otros, crean complejos ruidos que se convierten en repertorios de la melodía que define a la naturaleza, dándole coloración y armonía. [López, López, y Ticliahuanca \(2019\)](#) menciona:

El ruido es la sensación producida en el oído por determinadas oscilaciones de la presión exterior, la sucesión de compresiones y enrarecimientos que provoca la onda acústica al desplazarse por el medio hace que la presión existente fluctúe en torno a su valor de equilibrio. (p.2)

Su historia se remonta desde el periodo de la antigua Grecia y Roma en las culturas tempranas el origen se dio a través de la música evidencia de hace 13000 años A.C. sugiere que existieron instrumentos que comprendían la música o melodías, la cultura griega estuvo siempre a la vanguardia de los principios acústicos diseñaron sus teatros con cálculos estrictos en cuanto a materialidad con la finalidad de aislar de mejor manera el sonido; por su lado la cultura Romana mejoró los conocimientos de los griegos logrando consolidar verdaderas obras de la ingeniería acústica como el anfiteatro de Flavio con capacidad para 40000 personas conocido como la más grande estructura para audiencia sentada del mundo antiguo.

1.1.1. Definición e historia del sonido

Cada sociedad presenta su sonido natural y en las grandes y pequeñas ciudades se determinan una serie de contaminación sonora, con sus propios sonidos que la identifican; existe una unión entre las emociones y el pensamiento lógico que lo vinculan con su lenguaje sonoro; donde el sonido en definitiva está interrelacionado a las situaciones de contaminación acústica que suscitan en las ciudades como consecuencias del desarrollo que experimentan, donde cada uno tiene una información que es interpretada por las propiedades que representan dichos sonidos ([Manrique, 2016](#)).



FIGURA 1.1: Coliseo o Anfiteatro de Flavio. Tomado de Gladiatrix en la arena. Publicado por Maribel, 2015.

Comparado con los que molestan o temen y los que anuncian fenómenos naturales, el ser humano aprende a reconocer esos sonidos agradables y placenteros, y hoy en día muchos de ellos aún están relacionados con el ruido en el ambiente, es decir, con el paso del tiempo los conceptos y significados de sonido y ruido han ido ajustándose para distinguirlos. El sonido puede definirse como una sensación que puede señalar la fuente del placer que brinda la armonía, tomando en cuenta su proporción como eje fundamental que la naturaleza determine.

Tal como lo expresa [Domínguez \(2015\)](#):

El sonido es una vibrante energía que se presenta inestable sin mostrarse de una determinada manera y difícilmente se contiene, en un extenso espacio cuyos límites físicos se dificultan traspasar. De manera que no obedece las leyes de organización espacial a las habituales, considerando los sentidos en el que permite definir un espacio territorial. (p.96)

Existen diversos autores que tratan de explicar la conducta de los sonidos utilizando diversas imágenes visuales como referencia; el sonido se diferencia por sus niveles de intensidades delimitado subjetivamente por los fenómenos que estructuran la identidad sonora individual. Distintos filósofos como Da Vinci, referían que el aire tenía sus propias voces desplazándose en movimiento circular y emitiendo su expresión sin obstáculo, manteniendo su centro donde éstas se originan. Por tanto, el sonido se destaca por la distancia existente entre el punto más bajo y más alto de una onda, se trata de una determinada intensidad, el volumen. El sonido se produce por pequeñas variaciones de presión en un medio habitual como el aire, las cuales son originadas por las vibraciones de un objeto o una estructura siendo detectadas por los sentidos ([Chova, 2020](#)).

1.2. Propiedades físicas del sonido

Estas propiedades del sonido se rigen mediante el ruido en que se emplean la presión acústica momentánea o la diferencia existente entre la presión constante de equilibrio y la presión instantánea en un punto. De tal manera, que el sonido viene caracterizado por sus cualidades: el tono (altura), la intensidad, el timbre y la duración.



FIGURA 1.2: Las ondas sonoras. Tomado de Clase de música 2.0.

La intensidad difiere entre sonidos bajos y altos relacionados con su presión eficaz o con la intensidad acústica. Los sonidos se diferencian con el tono y la altura divididos en graves, por lo que es proporcional a la frecuencia del sonido, es decir, a mayor agudeza de sonido, mayor frecuencia. Los sonidos de solo un tono (monotonales) en general están compuestos, por uno principal, que establece el tono y por otros secundarios (armónicos) a menudo idénticos a un múltiplo entero del principal. La calidad de tono o timbre del sonido está determinada por la contribución La contribución inherente de cada armónico.

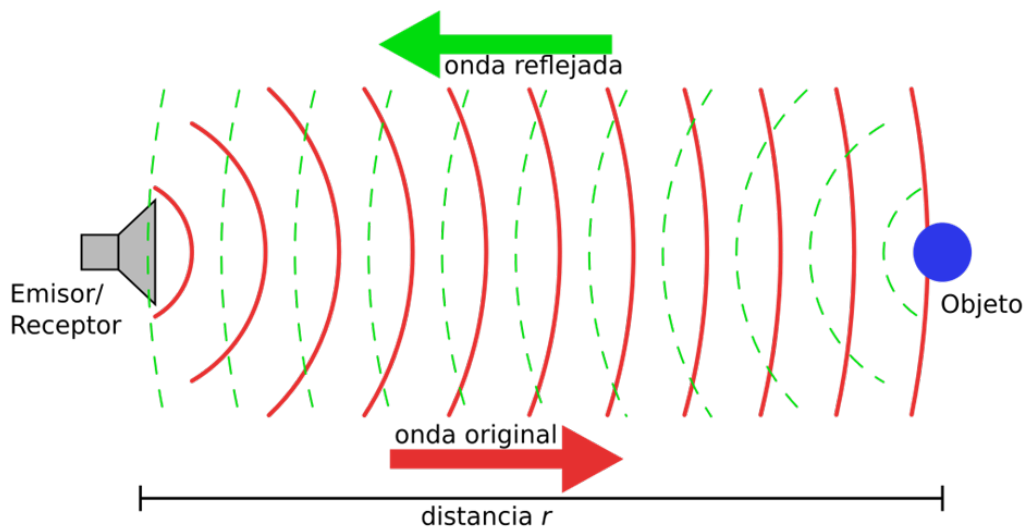


FIGURA 1.3: Ondas de Sonido. Tomado de Sonar Principle.

Principalmente se definen dos elementos que se relacionan: onda fónica (elemento físico) productora de percepción de sonido; y sonoridad (elemento subjetivo) causada por diferenciaciones de presión auditiva. La sensibilidad del oído reacciona a diferenciaciones de presión considerablemente débiles y oscilan en un rango de valores amplio; no obstante, no es capaz de apreciar fielmente la intensidad de un sonido y de registrar la intensidad sonora de dos sonidos de diferente tono.

El comportamiento de la sonoridad y el extenso nivel de amplitudes que percibe la audición humana, aconsejan representar los sonidos sin las magnitudes físicas. Por otra parte, la sonoridad se caracteriza por ser subjetiva, incapaz de apreciarse con un determinado dispositivo. Entre las aplicaciones del sonido se pueden mencionar la música, electroacústica, acústica fisiológica, acústica fonética, arquitectura, litotricia, entre otros (Licla, 2016).

El sonido ha conformado parte importante del desarrollo del ser humano el hecho de que una parte significativa de nuestro conocimiento debe tener presente la causa que es la onda sonora y el efecto que es la percepción, tema del aislamiento acústico en la actualidad acapara un amplio margen de investigación donde intervienen campos de la ciencia con distintas disciplinas entre ellas la psico acústica, acústica ambiental, acústica arquitectónica. Su utilización se da en diversos entornos ya sean académicos, empresariales o en la vivienda, en el contexto analizado su utilización pasa desapercibida estableciendo un problema grave en el confort de habitabilidad y funcionalidad de los espacios, más aún en aquellos lugares donde su uso es determinante para el correcto desarrollo de las actividades.

La emisión de ruido en la actualidad es catalogada como un impacto ambiental, esto se debe a la contaminación causada y al efecto nocivo para la salud humana por el escaso monitoreo de los rangos de ruido permitidos. En el mundo entero se han creado normas para controlar las emisiones de ruido, haciendo énfasis en las zonas consideradas de mayor vulnerabilidad, entre las cuales pueden estar: zonas industriales, zonas comerciales y zonas residenciales, en las que los valores máximos de nivel de ruido permitidos son de 80 dB (Ministerio Ambiente, 2021). En Ecuador MAE (2012) afirma qué:

En Ecuador MAE (2012) afirma qué, la norma técnica que establece los límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles es dictada bajo el apoyo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de gestión ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental; la cual establece los límites permisibles de ruido en el ambiente, que provienen de fuentes fijas; los procedimientos y métodos propuestos a la determinación de los rangos de ruido; normas de prevención y mitigación de ruidos así como los límites permisibles de emisiones de ruido desde vehículos automotores. (p. 6)

Tabla 1.1: Límites máximos de ruido permisibles según uso del suelo (MAE, 2020)

Tipo de Zona Según Uso de Suelo	Límites de Presión Sonora Equivalente NPS eq [dB(A)]	
	De 06h00 A 20h00	De 20h00 A 06h00
Zona hospitalaria y educativa	55	45
Zona Residencial	60	50
Zona Residencial mixta	65	55
Zona Comercial	65	55
Zona Comercial mixta	70	60
Zona Industrial	75	65
Zonas de Preservación de Habitat	60	50

Nota: Tomado de la Norma Técnica Ambiental, por [MAE \(2012\)](#).

El ruido acústico está presente en cualquier lugar es parte de la vida cotidiana, es permanente en las actividades de las personas, se genera al momento de realizar alguna actividad cotidiana y dependiendo de la actividad se convierte en ruido no deseado cuando el receptor es afectado en su concentración, en su salud física, psicológica, en su rendimiento cognitivo e incluso en la perturbación del sueño. Uno de los problemas causados por el ruido, es que se propaga por diferentes medios en un espacio como es el caso del aire, la cual se ve afectada por características físicas que tienen influencia sobre la propagación, tales como la transmisión, absorción, reflexión, refracción, difracción y la difusión ([Guijarro, Terán, y Valdez, 2016](#)).

El progresivo aumento del ruido como factor externo negativo, ha generado la ejecución de diversos estudios para el conocimiento de los decibeles que se forman en diferentes áreas, así como el déficit cultural de los habitantes al irrespetar las normativas; en el que se establecen los niveles de ruido en diferentes espacios a través de técnicas de medición promedio con equipos como sonómetros y calibradores acústicos. Según Noticias Jurídicas (2022) la Ley Española en 2007 definió qué:

El ruido ambiental como el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas incluido el ruido emitido por los medios de transporte, por el tráfico rodado, ferroviario y aéreo y por los emplazamientos de actividades industriales por lo tanto el ruido es un caso particular de sonido, una expresión de energía causada por un acontecimiento vibratorio el cual se detecta por el oído y produce una sensación de incomodidad. (p. 2)

Frente a este problema que engloba a todos los países, la arquitectura juega un papel fundamental en el modo de asumir con responsabilidad el desafío de generar espacios libres de esta contaminación de la cual no se puede escapar, la industria generadora de

materiales para la construcción en su afán de solventar la necesidad, ha desarrollado múltiples materiales que durante su fase de creación engloban altos consumos de energías no renovables lo cual se traduce en contaminación ambiental. Se observa que, en materiales usados en la construcción, como hormigón y el ladrillo visto, tienen un coeficiente de absorción bajo si se comparan con lana de vidrio y con lana de roca que son los más utilizados en el medio debido a sus características óptimas en el ámbito de la absorción acústica (Monje, 2016).

No obstante, se pasa por alto el grado de contaminación que genera sobre las vías respiratorias del ser humano a lo largo de su vida útil, el manejo de estos materiales compuestos por sustancias químicas peligrosas evidencia la vulnerabilidad de exposición del usuario, ya que en conjunto con el aire ocasiona que este material tiende a emitir partículas que viajan e ingresan por medio de los ojos y la nariz, produciendo irritación y enfermedades.

1.2.1. Naturaleza del movimiento ondulatorio

Este tipo de movimiento es el proceso mediante el que se irradia energía de un sitio a otro sin considerar transmisión de materia, a través de ondas. Éstas son llamadas mecánicas cuando necesitan un medio material. Entre los ejemplos que se pueden citar constan las ondas que se generan cuando se arroja una piedra en un río o un lago, el momento que cae la piedra se forma en el agua un movimiento sobre la superficie; cuando se juega o desplaza una cuerda; también en la oscilación de un resorte cuando aplicamos un peso en un extremo y jalamos el extremo contrario.

Si en el punto un elemento elástico se produce una vibración, esta es transmitida a cada uno de sus puntos. Las ondas que se transmiten a través de este medio son las ondas mecánicas. Si el movimiento es uniforme, se denomina vibración armónica. Si una partícula se mueve de un extremo a otro atravesando por el punto de equilibrio y regresa, se considera que, ha realizado una vibración u oscilación completa.

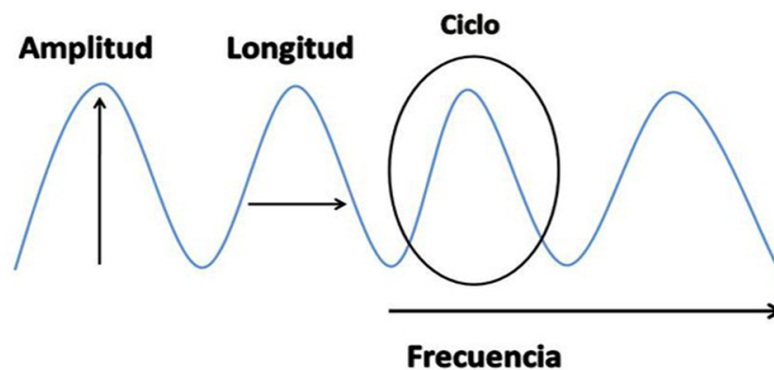


FIGURA 1.4: Partes de una Onda. Fuente: Lifeder

1.2.2. Las ondas sonoras

Clasificación de las ondas sonoras:

Ondas electromagnéticas y mecánicas: algunos tipos de ondas necesitan un medio material para propagarse, éste a su vez cumple el rol de soportar las perturbaciones, ciertas clases de ondas para propagarse, necesitan de la existencia de un medio material que resista de la perturbación y se conocen como ondas mecánicas. Algunos ejemplos de ondas mecánicas, son las ondas formadas en muelles, en la superficie del agua o en cuerdas y pertenecen a compresiones, deformaciones, y perturbaciones del medio en que se irradian. No obstante, hay ondas capaces de propagarse en el vacío, es decir, sin la necesidad de un medio material

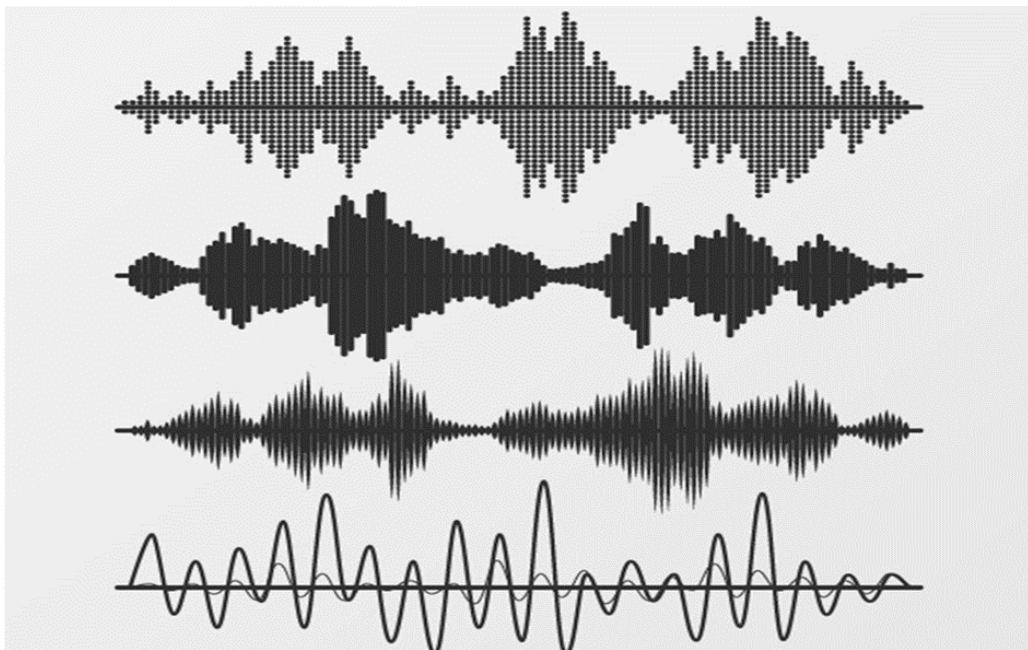


FIGURA 1.5: Tipos de Ondas. Los tipos de ondas dependen del medio en el que son transportadas. Fuente: [European Acústica \(2020\)](#).

Ondas Transversales y ondas longitudinales: Por los dos tipos de movimientos que presentan las ondas mecánicas, se clasifican en transversales y longitudinales. Las transversales presentan movimientos perpendiculares con respecto a la trayectoria de irradiación de la perturbación; en las longitudinales los dos movimientos poseen la misma trayectoria y reciben genéricamente el nombre de ondas sonoras, gracias a que las características de éstas son, casi iguales a las del sonido común en el aire.

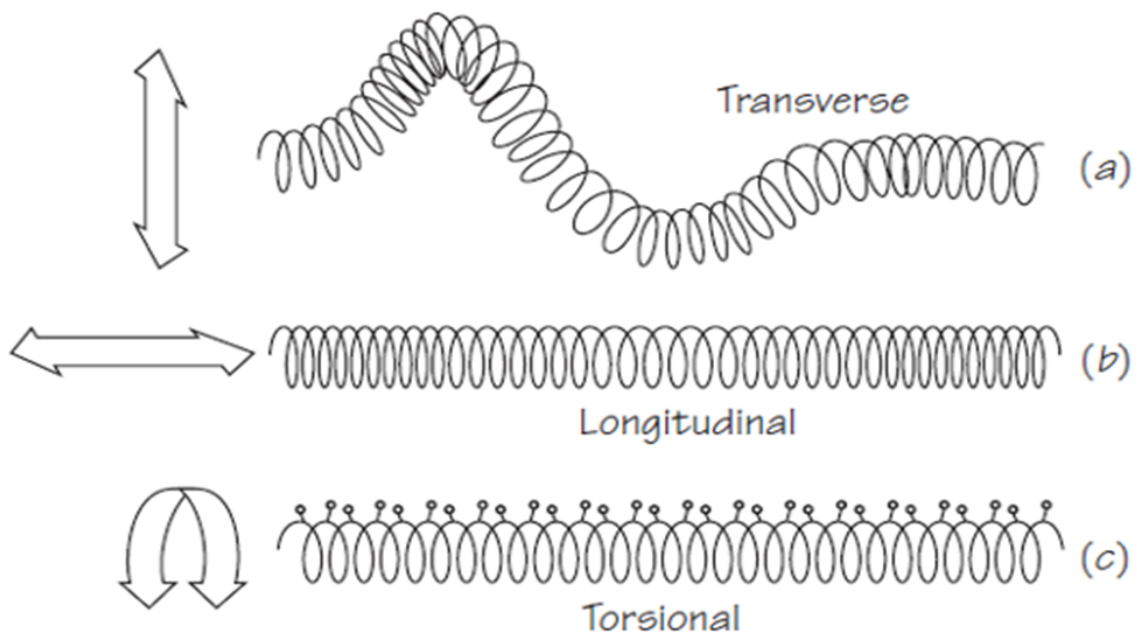


FIGURA 1.6: Tipos de Ondas Direccionales. La clasificación de las ondas obedece a 4 aspectos: el medio en el que se irradian, el frente de onda, la trayectoria de la perturbación y la periodicidad. Tomado de Cultura Científica.

Ondas Direccionales: esta clasificación contempla el ámbito de propagación de las ondas. Clasificándolas en:

Unidimensionales: Son todas las que se propagan en una sola trayectoria espacial (ondas de cuerdas o de muelles).

Bidimensionales: Son aquellas que se propagan en cualquier dirección en el plano de una superficie. Son llamadas también ondas superficiales, tal como las producidas en la superficie de un río o un lago cuando dejamos caer en él una piedra.

Tridimensionales: Este tipo de ondas se mueven en tres direcciones distintas que conforman un frente esférico que nace del medio originario de la perturbación viajando en todas direcciones.

Según la dimensión de propagación



FIGURA 1.7: Ondas según la dimensión de propagación. Fuente: Slide To Doc.

Ondas viajeras: como lo establece su nombre este tipo de onda viaja por medio del espacio, dependiendo del caso puede considerarse o no un medio mecánico, se mueven constantemente, siempre y cuando haya una fuente que la genere.

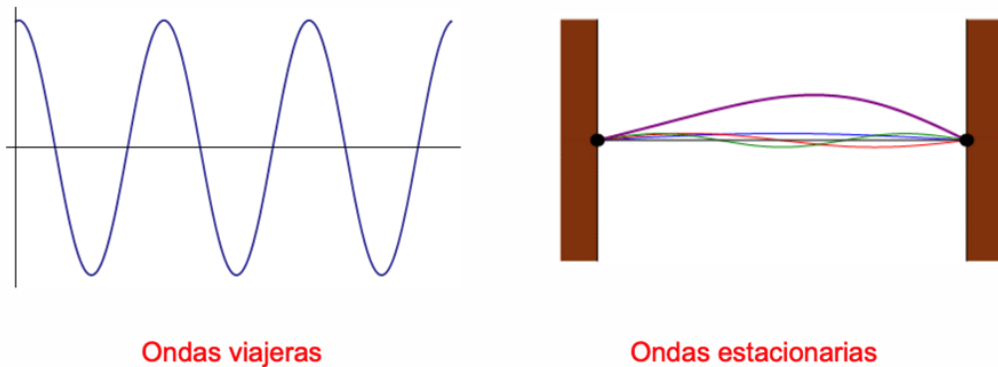


FIGURA 1.8: Ondas viajeras y estacionarias. Fuente: Física I. Mendoza Z. P.

Ondas estacionarias: aquí la onda se mantiene estática en uno o más nodos de manera que ésta no se desplaza en ninguna dirección, es decir admite el movimiento, pero se conserva inmóvil. Este tipo de onda puede considerarse como la interferencia de un par de ondas que poseen igual amplitud y longitud.

Longitud de onda: es considerada como el recorrido entre dos crestas inmediatas, su magnitud es en metros, no obstante, debido a la amplia variedad (longitud de ondas) existente se suelen usar otras magnitudes como kilómetro, esto en ondas más largas (radio o TV). ([European Acústica, 2020](#)).

1.2.3. Fluctuaciones de presión

Cualquier fuente de sonido emite ondas sonoras, que producen ondas de baja y alta presión en el aire, haciendo vibrar al tímpano humano gracias a las fluctuaciones de dicha presión, haciendo que otra persona escuche el sonido. La percepción del volumen de las ondas sonoras emitidas es individual para cada persona. Aunque, las fluctuaciones de presión producidas por las ondas sonoras pueden ser medidas físicamente, gracias de la presión sonora producida, puede derivarse la unidad de decibelio. ([Auersignal, 2015](#)).

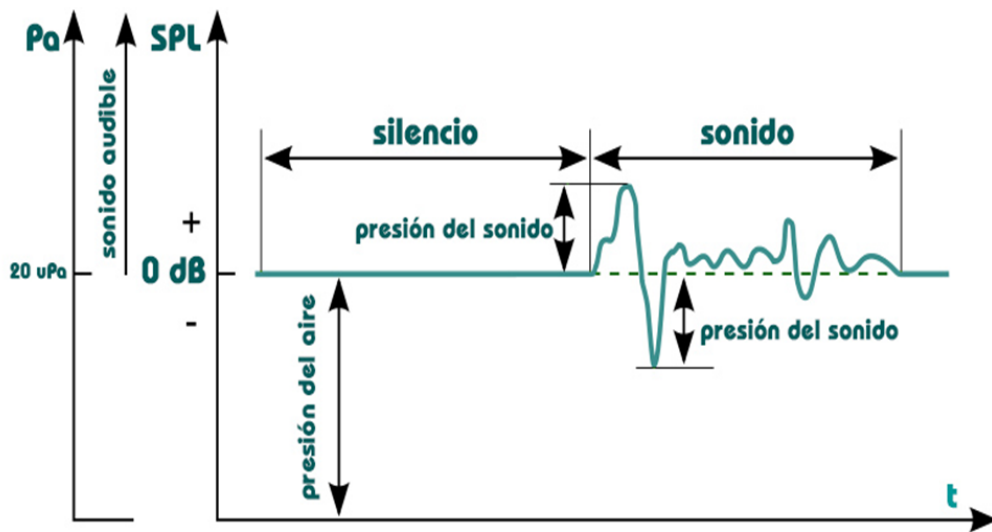


FIGURA 1.9: Presión de referencia y presión sonora. Fuente: MicroSonus

La necesidad de tener una idea del comportamiento del campo del flujo sobre el ala, se realizaron diversos ensayos de visualización con humo, en las distintas configuraciones de ensayo, variando todos los parámetros en juego (Marañón y otros, 2016).

Pascal (Pa)

La presión sonora influye en la fluctuación puesto que la perturbación es transmitida, siendo el Pascal (Pa) su unidad de medida, estableciendo el equivalente a mayor presión sonora, mayor amplitud de fluctuación convertida en un mayor volumen en el sonido percibido. Se usa el promedio rms (root mean square) o valor óptimo para la caracterización de las fluctuaciones de presión.

$$p^2 = p_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt$$

Siendo T el intervalo de tiempo en el que se ejecuta el promedio. Tomando en cuenta que en el aire la menor presión sonora es del orden 10⁻⁶ pascuales, esta se expresa en µPa.

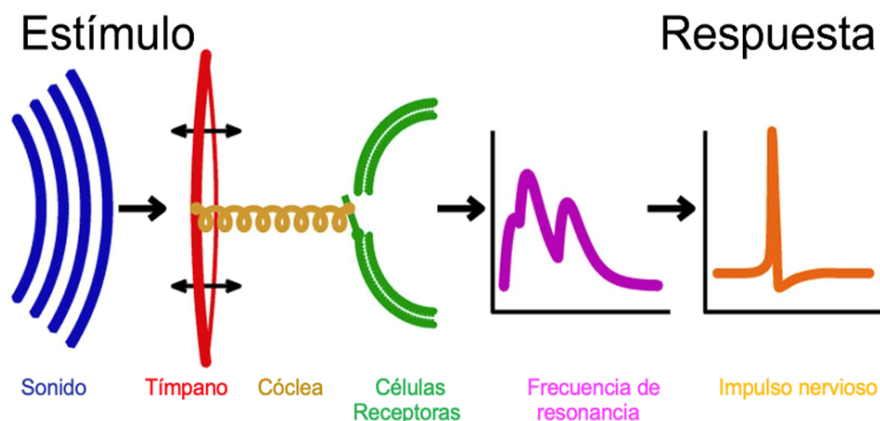


FIGURA 1.10: Fluctuación de presión. Fuente: EBMCBleik, 2022.

Decibelio (dB) y decibelio ponderado (dBA)

El ser humano es capaz de oír variaciones de presión sonora de 0,0002 a 2000 Pascales, aproximadamente, por ser este un rango amplio, se utiliza para hacer medidas, una escala logarítmica en decibelios (dB). Para expresar la relación entre 2 valores de presión sonora se utiliza el decibelio (dB), cuyo valor normalizado para el umbral de audición humana es cero dB. También se utiliza el decibelio ponderado (dBA), éste filtra las altas y bajas frecuencias, que son menos perceptibles al oído de ser humano mismo que alcanza un máximo en las frecuencias medias. La intención es ajustar más adecuadamente esta unidad a la percepción humana del sonido.

1.2.4. Generación del sonido

La generación del sonido se conforma por las ondas sinusoidales, en el cual a pesar de que hay evidencias de la inexistencia de los tonos puros, se determina que cualquiera se puede expresar como composición de tonos puros. Tomando en cuenta que los sonidos poseen un carácter periódico de acuerdo a la variación de presión generada. Mientras que, el ruido, a pesar también de las variaciones de la presión atmosférica, no manifiesta ningún comportamiento periódico.

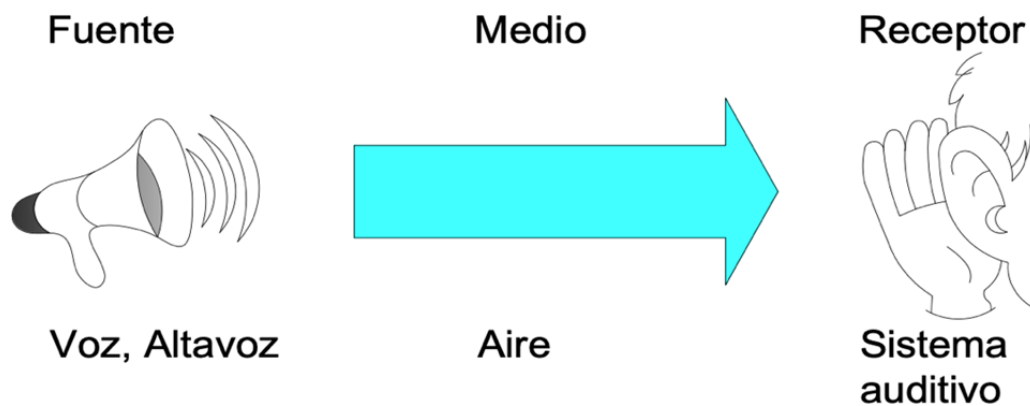


FIGURA 1.11: Generación del sonido. Fuente: Megafonía y sonorización Ronald.

Una onda sinusoidal posee el siguiente gráfico: cada una de las repeticiones del proceso de expansión y compresión se llama ciclo. La amplitud es el máximo nivel de presión; el período (T) es el tiempo de duración de cada lapso, es decir, el período es el tiempo que se demora en realizar una oscilación completa. Mientras que la frecuencia (f) es la cantidad de oscilaciones completas generadas en un segundo.

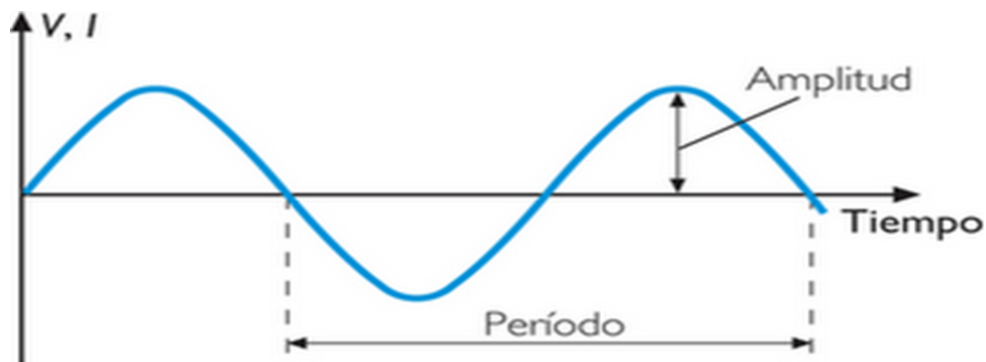


FIGURA 1.12: Onda sinusoidal. Fuente: Tipos de ondas, por Camila Barragán.

De ese modo, se puede precisar numéricamente la presión en un punto a cada instante debido a la acción de un tono íntegro con la fórmula. Otro punto a considerar es la vibración del cuerpo generador, que facilita la irradiación del sonido mediante el aire, siendo éste el elemento de traspaso hasta el receptor (oído). Será preciso una fuente de vibración y un elemento elástico que permita su propagación, para poder determinar el sonido. El elemento generador del sonido será la fuente sonora.

1.2.5. Frecuencia y longitud de onda

Es vital determinar la amplitud definida por la máxima longitud que logra la onda, la medición se hace en metros. El trayecto entre dos puntos máximos de una onda es la longitud que también se expresa en metros. La oscilación es el recorrido de cada partícula desde el inicio de una vibración hasta que regresa a la posición inicial; durante un período de tiempo en el que una partícula vibra.

Para definir físicamente una onda, se usa con frecuencia el parámetro de la longitud de onda, éste se puede definir para cualquier onda periódica, esto es, para la clase de onda que repite de forma de intervalo determinado de tiempo. Una onda periódica es la distancia entre puntos desde los que se repite la longitud de onda.

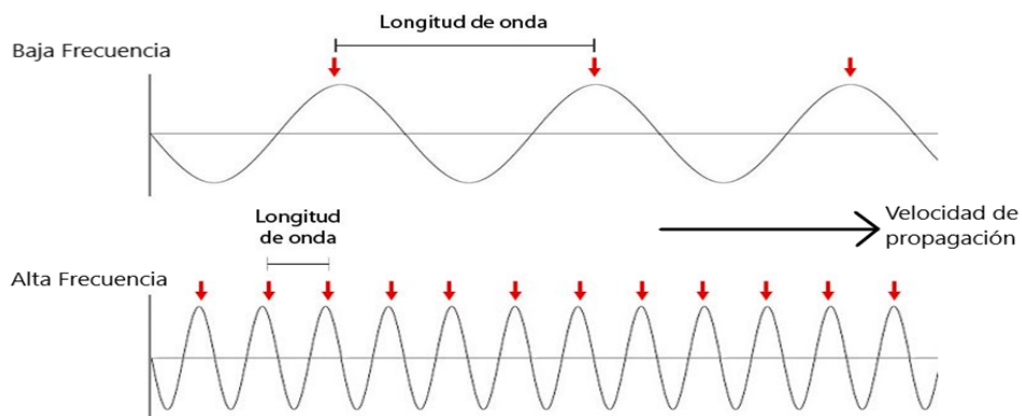


FIGURA 1.13: Frecuencia y Longitud de onda. Fuente: Esero

A partir de la velocidad a la que viaja la onda, se puede relacionar fácilmente la frecuencia y longitud de onda, no obstante, la frecuencia es sencillamente la medida del número de repeticiones o ciclos de la onda por unidad de tiempo.

1.2.6. Espectro de frecuencia

Espectro de frecuencia de una señal es el rango de frecuencias que comprende una señal; es decir, una onda cuadrada puede representarse mediante una sucesión de ondas sinusoidales con componentes de frecuencia y amplitudes sucesivamente; el espectro puede ser una aproximación que comprenda solo el primer y tercer armónico. Se refiere a las frecuencias de radio invisibles por las que viajan las señales inalámbricas que son las que permiten hacer llamadas desde los dispositivos móviles, obtener indicaciones para llegar a un destino y hacer todo. Las frecuencias que se usan para la tecnología inalámbrica son solo una parte de lo que se llama espectro electromagnético (CTIA, 2018).

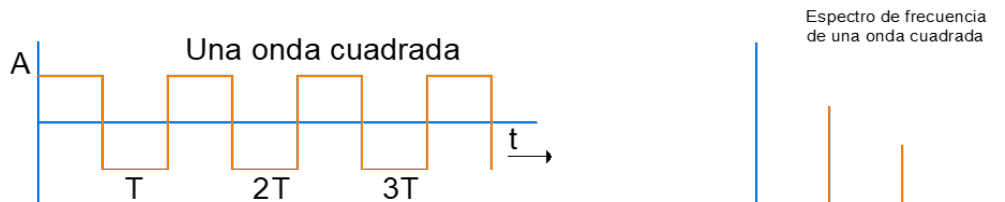


FIGURA 1.14: Espectro de frecuencia. Los relativos rangos de todos los armónicos se muestran en vertical, y los niveles más altos muestran los rangos más eminentes. Fuente: Hispasonic

Las partes del espectro de frecuencia se agrupan en bandas según las longitudes de onda y la distancia en la que se repite su forma; el espectro completo varía de tres Hz que es una frecuencia extremadamente baja a 300 Hz rayos gamma. La porción utilizada para la comunicación inalámbrica se encuentra dentro de ese espacio y varía de aproximadamente 20 KHz a 300 GHz, entonces un espectro es una forma gráfica de la señal en función de una variable dependiente. Para generar señales de precisión cuántica en las frecuencias súper altas necesarias para la comunicación inalámbrica de próxima generación, se han desarrollado generadores de formas de onda ultrarrápidas. Su funcionamiento transfiere unidades discretas y exactamente cuantificadas de flujo magnético a lo largo de un circuito formado por una serie de uniones Josephson, cada una consta de dos diminutos electrodos superconductores separados por una barrera muy fina.

Una unidad de flujo magnético almacena una corriente persistente en el bucle superconductor formado por uniones adyacentes. La aplicación de un pulso de corriente que pasa a través de una unión puede hacer que esta cambie y se transfiera a la siguiente unión de la serie, donde al final de la línea, la transferencia crea un perfil de onda de voltaje y pulso.

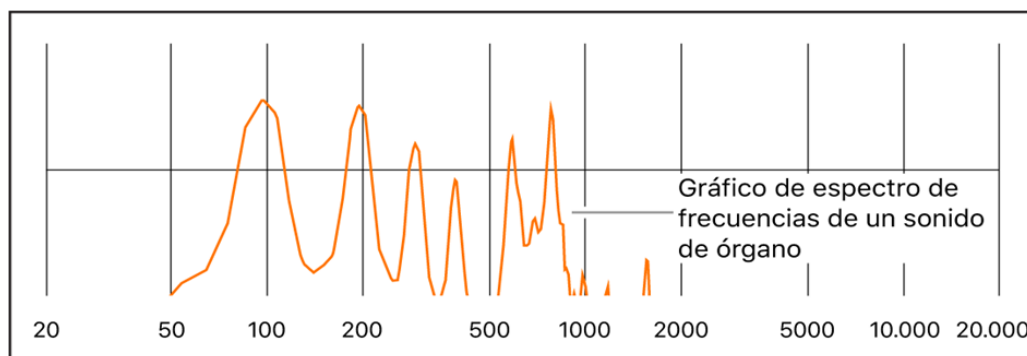


FIGURA 1.15: Espectro de frecuencia de un sonido. Espectro de frecuencia de un sonido de un órgano. Fuente: Apple.

Se conoce como espectro de frecuencias o espectro armónico a la mezcla de un número armónico. Todos los elementos individuales de un sonido son mostrados en el espectro de frecuencia. Se evidencia a lo largo del tiempo de izquierda a derecha y de bajo a alto.

1.3. Velocidad del sonido

La velocidad del sonido (c) indica cuán rápido se propaga el sonido, la frecuencia (f) no es importante, lo más determinante es el medio en el que viaja el sonido, la velocidad del sonido no se reduce con una mayor distancia de la fuente, por lo que el sonido no viaja más lento. La rapidez del sonido indica con qué velocidad vibran las moléculas alrededor de su posición de equilibrio. Para calcular la velocidad del sonido usamos la fórmula:

Velocidad del sonido = Producto entre longitud de onda y frecuencia

$$c = \lambda \cdot f$$

λ : longitud de onda, del griego lambda.

La unidad de medida es m/seg, metros por segundo.

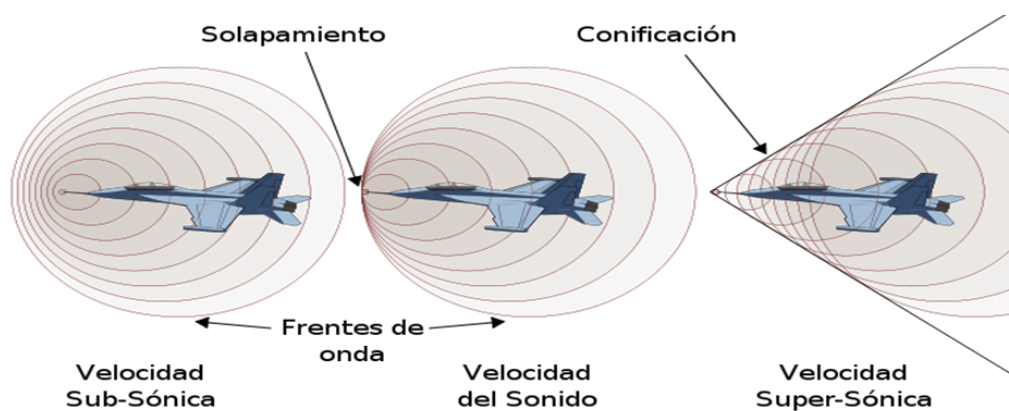


FIGURA 1.16: Velocidad del sonido. Fuente: Posada M. Luis, 2015.

Igualmente, cada sonido está formado por una onda mecánica con progresión longitu-

dinal. Esto quiere decir que el sonido se irradia a través ínfimas variaciones en el medio material, por ejemplo: expansiones de agua, aire y tierra como pequeñas contracciones. Entonces, el material o medio de propagación del sonido posee una relación con su velocidad, así también con la presión atmosférica y con la temperatura.

Se muestra la velocidad del sonido en diferentes materiales, tales como:

Tabla 1.2: Velocidad del Sonido en Diferentes Materiales. Fuente: [Siemens Stiftung \(2016\)](#).

Medio	c(m/seg)	Medio	c(m/seg)
Acero	6000	Hielo	3250
Caucho	1500	Hierro	5120
Alcohol	1207	Helio	965
Aluminio	5000	Aire	331
Plomo	1210	Agua	1497

En un material, la velocidad del sonido depende, de la rapidez con que la energía vibratoria pueda ser transferida a través del mismo. Razón por la cual, la derivación en un medio depende del estado en el que se encuentre, generalmente, la ecuación para la velocidad de una onda mecánica en un material resulta de la raíz cuadrada de la propiedad elástica dividida por la propiedad inercial.

$$v = \sqrt{\frac{\textit{propiedad elástica}}{\textit{propiedad inercial}}}$$

Por último, [Siemens Stiftung \(2016\)](#) toma en cuenta la sonoridad del sonido como un tono, es decir, una variable psicológica. La sonoridad está íntimamente relacionada con la intensidad del sonido, puesto que es una característica física. Por lo general se expresa en la cantidad de vatios por centímetro cuadrado.

1.4. Mecanismos de la audición humana

Ante una dilatada exposición a una fuente de ruido (a pesar de tener un bajo nivel) el sistema auditivo se desmejora. Si además de la exposición cotidiana al ruido le sumamos la que se genera por la utilización de aparatos individuales de audio, probablemente los daños generados por dichos artefactos se presentarán de forma temprana. Comúnmente estos dispositivos se usan para cubrir el ruido ambiental, entonces para hacerlo efectivo, se eleva el volumen provocando un elevado nivel de presión sonora, dando como consecuencia una pérdida auditiva temprana.

Por consiguiente, si el ruido no termina, las lesiones podrían ser perentorias. La pérdida de la audición irá aumentando progresivamente hasta causar la pérdida total de la audición, a parte del ruido prolongado, el sonido imprevisto de 169dBa (como un disparo o una explosión) es perjudicial para el sistema auditivo, pueden provocar lesiones

irreversibles a causar de la perforación del tímpano.

El oído humano posee un comportamiento tamiz inteligente respecto a las variaciones de presión auditiva externas. Admite el flujo de frecuencias medias sin ninguna dificultad, siendo menos sensible a las altas y bajas frecuencias, de esta manera atenúa las frecuencias bajas, sin afectar las medianas frecuencias e introduce en las altas frecuencias una ligera variación.

Así, teniendo el espectro de ruido de una máquina, se corrige su forma, de acuerdo como lo hace el oído humano, y se obtiene el espectro ponderado que equivale a al espectro que estimula las células del oído interno, siendo éste, el espectro captado por el cerebro. Es así que [López et al. \(2019\)](#) afirma:

La suma de los niveles de presión sonora dará un nivel global que se puede expresar en decibelios o dB en el primer caso, mientras que en el segundo caso se tratará de decibelios A o dBA; dado que el oído humano es más sensible a unas frecuencias que a otras y su respuesta depende también del nivel o presión sonora, en el cual existen unas zonas definidas como de mayor percepción o sensibilidad. (p. 33)

Las variaciones sonoras perceptibles a la audición humana se generan en un nivel de ruido estable, en función de estas variaciones, gracias al incremento positivo o negativo del ruido, se producen distintas sensaciones de las mismas. No obstante, es preciso señalar que, el que sea perceptible una variación sonora no sugiere el nivel de molestia o mejora que es capaz de generar, puesto que esta percepción es subjetiva, tal como se indica en [Tabla 1.3](#) y [Figura 21](#).

Tabla 1.3: Variación del Nivel Sonoro. Fuente: [Araucustica \(2020\)](#).

Variación del nivel sonoro	Descripción de la sensación	Porcentaje
Imperceptible	0	0 %
En la tolerancia	2	5 %
Apenas perceptible	5	14 %
Variación netamente perceptible	10	27 %
Variación muy fuerte	20	54 %
Total	37	100 %

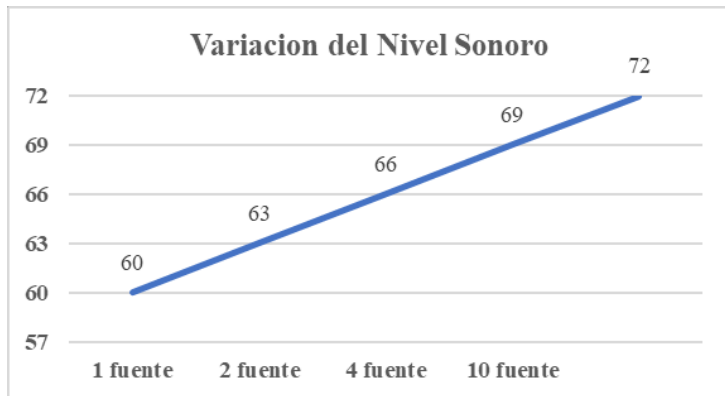


FIGURA 1.17: Another figure

TABLA 1.4: Variaciones

Fuentes	Decibeles
-	57
1 fuente	60
2 fuente	63
4 fuente	66
10 fuente	69
-	72
	387

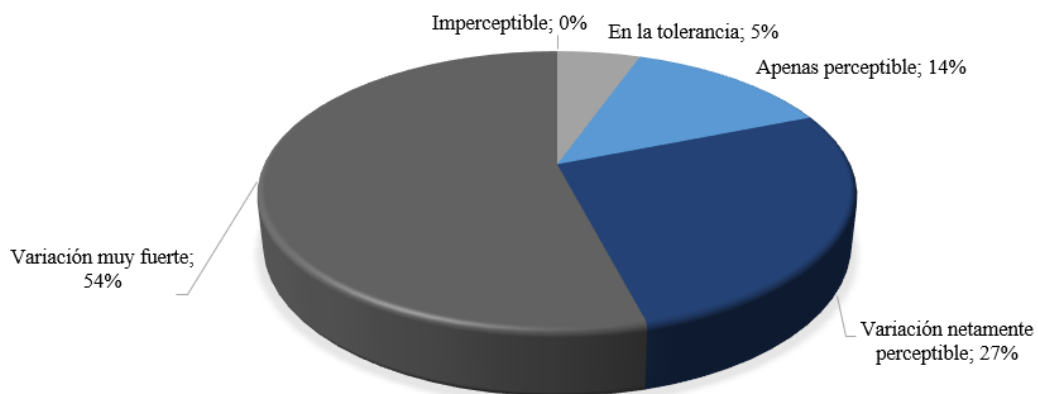


FIGURA 1.18: Rangos de la Variación. Fuente: Rodriguez (2016)

1.4.1. Efectos del ruido sobre la audición

A diario, en nuestro entorno experimentamos el sonido, tales como: sonidos producidos por el tráfico, la radio, la televisión y los electrodomésticos. Por lo general se producen en rangos incapaces de dañar nuestra audición, sin embargo, estos sonidos cuando son muy fuertes pueden ser altamente nocivos, aun cuando se producen por un corto periodo de tiempo, o cuando son fuertes y perennes; pudiendo lastimar estructuras sensibles del oído interno y ocasionar la pérdida de la audición causada por ruido.

Los efectos auditivos pueden ser inmediatos, tardar mucho en notarse, temporales, permanentes y pueden afectar un oído o ambos; si bien en un principio no se detecta daño de la audición, se podría en el futuro tener problemas para oír, por ejemplo, al mantener una conversación telefónica o al conversar directamente con otras personas. Sin importar la manera que afecte, algo es seguro, se puede prevenir la pérdida auditiva causada por ruido. (Victory, 2021).

Pérdida Auditiva Inducida Por Ruido

¿Cómo Suena?

El grado de pérdida auditiva suele ser aproximadamente el mismo en ambos oídos.



Los sonidos de tonos más altos son más difíciles de escuchar que los sonidos de tonos más bajos.



Puede sentir que la gente está murmurando más de lo que solía hacerlo.

Es más difícil escuchar los sonidos "sh" "s" "th" y "f". Palabras como "casco", "vender" y "caer" pueden ser indistinguibles.

FIGURA 1.19: Efectos de ruido sobre la audición. Los trabajos industriales tienen un alto riesgo de sufrir daños por ruido. Fuente: [Victory \(2021\)](#)

La pérdida auditiva producida por sonido es un daño permanente a las diminutas células ciliadas de los oídos, conocidas como estereocilios, por sonidos fuertes. Al igual que los terremotos, los niveles peligrosos de ruido producen vibraciones en las células ciliadas que son tan poderosas que son dañinas, a veces de forma permanente. Estas células no son reemplazables y no vuelven a crecer, ya que al estar dañadas no pueden activar señales eléctricas al cerebro, lo que impide la audición. Entre los efectos que dañan se tienen los ruidos intensos pero cortos como un disparo cercano, la exposición repetida o continua a ruidos fuertes, el funcionamiento de equipos de construcción que pueden dañar las células ciliadas ([Victory, 2021](#)).

Efectos

- Pérdida de la audición gradualmente debido a la exposición prolongada al ruido.
- Se puede llegar al punto de no escuchar una simple conversación o tener que subir el volumen de la televisión porque los sonidos se distorsionan.
- Cuando se tiene una edad avanzada y también se padece de problemas de audición, se puede desencadenar una pérdida muy importante de la audición, lo que conlleva al uso de audífonos constantemente hasta para las actividades más cotidianas.
- Ruidos repentinos pero muy fuertes (explosiones, disparos, etc.) también puede provocar serios problemas porque podría romperse el tímpano causando un daño inmediato e irreversible.
- Los ruidos fuertes también son responsables de causar tinnitus (zumbido constante en la cabeza y el oído), aunque puede desaparecer con el tiempo, en algunos casos se prolonga durante toda la vida. Se puede presentar en uno o en los dos oídos.
- En ciertas ocasiones exponerse a ruidos fuertes prolongados ocasiona pérdida temporal de la audición que dura entre 16 y 48 horas, pero estudios recientes demuestran que esa pérdida temporal es aparente y puede generarse un daño gradual a largo plazo.
- Algunas veces el exponerse a ruidos demasiado fuertes y/o continuos genera pérdida

temporal de la audición, la misma que puede desaparecer después de 16 a 48 horas, no obstante, estudios recientes mencionan que, pese a la aparente desaparición de la molestia, puede existir daño a largo plazo. (NIH, 2019b)

1.4.2. Interferencia con el aprendizaje y la lectura

Pocas cosas impacientan tanto como la exposición al ruido excesivo, o la imposibilidad de escuchar lo que se necesita oír. Sin embargo, se puede tratar del tráfico en una autopista, de un sitio de construcción, de un aire acondicionado o un habitante tocando saxofón, algunas investigaciones han demostrado que el ruido puede generar problemas cardiovasculares, aumento de la presión arterial, cefaleas y migrañas, trastornos del sueño, problemas hormonales, así como limitar el rendimiento mental y físico.

Por el contrario, un contexto acústicamente satisfactorio permite oír de manera apropiada, tener un enfoque mejor y mayor tranquilidad. La preocupación por crear entornos acústicamente normalmente está centrada en salones de conciertos, teatros, y cabinas de grabación. Pero, es significativo en los ambientes educativos, puesto que interviene estrictamente en la enseñanza y el aprendizaje, donde la fatiga acústica puede interferir en el proceso, obstaculizando la atención y desmejorando la comunicación profesor-estudiante. (Souza, 2021)

Según Velasco (2021) las aulas clásicas tienen una acústica mala ya que, debido a la reverberación, apenas el 50% de lo que dice el profesor puede entenderse en la cuarta fila, es decir, los alumnos sentados en la cuarta fila y más atrás deben realizar al menos el doble del esfuerzo para concentrarse en lo que se dice, lo que ralentiza considerablemente el proceso de aprendizaje. También, existe una preferencia de construir aulas con un ambiente abierto, inspiradas en las oficinas abiertas, esta infraestructura moderna es atractiva pero poco cómoda; en este contexto los alumnos no entienden al profesor debido a un exceso de ruidos de fondo y distracción.

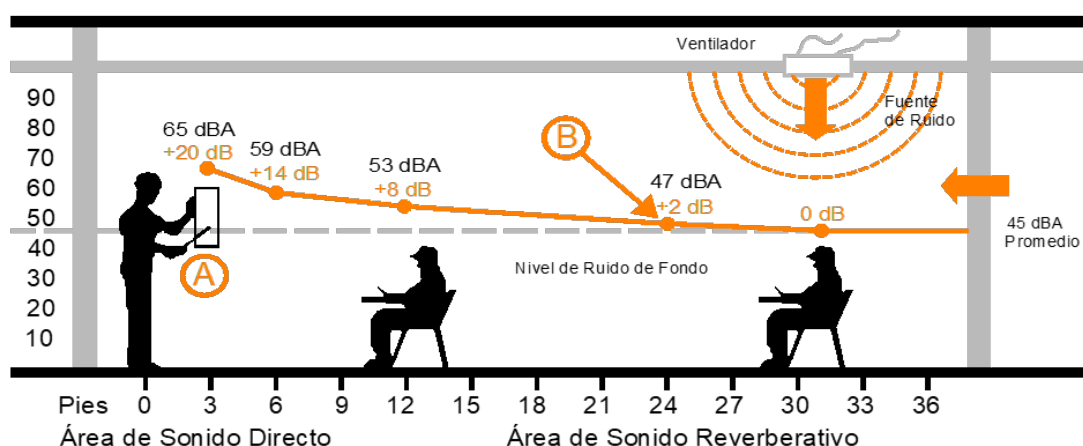


FIGURA 1.20: Sonido directo y reverberativo. El ruido puede originarse de forma interna como un ventilador o el aire acondicionado o puede proceder del exterior por múltiples causas como el tráfico, salones de clase adyacentes, cafeterías, restaurantes, aviones y helicópteros.

Se debe tener en cuenta que las ondas sonoras, el momento que las interceptan un receptor como el oído humano, se juntan para transmitir información al cerebro (se escuchan). Como se explicó con anterioridad la intensidad acústica se expresa en decibelios (dB), en tanto que, el tono del sonido (frecuencia) es expresado en Hertz. El oído humano sano es sensible a un extenso rango de frecuencias, aproximadamente de 20Hz a 20.000Hz; por debajo de este rango se denominan infrasonido y por encima de éste, ultrasonido.

Se considera que, en una edificación institucional en sus aulas están presentes 4 tipos de sonidos, tales como los ruidos externos, ruidos internos, ruidos de impacto y los ruidos de equipamientos. Estos ruidos intervienen en el confort acústico de los ocupantes. De acuerdo a la OMS, el nivel seguro de ruido en un salón de clase no debe excederse de los 35 decibeles; si aumenta, la capacidad de aprender se verá afectada. (Souza, 2021)

Muchos estudios demuestran que el sonido más nocivo de todos es el emitido por las conversaciones de otras personas. (Steelcase, 2018)

1.5. Fuentes de contaminación acústica

La contaminación sonora o acústica es definida como la molestia ambiental causada por el ruido que provoca la sensación de inquietud por vivir en las cercanías, puede provenir de una variedad de fuentes dañinas tales como de la maquinaria industrial, vehículos y proyectos de construcción comercial; otras de gran importancia son:

- Infraestructuras vehiculares, sobre todo las de media velocidad y alta velocidad (autopistas).
- Concentraciones urbanas, especialmente en el entorno de áreas de ocio y esparcimiento (restaurantes, bares, discotecas, etc.).
- Aeropuertos y helipuertos, principalmente en el momento de la despegue y aterrizaje de las aeronaves.
- Diversas actividades de índole económica (industria, construcción o restauración de edificaciones e infraestructuras. (Gobierno de Canarias, 2019)



FIGURA 1.21: Fuentes de Contaminación de Ruido.

La contaminación acústica afecta la salud humana, es decir, puede hacer más que reducir la capacidad auditiva; también puede crear un trauma psicológico que lleve a trastornos nerviosos, aumento de la presión arterial, engrosamiento de la sangre, problemas neurológicos, conduce a hipertensión y otros problemas cardiovasculares. Los ruidos fuertes y no deseados desencadenan una respuesta de estrés en el cuerpo, lo que produce aumento de adrenalina y un incremento de la presión arterial. Las molestias y las distracciones en el trabajo o en la carretera pueden ser tan dañinas como las interrupciones del sueño para dormir, así como los ruidos discordantes constantes pueden causar estrés.

Entre las causas de la contaminación acústica se tienen las siguientes:

Ruido de tráfico: constituye el ruido de mayor contaminación en las ciudades. Tal que, la bocina de un auto genera 90 dB y la de un autobús genera 100 dB.

Ruido del tráfico aéreo: existe menor cantidad de aviones sobrevolando ciudades que autos en las carreteras, sin embargo, el impacto es mayor, pues, un solo avión produce 130 dB.

Sitios de construcción: Toda la construcción en general (parqueaderos, edificios, pavimentación y repavimentación) producen mucho ruido. Por ejemplo, un taladro neumático produce 110 dB.

Catering y vida nocturna: Los restaurantes, bares y terrazas que se saturan cuando hace buen tiempo pueden generar más de 100 dB. Incluyendo el ruido de discotecas y pubs.

Animales: Por lo general el ruido de animales pasa desapercibido, pero el ladrido o aullido de un perro, puede generar entre de 60-80 dB. (Sound Fighter, 2020)

1.5.1. Ruido de tráfico

Según la OMS, el ruido del tráfico está asociado con problemas para dormir, cansancio, dolores de cabeza, presión arterial alta, efectos hormonales, estrés y un mayor riesgo de enfermedad cardíaca. Asimismo, señalan que el 5% de los accidentes cerebrovasculares pueden atribuirse a los efectos del ruido del tráfico, este impacto a largo plazo sobre las enfermedades cardíacas lo que conduce a la muerte prematura, además, los indicios también muestran que los niños expuestos a ruidos ambientales constantes corren el riesgo de desarrollar dificultades de aprendizaje. El alcance de las molestias por ruido depende de varios factores, incluida la hora del día, lo que está haciendo la persona y su sensibilidad al ruido.

En promedio, estas aumentan con las elevaciones de ruido y, con la exposición prolongada al mismo, los síntomas del estrés pueden convertirse en enfermedades y, en última instancia, provocar una muerte prematura. El ruido de la carretera es la mayor fuente de molestias por ruido. Pero, a diferencia de las víctimas mortales en la carretera, no es posible nombrar a las que mueren por el ruido causado por el tráfico, por lo tanto, el ruido es un asesino lento y incrementa el riesgo de enfermedad y muerte al igual que ciertos cánceres y enfermedades del estilo de vida.

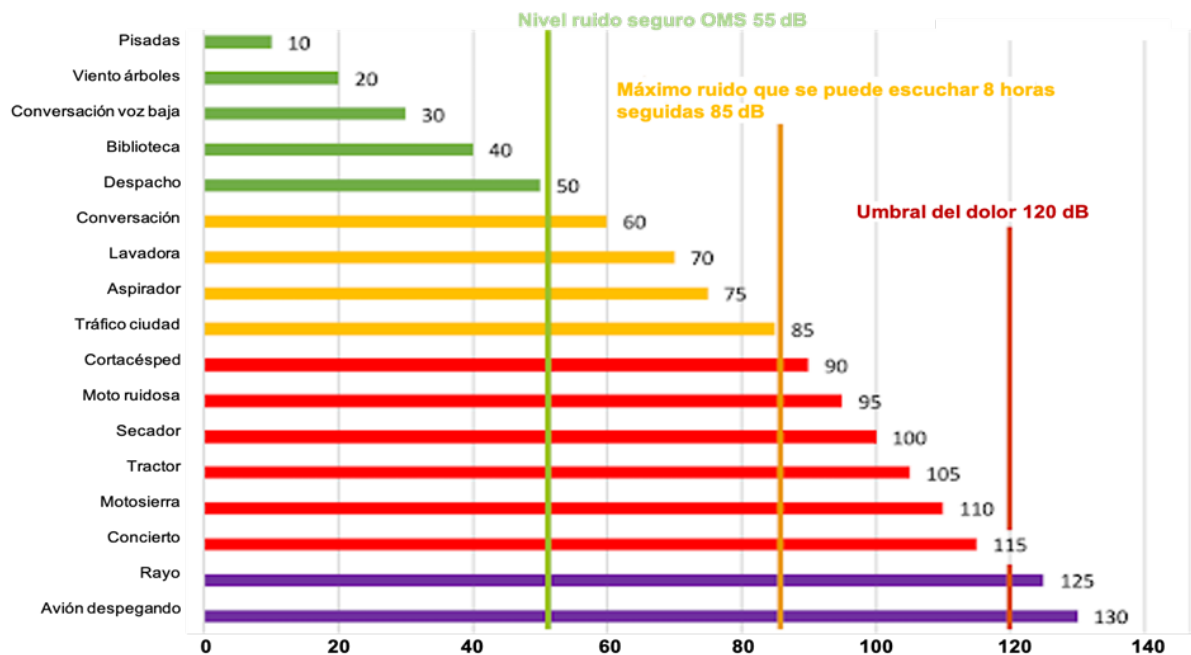


FIGURA 1.22: Ruido del tráfico que afecta la salud humana. En la actualidad, cerca de la mitad de habitantes a nivel mundial se exponen regularmente a elevaciones de ruido del tráfico que son altamente nocivos para la salud.

La AEMA¹ señala que más de 41 millones de individuos, están expuestos por encima de 55 dB debido al ruido del tráfico en las zonas urbanas, ya que es el más difuso como fuente de ruido en el espacio y el tiempo, a pesar de las acciones de reducción de ruido

¹Agencia Europea de Medio Ambiente

implementado por políticas y legislaciones a nivel internacional y nacional. También estima que un millón de años de vida saludable por lo menos, se pierde cada año por el ruido causado por el tráfico, donde las alteraciones y molestias del sueño, principalmente relacionadas con el tráfico rodado constituyen la principal carga del ruido ambiental (Brambilla, Benocci, Confalonieri, y Roman, 2020).

1.5.2. Ruido de las industrias

En la vida cotidiana, las personas están expuestas simultáneamente a varias fuentes de sonido, que surgen de paisajes sonoros de considerable variabilidad debido a la distribución de los edificios, patrón residencial, topografía, la meteorología y el estilo de vida. Por el contrario, la regulación, la planificación y el control del ruido tratan el entorno sonoro separándolo en partes y lo describen mediante un indicador de número. Esta práctica ignora la posibilidad de cualquier modificación del efecto por inhibición, aditividad parcial o total. Esta modificación del efecto puede tener lugar no solo entre fuentes de sonido sino también con factores ambientales como la vibración y contaminación del aire o a través de otros factores contextuales como problemas de factores de estrés.

Diferentes actividades comerciales como el transporte de mercancías de un lugar a otro utilizando barcos y camiones pesados generan un ruido considerable en las áreas respectivas. Los niveles de ruido del océano están aumentando como resultado del gran crecimiento de las actividades comerciales mundiales, lo que muestra que, si esta actividad continúa creciendo, que es del 1,9% cada año, se espera que la contribución del transporte marítimo comercial a los niveles de ruido ambiental del océano aumente intensamente. La primordial fuente de ruido en las aeronaves es el motor, que genera más ruido si la carga sobre él es mayor; es un hecho bien conocido que todas las máquinas producen ruido y se denomina ruido industrial; las diferentes industrias tienen diferentes maquinarias, como la industria textil, la industria de la madera y las acerías (Farooqi *et al.*, 2019).



FIGURA 1.23: Equipo para proteger del ruido en la industria.

1.5.3. Ruido comunitario

La caracterización del ruido de la comunidad se ha centrado típicamente en la medición de modelos de niveles de sonido promedio, así como la gestión eficaz y la priorización del control de la contaminación acústica requieren una comprensión profunda de los patrones espaciales y temporales en relación con las fuentes. Particularmente en entornos urbanos donde existen fuentes y potencialmente diversas manifestaciones de sonido comunitario, las cuales ayudan a identificar intervenciones apropiadas para mitigar el ruido y promover ambientes acústicos que mejoren el bienestar y la salud.



FIGURA 1.24: Ruido Comunitario. El ruido en áreas suburbanas pequeñas en comparación con los centros urbanos concurridos puede ser muy diferente y dar lugar a otros tipos de desafíos cuando se trata de abordar el ruido comunitario.

En consecuencia, se han combinado mediciones de nivel de sonido con grabaciones de audio para caracterizar descriptivamente los niveles y la diversidad de fuentes de sonido en estratos espaciales y temporales en las ciudades. El ruido de la comunidad afecta el bienestar más de lo que podría pensar y ahora es un problema ambiental cada vez mayor. Millones de personas se exponen a ruidos que afectan su salud, y la mitad de ellos tiene problemas de ruido en sus hogares o cerca de ellos, pero al amplificar y agregar sonidos que brindan asociaciones positivas, los entornos se perciben de manera más positiva y más agradable para pasar el tiempo. Es cada vez más importante identificar situaciones ruidosas en una etapa temprana, aumentando así la posibilidad de encontrar soluciones rentables.

Tabla 1.5: Niveles de Contaminación acústica por actividad. Fuente: Fuentes del Ruido, por Futuro Sostenible 2022.

Nivel de presión acústica	Actividades
80 dBA	Ruido comunitario
85 dBA	Tráfico terrestre
100 dBA	Sirena ambulancia
120 dBA	Industria
125 dBA	Construcción
130 dBA	Tráfico aéreo
140 dBA	Aparato explosivo

1.6. Acústica arquitectónica y su relación con el ser humano

Desde que un ser humano está en el vientre de la madre los estímulos externos los percibe a través de la capacidad auditiva, misma que se desarrolla antes que la capacidad visual.

En este contexto, Leitner (2008) sugiere que la “audición no debe equipararse con el órgano sensorial del oído, ya que todo nuestro cuerpo está expuesto a ondas sonoras y no escuchamos solo a través de nuestros oídos, sino a través de todo nuestro cuerpo” (p. 31), por tanto, todo el cuerpo humano es afectado las ondas sonoras.

La piel es primera barrera entre las sensaciones internas y externas; y los estímulos exteriores, colocando sobre ésta una ‘segunda’ piel que sería la vestimenta. Así mismo, Goller (2019) afirmó que:

Se puede considerar a la Arquitectura como una tercera piel, ya que ésta genera un caparazón referenciado al ser humano, siguiendo las pautas del cuerpo; debido a esta consideración, la arquitectura debería tratar el sonido de un modo similar a como lo hace nuestro cuerpo, en lugar de ignorarlo y aislarlo. (p. 31)

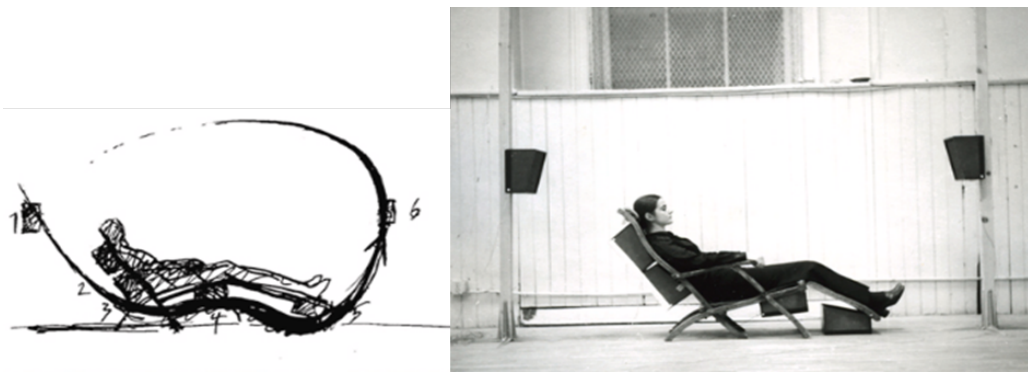


FIGURA 1.25: Sonido espacial. Fuente: Plataforma Arquitectura, 2011

1.6.1. La acústica en la arquitectura: difusión del sonido y absorción

La absorción de sonido es incidente debido a que choca un material sin irradiarse, en este caso, los absorbentes sonoros manejan materiales fabricados para abstraer el sonido, que, de no ser así, podría proyectarse en un espacio. Cuanta más fibra posee un material, mejor absorbente es, mientras que los menos absorbentes son los materiales más densos. Las propiedades de absorción sonora pueden variar de forma significativa en los distintos materiales de acuerdo a la frecuencia.

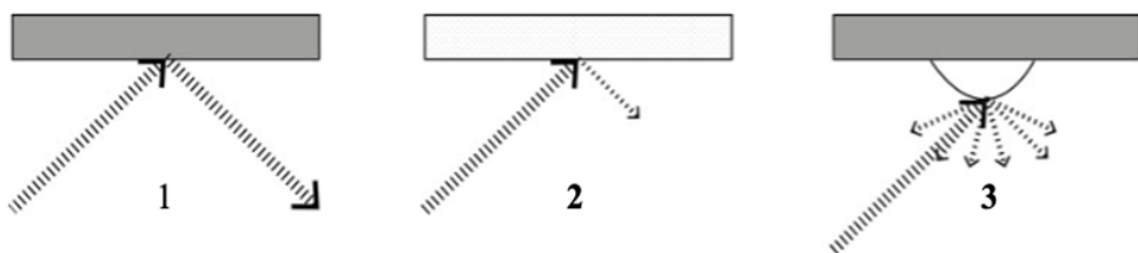


FIGURA 1.26: Tipos de superficie para difundir el sonido. Clases de superficies: (1) Reflexivas; (2) Absorbentes; (3) Difusoras.

Absorción del Sonido

Hoy día el uso de materiales fonoabsorbentes, combina un rango de acción de frecuencia suficiente en amplitud de masa y espesor reducidos como requisitos estéticos, así como la durabilidad y la facilidad de mantenimiento para la absorción del sonido. En este caso, los materiales de aislamiento acústico no presentan problema en cuanto a la parte estética, pero sí en otros aspectos como el equilibrio de la rigidez dinámica baja con las propiedades de soporte de carga, afectando el garantizar un mejor rendimiento (Cucharero, Hänninen, y Lokki, 2019-06-29).

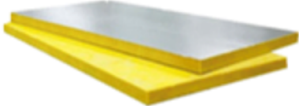

Además, cualquiera que sea el propósito, dichos dispositivos deben ser sostenibles, tener un bajo impacto en términos de evaluación del ciclo de vida y posiblemente involucrar el uso de materiales reciclados o productos naturales. En este caso, se señala que la reverberación de un espacio se controla instalando paneles de absorción de sonido en



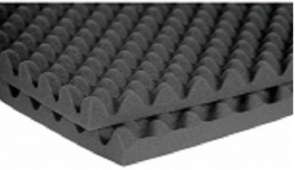


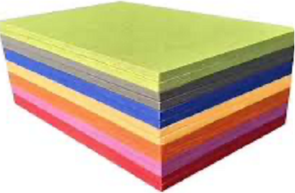
el techo y en las paredes, al ser reducida es significativa en las aulas para maximizar la inteligibilidad del habla y en oficinas diáfanas para hacer los espacios más agradables.

Entre las soluciones para la absorción del sonido, se presentan diversos materiales:

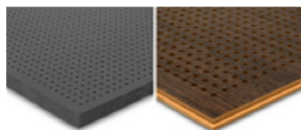
- Paneles acústicos envueltos en textiles: paneles decorativos que absorben el sonido para cualquier espacio donde sea importante una buena privacidad o inteligibilidad del habla.
- Paneles de lana de madera: paneles fabricados de lana de madera y un aglutinante que puede ser cemento Portland con adición de un agente de mineralización natural o magnesita.
- Paneles de espuma acústica: una forma tradicional de absorber el eco.
- Paneles de celulosa: Es ecológico, amigable con el medio ambiente y bajo costo de mantenimiento.
- Sistema de pared extensible: sistema de pared acústica de tela extensible de alta tensión de aspecto profesional con tamaños de panel casi ilimitados.
- Paneles acústicos de poliéster: son acústicamente absorbentes, no tóxicos, hip-alérgicos y de alta resistencia al fuego.
- Materiales compuestos, con nanotecnologías, vegetales verdes, fibras de animales, matrices de metal/cerámica/polímero y meta-materiales acústicos.

Tabla 1.6: Coeficiente de Absorción de Paneles Acústicos

Material/Producto		NRC*	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
 <p>Lana de vidrio</p>	Tiene un gran desempeño como aislante acústico, disminuye de forma efectiva la entrada del ruido exterior	-	-	-	0,72	0,86	-	0,99
 <p>Lana de roca</p>	Impide el desplazamiento del aire y mitiga la energía sonora aplicándose como acondicionador sonoro evitando ecos fuertes y reverberación	0,95	0,34	0,34	-	-	-	-

<p>Paneles móviles acústicos</p> 	<p>Paneles capaces de absorber el ruido y se pueden mover o apilar en el espacio</p>	<p>0,95 0,34 - - - - -</p>
<p>Paneles de lana de madera</p> 	<p>Paneles fabricados de lana de madera y un aglutinante que puede ser cemento Portland con adición de un agente de mineralización natural o magnesita</p>	<p>0,95 0,20 0,72 0,95 1,10 - -</p>
<p>Paneles de espuma acústica</p> 	<p>Una forma tradicional de absorber el eco</p>	<p>0,7 0,07 - 0,56 0,82 - 0,34</p>
<p>Paneles de celulosa</p> 	<p>Es ecológico, amigable con el medio ambiente y bajo costo de mantenimiento</p>	<p>- - - - - - -</p>
<p>Sistema de pared extensible</p> 	<p>Sistema de pared acústica de tela extensible de alta tensión de aspecto profesional con tamaños de panel casi ilimitados</p>	<p>0,65 - - - - - 0,5</p>
<p>Paneles acústicos de poliéster</p> 	<p>Son acústicamente absorbentes, no tóxicos, hipoalergénicos y de alta resistencia al fuego</p>	<p>0,80 0,61 0,71 0,91 0,91 0,91 0,91</p>

<p>Paneles de materiales compuestos</p>	<p>Con nanotecnologías vegetales verdes, fibras de animales, matrices de metal/cerámica/polímero y metamateriales acústicos</p>	<p>0,80 0,61 0,71 0,91 0,91 0,91 0,91</p>
---	---	---



Nota: Al crear un espacio habitable confortable, la absorción suele expresarse a través del coeficiente de absorción sonora (acústica), el cual se refiere a la relación entre el sonido producido hacia el sonido incidente y el sonido reflejado.

1.6.2. Aislamiento acústico de edificios

El aislamiento acústico describe la reducción del sonido a través de una partición. El aislamiento acústico en una buena construcción convencional y liviana de oficina a oficina suele ser del orden de 45 dB, esto significa que, si el nivel de sonido en la sala fuente es de alrededor de 65 dB, el nivel de sonido en la sala adyacente, la sala del receptor, será de aproximadamente 20 dB (apenas audible). Si se aumentan los niveles de sonido en la sala fuente a 75 dB (voz elevada), los niveles de sonido dentro de la sala adyacente también aumentarán a alrededor de 30 dB (audible) ([Buildings, 2021](#)).

Los niveles de aislamiento acústico deseados, para diferentes tipos de edificios y entre las habitaciones o apartamentos individuales de un edificio, se pueden lograr mediante las medidas de contracción de control de ruido y aislamiento acústico. La transmisión del sonido se produce con mayor facilidad a través de los suelos, esto se debe al hecho de que, invariablemente, la fuente que produce el sonido tiene contacto real con el suelo, por lo tanto, el piso sirve como la ruta más común para la transmisión del ruido de impacto.

El suelo ordinario pesa menos de 220 kg /m² el cual tiene una reducción de sonido de solo 45 dB, por lo tanto, los pisos de madera y concreto no funcionan eficazmente como barrera contra el sonido de impacto. Un piso flotante que descansa sobre un material elástico como lana de vidrio, lana mineral, edredón, fieltro para el cabello, corcho y caucho, tienen una clasificación aumentada de aislamiento acústico de impacto.



FIGURA 1.27: Aislamiento acústico de edificio escolar. Fuente: [ArchDaily México \(2018\)](#)

El principio subyacente al diseño del piso flotante es su aislamiento de cualquier otra parte de la estructura. Para lograr esto, la capa elástica sobre la que descansa el piso se dobla hacia arriba en todos los bordes que rodean las paredes, tabiques u otras partes de la estructura. La partición debe construirse a partir de los pisos estructurales para que la regla flotante sea autónoma dentro de cada habitación. El piso flotante de la balsa de madera consta de listones de madera de 50 mm de profundidad x 50 mm de ancho, sobre los cuales se coloca una colcha elástica de 20 mm de espesor sobre la losa del piso estructural.

El hormigón solera flotante se compone de una capa gruesa 70 mm de 1:11/2:3 de hormigón de la regla maestra se coloca en un 25 mm gruesa capa elástica de colcha de lana mineral. La colcha está cubierta con papel impermeable para evitar que la humedad de la regla de concreto se desplace por debajo de la losa del piso estructural. Los pisos con techos suspendidos tienen una ventaja adicional de aislamiento contra el sonido conducido por el aire, siempre que se proporcione un acabado de piso suave en la parte superior para brindar el aislamiento necesario contra el ruido de impacto (Civil Engineering, 2018).

Pisos de vigas de madera: el rendimiento de los pisos con vigas de madera está muy influenciado por la cantidad de sonido indirecto o de flanqueo, transmitido a través de las paredes.

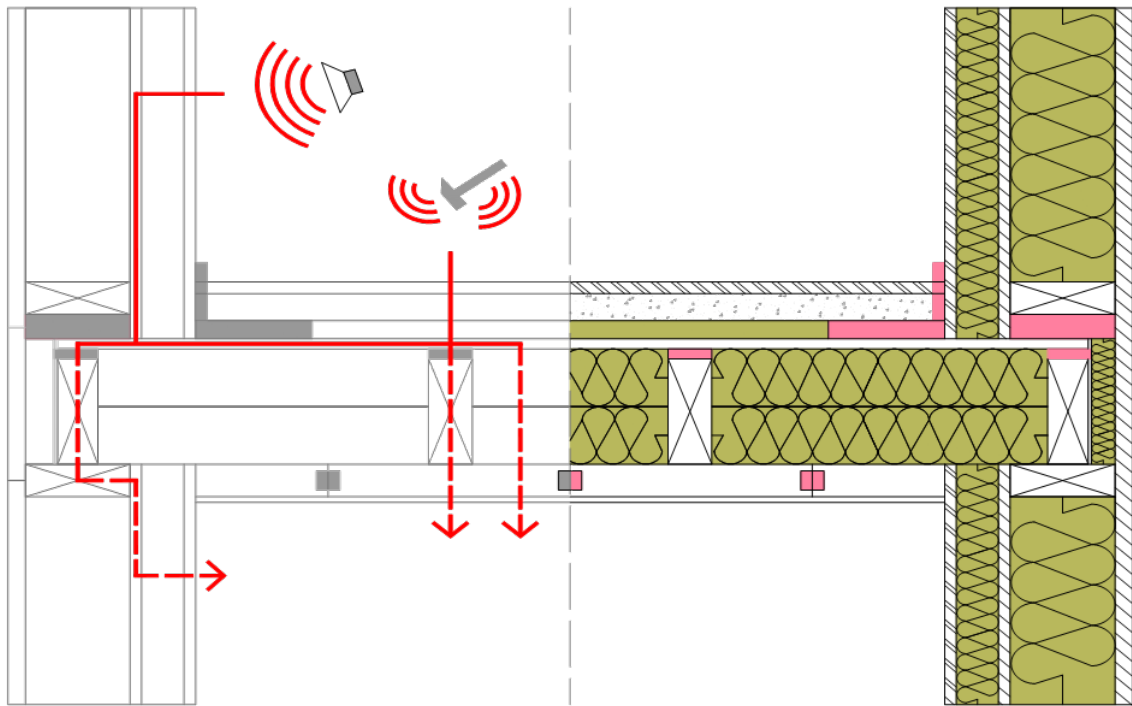


FIGURA 1.28: Entramado de Madera. Fuente: Madera y Construcción, 2021.

El factor no es importante en los pisos de concreto, ya que los pisos de concreto se consideran lo suficientemente pesados, rígidos y rígidos para contener las vibraciones de las paredes. En los pisos de madera, este factor se puede solucionar aumentando la rigidez y el grosor de la pared debajo del piso, alternativamente, el piso debe hacerse lo suficientemente pesado y rígido para reducir las vibraciones de las paredes. Una característica digna de mención en el aislamiento, es el efecto de suelo flotante que se consigue mediante el uso de un edredón de lana mineral o de lana de vidrio cuyo espesor es de 25mm, que se deja caer sobre la viga y se dobla hacia arriba en los bordes de las tablas. La eficiencia del sistema de pisos se mejora al aumentar su peso con tapones en forma de figura entre las juntas.

Accesorios sanitarios aislantes: para un mejor aislamiento, los inodoros no deben instalarse encima de una sala de estar o al lado de un dormitorio, a menos que este último esté bien aislado, como, por ejemplo, con una tabla de armarios, el inodoro y la cisterna deben estar aislados. El plano debe apoyarse sobre una almohadilla delgada de fieltro, linóleo, corcho, caucho u otros materiales elásticos adecuados. Las cisternas no deben fijarse directamente a la pared del dormitorio y los aisladores deben estar fijados a los soportes. La tubería debe envolverse adecuadamente, donde atraviesen paredes o pisos y se sujete con clips aislados [Civil Engineering B \(2018\)](#).

1.6.3. Aislamiento acústico de paredes

Aislamiento de la pared: barreras verticales. Las paredes y los tabiques son las barreras verticales al ruido. Su diseño y construcción adecuados pueden aislar el sonido al nivel deseado. La construcción de la pared, utilizada para el aislamiento acústico, puede ser de

cuatro tipos.

- Paredes homogéneas rígidas y macizas.
- Tabiques de materiales porosos.
- Partición de doble pared.
- Construcción tipo pared de cavidad.

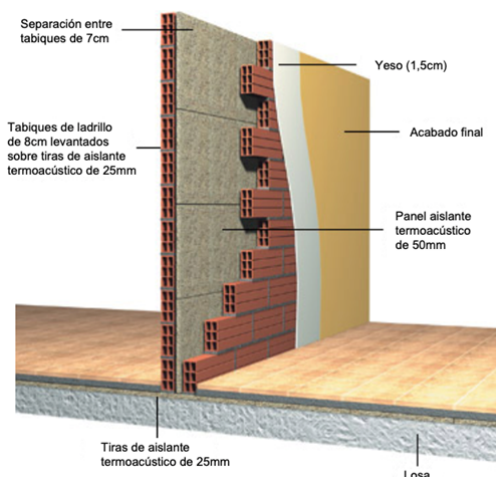


FIGURA 1.29: Detalle de pared acústica

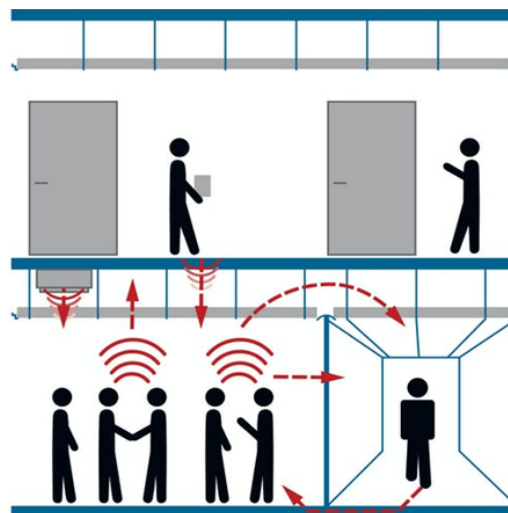


FIGURA 1.30: Aislamiento Acústico

Nota: el aislamiento acústico total debe abordar múltiples fuentes de ruido arriba, abajo y al lado de las habitaciones y las muchas rutas posibles que puede recorrer el ruido. Tomado de, Madera y Construcción (Figura 1.29) y WordPress (Figura 1.30).

1. Paredes homogéneas rígidas y macizas

Un muro rígido consiste en una construcción de mampostería de piedra, ladrillo u hormigón, bien enlucida en uno o ambos lados. El aislamiento acústico que ofrecen estas paredes rígidas depende de su peso por unidad de superficie, aumenta así con el espesor de la pared debido a la variación logarítmica entre el peso y la pérdida de transmisión, tal construcción se convierte en poco económica y voluminosa después de cierto límite.

2. Partición de doble pared

Un tabique de doble pared consta de placas de yeso sobre paneles de fibra o yeso sobre listones en ambas caras, con manta fonoabsorbente entre los montantes de madera escalonados que se proporcionan como soporte, aunque su número debe ser mínimo. Una construcción de doble pared es, por tanto, una pared divisoria de materiales porosos rígidos y no rígidos.

3. Construcción de la pared de la cavidad

Esta es una construcción ideal desde el enfoque de la insonorización, el espacio entre las dos hojas de la pared puede dejarse lleno de aire o bien con algunos materiales elásticos, bien suspendido en el espacio. Las dos caras de la pared se pueden fijar con un tablero aislante, donde el ancho de la cavidad debe ser de al menos 5 cm, y las dos hojas de la pared deben atarse solo con amarres ligeros tipo mariposa.

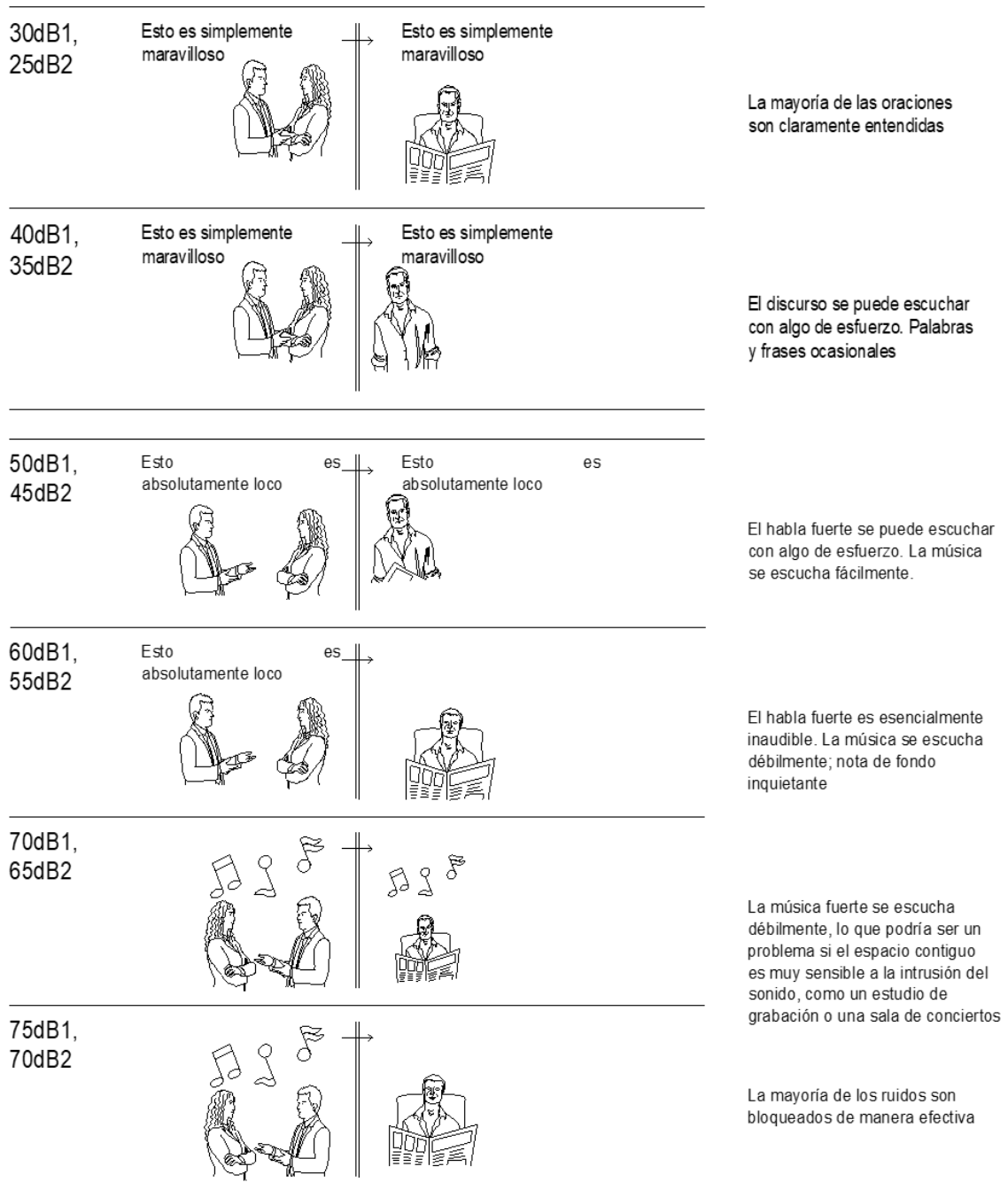


FIGURA 1.31: Descripción Subjetiva del Aislamiento Acústico. Especifica dos niveles de dB para una partición, uno para los grados de ruido de fondo en el espacio del receptor de 35 dBA1 y el segundo para los grados de ruido de fondo, de 40 dBA2.

1.6.4. Aislamiento acústico de forjados y suelos

El ruido de impacto es causado por el uso de las habitaciones, es decir, el sonido se irradia a través del piso de las habitaciones adyacentes y otros pisos del edificio, donde se percibe como un ruido perturbador, por ejemplo, el suelo de un apartamento vecino

puede provocar un deterioro significativo del confort.

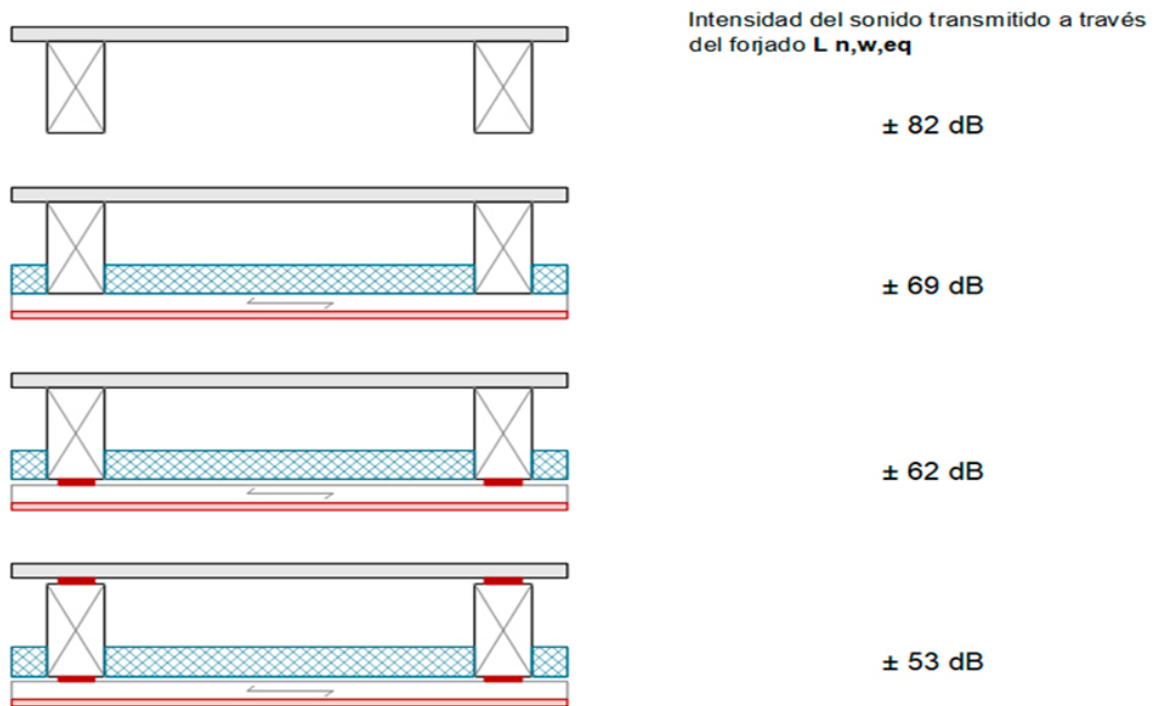


FIGURA 1.32: Intensidad del sonido transmitido. Fuente: Madera y Construcción, 2022.

Sin embargo, un aislamiento acústico de impacto eficaz puede minimizar la propagación del ruido y mejorar significativamente la acústica arquitectónica sin que sea necesario aceptar restricciones en la elección del revestimiento del suelo.

El control del sonido estructural es indispensable, especialmente en edificaciones que se usan para múltiples fines. Con el aislamiento acústico adecuado, se puede evitar eficazmente el ruido y mejorar notablemente el confort, esto puede suceder en el período previo al proyecto si el plan de acústica arquitectónica se tiene en cuenta, pero incluso al renovar áreas individuales, se puede adaptar una capa aislante en el piso para aumentar el control del sonido y reducir el ruido (Getzner, 2021).

El aislamiento acústico de los suelos es imprescindible para la comodidad de los usuarios, este es un punto por el que se transmiten ruidos molestos entre habitantes, además, este tipo aislamiento térmico mejora sustancialmente la eficiencia energética de las construcciones y su confort interno. A través de ellos se puede perder hasta el 20% de la energía, a pesar de lo cual aún se suele prestar más atención a fachadas y cubiertas.

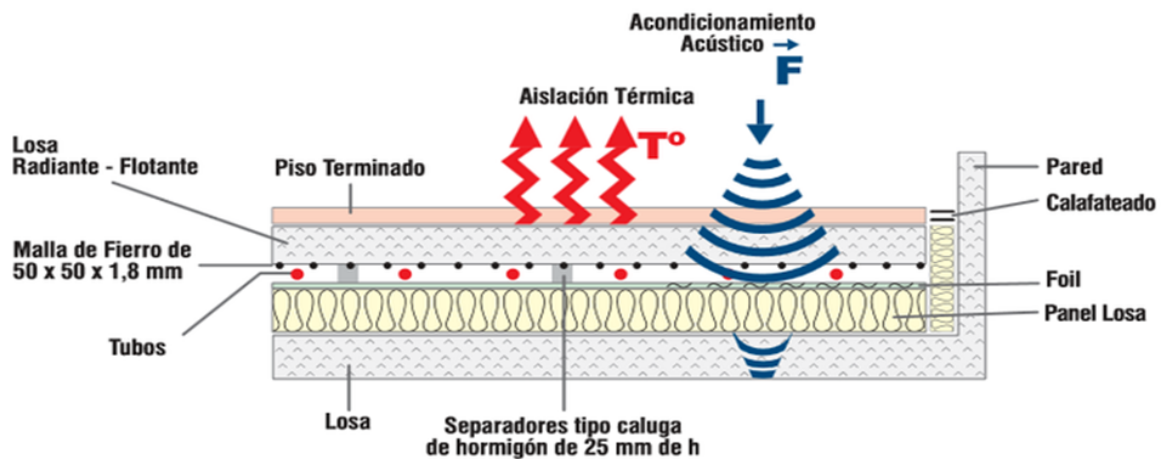


FIGURA 1.33: Aislamiento acústico del suelo. Fuente: Madera y Construcción, 2022.

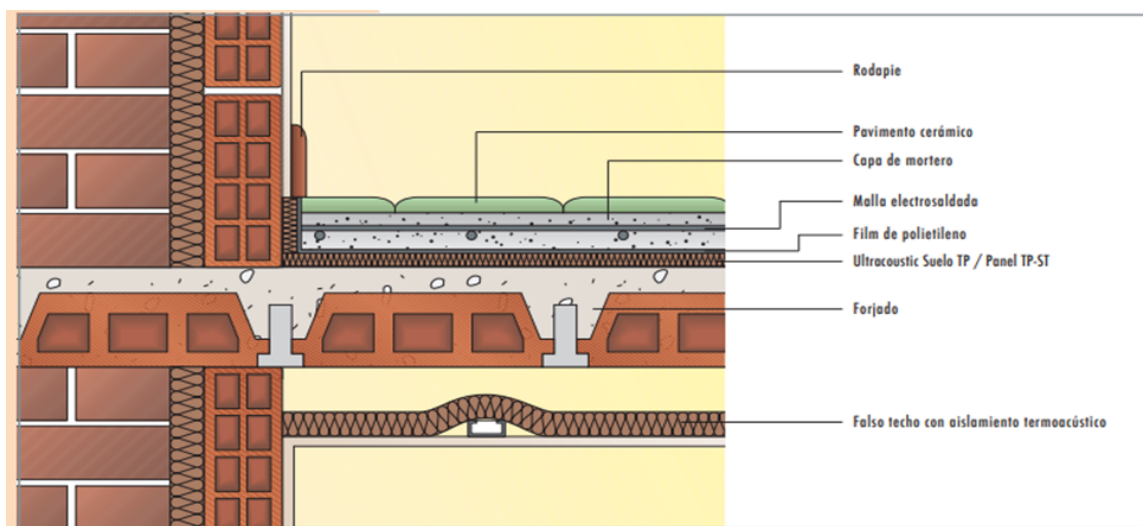

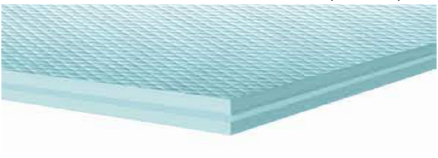
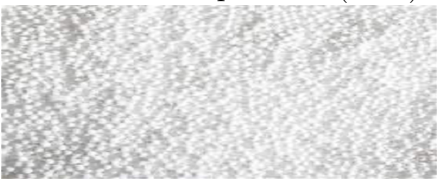



FIGURA 1.34: Aislamiento de suelo flotante sobre losas y forjados. Fuente: Knauf Insulation S.L, 2016.

Entre los materiales aislantes que mejoran el comportamiento térmico y acústico de los suelos se tienen:

- La lana de roca como opción para amortiguar los sonidos, aportando también aislamiento térmico.
- El poliestireno extruido (XPS) y el poliestireno expandido (EPS) tienen una alta capacidad aislante, con el inconveniente de que no transpiran. Por otra parte, los materiales naturales como la lana mineral son una alternativa con una muy baja conductividad térmica, transpirabilidad y protección frente al fuego, aunque pueden desprender fibras.
- La celulosa también es un aislante eficaz, si bien presenta menos rigidez que otros materiales, además de peor comportamiento frente al fuego, asimismo, es necesario que se ventile correctamente porque absorbe humedad (Synthesia Technology, 2019).

Tabla 1.7: Coeficiente de materiales altamente absorbentes.

Material/Producto		Coeficiente máximo de absorción
<p>Lana de roca</p> 	<p>Impide el desplazamiento del aire y mitiga la energía sonora aplicándose como acondicionador sonoro evitando ecos fuertes y reservación</p>	<p>1,04</p>
<p>Poliestireno extruido (XSP)</p> 	<p>Tiene una alta capacidad aislante, con el inconveniente de que no transpiran</p>	<p>0,99</p>
<p>Poliestireno expandido (EPS)</p> 	<p>Tiene una alta capacidad aislante, con el inconveniente de que no transpiran</p>	<p>0,99</p>
<p>Celulosa</p> 	<p>Es un aislante acústico eficaz aunque presenta menos rigidez que otros materiales</p>	<p>1,00</p>

1.6.5. Metas del diseño de ruido interior

Proteger un espacio contra el mal tiempo es insonorizarlo, se debe tener una estructura muy sólida, sin grietas ni agujeros; con el propósito de minimizar el ruido entrante y saliente de un ambiente, en pisos, paredes y techos se debe incrementar su masa estructural, se debe tapar los puentes térmicos de ventanas y puertas, además de los ductos de instalaciones de aire acondicionado y eléctricas, en los que las medidas registradas van a depender de cuánto ruido exista en el exterior, y del ruido que se pretenda reducir al interior.

Entre los objetivos para mejorar la acústica al interior de una edificación, se puede utilizar techos suspendidos para mejorar el acondicionamiento sonoro y brindar confortabilidad de los usuarios; además de materiales que aporten aislamiento acústico gracias a que posean baja transmisión acústica, como vidrios en fachadas y ventanas; materiales absorbentes como lanas minerales, que generen reducción del ruido exterior en edificios,

además de la reducción de ruidos aéreos y de impacto dentro de los edificios, para de esta manera proteger a los usuarios; y sistemas que proporcionen excelentes características acústicas como los de yeso laminado.

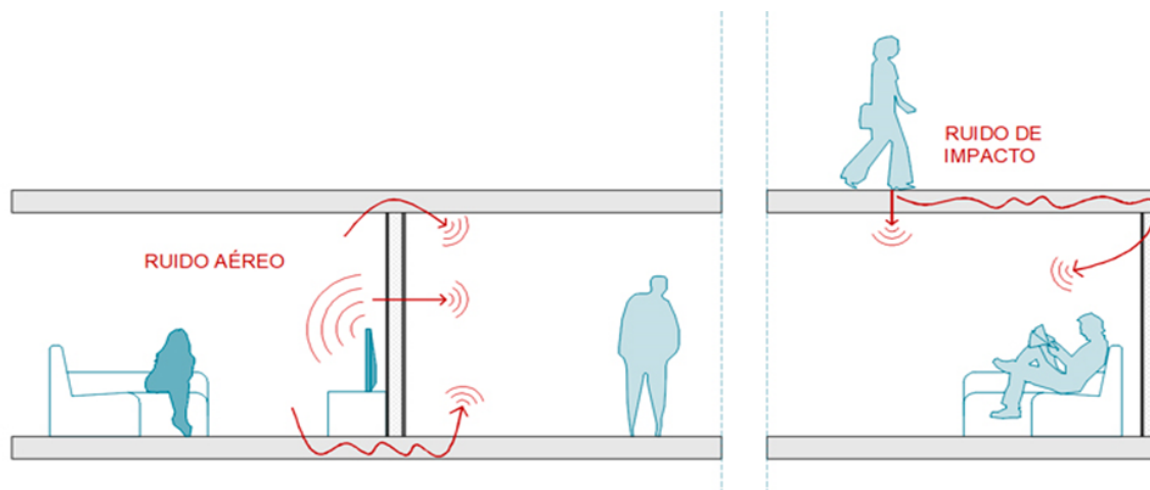


FIGURA 1.35: Detalle de como insonorizar un espacio. Los requerimientos de aislamiento sonoro a ruido de impactos, se emplean en las partes constructivas de espacios que colinden horizontal o verticalmente o compartan una arista con cualquier otro espacio que no concierna al mismo elemento de uso. Fuente: ArchDaily México (2018)

1.7. Problemática acústica y normativa internacional

Los peligros por ruido en la actualidad se identifican como una problemática a solucionar por la salud ambiental, puesto que son especies de energía virtualmente nocivas, pudiendo resultar altamente peligrosa a corto o largo plazo causando daño el momento que es transferida en dosis importantes a seres expuestos. La emanación de energía puede ser repentina e incontrolada como cuando se causa un ruido explosivo fuerte y medianamente controlado como la exposición de ruidos constante a rangos inferiores a largo plazo.



FIGURA 1.36: Cantidad de decibeles según el tipo de pared. Fuente: Rebuild, 2019.

1.7.1. Crítica en el contexto Latinoamérica

De acuerdo con la OMS², el ruido es uno de los primeros contaminantes que afecta el entorno de vida a nivel urbano, señala que el ruido en exceso perjudica la salud del ser humano y obstruye las actividades diarias como ir a la escuela, permanecer en el trabajo o en casa. Hoy día la ciencia ha demostrado que la contaminación acústica es una amenaza subestimada a pesar de estar vinculada a inconvenientes de salud como enfermedades vasculares, problemas de sueño, desempeño escolar, laboral, y pérdida de la audición. Universidad Nacional de Tres de Febrero (2020, como se citó en Mundo UNTREF, 2020) afirma que ante la situación de la pandemia por covid-19, el confinamiento de las personas en sus viviendas impuesto en la mayoría de países del mundo generó un gran impacto en el medio ambiente, donde se registraron cambios en el comportamiento de los animales, menores desplazamientos de la corteza terrestre, mejoras en la calidad del aire, y disminución de la contaminación sonora.

En ciudades de Suramérica, se detectaron que las primordiales fuentes de ruido son: el tráfico vehicular, la cantidad de vehículos que circulan por hora, el ruido de los trenes, el ruido aéreo, y de las industrias (ver figura 4). Así mismo, especialistas en el área de sonido y acústica han reportado que en los últimos diez años ha habido un aumento de jóvenes con hipoacusia por el uso excesivo de auriculares (50 y 98 dB) y su recurrencia a bares y discotecas con niveles que pueden rebasar los 100 decibeles (SciDevNet, 2018).

El entorno físico es un determinante en la salud de la población, no puede ser mejorado por los individuos y su contaminación es difícil de revertir, por lo tanto, las personas a menudo están expuestas a entornos dañinos, es vital una supervisión precisa y continua mediante redes de monitoreo, muestreo y análisis de imágenes. Las redes de monitoreo están sujetas a una serie de limitaciones en su cobertura y precisión, particularmente cuando los sitios son escasos o están mal ubicados, lo que puede resultar en mediciones a gran escala que dependen de estimaciones en lugar de un monitoreo directo.

²OMS: Organización Mundial de la Salud.

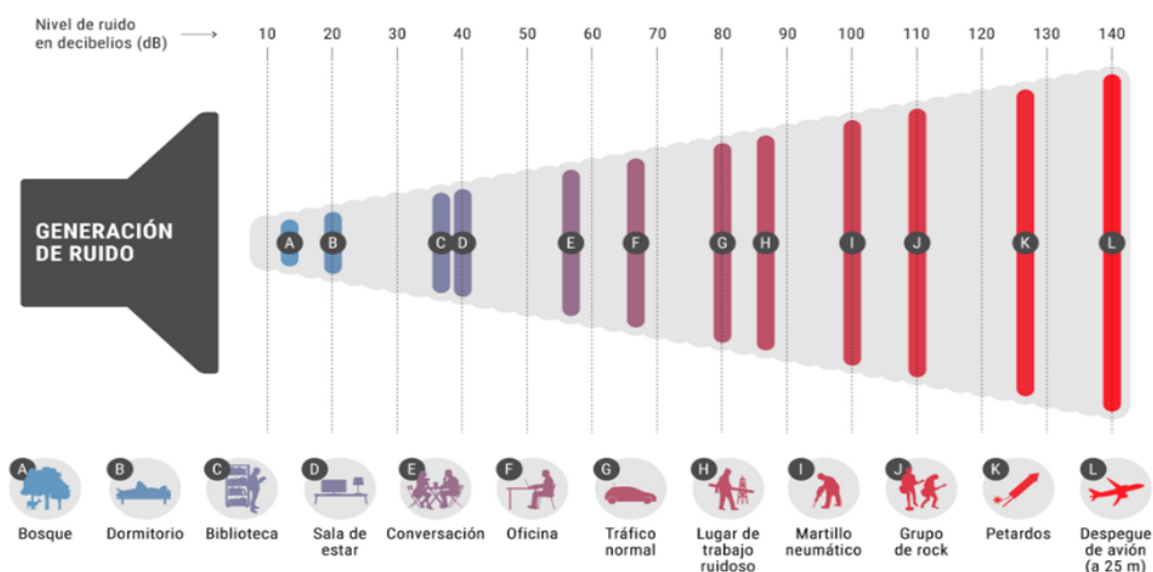


FIGURA 1.37: Generación de ruido. La contaminación invisible, el tráfico rodado pasa a ser una de las causas de la contaminación acústica, generadora de trastornos de sueño y constituyéndose en un serio inconveniente de salud pública, el mismo que se encuentra asociado a hipertensión y cardiopatías.

En América Latina, varios investigadores e instituciones han progresado en el estudio del ruido, en su valoración y en la elaboración de algunas medidas para controlar sus efectos, entre ellos, el Instituto Mexicano del Transporte, mismo que ha ejecutado múltiples propuestas para el control del ruido y la normatividad (NOM-081-ECOL-1994, NORMA Oficial Mexicana) que lo regula. Otro país es Argentina, destacando una serie de normativas, medidas enfocadas al control y simulación del ruido ocasionado por el tráfico vehicular (Samaniego, 2019).

En este punto, se señala que México DF, Buenos Aires y Santiago de Chile, se encuentran entre las ciudades más ruidosas de Suramérica, puesto que tienen la unión de situaciones de ruido permanente debido a la mezcla de factores como parques automotores que no están en condiciones, vías que no mejoran el tránsito, edificaciones que no están aptas para absorber el impacto sonoro, sistemas constructivos que no tienen relación con la insonorización, los ruidos nocturnos, así como también la falta de espacios verdes.

En el Ecuador según la Fundación Médica contra el Ruido, Ambientes Contaminantes y Tabaquismo (Funcorat), las ciudades más ruidosas con Guayaquil y Quito, en tercer lugar, está Cuenca, pero cabe aclarar que sólo en estas tres ciudades se realizan mediciones del ruido.

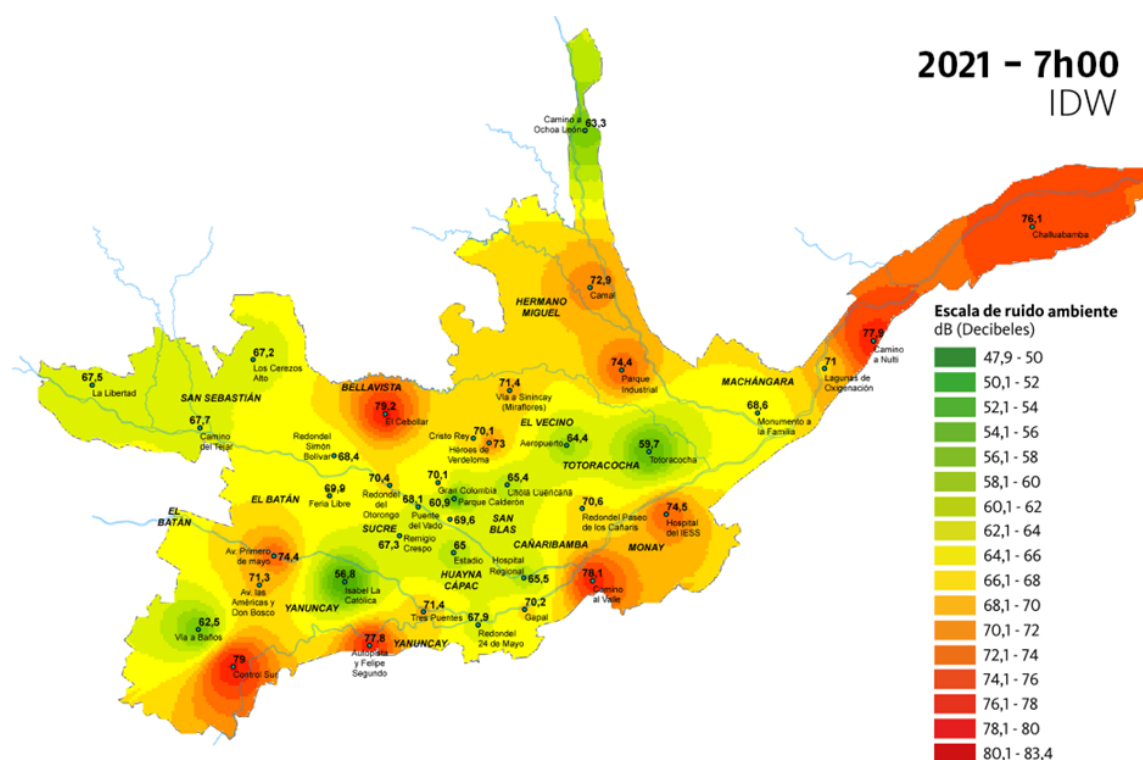


FIGURA 1.38: Mapa de Ruido de Cuenca. En la Figura 1.38 se puede evidenciar el nivel de contaminación del ruido en la ciudad de Cuenca, el mapa de colores representa claramente las zonas de menor y mayor intensidad de ruido ambiente. Tomado de Sistema de monitoreo del ruido ambiente en Cuenca por IERSE Universidad del Azuay, 2021.

1.8. Marco Legal

Según Fundamedios (2020), la OMS define que la contaminación acústica es una amenaza subestimada, que puede generar muchos problemas de salud en un corto o largo período. Es más, la marca como una de los primordiales problemas medioambientales. En Ecuador se carece de legislación y debate sobre la importancia de un control real.

1.8.1. Normativa Internacional

Existen muchas normas internacionales que rigen para determinar el nivel admisible de ruido, sin embargo, las que mayormente se utilizan para crear leyes en contra de la contaminación ambiental por ruido sobre todo en el Ecuador, son las Normas ISO, en concreto la ISO 11200 hasta la ISO 11210, mismas que son establecidas por la Organización Internacional de Normalización. Tal es así que el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2014) en su texto de la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN-ISO 11202) afirma que “Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 11202:2010” (p. 1).

1.8.2. Normativa Ecuatoriana

La normativa ecuatoriana acústica, se elabora en referencia a las Normas ISO 11202 y en función de los procesos de referencia de la Norma ISO 1996-1:2020 e ISO 1996-2:2020, para la ejecución de ensayos de acústica ambiental, prestación que va en concordancia con la legislación nacional vigente en el área, afín con el procedimiento y cálculo de medida del grado de presión sonora en escenarios exteriores. (Servicio de Acreditación Ecuatoriano, 2018).

Los sonidos de energía mayor proceden de varias fuentes tales como: industrias, tráfico vehicular, actividades recreativas y deportivas, construcciones, etc. En este contexto, el MAE ha remitido la normativa “Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles, y vibraciones” (TULSMA, 2017, p. 6-8) y la “Norma de Ruido de Aeropuertos” (TULSMA, 2017, p. 1-17) que figuran en los Anexos 5 y 9 del Libro VI del TULSMA³.

Dicho documento instituye los máximos niveles admisibles de ruido para fuentes fijas como: industrias, aeropuertos y tráfico vehicular, en el cual TULSMA (2017) establece las siguientes normas:

- Norma técnica que establece los límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2665. Medición De Ruido Emitido Por Vehículos En Aceleración.
- Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles, y vibraciones.
- Norma de ruido de aeropuertos (pp. 6-8; 1-17).
- Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN-ISO 11202), bajo esta norma se realizaron los ensayos acústicos del PAAD.

1.8.3. Normativa Local Cuenca

La ciudad de Cuenca se rige en primera instancia a la normativa establecida por el Estado, es decir, la normativa INEN y la normativa del MAE, pero también a nivel municipal se ha creado la ordenanza que regula las emisiones de ruido dentro de la ciudad.

- Ordenanza de control de la contaminación ambiental originada por la emisión de ruido proveniente de fuentes fijas y móviles (GADMC, 2017, pp. 4-12).

³Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

1.9. Conclusiones del Capítulo 1

En este primer capítulo se ha expuesto la importancia que tiene el estudio de la contaminación acústica, destacando en primer lugar lo necesario que es el sonido para el desarrollo de la vida cotidiana de las personas, hay que considerar los efectos nocivos que pueden llegar a ocasionar los ruidos muy fuertes y prolongados en la salud humana; algunos autores como Diego Manrique, Ana Domínguez, o hasta el propio Leonardo Da Vinci, han expresado su concepto sobre el ruido, coincidiendo en que el sonido se destaca por los niveles de intensidad y el volumen que posee. Por tanto, es imperativo controlar dichos niveles para mitigar el daño que éstos puedan causar a la audición. De la misma se analizaron conceptos acústicos que abordan la problemática del ruido, entre ellos las propiedades físicas del sonido (altura, intensidad, duración y timbre; así como también la absorción del sonido, destacando materiales fonoabsorbentes cuya misión es retener el sonido e impedir su paso al próximo ambiente; y el movimiento ondulatorio: las ondas sonoras (sus partes: amplitud, longitud y ciclo); fluctuaciones de presión y la generación del ruido.

También se ha determinado que las principales fuentes de ruido a nivel de Latinoamérica son: el tráfico vehicular, los trenes, el tráfico aéreo y las industrias; dentro de esta última, la construcción es una de las industrias que más contaminación auditiva genera, y a través de ella también se puede contribuir a la mejora del acondicionamiento de espacios que ayuden a minimizar el ruido. Razón por la cual se hace muy necesario el estudio de materiales que posean características físico mecánicas que generen una mayor absorción del sonido, y que a su vez posean mejores niveles de aislamiento acústico; dichos materiales deben ser útiles para toda la envolvente del edificio, es decir, deben servir para paredes, pisos y cubiertas. De esta manera se tendrán los insumos necesario para mejorar el diseño acústico de los espacios, lo que contribuirá a un mejor desempeño de los usuarios, sobre todo tratándose de espacios destinados al aprendizaje, en los que los estudiantes y docentes necesitan concentración y silencio para poder mantener la sinergia de comunicación para afianzar los conocimientos. Se contempla la relevancia e importancia de la acústica en la arquitectura y la construcción en general, comparando materiales que permiten establecer su uso a partir de sus características. Finalmente se hace mención de la normativa más importante que rige en la actualidad en cuanto a la acústica de los espacios, tanto a nivel local, como a nivel nacional e internacional.

En este contexto cabe mencionar que, si bien existe alguna normativa acústica en el país, esta resulta aún insuficiente, dado que no existe la rigurosidad suficiente para su aplicación, lo cual lleva a la necesidad de plantear políticas públicas que establezcan el cumplimiento estricto de las normas. Por otro lado, también se recomienda que, el control del ruido en la ciudades sea más severo, es decir, se debe exigir a los propietarios de vehículos, hacer las adecuaciones correspondientes a los mismos para reducir el ruido que generan, por ejemplo, un caso específico son las motocicletas cuyo motor en muchos casos emite un ruido desmedido lo cual provoca malestar en la ciudadanía.

En la industria existe un mejor control del ruido gracias a las normas que exigen el uso del equipo de protección individual (EPI), en el que también se incluyen protectores de oídos cuando el caso lo amerita, en este caso se sugiere continuar con esta buena práctica

además de concientizar a los operadores de maquinaria y equipos generadores de ruidos sobre la importancia del uso adecuado de protección auditiva, para evitar trastornos relacionados con la pérdida de la audición por ruido. Así mismo, se recomienda realizar un análisis de la contaminación acústica en instituciones educativas de toda índole, con la finalidad de plantear y establecer adecuaciones de mejoras para contrarrestar el ruido; y de esta manera obtener un ambiente más confortable acústicamente que permita un mejor desarrollo y rendimiento de los estudiantes.

2.1. Fibras Naturales

2.1.1. Fibras presentes en el contexto de la ciudad de Cuenca

El uso de fibras naturales es tan antiguo como la historia de la civilización egipcia, griega, de la India, de China, entre otras, demostrando y evidenciándose el uso de fibras tales como: lino, ramio, yute, algodón. Al respecto, para Ecuador, Acosta Solts en el año 1971, intentó mostrar las fibras y lanas vegetales que se producen en el país, calculando más de 800 tipos de vegetales. Por lo tanto, resultó tener una gran importancia, logrando ser una especie rentable y de fácil manejo para las poblaciones indígenas y mestizas por sus bondades en sus propiedades y por la diversidad etnobotánicas que presentan.



FIGURA 2.1: Fibras naturales de Ecuador. Adaptado de fibras naturales, Fuente: Doc Player (2020).

Otro tipo de planta que vale la pena mencionar es el Mimbres, siendo referida por su potencial en la artesanía y comercializada en el mercado, pero no hay estudios ecológicos que indiquen los bajos rendimientos por el uso excesivo de especies, considerándose que las ventas de productos indígenas tienen un gran potencial en la Amazonía y la costa ecuatoriana. Ahora bien, en el presente estudio se abordan aspectos relacionados con las fibras naturales en el contexto del austro que permitan el aprovechamiento de la materia prima, tomando en cuenta que, en la ciudad de Cuenca durante el transcurso del año, la temperatura varía de 7 °C a 17 °C, aunque su clima tiene la característica de ser cálido y templado, se determinan muchas lluvias en todo el año, inclusive el mes más seco es bastante lluvioso.

Ya para la mitad del siglo XX, se establece la modernización de la ciudad con una ima-

gen que denotaron aires franceses cuyos materiales se caracterizaron por ser industriales. Cabe destacar, que la arquitectura bioclimática está íntimamente relacionada con la sostenibilidad, por lo tanto, es una respuesta ideal para el desarrollo de viviendas existentes. Al analizar los elementos arquitectónicos de la ciudad de Cuenca, se puede apreciar que afecta directamente a la comodidad de las personas denotándose con unas coordenadas $02^{\circ}51'37.64''\text{S}$, $78^{\circ}56'16.38.\text{°}$, 2415m sobre el nivel del mar (Aguirre, Ávila, y Pasantez, 2016).

En los últimos años, el ser humano ha contribuido al uso indiscriminado de fuentes de no renovables de energía, también el empleo de materiales de construcción y el deterioro de la tierra por la contaminación que generan los desechos sólidos y líquidos al medio ambiente, razón que justifica la necesidad de crear ideas que impulsen el cambio en el proceso del calentamiento global, siendo una preocupación desde hace varios milenios, como alternativa nace el mecanismo de construir viviendas tomando en cuenta, los beneficios térmicos y el costos de producción o construcción mediante el sistema, sin olvidar los saberes ancestrales que representan una respuesta al desarrollo sustentable de la vivienda actual contribuyendo así al cuidado del ecosistema, de tal manera que se requiere promover el uso de fibras sostenibles que generen beneficios y que no impacten el funcionamiento ambiental, usando eficientemente los recursos naturales (Desarrollo Energía and Sostenible, 2016).



FIGURA 2.2: Fibra de Totorá. Adaptado de fibras naturales. Fuente: Timetoast (2020).

En otra perspectiva, se puede señalar que existen distintos tipos de fibras naturales producidas en la ciudad de Cuenca entre las cuales se pueden mencionar: la fibra de yute, coco, algodón, plátano, totora, entre otras y su reproducción se origina por la constitución del valle que está rodeada de una laguna que le permite su existencia sobre todo en lugares montañosos, con altos niveles de humedad y bajas temperaturas, permitiendo su rápido crecimiento por lo que son muchos hogares que las utilizan para distintas funciones, sin olvidar que estas fibras también logran el tratamiento de las aguas, por su adaptación a los cambios atmosféricos, de allí surge la necesidad de proponer un material compuesto que proteja el exterior ya sea transparente o resino o de otro material, que tengan la capacidad de mantenerse o que sea resistente (Espinoza, 2015).

Las fibras se componen de tres elementos: el núcleo central que puede ser lleno o vacío;

la cutícula que se constituye en un recubrimiento exterior, y el área interna; exceptuando la seda, poseen forma de fibras cortas, la dimensión de cada una es extremadamente importante, puesto que establece el tacto de un tejido y su actividad; las fibras delgadas son más lisas, blandas y suaves al tacto. (Rodríguez, 2018)



FIGURA 2.3: Paneles Prefabricados con Fibras Naturales de coco y yute. Adaptado de Paneles de fibra de coco natural y yute. Fuente: Abriga Nature (2020)

Fariás (2018) refiere que las fibras naturales, se pueden dividir en grupos según su origen, fibras del tallo como el lino y el yute, las fibras de las hojas como el piqué y el sisal, las fibras de madera como el pino y el roble, las fibras de semillas como el algodón y fibras de frutas como el coco y el plátano, la herencia varía de un grupo a otro. Por ejemplo, las fibras del tallo proporcionan una excelente estructura ya que son funciones importantes en las plantas. Asimismo, las fibras de las hojas aportan resistencia y rigidez porque hacen parte de la estructura de la hoja y las fibras de los frutos o semillas secretan elastómeros. Las fibras naturales también se pueden dividir en fibras primarias y otras fibras, para el primer caso, se cultivan por su gran contenido en fibra y su finalidad es la elaboración de textiles, entre ellas son el lino y el yute; en el segundo caso se obtiene como subproducto alimentario en fibra de coco y piña.

Desde la antigüedad, las fibras naturales se han utilizado en diversos oficios e industrias, ampliamente utilizados en la producción de hilados, cuerdas, textiles, cordeles, embalajes, redes de pesca y electrodomésticos. Ahora, las fibras naturales han sido beneficiadas como material de refuerzo debido a los problemas del petróleo, las nuevas regulaciones ambientales, la construcción estable de materiales, además de las emisiones reducidas del consumo de electricidad.

Entre los materiales que hacen que las fibras naturales sean atractivas se encuentran materiales especiales como la fuerza y la tenacidad, la resistencia al impacto y la flexibilidad. Asimismo, ofrece aislamiento térmico, acústico y lumínico para aminorar el consumo de combustibles y mitigar las emisiones. Por tanto, durante la última década, los materiales compuestos que utilizan matrices poliméricas reforzadas con estas fibras se han vuelto cada vez más populares en sectores como la construcción, la automoción, el entretenimiento y el mobiliario, y tiene un gran beneficio como su bajo costo y las emisiones generadas (Pereira, 2015).

2.1.2. Ventajas de la utilización de aislantes acústicos naturales

Uno de los problemas que se plantea hoy en día en la construcción de edificios es el aislamiento acústico, estas situaciones solo empeora a medida que avanza la tecnología y las ciudades crecen, puesto que aumentan los niveles de ruido. La OMS también ha expresado su preocupación por esta dificultad que se genera al momento del diseño de viviendas, de allí se emplea en las propiedades los aislantes acústicos para optimizar sus aplicaciones en edificios de alta calidad con un consumo mínimo de energía.

Por tales razones, se puede decir que el aislamiento acústico es fundamental para protegerse del ruido exterior, logrando tener grandes beneficios en la vivienda. El aislamiento acústico puede brindar tranquilidad y comodidad. Insonorizar una habitación es una excelente decisión a la hora de construir, ya que instalar aislamiento acústico es la clave para mejorar la calidad de vida.

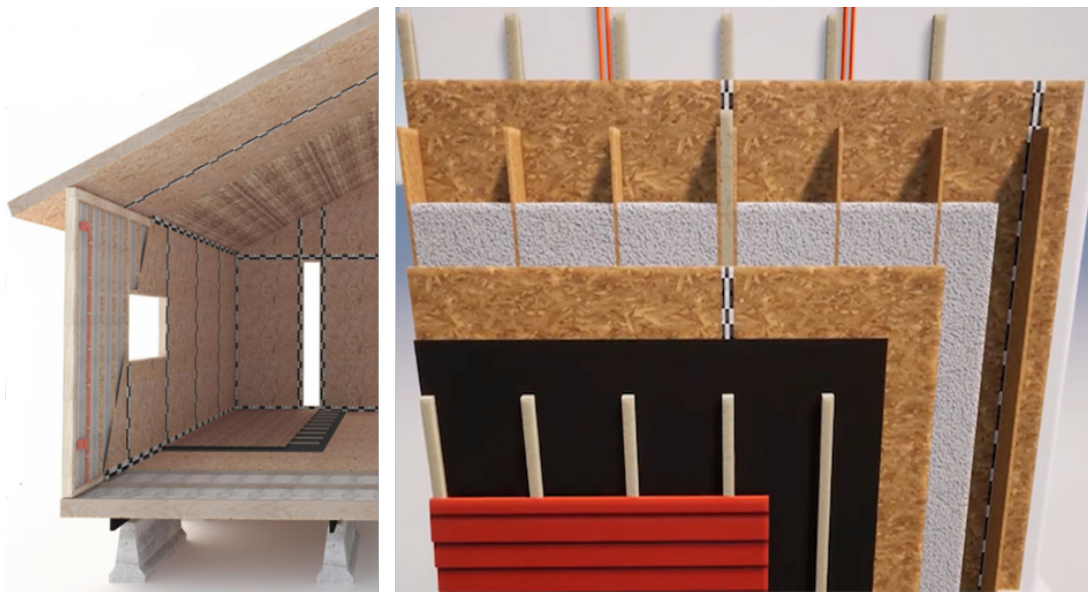


FIGURA 2.4: Panel con lana de oveja. Adaptado de fibras naturales, Fuente: Panel Sheep (2020).

El aislamiento acústico evita que el ruido exterior entre en la habitación insonorizada, así como evita que, entre el ruido interior, siendo útil para una variedad de actividades, manteniendo el sonido adentro, impidiendo ruidos a los demás. Una de las ventajas de la insonorización es la privacidad que genera para bloquear el ruido. Otra cosa que es fácil considerar es el hecho de que puede elegir la habitación en la que desea instalar el aislamiento acústico, evitando la entrada de ruidos externos y mejorará la relajación.

Por la misma razón, durante la construcción se deben determinar las enfermedades que afectan la vida humana, se deben tomar precauciones cuando corresponda y se deben cumplir los estándares de diseño de sonido de la OMS, existen sonidos que son incómodos que pueden alterar la salud de los humanos. De esta manera, la experiencia es más útil porque no hay necesidad de poner ruidos no deseados en el frente de la casa, ni en las áreas con ruido exterior. En otras palabras, en áreas ruidosas, las nuevas construcciones deberían ofrecer más aislamiento acústico aproximadamente con un adecuado nivel de

sonido (Contreras, 2020).



FIGURA 2.5: Panel prefabricado con corcho para vivienda. Adaptado de ArchDaily Chile, Fuente: Ella Thorns 2018.

2.1.3. La Totorá historia y antecedentes

La totora tiene por nombre *Thypha-latifolia* caracterizada por ser una de las plantas acuáticas que se le han designados más nombres, según el lugar donde se desarrolle, entre sus nombres están: enea de hoja ancha, espadaña, plumino, bayunco, y junco de la pasión, lo cierto es que se originan de zonas altamente pantanosas en el hemisferio norte.

Se refiere a una planta herbácea perenne perteneciente al género *Thypha*, que se enraíza sólidamente insertada en el agua. Sus hojas tienen forma de cinta larga, pueden medir hasta 2 metros de alto y 2 centímetros de ancho de color verde a azul, aunque hay especies que pueden producir una variedad de hojas. Se definen por tener tallos largos que dan lugar a cogollos formados por espigas marrones cilíndricas y compactas en la parte inferior, lo que les da un aspecto grueso similar al de un cigarro.

Esta floración, que ocurre de mediados a fines del verano, es una de las razones por las que es una planta tan popular para decorar estanques o grandes jardines acuáticos; en las zonas rurales, las flores femeninas se utilizan para repeler los mosquitos, además, se puede utilizar para cocinar, ya que su base blanca es comestible. Lo mismo ocurre con las raíces gruesas, que se pueden cocinar como papas o hacer harina (Flor Planta, 2016).

La totora es un producto de energía renovable desarrollado en los lagos y ríos de Cuenca utilizado por la población local para la alimentación y el ganado, también se usa como material artesanal para hacer balsas y en la construcción de techos de viviendas. Las totoras, por su parte, son un importante refugio para los animales que allí habitan, especialmente las aves acuáticas que les han hecho su hábitat, donde preparan sus nidos para la reproducción. Estas plantas grandes cumplen un rol esencial en el medio ambiente, de hecho, las totoras permiten filtrar el agua de nivel medio a alto y mejorar su calidad

hasta alcanzar un nivel de pureza del agua siendo necesario su uso y la producción de agua cruda, tiene nutrientes beneficiosos y crece en suelos sumergidos durante 2-3 meses a un año (Auccacusi, 2020).

Los hábitats de totora son la fuente de alta humedad, que a menudo se observa en las presas, de esta forma, la vegetación que crece alrededor de los lagos la cual puede alcanzar una profundidad de 4 a 5 m entre el lodo y la zona poco profunda; en su base, representan el rizoma del que nacen las raíces adventicias. Los tallos suelen ser triangulares y predominantemente esponjosos, pero en la base de los cuales se encuentran cubiertas de hojas complejas y umbelas. Las raíces alcanzan una profundidad de hasta 0,15 m.

La reproducción generalmente se realiza por métodos vegetativos, pero también tiene éxito mediante la transformación de brotes o retoños, en el cual, en su proceso de crecimiento, es importante cortarlos rápidamente. También dicen que su época de mayor floración y crecimiento es la época de lluvias, y la floración de los ejemplares trasplantados dura más o menos un año. La familia Cyperaceae (totora) contiene flores hermafroditas y racimos de 1 a 3 estambres, 2 a 3 carpelos, 1 folículo y huevos formados a partir de la placenta basal en urea; la espiguilla tiene dos células basales y varios bacilos en cada una de ellas.

De acuerdo a Auccacusi (2020) las totoras, llachus y otros animales contribuyen a la formación de lagos, como en la cría de muchos peces y aves, además, del mejoramiento del valor ecológico y paisajístico. La fibra totora ha sido utilizada en varios pueblos de América por sus características auténticas y de fácil manejo siendo un material tradicionalmente empleado para la construcción de cabañas, embarcaciones e islas flotantes adaptadas a los lugares donde predominaba la cultura, la artesanía y la identidad del arte ancestral aferrándose a la totora, preservada por sus habitantes.

En las comunidades sus viviendas estaban representadas en el modelo de esta plantación de vegetaciones naturales como fuente de su sistema constructivo. Proporcionan ejemplos claros de las capacidades de los materiales naturales empleados en sus interiores permitiendo que los agentes exteriores funcionaran sin dificultades, el material tiene una estética simple, se agrega una forma alargada, con flexibilidad y color uniforme. En la construcción y el diseño arquitectónico se utilizan para una edificación de calidad, transformándolo y provocando variaciones fundamentales en la manera en que se mantiene esta fibra natural.



FIGURA 2.6: Extracción, almacenamiento, secado y trituración. Fuente: Rangel 2018.

La totora por ser una fibra natural y vegetal es un material duradero, además de fácil diseño, es resistente al calor y permeable cuando se apila en varias capas; están tejidas para permitir un lento intercambio de aire en el espacio y se origina en la ciudad de Imbabura - Ecuador.



FIGURA 2.7: Producto final de la Totora. Adaptado del modelo como producto final con la fibra de Totora, de Rengel (2022)

Jara (2018) indica que muchas culturas antiguas usaban fibras vegetales de totoras como comida, bebida, medicamento y de resguardo, sin embargo, el ejemplo más importante de su uso actual es el aprovechamiento de esta fibra vegetal es su uso en el Perú en las Islas Urus en el Lago Titicaca (15.81°S , 69.96°W) por las prácticas de los Urus, apoyándose de casi todos sus elementos. Para la construcción de sus viviendas o botes los uros utilizan cañas trenzadas, tejidas o trenzadas empleadas hace más de 500 años.

2.1.4. Propiedades físicas y morfológicas

Estas especies tienen algunas similitudes, una característica importante es que ambas están presentes en el grupo de plantas vasculares acuáticas, que determinan el proceso morfológico de hojas y tallos, que están formados por tejidos. La organización facilita la aireación de los organismos localizados en el medio ambiente o en las inundaciones.

Estructuralmente, es una organización muy exitosa. Esto se debe a que permite que ciertos órganos floten y se vuelvan más fuertes con un mínimo de células el aerénquima es una gran área del cuerpo de origen mitótico o hemolítico, llamada piscina o unidad, formado por células de diversas formas, generalmente estrelladas o lobuladas, que pueden producir más del 70 % del volumen corporal (Chuncho, Chuncho, y Aguirre, 2019).

La cámara se puede confinar a múltiples células a medida que las células se expanden dividiéndose verticalmente cuando comienza el espacio intercelular. Las cámaras están dispuestas en un tallo y un pecíolo. Se cruzan verticalmente con placas transversales de diferente espesor celular denominadas diafragmas, al tiempo que brindan mayor resistencia a la estructura, evitando inundaciones. La estructura esponjosa de los tallos y hojas de estos animales, formada principalmente por cámaras de aire, los convierte en un material muy útil que puede utilizarse como aislante en la construcción, cubierta blanda y superficie del suelo.

La floración de la tortora comienza a mediados del verano y la estación seca es la temporada de crecimiento (dos veces al año) cada seis meses (se corta dos veces al año), una actividad en la que intervienen la mayoría de las familias, cambiando un poco de "publicidad." a una zona de secado y más aireación, sol y aplanamiento. Debido a la protección de las fibras naturales, se utilizaron en la construcción de embarcaciones sencillas para la pesca y el cultivo de la caña. También puede ser usada como aislante (Chuncho *et al.*, 2019).

El género *Shoenoplectus* o *scirpus* se caracteriza por pequeñas plantas acuáticas de color negro oscuro. Los tallos tienen una sección transversal triangular y son irregulares en algunos lugares y suaves para formar un círculo u óvalos en otros. Las hojas de algunas especies aparecen solo como pequeñas vainas en la base del tallo, pero las hojas de otras especies son diferentes. Las flores, generalmente al final del tallo, tienen algunas flores pequeñas, brotadas o rotas. A continuación, veremos las especies más comunes de este género. *Schoenoplectus californicus*: Altura: 2,5-3,5 m Tallo: Triángulo liso en los segmentos Flores: Abiertas en el extremo del tallo y sobresalen pequeñas brácteas puntiagudas que parecen una extensión del tallo. Hoja: base de pequeño volumen. *Schoenoplectus americanus* Tamaño: 2-2.5m Tallo: signo triangular Flor: semiabierta al final del tallo, las brácteas sobresalen detrás de la flor un poco más largas que S. Cal. Hojas: pequeñas en la base. *Schoenoplectus robustus* Tamaño: 1-1,3 m Cresta: sección triangular lisa Flores: capullo de racimo al final del tallo, seguido de brácteas Hojas: algunas de hierba alta de hasta 50 cm de altura.



FIGURA 2.8: Plantación de Totora. Totora Ecuador. Tomado de Plantación de Totora. Fuente: Doc Player (2022)

Schoenoplectus tabernaemontani - (tallo blando) *validus* Tamaño: 3-4 m Tallo: ovalado (4 cm) más ancho en la base y triangulares lisos Flores: semi-abiertas en el extremo del tallo, sin brácteas ni muy hojuelas: muy redondas desde la base es pequeña.

Otro género similar es *Typha*, a diferencia de la especie anterior, tiene varias hojas de sección transversal hemisférica cóncava que alcanzan hasta 3 m de altura en la base de la planta, con tallos que sostienen la flor. La flor decorativa de esta especie se asemeja a una çolaçon una longitud de más de 30 cm. Es un ramo de flores pequeñas muy denso. Luego se ven las especies más comunes de este género.

Typha angustifolia Loj: 1.5-3m: Sección transversal circular Floración: Espigas bifurcadas al final de la qia, con el tallo central no expuesto. Hojas: alargadas en la base, cóncavas por un lado y rectas o convexas por el otro. Rodean el vástago y el ancho de la base.

Tifa *Latifolia* Tamaño: 1.5-3m Tallo: Cruz redonda de verde a marrón Flores en etapa: Divididas al final del tallo, en forma de espiga, a diferencia de otras especies, el tallo es casi invisible y la flor superior es fina. Hojas: alargadas en la base, cóncavas por un lado y rectas o convexas por el otro. Rodean el vástago y el ancho de la base y se estrechan en la punta (Chuncho *et al.*, 2019).

2.1.5. Aplicaciones y uso de la Totora

El uso de la totora, se han utilizado para artesanías, muebles, embarcaciones y alguna construcción desde la antigüedad, y ahora están perdiendo su uso y no se consideran otros recursos por falta de recursos. Está reduciendo gradualmente su empleo y demanda como

fibra vegetal, con efectivos resultados para el hábitat, adecuando la tortora con el entorno del medio ambiente. Las islas flotantes están sostenidas por estas fibras que componen el entorno natural creando y perdurando generaciones con paisajes tradicionales y culturales que disfruten las islas flotantes empleando en estas fibras.

Otro uso de la totora es la construcción de la mencionada isla flotante consiste en un sistema continuo y racimo de raíces de caña (bloques de raíces) y envolvente, la posición de las capas de totora cultivadas dispuestas en un orden separado. La uniformidad que lleva a la capa (en ambas direcciones). Los árboles permanentes y las espadañas también están unidos a las raíces por ramas verticales. El piso de junco, troncos de pequeño diámetro en posición horizontal contra la base de madera. Otro implemento que desarrollaron fue la estera¹, el cual es uno de los productos más famosos del Ecuador, conocida en otras culturas como kesana, generalmente usado como cama o colchón, en otros lugares como tapete usado en la vivienda en su interior.



FIGURA 2.9: Cubo de Totora. Tomado de Cubo de Totora. Fuente: [ArchDaily México \(2018\)](#)

Durante mucho tiempo se tomaron muchas cosas de la naturaleza como objetos diseñados para distinguir el entorno mobiliario empleando diversos usos con diferentes formas, utilizado el tumbado, como cielo falso, en los biombos o elemento confeccionado para separar distintos ambientes en mobiliario y más usos de este tejido de varias dimensiones ([Zambrano, 2018](#))

¹Estera: Tejido grueso de junco, esparto, etc., para cubrir el suelo de las habitaciones.

2.1.6. Tipos de materiales compuestos

El material compuesto está hecho de dos o más componentes, de tal manera que el producto final sea superior al material individual. Se componen de la siguiente manera:

Matriz: forma geoméricamente objetos, confiere cohesión a los materiales, tiende a ser flexible e inerte y transfiere energía de una fibra a otra.

Refuerzo: presenta resistencia y rigidez.

Entre los tipos de refuerzos en composites y matrices, se tienen: Materiales compuestos de base cerámica, metálica, orgánica/polimérica o plástico reforzado, mismas que se dividen en: Materiales compuestos de fibra de vidrio con base plástica, y fibra de carbono con base plástica. Asimismo, se detallan algunos tipos, como: fibras naturales, de carbono, de vidrio, de aramida, entre otros.

Los materiales compuestos que se refuerzan con fibras por su ligereza y sus buenas propiedades mecánicas, son los más utilizados por su matriz polimérica para reforzar la forma de las fibras. Reemplazan otros materiales, generalmente el acero, en aplicaciones donde la relación entre propiedades mecánicas que incluyen el peso determina el mantenimiento del producto.



FIGURA 2.10: Paneles de fibra de totora. Fuente: Timetoast (2022)

La matriz orgánica puede ser un polímero termoplástico, termoestable o elastomérico. Las matrices termoendurecibles se utilizan generalmente para un alto rendimiento, experimentan reacciones químicas llamadas curadas para formar materiales duros, insolubles e insolubles. Los termoplásticos se funden con el calor. Las fibras utilizadas como refuerzos principalmente son: fibra de carbono, de vidrio, de cerámicas, de boro, metálicas, aramidas y naturales (cañamo, sisal, lino, etc.).

A parte del material del que estén hechas, las fibras se pueden convertir en láminas, tapetes, cintas o tejidos enhebrados. Otros materiales que se utilizan habitualmente en

los compuestos de fibra y resina son los aditivos y las cargas. Se pone en los datos para aportar un producto o reducir el precio. Varían la cantidad de productos de acuerdo con las propiedades que se requiera conseguir, lo que se busca en mejorar la procesabilidad y el producto acabado.

Los materiales compuestos estructurales, además de los materiales de los que están hechos, proporcionan materiales y componentes similares cuyas propiedades dependen de la geometría de diseño del diseño. Pueden clasificarse de la siguiente forma:

Estructura tipo sándwich: Consta de un núcleo y una cubierta para mejorar las propiedades mecánicas de la máquina, pero sin el gran peso. Esta clase de construcción mejora el acondicionamiento térmico y acústico.

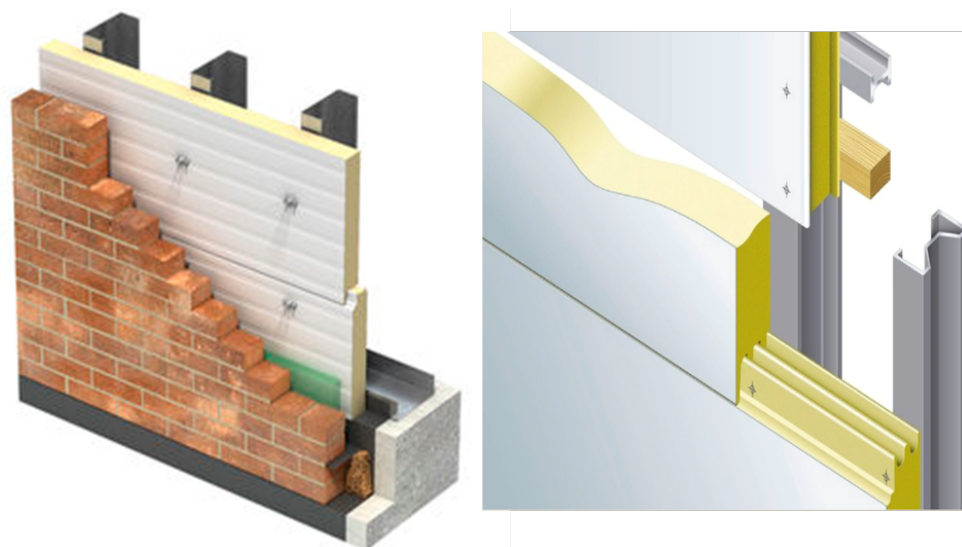


FIGURA 2.11: Paneles tipo sándwich para muros. Fuente: ArchiExpo (2022).

Patrones monolíticos: Patrones complejos, formados por telas en capas en direcciones especiales para lograr propiedades únicas. Este tipo de productos están sujetos a las mayores cantidades (Pucha, 2018).

2.1.7. Propiedades de los materiales compuestos

Entre las propiedades de estos materiales se deben considerar en principio la alta carga de resistencia en cuanto al peso, la baja densidad va depender del peso que va a depender de su resistencia. Es de fácil aplicación por las fibras reforzadas que se pueden procesar más fácilmente que otros materiales, previo al proceso de endurecimiento por matriz, lo que permite una gama de formas y acabados. Alta rigidez dieléctrica donde el material compuesto es aislante.

Alta eficiencia de montaje: El material se puede ensamblar con materiales compuestos, reduciendo así el contenido y necesitando menos juntas.

Resistencia a la corrosión: Este material está determinado por la clase de matriz usada. Así, puede elegir matrices que sean resistentes a todos los medios corrosivos.

Comportamiento a fatiga: los ingredientes tienen un comportamiento positivo.

Costes de mantenimiento reducidos: excelente protección contra la fatiga y la corrosión, lo cual reduce los costes de mantenimiento y reparación. (Granda, 2018)

2.2. Materiales absorbentes acústicos

2.2.1. Materiales porosos acústicos

Algunos materiales porosos se preocupan en presentar los procesos desde una perspectiva holística, sin tomar en cuenta la medición dimensional y sus efectos a cerca de la absorción del sonido. Las características acústicas del material deben establecer cuantificaciones, entre ellas el coeficiente de gravedad, la impedancia acústica, los coeficientes de transmisión y reflexión, la porosidad, la torsión o la resistencia al flujo. Hay varias formas de determinar estas restricciones. Los procedimientos directos se basan en la interpretación matemática de estas restricciones, en los que requieren equipos especializados para medir estas métricas y, a menudo, son inaccesibles para los equipos de investigación debido a su alto costo.

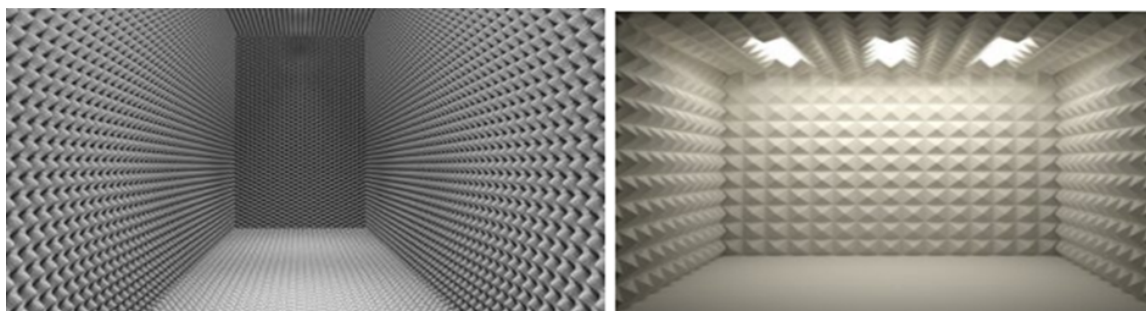


FIGURA 2.12: Planchas de espuma acústica pirámide. Fuente: Civicfellows.

Beranek en 1942 publicó uno de los estudios iniciales de medición de impedancia acústica. Este método requiere dos tipos específicos de aparatos. La densidad y el coeficiente de funcionamiento dependen de la porosidad, la resistencia al flujo, la torsión y la longitud térmica del material. El procedimiento para determinar estas medidas depende de la medida de impedancia o del tubo de ultrasonidos. Una alternativa a este método es utilizar modelos de estimación que influyan en el material para la medición de la impedancia acústica o ultrasónica del tubo. Se puede dividir en método indirecto y método inverso. La imprecisión es seguir un modelo acústico que interfiere con las medidas acústicas con materiales no acústicos.

Este enfoque se describe en [Esquerdo \(2015\)](#) señalando que la inversión se basa en un problema de optimización que no se conoce en el modelo modificado para reconstruir la medida del tubo de impedancia acústica. Por lo general, se forma el coeficiente de gravedad o la impedancia característica. Los parámetros utilizados para materiales fibrosos en el modelo describen el comportamiento de los elementos acústicos y fibrosos de los materiales porosos los cuales se pueden dividir en ondas no acústicas (porosidad, resistividad estática, torsión) relacionadas con la interacción entre fases y líquidos, y ondas no elásticas o

vibratorias elástico. Solo a nivel de producto. Cuando el sonido no atraviesa el material poroso, los huesos del material se pueden sentir en movimiento o estacionarios con la onda (Esquerdo, 2015).

2.2.2. Propiedades y características

Se destacan las siguientes propiedades:

Propiedades microscópicas Existen dos diferencias que determinan las propiedades acústicas de los absorbentes porosos. Es decir, resistencia al flujo y porosidad. Siendo el principal parámetro que determina el coeficiente de gravedad. Estructurada en: Resistencia al flujo es una medida respecto a la facilidad con la que el aire puede penetrar un material poroso y la resistencia con la que el aire fluye a través de la estructura. Da así una referencia de la cantidad de energía que puede perderse debido al efecto creado por la capa absorbente. El flujo continuo medio U se utiliza para una pieza de material poroso de espesor “ d ”. Se supone que el caudal es bajo y se puede medir la caída de presión “ ΔP ”. En este material, la resistencia a la fuga, se define como la resistencia de una unidad de espesor del material. Los factores no lineales deben determinarse si el caudal no es bajo. Hay varios modelos empíricos y semi-empíricos que se pueden utilizar para estimar el flujo de agua.

Porosidad se refiere a la parte del volumen de aire en el absorbedor. Es la relación entre el volumen total de absorbente y el volumen total de poros. Un buen absorbente tendrá una alta porosidad (alrededor de 1), pero su diseño debe reducirla para obtener más protección. Al determinar la porosidad, los poros cerrados no deben incluirse en el volumen total de poros, ya que no pueden penetrar el tono negativo (los poros cerrados se encuentran generalmente en las espumas, incluso en aquellas diseñadas para ser de celda abierta).

2.2.2.1. Propiedades macroscópicas

Factor de forma y dimensiones: La forma del poro afecta la presentación del sonido, y sus propiedades. Los diferentes poros tienen distintas superficies, creando propiedades térmicas y viscosas. Dado que la mayoría de los materiales porosos generalmente no siguen las formas geométricas simples, es casi imposible lograr la estaticidad. Por lo tanto, el poro óptimo se observa empíricamente ajustando las medidas acústicas de la densidad y estructura óptimas del material más grande. Por lo tanto, la forma efectiva depende del diseño para predecir la expansión en el vacío. Hay dos elementos geométricos principales: A y A' La dimensión característica A es la concordancia en peso entre la superficie y el volumen de poros. Se pesa según el cuadrado del coeficiente creciente, con el efecto de la viscosidad. Se puede ver en la morfología de poros únicos.

Tortuosidad: La dirección del poro en relación con el campo sonoro incidente afecta al sonido. Este efecto está indicado por la torsión, ks . Cuanto mayor sea el método de expansión por succión, mayor será la absorción, y la dificultad del método se expresa en parte en la torsión.

El giro también interfiere con el sonido simple que no puede entrar en el absorbedor. Para poros cilíndricos simples, todos de la misma manera, la torsión solo se refiere al ángulo del poro y al problema del sonido. La torsión se encuentra en materiales eléctricos y no conductores (lana mineral y espuma no conductora) que pueden saturarse con medidas de protección eléctrica. Puede ver el giro en la resistencia eléctrica (rf). La rf de un fluido conductor se mide solo y luego se mide la resistencia eléctrica rA del material poroso impregnado con un líquido conductor, entonces se logra la tortuosidad. Entre sus características están: efectos del espesor, efectos de la porosidad, de la densidad, de la distancia a la pared rígida y de la geometría superficial (Castillo y Costa, 2012).

2.3. Conclusiones del Capítulo 2

En el segundo capítulo, se ha hecho énfasis en el estudio de las fibras naturales que poseen características sonoras o fono absorbentes y por tanto son ideales a la hora de fabricar nuevos materiales que den soluciones acústicas a los profesionales de la construcción. Debido a que el presente estudio ha sido desarrollado en la ciudad de Cuenca, se escogieron fibras naturales que se producen en esta zona, en ese contexto se cuenta con fibras de: mimbre, totora, yute, coco, algodón, plátano, fibras de madera y muchas más; sin embargo, por sus ya conocidas características acústicas, las ideales para este propósito son las fibras de coco, yute y totora. Se destaca por sobre las demás, a la fibra de totora, puesto que no sólo posee características acústicas ideales, sino que también posee propiedades mecánicas que ayudan a que los materiales compuestos (paneles) posean mejores comportamientos tanto a la compresión como a la flexión.

Es importante resaltar que el uso de esta fibra no es reciente, pues por muchas generaciones se ha utilizado para la elaboración de muebles, embarcaciones, artesanías e incluso para la construcción. Gracias a que en la zona existe una gran producción de esta planta, se facilita la obtención de la fibra, además esta especie ayuda a la formación de lagos que a su vez son hábitats de muchos peces y aves, contribuyendo a mejorar el paisaje y la ecología del lugar. Siendo la totora de origen natural, le da valor de sustentabilidad y sostenibilidad a los paneles, considerando que la huella ecológica va a ser menor comparado con otros materiales como los paneles de polietileno expandido y poliestireno extruido, incluso con los paneles de lana de roca o lana de vidrio.

Los paneles acústicos a base de fibras naturales son totalmente recomendables, puesto que, gracias a sus características antes mencionadas, son capaces de contribuir a la tranquilidad y comodidad de los usuarios al insonorizar los espacios de acuerdo a cada necesidad. Para contar con una materia prima de calidad para la elaboración de los paneles, se recomienda que todo el proceso desde su extracción, pasando por el almacenamiento, secado y finalmente la trituration, sean realizados con cuidado para que ésta no se contamine con agentes externos que puedan debilitar sus características. Se recomienda también el uso de este tipo paneles por la alta rigidez dieléctrica que posee, además de la alta eficiencia de montaje, resistencia a la corrosión y bajos costes de mantenimiento.

3.1. Soluciones en Europa contra el ruido

La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), supone que una de cada cinco personas sufre a diario la contaminación acústica, es decir, una epidemia nada silenciosa que provoca que el ruido sea hoy la segunda causa de estrés ambiental más nocivo en Europa, luego de la contaminación del aire por partículas finas. La AEMA y la OMS estiman que una exposición extensa al ruido, está unida a complicaciones relacionadas con la pérdida de memoria, el aprendizaje, la incapacidad de la concentración, así como el aumento del peligro de disminuir la audición, afectación de la salud mental y sufrir patologías del corazón

La Unión Europea elaboró una serie de estrategias transformadoras para aminorar los efectos dañinos de exponerse al ruido, en primer lugar, se colocó una red de investigación colaborativa dedicada a los mecanismos generadores de ruido y la propagación del sonido con herramientas numéricas de predicción acústica y de un código relativo a los efectos de onda y de flujo. En segundo lugar, desarrollaron técnicas innovadoras como un silenciador de dimensiones inapreciables, resonadores y un acoplamiento del ruido de flujo. Por último, estudiaron métodos numéricos de simulación de flujo de alta fidelidad, así como distintas configuraciones y fenómenos responsables de la emisión de ruido (Corresponsables, 2021).

Asimismo, están implementando una variedad de medidas para remediar los problemas afines al ruido, entre las que se tiene: Implementación de asfalto reductor de ruido en carreteras; En el transporte público se utiliza neumáticos silenciosos; Aumento de la infraestructura en ciudades para la circulación de autos eléctricos; Promoción de una movilidad activa en bicicleta o a pie; peatonalización de calles y el proyecto llamado Zonas Tranquilas, destinadas a personas que quieran huir del ruido de las ciudades, están diseñadas con espacios verdes, parques y reservas naturales (EEA, 2020).

Por otra parte, la arquitectura saludable a nivel acústico en Europa ha mejorado de acuerdo a sus normativas, pues el 50% de la población, está expuesta en forma regular a rangos de ruido que son perjudiciales para la salud. En este caso, se han diseñado edificaciones saludables, proporcionando una experiencia de habitabilidad en un ambiente que tiene en cuenta la iluminación, el sonido, las vibraciones, el clima y cualquier aspecto que pueda alterar el bienestar de las personas. Entre las soluciones ejecutadas para garantizar la salud acústica en este clase de ambientes, se tienen las mamparas acústicas, paneles absorbentes colgados o fijados en techo, paredes para minimizar el ruido, soportes de amortiguación para el ruido de impacto, incorporación revestimientos para separar espacios con un óptimo aislamiento acústico, las superficies absorbentes reducen el sonido reflejado permitiendo mitigar los rangos de ruido al interior y generan un efecto de ambientes sin contaminación sonora (Interempresas, 2020).

Según [Cupa Group \(2020\)](#) se han utilizado materiales que aíslan el ruido, los cuales son aislantes térmicos ecológicos y sostenibles, tales como:

- Fibra de madera: obtenida de los desechos producidos por los aserraderos e industrias de madera. Por su inercia térmica es un aislante térmico y regulador de humedad.
- Celulosa: combinado por papel reciclado y tratado. Es un aislante térmico con características ignífugas, insecticidas y antifúngicas.
- Corcho: natural, es muy buen aislante acústico; sus propiedades se extienden al ser impermeable y no se pudre en el agua.
- Algodón o panel geotextil: formado por restos reciclados de tejidos a base de algodón; buen aislante térmico, pero en presencia de humedad pierde su capacidad aislante.

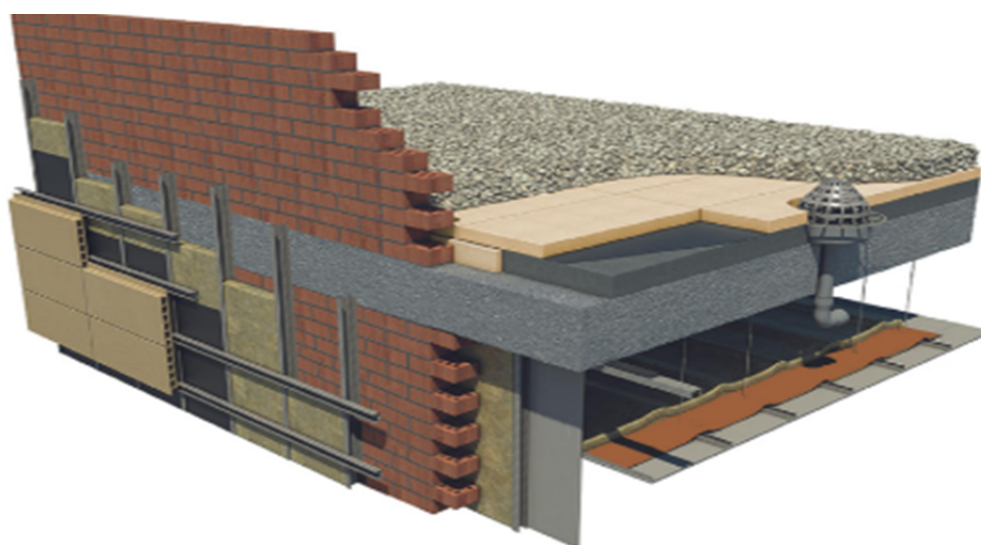


FIGURA 3.1: Fachada Ventilada con Lanas Minerales. Las funciones de las lanas minerales con respecto a la contaminación sonora son, el amortiguamiento del ruido y la corrección de la acústica, ya que disminuyen la reverberación de los espacios facilitando ambientes más silenciosos y confortables.

Teoría Referencial

EUROPA:

Estudios previos con fibras naturales han demostrado la viabilidad de su uso, en cuanto a la titora se experimentó con las fibras de manera íntegra sin ningún procesamiento previo que englobe la deformación de su forma o estructura y amana de entrelazado y con el uso de aglomerantes se obtuvo mediante ensayos de laboratorio resultados positivos en cuanto al aislamiento acústico, resistencia y durabilidad ([Aza, 2016](#)).

También, estudios recientes plantean que la correcta implementación de materiales de aislamiento acústico en escuelas, colegios y universidades tienen gran efecto en la actividad escolar y en la asimilación de las enseñanzas desde temprana edad, por lo tanto la adecuación de paneles compuestos por fibras naturales es una solución viable a la problemática que se evidencia a nivel mundial y local contribuyendo a la vez con la generación de una alternativa ecológica en el ámbito de los materiales para la construcción.

Soluciones en Ecuador contra el ruido

Nace la alternativa de fuentes naturales en el Ecuador, donde existe un potencial uso de fibras vegetales, destacándose en todas las regiones del país. La utilización de fibras en los materiales de construcción proviene desde la antigüedad, hoy en día la construcción tradicional ha disminuido y se han sustituido por materiales y técnicas modernas. Peña (2016) afirmó lo siguiente:

Se han realizado múltiples investigaciones en las que se incorporan fibras naturales y vegetales, como elementos constructivos estructurales o decorativos, dado sus características físicas y sus ventajas como aislantes termo acústicos, de fácil obtención y bajo costo. Se han utilizado materiales como el bambú, bagazo de caña, totora, cascara de maní entre otros, para la producción de diferentes elementos constructivos para tableros o elementos de relleno, es importante recalcar que los paneles son realizados con fibras naturales que ayudan al medio ambiente y con el tiempo no perjudica a la salud. (p. 13)

Referentes Técnicos

Las fibras vegetales se están constituyendo en una alternativa atractiva para la aplicación industrial gracias a su bajo costo, poco peso y por ser una materia prima renovable con mayores y mejores propiedades con respecto a otros materiales utilizándolas como refuerzo en materiales compuestos de base polimérica, esta clase de materiales se están aplicando en fabricaciones como componentes en caucho, calzado, y en los ámbitos de la transportación y de la construcción (Velásquez, Peláez, y Giraldo, 2016).

3.2. Aislante térmico y acústico para paredes hecho a partir de paja de arroz

Este panel de materiales aislantes lleva por nombre BIOM, relacionado al uso de biomateriales. La fibra de arroz utilizada se obtiene de la ciudad de Daule, capital arrocera del país, el objetivo de aprovechar esta paja es la generación de pago extra a los productores de la región que se benefician solamente de la venta del grano hasta ahora. Al estar la paja seca, en lugar de ser incinerada, se trabaja para que se abran las fibras, estando abiertas, se combinan con una baja proporción de polímero de PET (tereftalato de polietileno) y se moldean los tableros (paneles) que serán usados en la construcción.

Al panel se le coloca placas de Gypsum, (compuesto a base de yeso, fibras minerales y de vidrio) en ambos lados, quedando con un espesor de 15 centímetros, de esta manera

se logra un gran nivel de confort tanto térmico como acústico. Este panel es acolchonado y compacto, lo cual permite que las ondas sonoras ingresen, se deformen y se absorban, evitando hacer el mayor ruido posible. (Romero, 2020).



FIGURA 3.2: Panel de fibra de arroz y estructura aislante de pared a base de paneles de paja de arroz. Producto ecológico utilizado para el aislamiento térmico y acústico de las paredes. Adaptado a las exigencias de sismo resistencia de la NEC por ser un material liviano. Adaptado de Construcción con biomateriales, RT Actualidad (2017)

3.2.1. Evaluación de paneles aislantes fabricados en fibras de totora (*typha latifolia*)

El perfeccionamiento de materiales constructivos modernos como los paneles de totora, permite el mejoramiento de la sustentabilidad de productos industriales, también la disminución del costo de fabricación. Estos paneles, están destinados a colocarse en el interior de muros en cámaras de aire o como revestimiento interior de las edificaciones, poseen una alta durabilidad a través del tiempo.

Se consideraron diversos factores para conocer la compatibilidad con la dinámica social y constructiva, desde el enfoque sostenible y la viabilidad para la obtención de un panel con la menor conductividad posible, tales como, estabilidad dimensional, requerimientos climáticos, cantidad del recurso vegetal, coste de la manufactura, del mantenimiento del equipo, de la sostenibilidad ecológica del aglutinante acetato de polivinilo (PVA), consumo energético del proceso, durabilidad y preservación.

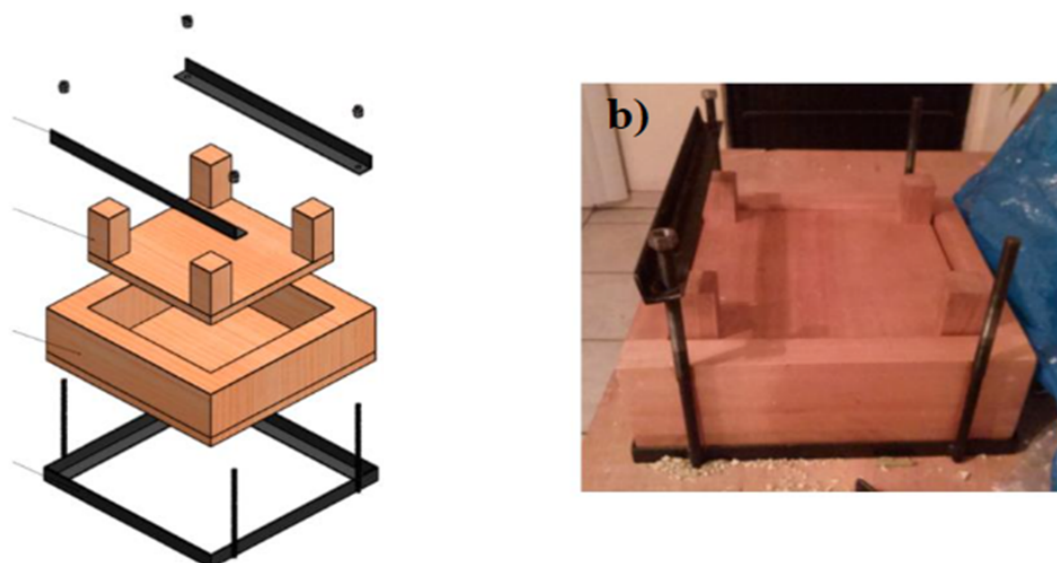


FIGURA 3.3: Prensa para fabricación de paneles. Prensa para la fabricación de paneles de muestra con su esquema funcional y construida. Fuente: Revista Gaceta Técnica. Volumen 14. p. 26.

El aglutinante ofrece las mejores características técnicas, sostenibles y económicas por ser un material biodegradable, accesible y económico que manifiesta una adhesión de la biomasa satisfactoria, presentando buenas características de adhesión y firmeza para la fabricación de paneles de aislamiento térmico. Se determinó que la totora constituye un potencial aislante, mostrándose como alternativa sostenible de aislamiento térmico de bajo costo con alta capacidad de mejoramiento de la eficiencia de zonas adyacentes a su producción (Velasco, Goyos, Delgado, y Quezada, 2015b).

3.3. Aislante térmico y acústico hecho a partir de fibra de madera

Los paneles fabricados a partir de la fibra de madera se utilizan como aislante acústico y térmico. Su proceso de fabricación parte de la trituración de madera natural sin tratamiento, luego se le agrega sales de boro lo cual le proporciona a la madera propiedades ignífugas, a la vez que brinda protección contra roedores, ácaros e insectos.

La amalgama de la fibra de madera y sales de boro produce un gran aislamiento tanto para el calor como para el frío y por supuesto posee un gran comportamiento acústico. Su aplicación se recomienda especialmente bajo cubiertas y para construcciones de madera.



FIGURA 3.4: Panel de fibra de madera. Panel de fibra de madera, Archi Expo (2017) y Arquitectura y Empresa, 2022.

Ventajas del panel de fibra de madera

- Posee excelentes características térmicas debido a que su conductividad es baja (conductividad térmica de $0.039 \text{ w/m}^{\circ}\text{k}$) ofrece gran resistencia al frío, además tiene una alta inercia térmica lo cual le permite almacenarlo durante el día y desprenderlo durante la noche, lo cual es ideal en el invierno dependiendo la zona donde se instale. La inercia térmica alta que posee (2400 julios, ideal para invierno y verano) también ayuda a que en verano se retrase durante varias horas el paso del calor (desfase térmico) hacia el interior de la vivienda, el porcentaje de este dependerá del espesor del material.
- Así mismo posee un gran comportamiento acústico gracias a que tanto la composición de las fibras y el entrelazado tienen excelente comportamiento ante el ruido aéreo y de reverberación.
- Al ser de origen natural y saludable se constituye en un panel ecológico y amigable con el medio ambiente, puesto que no posee aditivos químicos, mismos que son dañinos para la salud.
- Es un material con una alta resistencia al fuego, retarda el humo y las llamas, posee una clasificación (Euroclase B S2d0) según el espesor.

3.4. Análisis de referentes arquitectónicos

3.4.1. Análisis de la Universidad del Nordeste de Boston, Estados Unidos



FIGURA 3.5: Campus Universitario. Engineers+Planners. Fuente: Stein Hudson (2017)

Sistemas tecnológicos de aislamiento acústico

Acoustical Solutions fue la empresa encargada de lograr la privacidad del habla mediante la instalación de un sistema de materiales para bloquear el sonido a través de la cámara del techo. El equipo de gestión de las instalaciones de la universidad tenía problemas de transferencia de sonido entre las aulas y las áreas administrativas, lo que podría comprometer la información confidencial, la necesidad de una solución era de primer nivel.

La presencia de espacios de uso mixto como aulas y oficinas se conectan con otras áreas comunes, en el caso, los salones de clases que estaban ocupados y los estudiantes que transitaban por el pasillo a menudo podían escuchar conversaciones privadas generando un gran problema. Las estructuras que separaban estos espacios entre sí, eran un corredor abierto y paredes divisorias; dado que estas paredes no se extendían hasta la plataforma del techo, poco hacían para proteger la privacidad del habla. En este caso, la problemática era el sonido que atravesaba las tejas del techo y rebotaba por encima de la pared.



FIGURA 3.6: Interior de techo, Northeastern University. Fuente: Wescover (2017)

El Auditorio Blackman de la Universidad cuenta con un sistema de sonido, en el cual el personal educativo aprendió a utilizar el sistema en 90 segundos, es decir, un solo interruptor giratorio opera los sistemas principales en el auditorio a través de una configuración que permite todas las amplias necesidades de una actuación de alta calidad y la otra, la configuración simple, permite a los profesores caminar en la habitación y operar todo con solo presionar un botón (Shanahan, 2015).

Así mismo, las aulas de la Facultad de Ingeniería, están compuestas por paneles absorbentes de sonido, se instalan en la pared del soffito para ayudar a mediar las reverberaciones acústicas. Se instalaron losetas Armstrong VCT de 12" * 24.^{en} el corredor en un patrón lineal que refleja los paneles absorbentes de sonido utilizados en las paredes del soffito.



FIGURA 3.7: Barrera de Plafones en la Cubierta De Luz. Fuente: [Acoustical Solutions \(2017\)](#)

Materiales utilizados

- 640 Barreras de plafones PrivacyShield de 2' x 2'
- 43 cubiertas de luz PrivacyShield de 2' x 4'
- 2 silenciadores de retorno del pleno PrivacyShield de 2' x 2'

Acondicionamiento acústico

El sistema PrivacyShield bloquea el sonido sin cambiar la estética del espacio, los materiales quedan ocultos, fuera de sitio y por encima de la rejilla del techo. El personal educativo y estudiantes ahora tienen espacios privados y confidenciales para conversar y ambientes de aprendizajes enfocados, libre de ruidos que distraigan de otros espacios en los cuales se pueden concentrarse en su trabajo de laboratorio, conferencias y plan de estudios.



FIGURA 3.8: Silenciador de Retorno del Pleno, la Cubierta de Luz y la Barrera de Tejas de Techo. Fuente: [Acoustical Solutions \(2017\)](#)

Los productos acústicos son de clasificación contra incendios Clase A y clasificaciones STC superiores para lograr la privacidad del habla. Se instalaron barreras de losetas de techo PrivacyShield, campanas de luz y silenciadores de retorno de plenum G2, los cuales cumplen con los criterios. Todos ellos funcionan juntos a la perfección en los sistemas de cielorrasos suspendidos existentes, determinando la cantidad de placas de techo, luces y retornos de aire del plenum. Se instalaron los tratamientos en doce oficinas, dos aulas y las rejillas de retorno al aire libre ([Acoustical Solutions, 2017](#)).

Forma y funcionamiento

- Barreras de plafones PrivacyShield de 2' * 2'

Se instalan sobre paneles de techo existentes en una rejilla de techo suspendido para bloquear el sonido, los plafones cargados en masa reducen la cantidad de sonido y ruido que puede entrar y salir de la cámara del techo. Los respaldos de barrera de losetas de techo se instalan en espacios nuevos y existentes para reducir la cantidad de sonido que se transmite de un espacio a otro.



FIGURA 3.9: Interior Northeastern University, Boston. Fuente: [Choffnes \(2017\)](#)

- Cubiertas de luz PrivacyShield de 2'x4'

Se instaló sobre accesorios de iluminación en el techo suspendido para reducir la transmisión de sonido y ruido, mientras se mantiene el flujo de aire. Los accesorios de iluminación se identificaron como una vía para que el habla y el ruido entren y salgan del pleno del techo y recorran a las habitaciones cerradas o abiertas vecinas.

- Silenciadores de retorno del pleno PrivacyShield de 2'x2'

Detiene la transmisión de sonido en el aire a través de los retornos de aire de la rejilla del techo para aumentar la privacidad del habla, se creó una rejilla de techo insonorizada que proporciona una alternativa mejor y duradera sin añadir ruidos molestos.

Se construyó la unidad utilizando cinta adhesiva provista, colocándola en el cielorraso encima de una rejilla de retorno de aire perforada existente. Se ensambló los dos componentes del conducto de aire vertical en una caja cuadrada, encima de la placa de barrera del techo, usando la cinta adhesiva. En este proyecto la altura del plenum no era suficiente ya que los soportes verticales de la campana de 19" de alto no se podían reducir a una altura de 13". Se ensambló el conducto de aire encima de la base de la placa del techo precortada asegurando a la base de la placa del techo, el conducto de aire con la teja de barrera en la cámara se instaló encima de la rejilla de retorno de aire perforada existente.



FIGURA 3.10: Aulas Internas de la Universidad. Fuente: [Línea 5](#) (2016)

3.4.2. Análisis Escuela Primaria Woodland

La Escuela Primaria Woodland con capacidad para 985 estudiantes y con 12.313,27 m², está ubicada en la localidad de Milford, en Worcester, Massachusetts, Estados Unidos. Fue construida en el año 2016 por HMFH Architects, en un sitio boscoso rodeado de humedales.



FIGURA 3.11: Escuela Primaria Woodland. Fuente: [ArchDaily México](#) (2018)

Interpretando la concepción de plan abierto, la nueva infraestructura de la escuela está organizada en base al aprendizaje por grado. Cada uno de los grados habita una planta en el bloque académico, congregados en tres conjuntos pequeños conformados por 6 salones de clases con ambientes de aprendizaje comunes entre sí, afuera de los salones. Estos espacios comunes incentivan una amplia gama de visiones flexibles de enseñanza, lo que permite a los maestros cambiar de entornos más tradicionales y contenidos a sucesos de grupos mayores, y reuniones de trabajo en equipos pequeños. Dentro de los espacios del proyecto se han incluido fregaderos para asistir las actividades prácticas de construcción (HMFH Architects, 2022).

El ala académica flexible ha sido diseñada para el concepto de Woodland para la formación diferenciada y respuesta a la intervención, en esta, trabajan grupos pequeños con habilidades diferentes, compartiendo espacios de grupos más pequeños junto a salones dobles. Estos pequeños ambientes permiten la visibilidad desde los salones adjuntos permitiendo que los niños permanezcan cercanos su salón base (HMFH Architects, 2022)



FIGURA 3.12: Elevación Escuela Primaria Woodland.



FIGURA 3.13: Aulas Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)

El equipo de diseño utilizó activos naturales en su diseño, ubicando la escuela para minimizar el impacto en los humedales circundantes e incorporando la identidad física del área en el diseño. El jardín de polinizadores y el estanque de retención de la nueva escuela funcionan como aulas al aire libre; estos espacios, junto con macetas elevadas, barriles para recoger aguas pluviales y paneles fotovoltaicos, están integrados en el plan de estudios de ciencias, lo que anima a los estudiantes a participar en el aprendizaje práctico dentro de

su entorno natural. En el interior, claraboyas, las ventanas del triforio y los pozos de luz de varios pisos maximizan la iluminación natural.

Las metas para alcanzar la certificación LEED Silver coincidieron con el deseo de la comunidad de una escuela duradera y de alto rendimiento. Con este fin, el equipo de diseño eligió materiales saludables y de bajo mantenimiento, incluido un sistema de protección contra la lluvia con paneles de hormigón, techos y acentos de chapa de zinc, y una construcción de paredes con cavidades de ladrillo en el exterior. En el interior, las losetas de cerámica, las losetas de piso flexibles y las barandas de vidrio resistirán un uso intensivo con el tiempo. (USGBC, 2018)



FIGURA 3.14: Zona de recreación Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)

Para profesionales que diseñaron y construyeron este centro educativo, era primordial crear ambientes acústicos, es decir, crear espacios en los que el ruido exterior no ingrese y así mismo el ruido que se genere en ellos no escape al exterior. Pues, tenían muy claro que para el desarrollo de una buena enseñanza y un buen aprendizaje es necesario gozar de excelentes condiciones acústicas, puesto que, de no ser así la comunicación entre docentes y estudiantes se puede ver alterada debido a la interferencia de la atención.

En función de lo anterior, no solo se presentaron soluciones en cuanto el diseño propiamente dicho de los espacios y las relaciones funcionales entre ellos, sino que, se propuso el uso de materiales y elementos constructivos altamente acústicos.

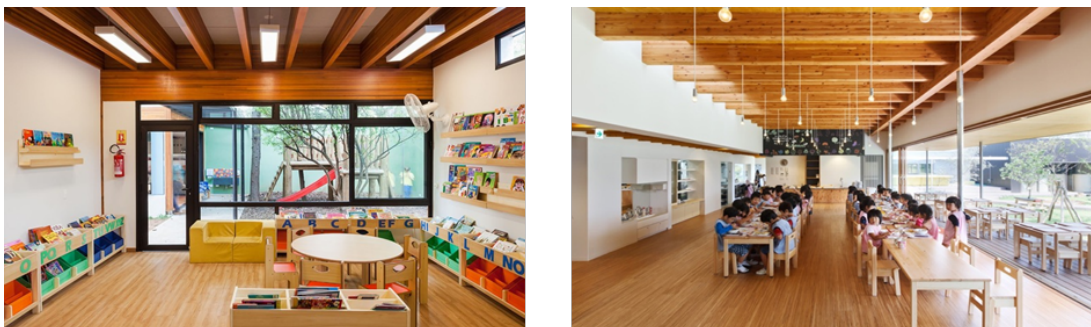


FIGURA 3.15: Aulas Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)

Entre sus componentes se ha considerado el uso de vigas de madera en la estructura de las edificaciones, así mismo se consideró ventanas acústicas, paredes que poseen paneles acústicos y pisos que también poseen dichos paneles.



FIGURA 3.16: Escuela Primaria Woodland. Fuente: [ArchDaily México \(2018\)](#)

Para tener una óptima condición de insonorización en cada uno de los ambientes escolares, se ha utilizado materiales absorbentes que ayuden a minimizar el ruido aéreo y el ruido de impacto en paredes y pisos. Entre los materiales utilizados constan: el mortero, la lana mineral o los paneles de yeso acústico. (Pujol *et al.*, 2019)



FIGURA 3.17: Escuela Primaria Woodland. Fuente: [ArchDaily México \(2018\)](#)

El bloque docente de 3 plantas está recubierto especialmente por un sistema conformado por paneles de concreto contra la lluvia. En los bloques de dos pisos (deportivo y comedor/artes) a los extremos, se ha complementado la albañilería propuesta con paneles de hormigón de 8 pulgadas en una disposición de tabloncillos horizontales, en una escala de tonos sutiles y texturas. El tenue empleo y el poco espesor del producto consienten que los paneles recubran con libertad las caras expandibles de las ventanas del salón de clases en el bloque docente. Los paneles de hormigón se constituyen en los elementos de fachada más visibles gracias a la conformación de las ventanas saledizas, tanto así que con un pequeño acercamiento se aprecia la brillantez de los paneles colores en la duplicidad de las ventanas, creando un elemento sorpresa. ([ArchDaily México, 2018, p.6](#))



FIGURA 3.18: Escuela Primaria Woodland. Fuente: ArchDaily México (2018)



FIGURA 3.19: Escuela Primaria Woodland. Sala de clases y sección de fachada. Fuente: ArchDaily México (2018)

3.4.3. Análisis Escuela Secundaria Manor New Tech

La Escuela Secundaria Manor New Tech con capacidad para 900 estudiantes y con 9.290,00 m², está ubicada en la ciudad de Manor, en Travis, Texas, Estados Unidos. Es una escuela cuya educación está basada en proyectos (PBL).

El concepto de este proyecto está basado en un plano de planta abierta organizado a partir de un eje central, esto permite reorganizar las áreas de aprendizaje de los estudiantes, con espacios versátiles que les permite sentarse en el lugar donde trabajan mejor, eliminando las barreras e incorporando la colaboración. La edificación alberga 300 estudiantes que se distribuyen en 10 clases por cada uno de los pisos (3).



FIGURA 3.20: Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: [VIRCO \(2022\)](#)

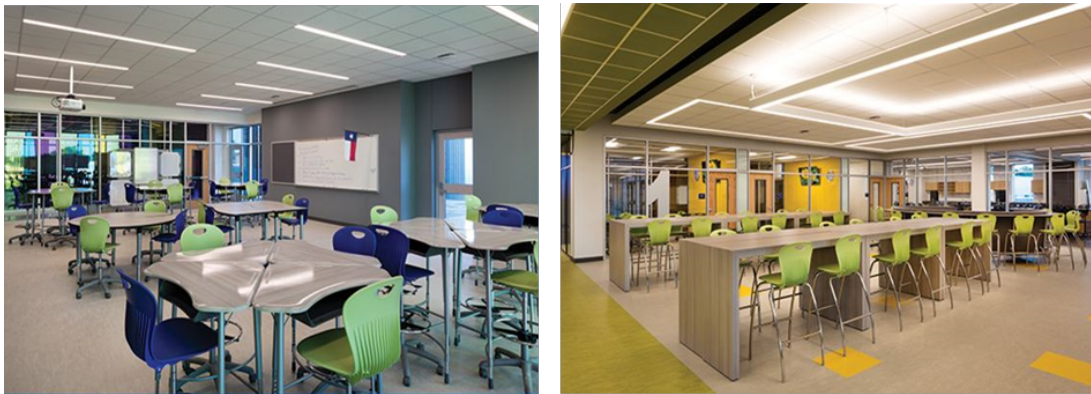


FIGURA 3.21: Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: [VIRCO \(2022\)](#)

El conjunto posee una excelente iluminación natural en todas sus áreas gracias a su orientación y al diseño de tragaluces, lo cual permite un óptimo aprendizaje y bienestar de los estudiantes, al tiempo que se disminuye el consumo de energía eléctrica.

Zona de enfoque:

Las unidades de asientos tapizados se pueden usar como áreas de discusión, mesas móviles con pizarras blancas de borrado en seco para áreas de conferencias y reuniones de grupos y mesas altas equipadas con estaciones de carga y energía para el aprendizaje independiente. Las cabinas curvas con una mesa de pie envolvente brindan a los estudiantes la opción de sentarse o pararse. (VIRCO, 2022)



FIGURA 3.22: Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: VIRCO (2022)

Salas de ciencia y Makerspace:

Una pared móvil separa las salas de Ciencias y Makerspace. Los taburetes de laboratorio de la serie ZUMA se combinan con mesas científicas personalizadas que se dividen por la mitad para grupos de trabajo más pequeños. Debajo de las mesas, se agregó espacio de almacenamiento para guardar herramientas, equipos y pertenencias de los estudiantes. (VIRCO, 2022)

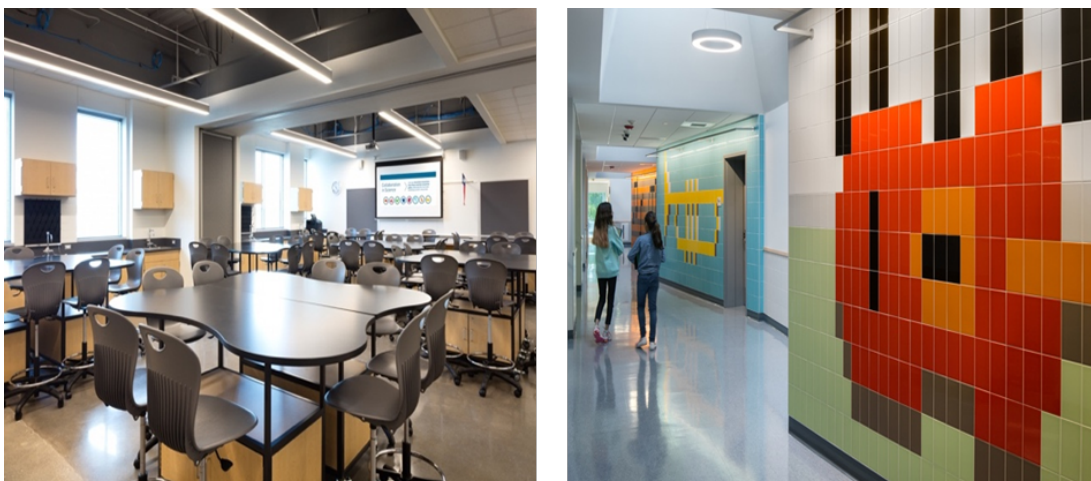


FIGURA 3.23: Salas de ciencia y Makerspace. Fuente: VIRCO (2022)

Uno de los retos que tuvo el equipo de diseño fue crear espacios multifunción que satisfagan las necesidades de los diversos usuarios. Es así que crearon soluciones acústicas modulares, facilitando la configuración de espacios y logrando a parte de una buena acústica, éstos posean un excelente aspecto.

Normativa acústica aplicada:

Conscientes de que, una buena acústica de los espacios mejora la inteligibilidad y el aprendizaje, la normativa local tiene muy en cuenta esto y las directrices que proporciona son muy claras para la aplicabilidad en centros de estudio, como lo explica la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Acústica aplicable a Centros Docentes.

Reglamentación acústica aplicable a los centros docentes. Código Técnico de la Edificación DB-HR: Protección frente al ruido		
Tiempo de reverberación	Volumen	Tr
Aulas y salas de conferencias vacías	<350 m ³	<0,7 s
Aulas y salas de conferencias vacías incluyendo butacas	<350 m ³	<0,5 s
Restaurantes y corredores vacías	-	<0,9 s

Nota: Tomado de Escuela Secundaria Manor New Tech. (Rockfon, 2021)

Tr = Tiempo de reverberación

s = Segundos

Valores mínimos de reverberación acústica

Con respecto a estos valores mínimos, Rockfon (2021) establece lo siguiente:

El área de absorción acústica equivalente, A , de las zonas comunes debe ser al menos $0,2 \text{ m}^2$ por metro cúbico de volumen del recinto. Debe verificarse que la absorción propuesta en el proyecto es mayor o igual a la requerida, $A_{\text{recinto}} \geq A_{\text{requerida}}$, como mínimo, en cada zona común que sea diferente en forma, tamaño y elementos constructivos. (p. 10)

Se contó con una amplia gama de soluciones acústicas lo que proporciona una gran libertad en el diseño, entre ellas se escogió los paneles de lana de roca, logrando regular el ruido dentro de las aulas, además se diseñó una solución acústica resistente a impactos en espacios como el gimnasio.



FIGURA 3.24: Diseño de espacios. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: VIRCO (2022)

Vestíbulos, pasillos y zonas de esparcimiento

Espacios multifuncionales

El vestíbulo y los pasillos de una escuela son espacios multifunción que no solo sirven para dar la bienvenida y guiar a estudiantes, profesores y visitantes por el centro. También los suelen utilizar los alumnos para trabajar y aprender. Son zonas que a menudo están muy concurridas, con el consiguiente ruido originado por el ir y venir de alumnos y profesores, las conversaciones entremezcladas, y que necesitan un alto nivel de absorción acústica que amortigüe el sonido y favorezca la colaboración y la interconectividad. (Rockfon, 2021)

En este caso, se utilizó materiales con excelente absorción acústica en techos y paredes para mitigar el ruido y evitar su propagación. Estos materiales poseen mayor espesor (hasta 40mm) en todo el perímetro del espacio para reducir el ruido en frecuencias más bajas.



FIGURA 3.25: Cafetería. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: [VIRCO \(2022\)](#)

Despacho y Administración

Considerando que son espacios donde los profesores conversan con los compañeros, socializan y preparan sus clases. Se ha dedicado también mucha atención, cosa que generalmente no se hace. Sin embargo, es muy importante que los profesores puedan disponer de ambientes muy confortables, logrando un ambiente interior mejorado. Se logró crear espacios relajantes gracias a la utilización de materiales con absorción acústica (alta calidad) para amortiguar el sonido, que además protegen la privacidad de las conversaciones, impidiendo la propagación del sonido ([Rockfon, 2021](#)).

Dichos materiales poseen un núcleo de lana de roca con una membrana aislante de alto rendimiento en la cara posterior que reduce la transmisión del sonido. Los paneles son polivalentes con absorción tipo A (la más alta del mercado).

Aulas: Un espacio de aprendizaje para todos

El aula es ese espacio dinámico donde los estudiantes se reúnen para trabajar en equipo, pensar y aprender. Los métodos de enseñanza son muchos y muy variados. Eso los convierte en uno de los factores concluyentes para el diseño acústico de estos espacios. En la enseñanza tradicional la inteligibilidad es clave, ya que hay que conseguir que los estudiantes que se sientan más atrás puedan oír perfectamente lo que dice el profesor. En cambio, cuando los estudiantes trabajan en grupos, el objetivo es controlar el nivel de sonido en el aula para evitar distracciones y el exceso de ruido. Hay que tener en cuenta todas las frecuencias del habla, en especial las bajas ([Rockfon, 2021](#)).

Normativa acústica:

Tabla 3.2: Acústica aplicable en Aulas.

Tiempo de reverberación	Volumen	Tr
Aulas y salas de conferencias vacías	<350 m ³	≤ 0,7 s
Aulas y salas de conferencias vacías incluyendo butacas	<350 m ³	≤ 0,5 s

Nota: Tomado de Escuela Secundaria Manor New Tech. (Rockfon, 2021)

Se instalaron paneles con alta calidad de absorción acústica con un espesor de 40mm en todo el perímetro de las aulas para mejorar la inteligibilidad, reduciendo el eco y amortiguando el sonido; cumpliendo con esto, los requisitos acústicos.

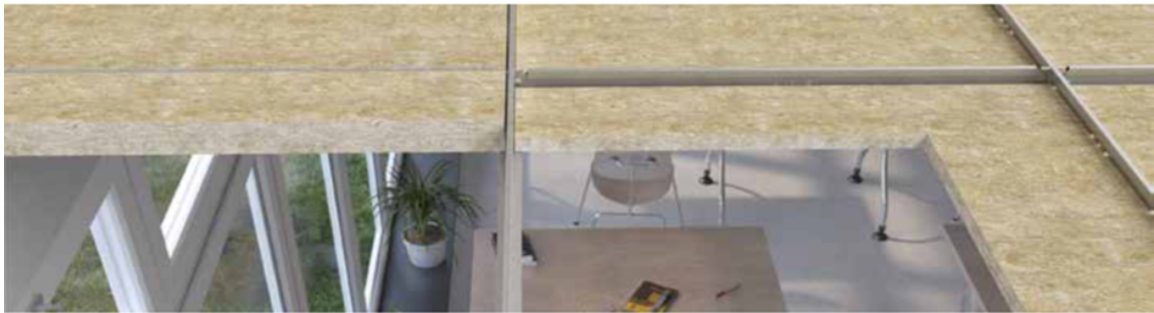


FIGURA 3.26: Panel altamente absorbente (40mm). Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: [Rockfon \(2021\)](#)

Cocinas y cafeterías

Al ser espacios que albergan a muchas personas que van a comer, conversar, trabajar o pasar el rato, se consideró una acústica excelente, puesto que los rangos de ruido pueden ser muy altos. A parte de los techos acústicos también se consideró la aplicación de soluciones murales en diversos colores.



FIGURA 3.27: Cafetería. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: [Rockfon \(2021\)](#)

Normativa acústica:

Tabla 3.3: Acústica aplicada en cocinas y cafeterías.

Tiempo de reverberación	Tr
Restaurantes y comedores vacíos	$\leq 0,9$ s

Nota: Tomado de Escuela Secundaria Manor New Tech. (Rockfon, 2021)

Gimnasio: Un espacio con mucha actividad

El gimnasio es probablemente el espacio más ruidoso de una escuela. Las pelotas rebotando en el suelo y los gritos de los estudiantes mientras hacen deporte se entremezclan con las voces de los profesores, que tratan de hacerse escuchar en medio de todo ese bullicio. Un peligroso cóctel sonoro que repercute negativamente tanto en los alumnos como en los profesores. ([Rockfon, 2021](#))

Además del excelente acondicionamiento acústico, se implementó un techo acústico robusto que resiste los altos impactos y no sufre daños. También se implementó un tipo de panel mural en las paredes con una alta resistencia a los impactos.

Vestuarios y duchas

Los vestuarios y las duchas suelen tener muchas superficies duras, que son ideales por razones de higiene ya que son fáciles de limpiar, pero que reflejan el sonido y hacen que estos espacios sean muy ruidosos. Así pues, para poder solucionar el problema del ruido, es importante elegir techos acústicos que amortigüen el sonido y que además sean resistentes a la humedad. ([Rockfon, 2021](#))



FIGURA 3.28: Interior de Vestidores. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: [Rockfon \(2021\)](#)

Debido a la naturaleza del espacio, no sólo se aplicaron soluciones altamente acústicas, sino que, también se utilizó soluciones resistentes a la humedad para que con el paso del tiempo no sufran deformaciones y no se vuelvan peligrosas para la salud por la proliferación de bacterias. Razón por la cual la perflería como los accesorios son de acero galvanizado Z 275 prepintado, misma que cumple con los requisitos en cuanto a la resistencia de la corrosión (clase D) según norma EN13964.

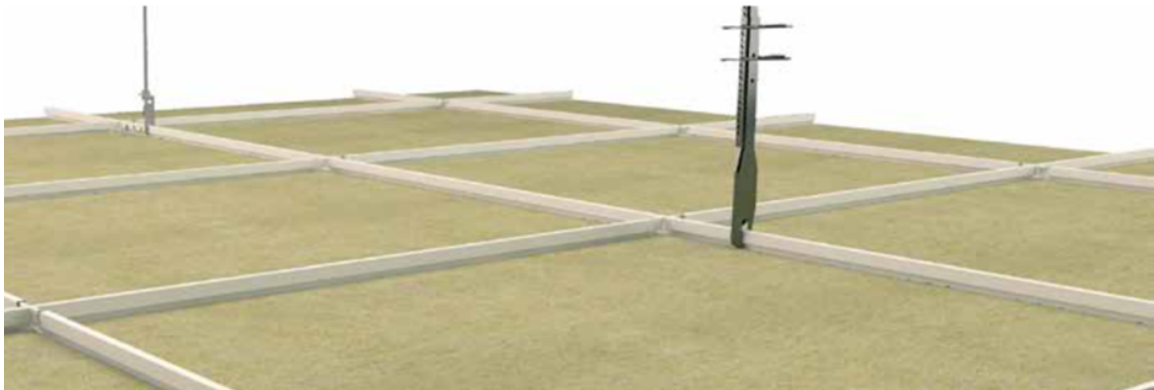


FIGURA 3.29: Perflería para techos acústicos anti humedad. Escuela Secundaria Manor New Tech. Fuente: [Rockfon \(2021\)](#)

3.5. Conclusiones del Capítulo 3

Teniendo como antecedente los paneles compuestos a base de fibra de totora, y su evaluación en cuanto a la mejora sustentable para su fabricación en masa y teniendo en cuenta la optimización del costo de fabricación y demás características; también se analizó los paneles de fibra de madera que posee características similares, sin embargo, se prioriza el uso de la totora porque es de más rápida producción y más fácil manipulación. A pesar de las bondades de estos productos de origen natural, aún no se ha masificado su producción, lo que lleva a la mayoría de constructores a optar por productos que se ofrecen actualmente en el mercado local o nacional.

La primera intención fue analizar referentes acordes al tema de investigación que posean dentro de sus materiales constructivos paneles compuestos fono absorbentes a base de fibras naturales, al no encontrarlos, se optó por elegir aquellos que habían dado una solución real al problema acústico que se presenta en centros pedagógicos, es así que fueron escogidos dos referentes destacados: a) Universidad del Nordeste de Boston, Estados Unidos, en este proyecto se utilizaron sistemas tecnológicos de aislamiento acústico para dar solución a los graves problemas de ruidos que tenían tanto en las paredes como en los techos de los espacios. Para los auditorios utilizan un sistema de sonido óptimo que se puede configurar en 90 segundos; en todo el conjunto, para las paredes se utilizó paneles absorbentes de sonido en el interior, que ayudan a mediar las reverberaciones acústicas gracias a sus cavidades de ladrillo en el exterior; en los pisos se instalaron losetas de vinilo, también se instaló un sistema que bloquea el sonido (silenciadores de retorno), mismos que quedan ocultos de la vista de los usuarios. Para las cubiertas también se instaló un sistema contra la lluvia, el cual consiste en paneles de hormigón, techos y chapas de zinc.; b) Escuela Secundaria Manor New Tech, en esta escuela se crearon soluciones acústicas modulares, mismas que facilitan la configuración de los espacios de acuerdo a las diversas necesidades de los usuarios. Entre los materiales utilizados para la mejora acústica, se escogieron, paneles de lana de roca para pisos, techos y paredes, se escogió diversos espesores y colores de los paneles dependiendo del porcentaje de acústica que necesita cada ambiente, esto con la finalidad de amortiguar los ruidos de impacto y absorber los ruidos producto de las conversaciones de las personas.

Cabe destacar que en ambos casos se dieron soluciones reales y concretas a los grandes problemas acústicos que se presentaban, utilizando materiales compuestos existentes en el mercado, sin embargo, dichos materiales suponen una huella ecológica mayor, puesto que el ciclo de vida de sus componente, generan mayor consumo energético para su elaboración y por ende mayor contaminación ambiental. Desde esta perspectiva, se justifica el análisis de estos dos referentes, dado que, han permitido realizar una comparación no sólo de las características acústicas y de resistencia de los materiales, sino también, han permitido hacer una comparación sostenible y sustentable ambientalmente, reflejando en el análisis que la opción más conveniente en este sentido, son los paneles a base de fibras naturales y en este caso los paneles compuestos de fibra de totora; razón por la cual se recomienda su uso para dar soluciones acústicas a espacios en edificaciones de diversos usos pero sobre todo a construcciones destinadas a usos pedagógicos, en los que debe primar un buen ambiente insonoro que contribuya a una mejor calidad del proceso enseñanza- aprendizaje.

Propuesta y caso de estudio

4.1. Diseño y elaboración paneles de aislamiento acústico

4.1.1. Obtención de la materia prima

La Totora (*Schoenoplectus Californicus*) (1) es una planta acuática perenne, crece en forma de matas espesas, su tamaño varío de 1.5m a 3.5m de altura, son rectos, lisos, de coloración verde, crecen en humedales de suelo fangoso, su estructura interior es porosa de similitud a una esponja convirtiéndola en un material muy liviano (Aponte, 2009). La extracción de la fibra Totora (*Schoenoplectus Californicus*) se la realiza durante la floración de la especie, la cual inicia a mediados de la época seca del año, esto debido a que durante esta etapa del calendario el agua de los humedales tiene un nivel bajo con respecto a la superficie lo cual provoca que la savia en el interior de la fibra descienda facilitando su extracción, su periodo de fructificación es cada 6 meses generando de esta manera su ciclo de crecimiento, en el Ecuador su crecimiento se da aproximadamente a 2000 metros sobre el nivel del mar, a temperaturas que varían entre 12°C y 16°C, donde las precipitaciones de lluvia abarcan 400 a 1200 milímetros anuales, su crecimiento se da en las provincias de la región sierra del Ecuador, en los lagos San Pablo, Laguna de Yahuarcocha, provincia de Imbabura, en la provincia de Cotopaxi se cultiva en parcelas y su riego se lo realiza por medio de ríos cercanos, Chimborazo presenta una particularidad la especie ha sido introducida en el lago Colta y el río Guano (Forman, 1977) consagrándose como las provincias donde la fibra presenta más cantidades el país. (Figura 4.1)

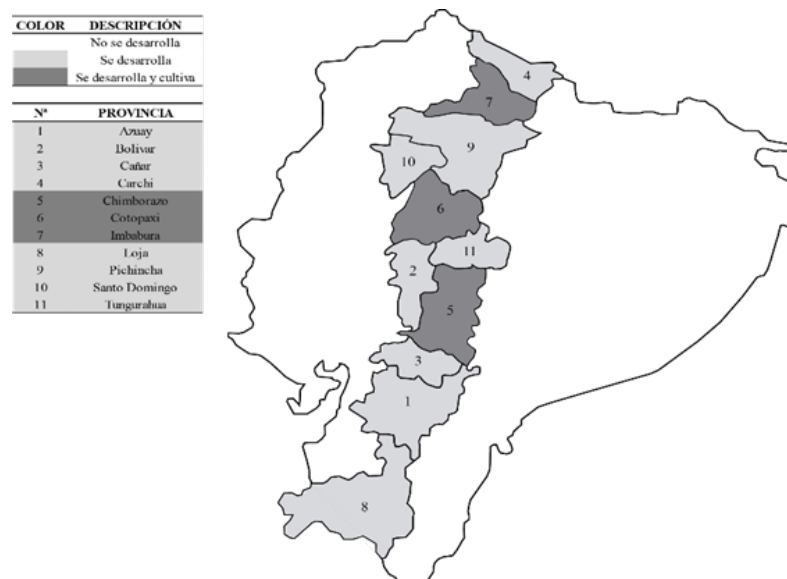


FIGURA 4.1: Mapa de Ecuador donde se cultiva y desarrolla fibra de Totora.

El corte se lo realiza con herramientas manuales de filo aserrado a una distancia de 20 cm desde el suelo con el fin de no dañar su tejido radicular, el material extraído es atado en grupos y pesados inmediatamente para registrar el peso inicial de los tallos frescos, cuya cantidad de agua contenida no ha sido alterada, tras la deshidratación paulatina natural, se almacena en un lugar seco y ventilado bajo sombra, durante aproximadamente 8 a 15 días hasta que la fibra haya transpirado su humedad hasta un 90 % (Hidalgo, 2007) moviéndolas para airearlas cada 2 días evitando la acumulación innecesaria de humedad por transpiración entre los juncos, previniendo la proliferación de hongos y bacterias responsables de la descomposición, en el Azuay la fibra crece en humedales ubicados en zonas montañosas como Girón alrededor de la laguna de Busa, Oña en Tres lagunas, Cubilán, Laguna Grande (Malla, 2022), en Cuenca se la encuentra en el parque nacional El Cajas sin embargo, existe una fuente de sustentabilidad de esta fibra que radica en los 5 humedales creados en Tarquí, los cuales abarcan un área de 255m² cada uno, con el cual por cada periodo de mantenimiento es capaz de obtenerse hasta 3.21 toneladas de fibra seca, luego del secado que varía entre 2 a 3 semanas dependiendo de las condiciones climáticas, se recorta la longitud de los tallos de totora para ser convertidos mediante la trituradora horizontal (2) en partículas (3) que varían en diámetro de 1 a 12mm, consiguiendo que la fibra sea fácilmente manipulable en el transcurso del proceso.



1) Totora

2) Trituradora horizontal

3) Partículas de totora

FIGURA 4.2: Recolección de materia prima.

4.1.2. Elaboración del aglomerante

El aglomerante utilizado para la unión de las fibras está conformado por cuatro componentes de origen natural, el primero harina de trigo (4) su cultivo se desarrolla en tres fases desde la siembra a la cosecha, tras la siembra empieza la elongación del tallo durante este tiempo se forman los brotes productivos y primarios la velocidad del desarrollo dependerá de las condiciones atmosféricas mientras más días soleados existan mejor será su crecimiento (Yare, 2010) esta fase crítica de la especie deberá ser acompañada de una alta demanda de nutrientes del suelo, tras 10 meses de crecimiento se extienden en su parte más alta granos llenos y maduros de trigo, tras ser cosechados los granos de trigo se almacenan en un lugar fresco y ventilado, el principal objetivo del secado es el disminuir el contenido de humedad, además de la disminución en el contenido de humedad el proceso de secado puede tener otras consecuencias sobre los granos, una de ellas es el aumento

del peso que se produce en todos los granos, por lo general este proceso se lo realiza de manera artificial en grandes máquinas de secado continuo a temperaturas superiores a los 60 C (Bartosik, 2014) tan solo el 15 % de la cosecha se destina a secado manual , solo los granos de trigo que alcancen durante el proceso de secado niveles de humedad por debajo del 14 % (Berhaut, 1989) además de no presentar fisuras serán procesados en la molienda, consiste en comprimir el tamaño del grano del trigo a través de molinos de tipo rodillo en donde se obtiene almidón de trigo que es un polvo producto de moler el tejido interno del trigo seco (UNAD, 2009) el grano debe ser limpiando y acondicionado apropiadamente el proceso se logra mediante zarandas y aspiradores (Brumovsky, 2011) el acondicionamiento consiste en secar la humedad restante del espodermo blando producto de la primera trituración en donde además se elimina el germen por medio de distintos tamizados, la segunda trituración consiste en reducir más el tamaño del endospermo por medio de rodillos planos, el producto es transportado por tolvas para luego ser tamizado separando el producto final de sus fracciones donde además se clasifica la sémolas dependiendo su tamaño y pureza, su purificación se encarga de eliminar el salvado y clasificar las sémolas mediante herramientas llamadas sasores maquinaria que limpia la sémola impura de la pura, una vez obtenida las sémolas más puras se las introduce en cilindros de compresión de las partículas hasta formar la harina fina (UNAD, 2009) su olor y sabor son neutros, aporta con propiedades espesantes adhesivas y absorbentes en el aglomerante.

El siguiente componente sacarosa la cual se obtiene de la caña de tallo (5) leñoso y lleno de tejido esponjoso dulce, luego de un largo proceso de cosecha, triturado, clarificación, evaporación, secado, solidificación, centrifugación y enfriamiento se obtiene finas granulometrías aptas para el consumo humano, aporta en conjunto con la harina de trigo la propiedad de aglutinamiento entre las fibras.

Por último bicarbonato de sodio obtenido del producto de las cenizas de determinadas plantas, se presenta en estado sólido conformando por diminutos cristales de color blanco completamente natural y biodegradable, este elemento presente en la historia de la humanidad desde civilizaciones como los antiguos egipcios quienes lo obtenían de la evaporación de agua salada y mezclaban carbonato de sodio con bicarbonato de sodio al cual llamaban natrón, para su utilización en distintas maneras como parte de su aseo personal, detergente para textiles, además formaba parte de numerosos ingredientes necesarios para el proceso de momificación (Castillo, 2001) ya en el siglo XIX su obtención se la realizaba de una manera más rápida y a escala industrial por medio de sal expuesta a hornos que no necesitaban altas temperaturas y amoniaco que podía ser reutilizado método propuesto por Ernest Solvay en 1861 y perfeccionado por Woode Richard en 1883, sus características lo convierten en un elemento único y polivalente al entrar en contacto con un líquido este se diluye y actúa como un regulador y estabilizador del pH cuando este es demasiado ácido, por este motivo se lo ha utilizado durante siglos, a manera de preservante, insecticida, detergente, eliminador de malos olores entre otros (Reynerio, 2001) de esta forma se justifica su uso en la propuesta sus propiedades en conjunto con la fibra evitaran la proliferación de microorganismos y malos olores. El último componente utilizado es agua (6) en estado líquido dado que todos los anteriores son solubles y permitirá dar fluidez a la mezcla (7) (Figura 82). El proceso de homogenización se realiza dentro de un recipiente de acero, se vierte el agua, se coloca en una hornilla a fuego lento durante 5 minutos,

realizado este proceso se vierte las dosis previamente pesadas de los componentes en primer lugar harina, se mezcla con una batidora hasta conseguir una consistencia viscosa, a continuación se vierte azúcar y bicarbonato de sodio, se mezcla todos los componentes durante 5 minutos hasta conseguir que cada uno de los componentes estén homogenizados, una vez completado el proceso se deja reposar el nuevo aglomerante por 15 minutos para en lo posterior ser utilizado.



FIGURA 4.3: Elaboración de aglomerante natural.

4.1.3. Dosificación de aglomerante natural

Tabla 4.1: Dosificaciones específicas del aglomerante.

AGLOMERANTE DOSIFICACIÓN (2 lt)	
Harina de trigo	1000 gr
Azúcar	500 gr
Bicarbonato de sodio	200 gr
Agua	2 lt

4.1.4. Conformación del panel base totora triturada.

La conformación del panel se la realiza por medio de encofrados de madera trípex de 15mm (8), cortadas en medidas de 50cm x 20cm, 20cm x 20 cm, recubiertos en su interior con cinta adhesiva transparente (9), compuesta de un soporte de polipropileno sin colorante, adhesivo de caucho sintético y resinas, su principal función es la de facilitar el desencofrado del panel, se utiliza tornillos galvanizados de 2" para ajustar el encofrado (10) en sus extremos con la finalidad de prevenir fugas durante el vertido de material, por medio de dosificaciones específicas se mezcla totora triturada en conjunto de aglomerante (11), se vierte la mezcla dentro de los moldes encofrados por capas de 5cm y se apisona mediante presión (12) hasta conseguir la medida del panel, se desencofra luego de 24 horas (13), hasta que el panel haya ganado consistencia, el proceso de secado se lo realiza al aire libre durante 72 horas en condiciones climáticas favorables, bajo sombra evitando la lluvia o la humedad en todo momento (14) .



8) Encofrados de madera triplex de 15mm

9) Cinta adhesiva transparente



10) Encofrado

FIGURA 4.4: Encofrado base para panel de totora.



11) Mezcla de totora triturada en conjunto de aglomerante



12) Se apisona mediante presión

FIGURA 4.5: Proceso de llenado.



13) Desencofrado luego de 24 horas





14) Secado se lo realiza al aire libre durante 72 horas

FIGURA 4.6: Proceso de desencofrado y secado.

4.1.5. Dosificación panel base totora triturada.

Tabla 4.2: Dosificaciones específicas.

PANEL DE TOTORA TRITURADA 20 cm x 50 cm x 2.5 cm (0.1m ²)						
MUESTRA	SECCIÓN	AGLOMERANTE DOSIFICACIÓN		DOSIFICACIÓN		ACABADO
		Harina de trigo	1000 gr	Totora triturada	2000 gr	Capa de totora triturada
		Azúcar	500 gr			
		Bicarbonato de sodio	200 gr	Aglomerante	2 lt	
		Agua	2 lt			

4.1.6. Conformación del panel compuesto acabado en cemento blanco

El proceso de conformación del panel compuesto acabado en cemento blanco (15), se da siguiendo la misma metodología previamente descrita para el panel base, a continuación se coloca dentro del molde creado, el panel base de totora triturada, cuidadosamente secado y curado de tal manera que sus componentes se adapten al proceso de fusión con los materiales restantes, malla de polietileno de baja densidad (LDPE) entre hilada a cada 3 mm (16) mediante proceso de extrusión este método se refiere a la transformación continua de materiales derivados del petróleo como los polímeros, estos se funden durante el proceso y forman una estructura tubular o plana con orificios, se la coloca sobre el panel base de totora triturada, esta malla aportara solidez y adhesión del material de acabado, sumado a las características físicas mecánicas que serán puestas a prueba durante ensayos en laboratorio, se vierte cemento blanco (17) a manera de capa final que se agregue al panel compuesto dentro del encofrado, se aplicara una capa de 1cm sobre la malla de polietileno de tal manera que en conjunto logren fusionarse y trabajar como un solo elemento, concluido el proceso se procede a el secado que se dará durante 72 horas al aire libre en condiciones climáticas favorables bajo sombra evitando exponerse a la lluvia para mejores resultados, transcurrido este tiempo se examina que el panel haya conseguido solides y se procede a desencofrar (18), tras extraer el panel del molde por medio de la utilización de lijas de agua granulometría #120 , #220, #400 (19), se procede a dar textura lisa al panel consiguiendo la mayor uniformidad posible en la superficie.



15) Instrumentos de dosificación



16) Malla polietileno entre hilada a cada 3 mm

17) Se vierte cemento



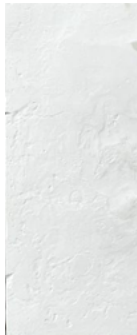
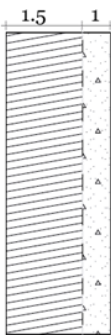
18) Desencofrado

19) Lijas de agua granulometría #120, #220, #400

FIGURA 4.7: Proceso de panel compuesto con cemento blanco.

4.1.7. Dosificación panel compuesto acabado en cemento blanco

Tabla 4.3: Dosificaciones específicas.

PANEL COMPUESTO DE TOTORA TRITURADA + CEMENTO BLANCO 20 cm x 50 cm x 2.5 cm (0.1m ²)						
MUESTRA	SECCIÓN	AGLOMERANTE DOSIFICACIÓN		DOSIFICACIÓN		ACABADO
		Harina de trigo	1000 gr	Totora triturada	2000 gr	Capa de cemento blanco
		Azúcar	500 gr	Aglomerante	2 lt	
		Bicarbonato de sodio	200 gr	Cemento	350 gr	
		Agua	2 lt	Agua	0.2 lt	
				Malla de polietileno	0.1 m ²	

4.1.8. Conformación del panel compuesto acabado en tallo de totora

El proceso de conformación del panel compuesto acabado en tallo de totora, se da por medio de la misma metodología previamente descrita para el panel base, se coloca dentro del molde el panel base de totora triturada previamente creado (20), cuidadosamente secado y curado de tal manera que sus componentes se adapten al proceso de fusión con los materiales restantes, se coloca sobre el panel la malla de polietileno de baja densidad (LDPE) entre hilada a cada 3 mm, esta malla aportara solidez y adhesión del material de acabado, a continuación se crea encofrados similares a los utilizados anteriormente con dimensiones de 10 cm x 10 cm donde se colocara a manera de presión uno sobre otro la cantidad suficiente de tallos de totora para ocupar todo el espacio dentro del encofrado, concluido este proceso se perfilara un extremo de tal manera que la superficie quede lisa, sobre la superficie perfilada se procede a colocar acetato polivinilo conocido comúnmente como cola blanca, se deja secar la superficie por 24 horas al aire libre, transcurrido este tiempo se comprueba que la superficie de fibra de totora este rígida, luego se procede al corte de la fibra por medio de la sierra ingletadora (21), con cuchilla 10 pulgadas, la sierra será ubicada a 90 grados consiguiendo un corte recto preciso, el espesor de la fibra a ser cortada es de 1cm, tras conseguir la superficie necesaria para adaptar al panel se la coloca dentro del encofrado (22) en conjunto con los materiales previamente mencionados y se los une con acetato de polivinilo (goma blanca) tras el proceso se deja secar por 24 horas (23) en condiciones medioambientales favorables y en lo posterior se procede a desencofrar el panel compuesto, las propuestas serán sometidas a pruebas de laboratorio con la finalidad de conocer sus propiedades en el ámbito mecánico y acústico.



20) Base de totora triturada

21) Sierra ingletadora 10"




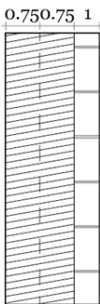
22) Encofrado

23) Proceso de secado por 24 horas

FIGURA 4.8: Elaboración de acabado en totora entera.

4.1.9. Dosificación panel compuesto acabado en tallo de totora.

Tabla 4.4: Dosificaciones específicas.

PANEL COMPUESTO DE TOTORA TRITURADA + TALLO DE TOTORA 20 cm x 50 cm x 2.5 cm (0.1m ²)					
MUESTRA	SECCIÓN	AGLOMERANTE DOSIFICACIÓN		DOSIFICACIÓN	ACABADO
		Harina de trigo	1000 gr	Totora triturada	2000 gr
		Azúcar	500 gr	Aglomerante	2 lt
		Bicarbonato de sodio	200 gr	Tallo de totora	40gr
		Agua	2 lt	Acetato de polivinilo	0.01 lt
				Malla de polietileno	0.1 m ²
					Capa de tallo de totora

4.2. Ensayos de caracterización

Los ensayos de caracterización aplicados a las distintas muestras de paneles servirán para conocer los atributos y características que tiene el material propuesto, basados en normas ASTM, ISO, INEN, se procede a elaborar pruebas físico, mecánicas y acústicas obteniendo los siguientes resultados.

4.2.1. Ensayo a la compresión

El ensayo para la prueba de compresión paralela, está fundamentado según la norma ASTM 1037-99 para ensayos sobre “La evaluación de propiedades en elementos a base de fibras naturales o madera” consiste en someter a la muestra experimental, a una carga continua de compresión paralela a la superficie en muestras secas con ello se determinará si el material tiene propiedades direccionales, los especímenes de ensayo deben estar detalladamente aserrados con superficies lisas y planos en ángulo recto (ASTM 1037-99). Las dimensiones de la probeta según lo estipulado en la norma para la evaluación de materiales en base de fibras de madera o naturales, deben ser de 5cm largo x 5 cm ancho x 5cm alto, el ensayo se realizará sobre 3 probetas (24) por cada una de las propuestas contenidas en este estudio y corresponderá a las muestras de 21 días de creación.




FIGURA 4.9: Ensayo de compresión probetas y equipo utilizado.

Los datos que se obtienen del ensayo a la compresión incluyen el límite de elasticidad, la curva de esfuerzo y deformación, y la resistencia a la compresión, para los ensayos a la compresión se utiliza la prensa CBR (25) serie 090117141010402062 con capacidad de 110 Tn, antes de comenzar la prueba se nivela los platos metálicos o apoyos donde se situaran las muestras los mismos que deberán ser de igual o mayor tamaño, posteriormente se cuantificara y proporcionara la carga máxima que soporta la probeta aplicada antes de la fractura del elemento, el procedimiento se repetirá sobre las tres muestras con la finalidad de promediar los resultados obtenidos, antes de proceder con el ensayo se pesan y miden las muestras con el objetivo de encontrar la superficie de contacto por medio de la fórmula del área de un cuadrado $A = l^2$. Luego de obtener los datos preliminares de cada una de las probetas, se procede con el montaje en la prensa CBR, la fuerza ejercida por la misma será dada en (Kg.f), el dial será monitorizado durante cada prueba para efectuar en lo posterior las gráficas y cálculos correspondientes.

4.2.2. Ensayo de compresión muestras de Totora Triturada

Tabla 4.5: Dosificaciones específicas para ensayo de compresión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA						
MUESTRA	DIMENSIÓN			DOSIFICACIÓN	ACABADO	
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)			
	1	5	5	Totora triturada 50 gr	Capa de totora triturada	
	2	5	5			
	3	5	5	Aglomerante 0.2 lt		

Efectuada la prueba en cada una de las probetas conformadas en este grupo por totora triturada (Tabla 4.6), los resultados obtenidos identifican a la probeta P3. Presenta mayor resistencia a la carga aplicada con 1161,5 Kg. f, a su vez se identifica a la probeta P1 como la muestra que menos resistencia a la carga aplicada demuestra con 1044,9 Kg. f.

Tabla 4.6: Esfuerzo de deformación máxima.

PANEL DE TOTORA TRITURADA			
MUESTRA	TIEMPO (Seg)	FUERZA MÁX (Kg.f)	DESPLAZAMIENTO (mm)
1 (21 días)	18	1044.9	4.71
2 (21 días)	23	1096.7	6.10
3 (21 días)	29	1161.5	7.62

Luego de encontrar el esfuerzo máximo en cada una de las probetas es necesario la aplicación de una fórmula para determinar la resistencia a la compresión (kN) de las muestras.

$$P = \frac{F}{A}$$

En donde:

P= Resistencia a la compresión

F= Fuerza máxima

A= Área cuadrangular

La fórmula consiste en realizar la operación para determinar la resistencia a la compresión de cada uno de las probetas analizadas, a través de ella se identifica los siguientes resultados, la probeta P1 es la que menor resistencia a la compresión presenta 41,8 Kg/cm², dentro de este grupo la probeta P3 presenta la mayor resistencia a la compresión con una carga de 46,5 Kg/cm². (Tabla 4.7)

Las mediciones obtenidas abarcan cierto grado de similitud por lo cual se procede a promediar los resultados con la finalidad de obtener un valor unificado para los paneles de totora triturada con lo cual se determina el valor de 44,15 kg/cm².

Tabla 4.7: Resistencia máxima a la compresión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA			
MUESTRA	FUERZA MÁX (Kg.f)	ÁREA PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
1 (21 días)	1044.9	25	41.8
2 (21 días)	1096.7	25	43.9
3 (21 días)	1161.5	25	46.5




FIGURA 4.10: Ensayo de compresión probeta de Totora triturada (P3).

En el ensayo de compresión realizado a las muestras de totora triturada se determina que el panel es capaz de soportar niveles estándar de resistencia a la compresión que se encuentran dentro de los índices de referencia para materiales a base de partículas o fibras naturales, dentro de las particularidades encontradas a raíz de la prueba se observa que el material presenta deformación en sentido vertical sobre las superficies donde fueron aplicadas las fuerzas, por lo cual se denota ensanchamiento en las caras laterales del elemento, sin embargo no presenta fisuras, ni desprendimientos de componentes en sus caras, lo cual lo convierte en un material sólido en el ámbito de cualidades físicas mecánicas.

4.2.3. Ensayo de compresión muestras de panel compuesto de Totorá Triturada + malla polietileno + cemento blanco

Tabla 4.8: Dosificaciones específicas para ensayo de compresión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + CEMENTO BLANCO							
MUESTRA	DIMENSIÓN			DOSIFICACIÓN	ACABADO		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)				
	1	5	5	Totorá triturada	40 gr	Capa de cemento blanco	
	2	5	5	Cemento + Agua	40 gr		
	3	5	5	Aglomerante	0.2 lt		
				Malla de polietileno	0.002 m ²		

Efectuada la prueba en cada una de las probetas, conformadas en este grupo por panel compuesto de totora triturada + malla polietileno + cemento blanco (Tabla 4.9), los resultados obtenidos proyectan a la probeta P3. Como la que mayor resistencia a la carga aplicada presenta con 1200,3 Kg. f, a su vez se identifica a la probeta P1. como la muestra que menos resistencia a la carga aplicada demuestra con 1032,0 Kg. f.

Tabla 4.9: Esfuerzo de deformación máxima.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + CEMENTO BLANCO			
MUESTRA	TIEMPO (Seg)	FUERZA MÁX (Kg.f)	DESPLAZAMIENTO (mm)
1 (21 días)	20	1032.0	6.8
2 (21 días)	25	1174.4	7.2
3 (21 días)	30	1200.3	8.1

Luego de encontrar el esfuerzo máximo en cada una de las probetas es necesario la aplicación de una fórmula para determinar la resistencia a la compresión (kN) de las muestras.

$$P = \frac{F}{A}$$

En donde:

P= Resistencia a la compresión

F= Fuerza máxima

A= Área cuadrangular

La fórmula consiste en realizar la operación para determinar la resistencia a la compresión de cada uno de las probetas analizadas, a través de ella se identifica los siguientes resultados, la probeta P1. es la que menor resistencia a la compresión presenta $41,3 \text{ Kg/cm}^2$, dentro de este grupo la probeta P3. presenta la mayor resistencia a la compresión con una carga de $48,0 \text{ Kg/cm}^2$. (Tabla 4.10). Las mediciones obtenidas abarcan cierto grado de similitud por lo cual se procede a promediar los resultados con la finalidad de obtener un valor unificado para los paneles compuestos de totora triturada + malla polietileno + cemento blanco, con lo cual se determina el valor de $44,65 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 4.10: Resistencia máxima a la compresión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + CEMENTO BLANCO			
MUESTRA	FUERZA MÁX (Kg.f)	ÁREA PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
1 (21 días)	1032.0	25	41.3
2 (21 días)	1174.4	25	47.0
3 (21 días)	1200.3	25	48.0



FIGURA 4.11: Ensayo de compresión probeta de Totora triturada + tallo de Totora (P2).

En el ensayo de compresión realizado a las muestras de panel compuesto de totora triturada + malla polietileno + cemento blanco se determina que el panel es capaz de soportar niveles estándar de resistencia a la compresión que se encuentran dentro de los índices de referencia para materiales a base de partículas o fibras naturales, dentro de las particularidades encontradas durante la prueba se observa que el material presenta deformación en sentido vertical sobre la superficies donde fueron aplicadas las fuerzas, por lo cual se denota ensanchamiento en las caras laterales del elemento, existe leve desprendimiento de la capa de acabado de cemento blanco sobre todo en las esquinas laterales, sin embargo no presenta fisuramiento en ninguna de sus caras, como resultado un material solido en el ámbito de cualidades físicas mecánicas.

4.2.4. Ensayo de compresión muestras de panel compuesto de Totora Triturada + malla polietileno + tallo de totora

Tabla 4.11: Dosificaciones específicas para ensayo de compresión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + TALLO DE TOTORA							
MUESTRA	DIMENSIÓN			DOSIFICACIÓN	ACABADO		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)				
	1	5	5	5	Totora triturada	40 gr	Capa de tallo totora
	2	5	5	5	Tallo de totora	0.5 gr	
	3	5	5	5	Aglomerante	0.2 lt	
					Malla de polietileno	0.002 m ²	

Efectuada la prueba en cada una de las probetas conformadas en este grupo por panel compuesto de totora triturada + malla polietileno + tallo de totora (Tabla 4.12), los resultados obtenidos identifican a la probeta P3. Presenta mayor resistencia a la carga aplicada con 1148,5 Kg. f, a su vez se identifica a la probeta P1. como la muestra que menos resistencia a la carga aplicada demuestra con 1019,0 Kg. f.

Tabla 4.12: Esfuerzo deformación máxima.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + TALLO DE TOTORA			
MUESTRA	TIEMPO (Seg)	FUERZA MÁX (Kg.f)	DESPLAZAMIENTO (mm)
1 (21 días)	19	1019.0	4.71
2 (21 días)	25	1109.7	5.60
3 (21 días)	36	1148.5	6.60

Luego de encontrar el esfuerzo máximo en cada una de las probetas es necesario la aplicación de una fórmula para determinar la resistencia a la compresión (kN) de las muestras.

$$P = \frac{F}{A}$$

En donde:

P= Resistencia a la compresión

F= Fuerza máxima

A= Área cuadrangular

La fórmula consiste en realizar la operación para determinar la resistencia a la compresión de cada uno de las probetas analizadas, a través de ella se identifica los siguientes resultados, la probeta P1. es la que menor resistencia a la compresión presenta 40,80 Kg/cm², dentro de este grupo la probeta P3. presenta la mayor resistencia a la compresión con una carga de 45,90 Kg/cm². (Tabla 4.13.)

Las mediciones obtenidas abarcan cierto grado de similitud por lo cual se procede a promediar los resultados con la finalidad de obtener un valor unificado para los paneles compuestos de totora triturada + malla polietileno + tallo de totora, con lo cual se determina el valor de 43,35 kg/cm².

Tabla 4.13: Resistencia máxima a la compresión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + TALLO DE TOTORA			
MUESTRA	FUERZA MÁX (Kg.f)	ÁREA PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
1 (21días)	1019.0	25	40.80
2 (21 días)	1109.7	25	44.39
3 (21 días)	1148.5	25	45.90



FIGURA 4.12: Ensayo de compresión probeta de Totora triturada + cemento blanco (P3).

Transcurrido el ensayo de compresión realizado a las muestras de panel compuesto de totora triturada + malla polietileno + tallo de totora se determina que el panel es capaz de soportar niveles estándar de resistencia a la compresión que se encuentran dentro de los índices de referencia para materiales a base de partículas o fibras naturales, dentro de las particularidades encontradas durante la prueba se observa que el material presenta leve deformación en sentido vertical sobre las superficies donde fueron aplicadas las fuerzas, se observa un esponjamiento sobre la misma, debido a las propiedades que presenta el tallo de totora en cuanto a porosidad con lo cual el elemento trata de recuperar su estado normal

luego de la prueba, de tal manera que los tallos de totora actúan como amortiguamiento a las fuerzas aplicadas durante el ensayo, no se observa deformación sobre la probeta en ningún sentido, no existe desprendimiento de la capa de acabado, ni de sus componentes, no presenta fisuramiento en ninguna de sus caras, como resultado se obtiene un material sólido y retráctil en el ámbito de cualidades físicas mecánicas.

4.2.5. Análisis de resultados finales al ensayo de compresión en los grupos de materiales propuestos.

Tabla 4.14: Probetas con los mejores resultados a los ensayos de compresión.

PROBETAS	UNIDAD (cm)			PESO (gr)	LECTURA	CARGA (Kg.f)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	RESISTENCIA Kg/cm ²	DENSIDAD Kg/cm ³
	L	A	H							
Totora triturada	5	5	5	74	445	1161.5	25	125.00	46.5	592.00
Totora triturada + Tallo de totora	5	5	5	78.1	440	1148.5	25	125.00	45.9	624.80
Totora triturada + Cemento blanco	5	5	5	79	460	1200.3	25	125.00	48.0	632.00

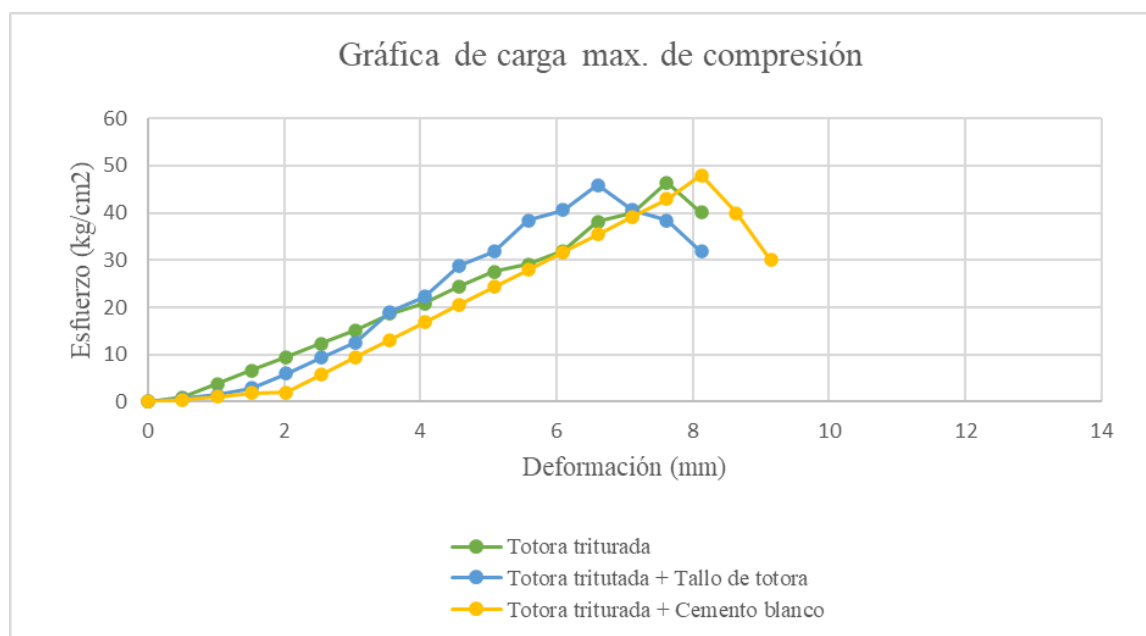


FIGURA 4.13: Ensayo de compresión probeta de Totora triturada + cemento blanco (P3).

En los ensayos de compresión efectuados sobre los grupos de materiales propuestos se observa las siguientes particularidades la propuesta que mejor comportamiento demostró al ensayo está situada en el grupo compuesto por totora triturada + malla polietileno + cemento blanco, su resistencia a la compresión supero a las demás propuestas con

un valor de $48,0 \text{ kg/cm}^2$, sin embargo, según lo estipulado en la normativa NEC-SE-MD Tableros de Madera no estructurales, establece que la resistencia mínima para el ensayo es de 20 kg/cm^2 (Anexo 5) las propuestas cumplen con la resistencia mínima requerida dentro de la categoría de elementos o tableros de partículas bajos en densidad.

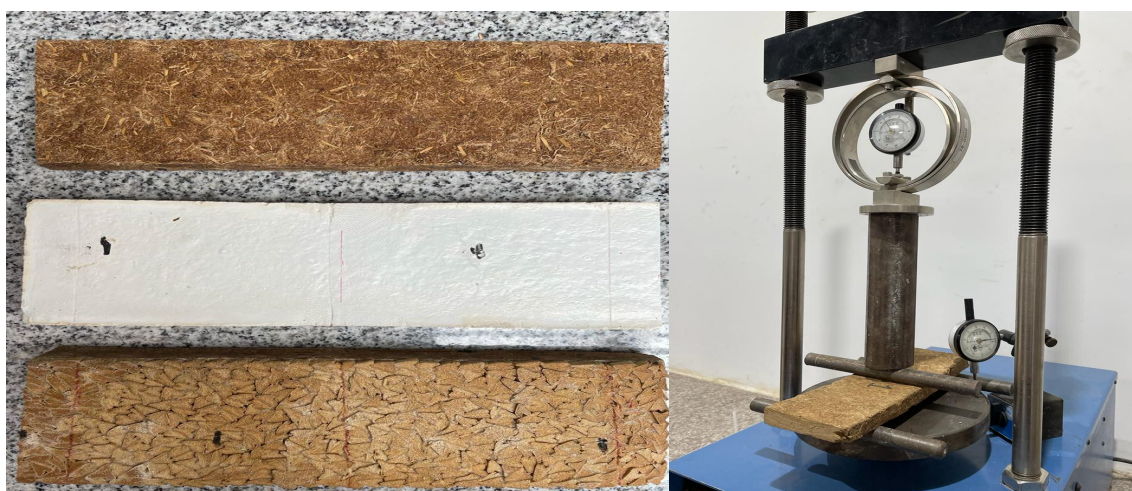
4.3. Ensayo a la flexión

El ensayo de rotura por flexión se realiza según la Norma ASTM 1037-12 “Métodos de prueba estándar para la evaluación de propiedades de la madera-fibra base y paneles con materiales de partículas de fibra”, este método de ensayo consiste en medir la fuerza requerida para doblar o romper un material sometido a flexión mecánica de tres puntos a una velocidad constante.

4.4. Proceso de ensayo

La norma ASTM 1037-12 especifica que se requerirá al menos tres probetas por cada uno de los materiales propuestos, regulados a la medida de 8cm ancho x 25 cm de largo x 2.5cm espesor (26), el ensayo se realizara en la prensa modelo CBR (27) con capacidad de 110 Tn con anillo de carga, en conjunto se utilizara un deformímetro para la toma de datos que serán validados en lo posterior.

Se inicia la prueba con la preparación de las probetas, de esta forma se realiza el cálculo entre apoyos, lo cual consiste en encontrar la distancia en donde se colocará los apoyos metálicos para ejercer presión, según lo mencionado en la norma, se establece que cada barra será colocada a 2cm de distancia de sus extremos, la longitud restante se convierte en el largo total (L) el cual se dividirá (L/2) donde se determinará el punto central en donde se colocará la carga puntual (P).



26) Probetas con medida de 8cm A x 25 cm de L x 2.5cm E


27) Prensa CBR

FIGURA 4.14: Probetas (P1, P2, P3) y equipo para el ensayo.

Luego de la preparación de cada probeta se da inicio al ensayo con la toma de datos y la aplicación de carga en los puntos marcados, este proceso se da hasta que la probeta experimental sufra una rotura y la curva de esfuerzo de formación comience con el descenso, encontrando así el módulo de rotura, se obtendrá la base de datos de la deformación cada 10 segundos y consigo la carga ejercida en ese momento sobre el elemento experimental.

4.5. Ensayo a la flexión probetas compuestas de totora triturada.

Tabla 4.15: Dosificaciones específicas para ensayo de flexión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA							
MUESTRA	DIMENSIÓN			DOSIFICACIÓN	ACABADO		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)				
	1	25	8	2.5	Totora triturada	200 gr	Capa de totora triturada
	2	25	8	2.5	Aglomerante	0.5 lt	
	3	25	8	2.5			

La fórmula que se aplicara es la siguiente:

$$Y = 2.5886 \cdot X + 9.0561$$

En donde:

X= Lectura dial

Y= Carga

El método de obtención de la carga se lo realiza por medio de fórmulas preestablecidas en tablas estándar, mediante este proceso se obtendrá el resultado de la carga ejercida, la carga puntual, y la fuerza datos con los cuales se podrá obtener el módulo de rotura.

Tabla 4.16: Carga máxima a la flexión soportada por las probetas. Fuente y Elaboración: Autores

PANEL DE TOTORA TRITURADA			
PROBETAS	DEFORMIMETRO (mm)	LECTURA	CARGA (kg.f)
1	3.56	16	50.6
2	4.57	18	55.8
3	5.59	19	58.4

Se observa en los resultados preliminares que la probeta P1 y P2 presentan una lectura y carga de 50,6 Kg. f, 55,8 Kg. f, respectivamente, sin embargo, la que mejor comportamiento presenta a la aplicación de carga es la probeta P3 con una carga máxima de 58,4 kg. f.

Los datos de la carga (P) serán utilizados para determinar la flexión máxima en el punto interno de la probeta, para ello se aplicará la siguiente formula:

$$\delta = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

En donde:

δ = tensión en las fibras externas en el punto medio

P= carga máxima

L= espacio de apoyo

b= ancho de la viga probada

d = profundidad de la viga

Se calcula el módulo de rotura, de esta manera se obtiene que la probeta P3 es la que mejor se comporta en el ensayo con un valor máximo de 36,79 kg/cm².

Tabla 4.17: Cálculo del módulo de rotura a flexión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA						
PROBETAS	UNIDAD (cm)			LECTURA	CARGA (kg.f)	MÓDULO DE ROTURA Kg/cm ²
	LARGO	ANCHO	ALTURA			
1	25	8	2.5	16	50.6	31.90
2	25	8	2.5	18	55.8	35.16
3	25	8	2.5	19	58.4	36.79




FIGURA 4.15: Ensayo de flexión (P1).

En el ensayo a la flexión realizado al grupo de muestras de panel compuesto de totora triturada (31), se determina que el panel es capaz de soportar niveles estándar en cuanto al valor del módulo de rotura a la vez que se encuentran dentro de los índices de referencia para materiales a base de partículas o fibras naturales, que requiere un mínimo de 30 kg/cm² para tableros con densidad baja (LD) dentro de las particularidades encontradas durante la prueba se observa que el material presento una rotura total promedio en su punto de carga a los 35,98 kg/cm².

4.6. Ensayo a la flexión probetas compuestas de totora triturada + cemento blanco

Tabla 4.18: Dosificaciones específicas para ensayo de flexión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + CEMENTO BLANCO							
MUESTRA	DIMENSIÓN			DOSIFICACIÓN			ACABADO
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)				
	1	25	5	2.5	Totora triturada	150 gr	Capa de cemento blanco
	2	25	5	2.5	Cemento + Agua	150 gr	
	3	25	5	2.5	Aglomerante	0.5 lt	
					Malla de polietileno	0.01 m ²	

La fórmula que se aplicara es la siguiente:

$$Y = 2.5886 \cdot X + 9.0561$$

En donde:

X= Lectura dial

Y= Carga

El método de obtención de la carga se lo realiza por medio de fórmulas preestablecidas en tablas estándar, mediante este proceso se obtendrá el resultado de la carga ejercida, la carga puntual y la fuerza datos con los cuales se podrá obtener el módulo de rotura.

Tabla 4.19: Carga máxima a la flexión soportada por las probetas.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + CEMENTO BLANCO				
PROBETAS	DEFORMIMETRO (mm)	LECTURA	CARGA (kg.f)	
1	50	19	58.4	
2	60	20	61.0	
3	6.1	21	63.6	

Se observa en los resultados preliminares que la probeta P1 y P2 presentan una lectura y carga de 58,4 Kg. f, 61,0 Kg. f, respectivamente, sin embargo, la que mejor comportamiento presenta a la aplicación de carga es la probeta P3 con una carga máxima de 63,6 kg. f.

Los datos de la carga (P) serán utilizados para determinar la flexión máxima en el punto interno de la probeta, para ello se aplicará la siguiente formula:

$$\delta = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

En donde:

δ = tensión en las fibras externas en el punto medio

P= carga máxima

L= espacio de apoyo

b= ancho de la viga probada

d = profundidad de la viga

Se calcula el módulo de rotura, de esta manera se obtiene que la probeta P3 es la que mejor se comporta en el ensayo con un valor máximo de 40,06 kg/cm².

Tabla 4.20: Cálculo del módulo de rotura a flexión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + CEMENTO BLANCO						
PROBETAS	UNIDAD (cm)			LECTURA	CARGA (kg.f)	MÓDULO DE ROTURA Kg/cm ²
	LARGO	ANCHO	ALTURA			
1	25	8	2.5	19	58.4	36.79
2	25	8	2.5	20	61.0	38.43
3	25	8	2.5	21	63.6	40.06




FIGURA 4.16: Ensayo de flexión (P2)

En el ensayo a la flexión realizado al grupo de muestras de panel compuesto de totora triturada más cemento blanco, se determina que el panel es capaz de soportar niveles estándar en cuanto al valor del módulo de rotura a la vez que se encuentran dentro de los índices de referencia para materiales a base de partículas o fibras naturales, que requiere un mínimo de 30 kg/cm² para tableros con densidad baja (LD) dentro de las particularidades encontradas durante la prueba se observa que el material presento una rotura total promedio en su punto de carga a los 39,25 kg/cm².

4.7. Ensayo a la flexión probetas compuestas de totora triturada + cemento blanco

Tabla 4.21: Dosificaciones específicas para ensayo de flexión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + TALLO DE TOTORA							
MUESTRA	DIMENSIÓN			DOSIFICACIÓN	ACABADO		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)				
 25 cm	1	25	5	2.5	Totora triturada	150 gr	Capa de tallo totora
	2	25	5	2.5	Tallo de totora	50 gr	
	3	25	5	2.5	Aglomerante	0.5 lt	
					Malla de polietileno	0.01 m ²	

La fórmula que se aplicara es la siguiente:

$$Y = 2.5886 \cdot X + 9.0561$$

En donde:

X= Lectura dial

Y= Carga

El método de obtención de la carga se lo realiza por medio de fórmulas preestablecidas en tablas estándar, mediante este proceso se obtendrá el resultado de la carga ejercida, la carga puntual, y la fuerza datos con los cuales se podrá obtener el módulo de rotura.

Tabla 4.22: Carga máxima a la flexión soportada por las probetas.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + TALLO DE TOTORA			
PROBETAS	DEFORMIMETRO (mm)	LECTURA	CARGA (kg.f)
1	6.1	18	55.8
2	6.6	20	61.0
3	7.62	22	66.2

Se observa en los resultados preliminares que la probeta P1 y P2 presentan una lectura y carga de 55,8 Kg. f, 61,0 Kg. f, respectivamente, sin embargo, la que mejor comportamiento presenta a la aplicación de carga es la probeta P3 con una carga máxima de 66,2 kg. f.

Los datos de la carga (P) serán utilizados para determinar la flexión máxima en el punto interno de la probeta, para ello se aplicará la siguiente formula:

$$\delta = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

En donde:

δ = tensión en las fibras externas en el punto medio

P= carga máxima

L= espacio de apoyo

b= ancho de la viga probada

d = profundidad de la viga

Se calcula el módulo de rotura, de esta manera se obtiene que la probeta P3 es la que mejor se comporta en el ensayo con un valor máximo de 41,69 kg/cm².

Tabla 4.23: Cálculo del módulo de rotura a flexión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + TALLO DE TOTORA						
PROBETAS	UNIDAD (cm)			LECTURA	CARGA (kg.f)	MÓDULO DE ROTURA Kg/cm ²
	LARGO	ANCHO	ALTURA			
1	25	8	2.5	18	55.8	35.16
2	25	8	2.5	20	61.0	38.43
3	25	8	2.5	22	66.2	41.69



FIGURA 4.17: Ensayo de flexión (P3)

En el ensayo a la flexión realizado al grupo de muestras de panel compuesto de totora triturada + tallo de totora + malla polietileno, se determina que el panel es capaz de soportar niveles estándar en cuanto al valor del módulo de rotura a la vez que se encuentran dentro de los índices de referencia para materiales a base de partículas o fibras naturales, que requiere un mínimo de 30 kg/cm² para tableros con densidad baja (LD) dentro de las particularidades encontradas durante la prueba se observa que el material no presenta rotura, sin embargo existe una leve deformación a lo largo de la probeta, se observó que

la capa de tallo de totora actúa como esponja, amortiguando la fuerza aplicada sobre la probeta, finalmente se calculó un promedio en su punto de carga a los 40,06 kg/cm².

4.8. Análisis final de ensayos a la flexión en los grupos de materiales propuestos

Tabla 4.24: Probetas con los mejores resultados a los ensayos de flexión.

PANEL DE TOTORA TRITURADA						
PROBETAS	UNIDAD (cm)			LECTURA	CARGA (kg.f)	MÓDULO DE ROTURA Kg/cm ²
	LARGO	ANCHO	ALTURA			
Totora triturada	25	8	2.5	19	58.4	36.79
Totora triturada + Tallo de totora	25	8	2.5	22	66.2	41.69
Totora triturada + Cemento blanco	25	8	2.5	21	63.6	40.06

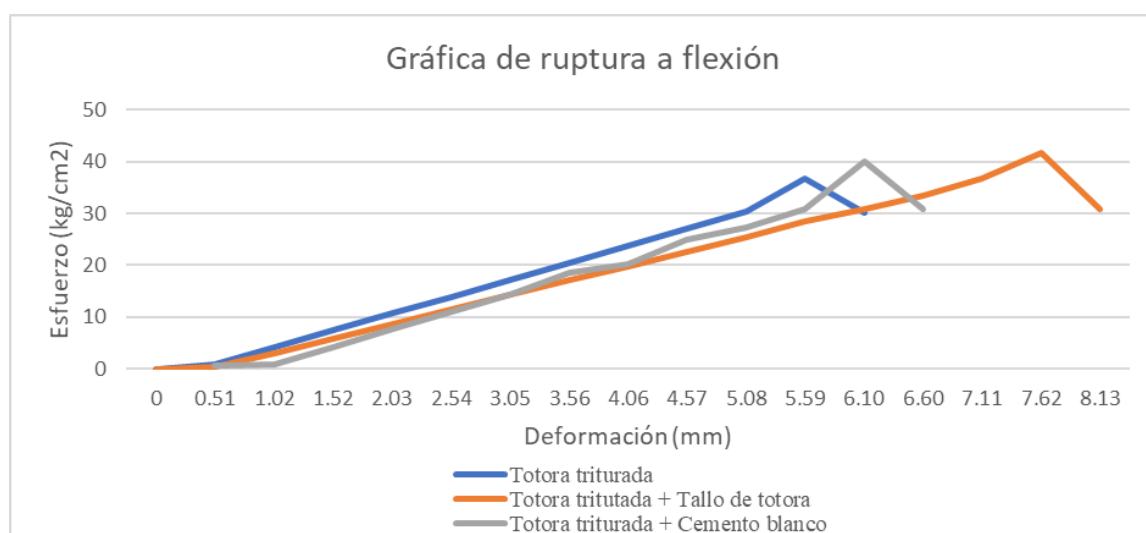


FIGURA 4.18: Carga máxima de ruptura en ensayo de flexión.

Los resultados obtenidos en los ensayos a la flexión de los materiales propuestos, determinan al panel compuesto por totora triturada, malla de polietileno y tallo entero, como el mejor en cuanto a límite elástico se refiere soportando una carga de 66,2 kg. f, en el mayor tiempo de aplicación de fuerza, mostrando una deformación a lo largo de la probeta, antes de llegar a su ruptura, con un límite de resistencia a la flexión o módulo de rotura de 41,69 kg/cm². (Ver Tabla 4.24, Figura 4.18)

4.9. Ensayo para la determinación del coeficiente de absorción sonora

El ensayo para la determinación del coeficiente de absorción sonora está fundamentado en el estándar UNE-EN-ISO 10534-2 Determinación de Coeficiente de Absorción Acústica en tubos de impedancia por el método de la función de transferencia. El procedimiento permite obtener el coeficiente de absorción sonora en bandas de tercio de octava entre 100 y 5000 Hz. Sin embargo, debido a las dimensiones del tubo de impedancia, los resultados entre 100 y 400 presentan mayor incertidumbre. La calibración del sistema de medida se realizó de acuerdo con el procedimiento definido por el fabricante, utilizando una muestra anecoica de 5 mm de espesor. El coeficiente de absorción sonora se lo puede definir como la relación entre la energía absorbida y la energía incidente por unidad de superficie que ocupa el material, el coeficiente de absorción de un material siempre estará representado por valores entre 0 y 1, un valor cercano a 1 indicara que la muestra analizada es muy absorbente, por el contrario si el valor es cercano a 0 será muy poco absorbente, se realizaron 3 mediciones o repeticiones para cada una de las muestras, los resultados indican el promedio y la desviación estándar para cada frecuencia central en bandas de tercio de octavas.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayos acústicos de la Universidad de Las Américas bajo condiciones controladas de temperatura (18 °C) y humedad relativa (50 %). El equipamiento utilizado para el ensayo fue un Tubo de impedancia Spectronics, modelo ACUPRO 4, calibrado por medio de una esponja de poliuretano de 5mm de espesor (Figura 99) El equipo consiste de un tubo de metal sellado al vacío, dividido en dos partes, en uno de sus extremos se encuentra el altavoz JBL 2426H conectado al amplificador PYLE – PTA2, en conjunto su función es la de emitir sonidos de diferentes frecuencias, a continuación se ubican dos micrófonos de alta precisión, estos a su vez se encuentran conectados al interfaz de transferencia de información DT9837A, el cual se encuentra conectado mediante conexión USB al CPU en donde está instalado el software ACUPRO, su función está enfocada en la medición de los valores del coeficiente de absorción y la determinación de los resultados del ensayo, en el otro extremo se coloca la muestra a ser analizada, para ser asegurada de forma continua en el tubo de impedancia por medio de tornillos roscados, al final del tubo para este ensayo se coloca una carga rígida o reflectora. El ensayo es realizado con la configuración de dos micrófonos, basado en el método de función de transferencia mediante la combinación de frecuencias desde 100 hasta 5000Hz, según los estándares ISO 10534-2, las presiones sonoras se miden al mismo tiempo en dos posiciones fijas y se calcula la función de transferencia entre ellas, el coeficiente de reflexión viene dado por la ecuación:

$$r = \frac{H_1^2 - H_1}{H_R - H_1^2} \cdot e^{2ik_0x_1}$$

Donde:

H_1^2 = Mediciones de función de transferencia entre las posiciones fijas de los micrófonos

H_I = Función de transferencia para la onda de incidencia

H_R = Función de transferencia de la onda reflejada

k_0 = Números de onda

x_1 = Distancia entre la parte superior de la superficie de la muestra y la posición del micrófono 1

De esta manera el coeficiente de absorción de incidencia normal se obtiene con la ecuación:

$$\alpha = 1 - |r|^2$$

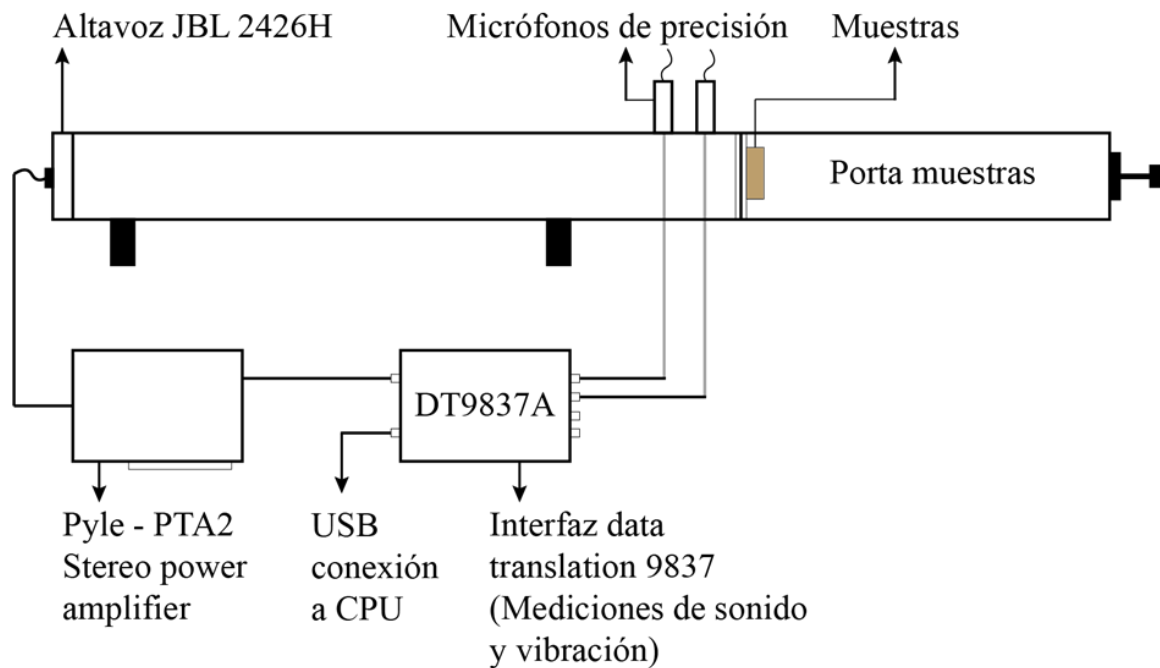


FIGURA 4.19: Componentes del tubo de impedancia Spectronics para el ensayo del coeficiente de absorción sonora



FIGURA 4.20: Tubo de impedancia Spectronics prueba coeficiente de absorción

Tres muestras fueron analizadas etiquetadas de la siguiente manera: M1 Totora entera + Totora triturada; M2 Totora triturada; M3 Totora triturada + Cemento blanco. (28). Las muestras analizadas tienen forma circular con un diámetro de 3.5 cm y ancho de 2.5cm, acorde con las especificaciones contenidas tanto en normativa como en las del fabricante del tubo de impedancia. El tiempo para cada ensayo es de 30 a 60 segundos por muestra.



28) M1 Totora entera + Totora triturada; M2 Totora triturada; M3 Totora triturada + Cemento blanco.

FIGURA 4.21: Muestras para ensayos acústicos

Según las distintas características físicas de las muestras analizadas, los valores obtenidos de coeficiente de absorción sonora determinan que las muestras responden de manera satisfactoria a las distintas frecuencias utilizadas, sin embargo son a altas frecuencias, donde se observa mayor índice de absorción, de las cuales la muestra M1 compuesta de totora triturada + tallo de totora, reacciona con un índice mayor de coeficiente absorción sonora con un valor de 0.61, la muestra M2 con un índice 0.48 y la muestra M3 con un índice 0.50. Es necesario recalcar que durante el ensayo las muestras aumentan y disminuyen su índice de absorción debido al tipo de frecuencia al que se exponen.

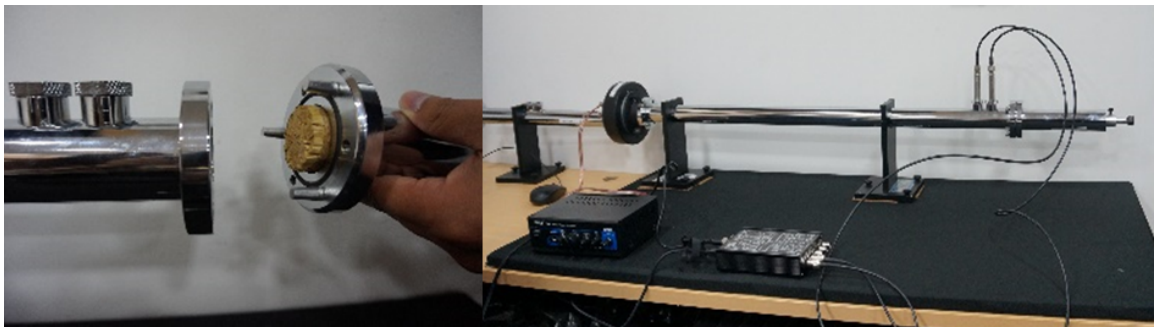


FIGURA 4.22: Ensayo de coeficiente de absorción sonora sobre muestra M1 (Totora triturada + totora entera)

El gráfico indica los resultados de absorción con una confianza de 99 % para los tres análisis. El coeficiente de absorción sonora está representado por valores de 0 a 1 carece de unidad dado que son promedios basados en la cantidad de aislamiento que presenta el espécimen durante el ensayo. (Tabla 4.25)

Tabla 4.25: Resultados para mediciones de coeficiente de absorción sonora.

Frecuencia (Hz)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
100	0,08 (0,04)	0,50 (0,43)	0,84 (0,00)
125	0,06 (0,03)	0,10 (0,08)	0,10 (0,00)
160	0,02 (0,02)	0,02 (0,01)	-
200	0,01(0,00)	0,01(0,00)	0,01(0,00)
250	0,03 (0,01)	0,03 (0,01)	0,05 (0,00)
315	0,05 (0,01)	0,03 (0,01)	0,03 (0,00)
400	0,07 (0,00)	0,03 (0,01)	0,02 (0,00)
500	0,11(0,00)	0,06 (0,01)	0,06 (0,00)
630	0,17 (0,00)	0,10 (0,00)	0,11(0,00)
800	0,25 (0,00)	0,14 (0,00)	0,14 (0,00)
1000	0,42 (0,00)	0,23 (0,00)	0,22 (0,00)
1250	0,61 (0,00)	0,37 (0,00)	0,37 (0,00)
1600	0,51(0,00)	0,48 (0,00)	0,48 (0,00)
2000	0,36 (0,00)	0,36 (0,00)	0,37 (0,00)
2500	0,32 (0,00)	0,23 (0,00)	0,23 (0,00)
3150	0,35 (0,00)	0,19 (0,00)	0,19 (0,00)
4000	0,46 (0,00)	0,17 (0,00)	0,17 (0,00)
5000	0,46 (0,00)	0,13 (0,00)	0,14 (0,00)

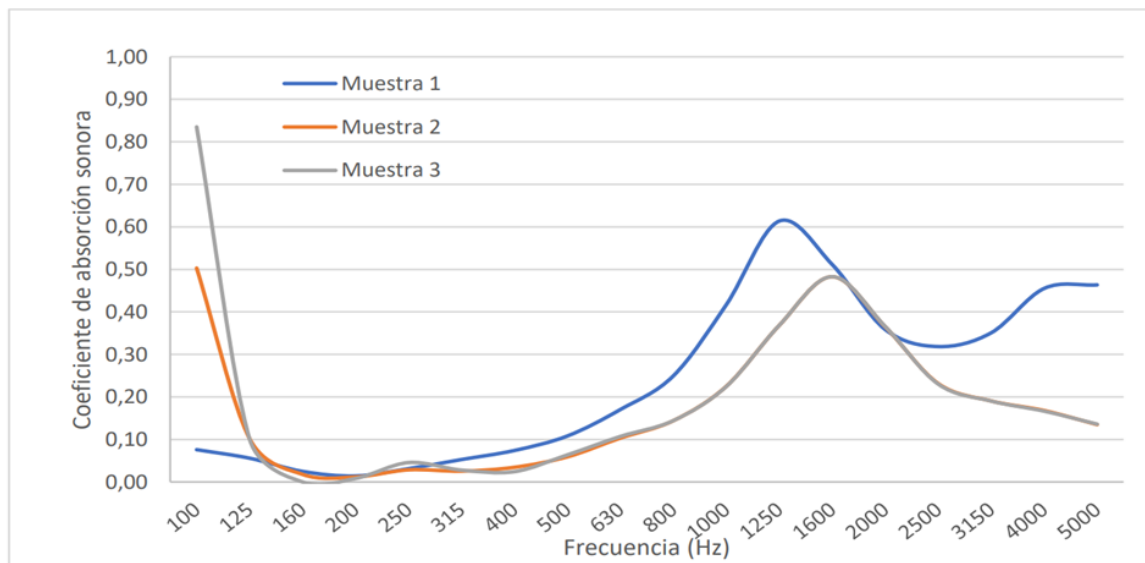


FIGURA 4.23: Resultado ensayo de coeficiente de absorción sonora.

Tabla 4.26: Coeficiente de absorción acústica de materiales.

NOMBRE DEL MATERIAL	ESPESOR cm	BANDAS DE FRECUENCIA Hz (coeficiente 0-1)					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Totora triturada + Tallo de totora (M1)	2.5	0,06	0,03	0,11	0,42	0,36	0,46
Totora triturada (M2)	2.5	0,10	0,03	0,06	0,23	0,36	0,17
Totora triturada + Cemento blanco (M3)	2.5	0,84	0,5	0,06	0,22	0,37	0,19
Lana de vidrio	9	0,32	0,4	0,51	0,6	0,65	0,6
Lana de roca	3	0,17	0,5	0,84	0,87	0,9	-
Ladrillo con enlucido de yeso	-	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
Contrachapado de madera sobre pared	-	0,05	0,06	0,06	0,1	0,1	0,1
Espuma poliuretano	3.5	0,13	0,31	0,56	0,69	0,65	-

Los resultados obtenidos durante el ensayo de coeficiente de absorción sonora determinan características relevantes e importantes de los materiales propuestos, algunos son propios de los materiales porosos, cuando un material poroso es expuesto al sonido, las moléculas de aire dentro de los poros del material vibran, transformando parte de la energía recibida mediante el sonido en calor, a bajas frecuencias las pérdidas de energía son isotérmicas y muy limitadas, mientras que en frecuencias altas son adiabáticos y por lo general más significativos, en comparación a los materiales fibrosos la mayor parte de la energía es absorbida por la dispersión de la fibras por consiguiente la vibración de las mismas, para este estudio se profundizó con los dos casos de materiales, logrando resultados favorables para ambos, validando la iniciativa de proponer un material compuesto por fibras naturales en conjunto de materiales que brinden resistencia al elemento, según la Tabla 36, comparativa de materiales que se utilizan con el propósito de aislamiento acústico se confirma la similitud de características, incluso mejorando valores de algunos de sus oponentes en cuanto a coeficiente de absorción acústica se trata, con ello se determina que los materiales propuestos son una alternativa eficiente para el uso de interiores y acabados enfocados en el confort acústico.

4.10. Ensayo y análisis para la determinación de la pérdida de transmisión sonora

El ensayo para la determinación de la pérdida de transmisión sonora está fundamentado en el estándar ASTM-E 2611-09 “Standart Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials based on Matrix Transfer Method”. El procedimiento permite obtener la pérdida de transmisión sonora en bandas de tercio de octava entre 100 y 5000 Hz. Sin embargo, debido a las dimensiones del tubo de impedancia, los resultados entre 100 y 400 presentan mayor incertidumbre. La calibración del sistema de medida se realizó de acuerdo con el procedimiento definido por el fabricante, utilizando una muestra anecoica de 5 mm de espesor. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayos acústicos de la Universidad de Las Américas bajo condiciones controladas de temperatura (18 °C) y humedad relativa (50 %). El equipo consiste de un tubo de metal sellado al vacío, dividido en dos partes, en uno de sus extremos se encuentra en el otro extremo se coloca la muestra a ser analizada, para ser asegurada de forma continua en el tubo de impedancia por medio de tornillos roscados, al final del tubo para este ensayo se coloca una carga rígida o reflectora. El ensayo es realizado con la configuración de dos micrófonos, basado en el método de función de transferencia mediante la combinación de frecuencias desde 100 hasta 5000Hz, según los estándares ISO 10534-2, las presiones sonoras se miden al mismo tiempo en dos posiciones fijas y se calcula la función de transferencia entre ellas, el coeficiente de reflexión viene dado por la ecuación:

El equipo utilizado fue el Tubo de impedancia Spectronics, modelo ACUPRO 4, previamente descrito en el anterior ensayo, calibrado por medio de una esponja de poliuretano de 5mm de espesor (Ilustración 96.) El instrumento de medición consiste de un tubo de metal sellado al vacío, en uno de sus extremos se encuentra el altavoz JBL 2426H conectado al amplificador PYLE – PTA2, en conjunto su función es la de emitir sonidos de diferentes frecuencias, a continuación se ubican dos micrófonos de alta precisión, estos a

su vez se encuentran conectados al interfaz de transferencia de información DT9837A, el cual se encuentra conectado mediante conexión USB al CPU en donde está instalado el software ACUPRO, a diferencia de la prueba para la obtención del coeficiente de absorción, este ensayo utiliza el método de función de transferencia de cuatro micrófonos, su objetivo está enfocado en la medición para determinar la pérdida de transmisión sonora del material, se modifica la segunda parte del tubo por una extensión metálica (TL) que consta de un nuevo set de micrófonos, los cuales se encargaran de enviar las mediciones al CPU tanto de las frecuencias emitidas como de las transmitidas a través de la muestra analizada, todos los datos son recopilados por medio del software ACUPRO que procesa la información del ensayo, los resultados de la pérdida de transmisión sonora de un material es clave para la cuantificación de la efectividad de las propiedades de aislamiento acústico con las que cuentan los materiales propuestos en este estudio.

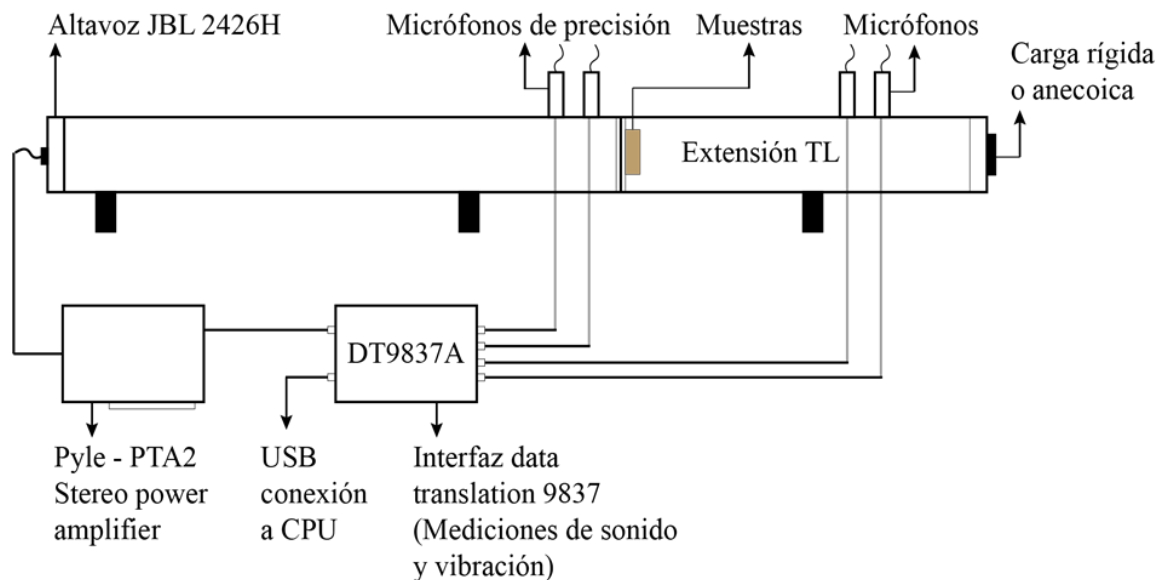


FIGURA 4.24: Componentes del tubo de impedancia Spectronics para la el ensayo de la determinación de pérdida sonora.

La pérdida por transmisión se manifiesta como una caída en el nivel de la potencia acústica, se presenta cuando una onda sonora se propaga por un medio generalmente en el aire hasta encontrar un obstáculo o un material cuando esto sucede la pérdida de transmisión sonora es definida por la siguiente ecuación:

$$TL = 10 \text{Log} \frac{1}{\tau} [dB]$$

Donde:

$$\tau = \frac{W_{\tau}}{W_i}$$

Siendo:

W_τ = energía sonora transmitida

W_i = energía sonora incidente

En la práctica es necesario conocer el aislamiento acústico, que puede ofrecer la variedad de materiales propuestos para esta función, lo cual significa ser expuestos a las frecuencias audibles, existen tres clasificaciones o regiones para entender la pérdida de transmisión sonora la primera es en donde actúan las bajas frecuencias, donde la pérdida por transmisión (TL) está controlada por la rigidez del material propuesto, lo cual origina que este se comporte como una membrana, de tal forma que se observa una serie de frecuencias naturales de resonancia, la segunda región está controlada por la masa del material propuesto, la misma se puede calcular mediante la fórmula:

$$R_0 = 20 \log mf - 43$$

Dónde:

m = masa

f = frecuencia de la onda incidente

r = densidad del aire (kg/m³)

c = velocidad del sonido en el aire (m/s)

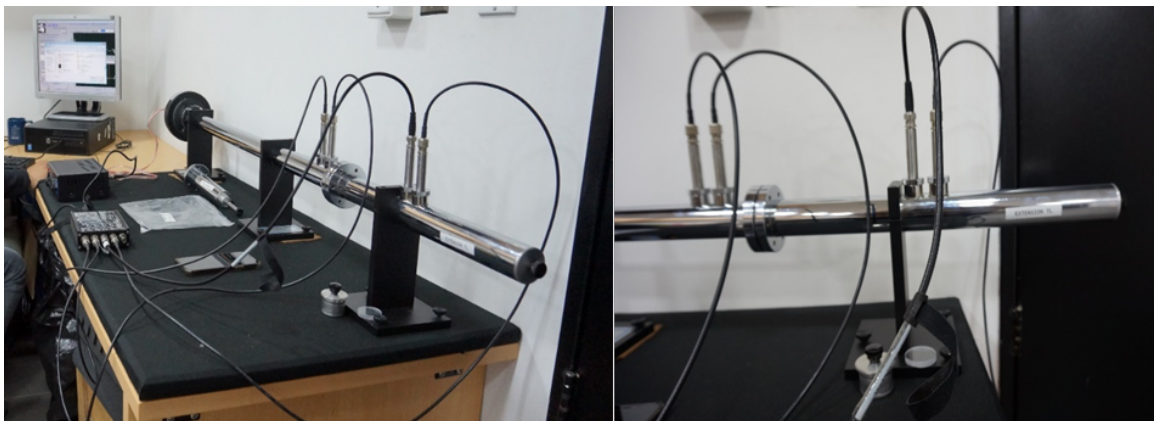


FIGURA 4.25: Componentes del tubo de impedancia Spectronics para la el ensayo de la determinación de pérdida sonora.

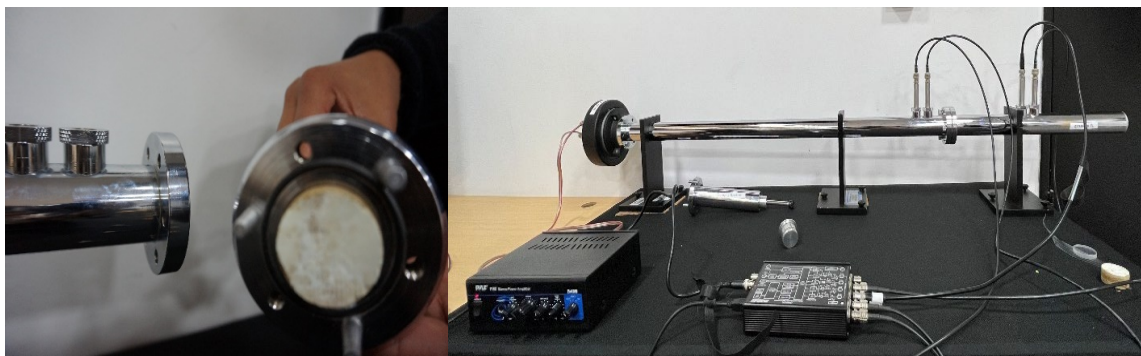
Luego de aplicar el protocolo de medición estipulado en la norma (Ilustración 94.) se inicia el ensayo con la muestras propuestas en este estudio, M1 compuesta de totora triturada + tallo de totora (29), la muestra M2 compuesta por totora triturada (30) y la muestra M3 compuesta por totora triturada + cemento blanco (31), se realiza tres ensayos para cada muestra con la finalidad de promediar los resultados obtenidos, el primer ensayo corresponde a la pérdida de transmisión sonora con carga anecoica o con poca reflexión, el material utilizado corresponde a espuma de poliuretano de 5mm , el segundo ensayo corresponde a la pérdida de transmisión sonora con carga rígida o reflectora, el material utilizado corresponde a un acetato de vinilo, las cargas son elementos de sección exacta a la

del tubo de impedancia con un diámetro de 3.5cm, son insertadas al final del instrumento de medición, tienen un acople metálico que se enrosca al tubo de impedancia de manera que sella por completo al instrumento de medición. Las muestras analizadas tienen forma circular con un diámetro de 3.5 cm y espesor de 2.5cm, acorde con las especificaciones contenidas tanto en normativa como en las del fabricante del tubo de impedancia (Figura 4.26), los ensayos se los realiza en intervalos de tiempo que van desde los 15 segundos hasta los 30 segundos.



29) M1 Totorá entera + Totorá triturada

30) M2 Totorá triturada



31) M3 Totorá triturada + Cemento blanco

FIGURA 4.26: Preparación ensayo para la determinación de la pérdida de transmisión sonora.

Las distintas características físicas de las muestras analizadas, son objeto de estudio con la finalidad de comparar su comportamiento ante las distintas frecuencias de sonido a las que son sometidas durante el ensayo (Tabla 37). El gráfico indica los resultados de pérdida de transmisión sonora con una confianza de 99% para los tres análisis (Figura 4.27).

Tabla 4.27: Resultados del ensayo de pérdida de transmisión sonora.

Frec. (Hz)	Carga anecoica -TL (dB)			Carga rígida -TL (dB)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
100	11,4 (0,57)	35,1(6,4)	42,2 (10,2)	23,1(2,1)	28,0 (4,3)	39,1(4,4)
125	9,9 (0,3)	26,1(10,7)	36,6 (4,7)	10,9 (4,1)	17,8 (3,5)	32,6 (2,8)
160	19,2 (0,18)	29,1(8,1)	37,4 (9,6)	11,7 (3,1)	18,8 (2,0)	29,8 (1,6)
200	20,8 (0,06)	33,3 (3,9)	41,9 (9,0)	21,7 (2,8)	20,1 (0,8)	29,9 (2,0)
250	25,3 (0,02)	29,8 (2,7)	38,0 (3,0)	21,4 (0,5)	21,7 (0,2)	28,3 (2,3)
315	32,2 (0,13)	22,9 (0,2)	28,1(1,2)	19,3 (0,7)	19,5 (0,4)	25,2 (0,2)
400	37,8 (0,1)	17,2 (0,1)	19,6 (0,1)	16,8 (0,2)	16,1 (0,0)	21,9 (0,1)
500	35,3 (0,12)	10,9 (0,2)	16,6 (0,2)	10,7 (0,0)	9,9 (0,0)	14,7 (0,0)
630	38,7 (0,01)	13,8 (0,1)	22,0 (0,1)	7,3 (1,3)	8,6 (0,0)	14,0 (0,1)
800	48,3 (0,01)	13,1(0,2)	25,2 (0,1)	10,3 (0,3)	14,5 (0,0)	21,2 (0,2)
1000	53,3 (0,04)	13,2 (0,2)	22,4 (0,2)	15,6 (1,0)	18,0 (0,0)	23,9 (0,2)
1250	53,6 (0,04)	18,2 (0,0)	18,9 (0,0)	18,3 (0,1)	17,1 (0,0)	22,8 (0,1)
1600	51,9 (0,1)	12,9 (0,1)	17,1(0,2)	12,9 (0,6)	10,8 (0,0)	15,9 (0,0)
2000	51,9 (0,02)	14,5 (0,0)	21,0 (0,1)	14,6 (0,7)	18,1(0,0)	23,0 (0,1)
2500	47,3 (0,03)	18,4 (0,1)	21,6 (0,2)	18,2 (1,0)	15,5 (0,0)	20,0 (0,0)
3150	36,7 (0,07)	18,4 (0,1)	24,1(0,1)	16,3 (1,4)	19,8 (0,0)	24,5 (0,0)
4000	47,6 (0,07)	19,3 (0,1)	24,1(0,2)	15,5 (0,1)	20,0 (0,0)	23,4 (0,0)
5000	51,3 (0,04)	21,4 (0,1)	21,0 (0,1)	14,8 (1,5)	19,4 (0,2)	21,9 (0,1)

* Los valores presentados entre paréntesis () corresponden a la desviación estándar.

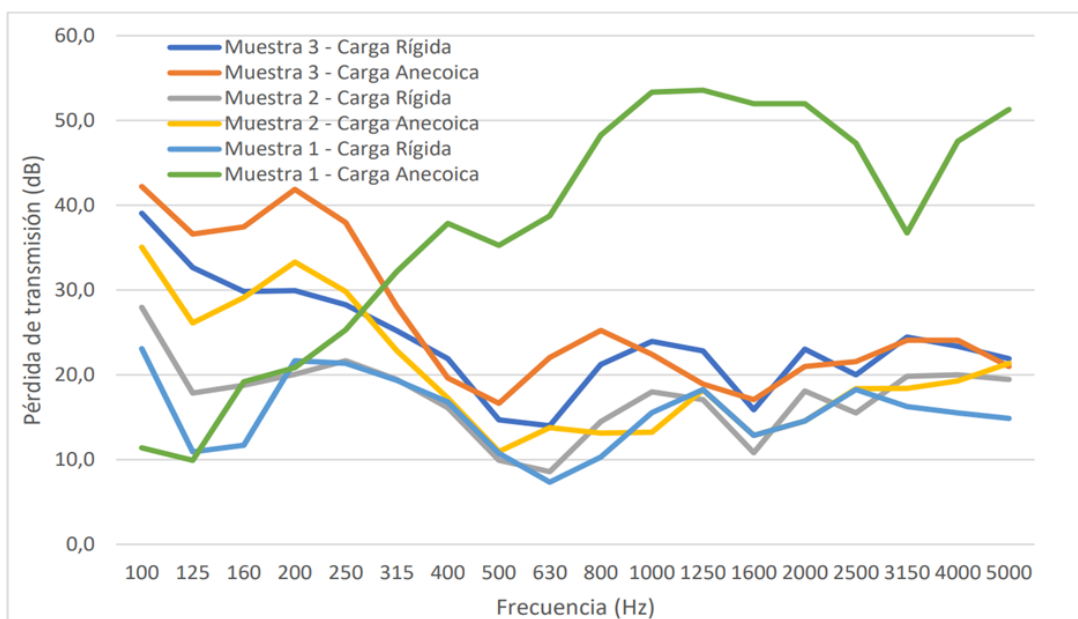


FIGURA 4.27: Resultado ensayo para la determinación de pérdida de transmisión sonora

El ensayo de pérdida de transmisión sonora con carga anecoica determina que las muestras actúan de manera aleatoria a las frecuencias sometidas, en el caso de la muestra M1 Totora triturada + tallo de totora se obtiene un valor promedio a la pérdida de transmisión sonora de 30dB, la muestra M2 totora triturada obtiene un valor promedio de 20dB y la muestra M3 totora triturada + cemento blanco un promedio de 25dB, se determina que los materiales propuestos logran promedios acordes con lo establecido en normativa de aislamiento acústico, comparados con materiales que se encuentran comercializados en el mercado guardan similitud en sus características, se determina además que entre las tres muestras la que mejor desempeño obtuvo fue la compuesta por totora triturada + malla polietileno + tallo de totora (M1), se observa que al constar de dos capas una sólida y otra porosa tiende a comportarse como un agente doble de aislamiento proporcionando confort acústico en el lugar empleado. El ensayo de pérdida de transmisión sonora con carga rígida determina aun mejores resultados en comparación a la carga anecoica las muestras analizadas obtienen valores más bajos de TL, en el caso de M1 Totora triturada + tallo de totora el valor promedio es de 12dB, M2 totora triturada el valor promedio es de 14dB, M3 totora triturada + cemento blanco el valor promedio es de 16dB, los valores obtenidos determinan que los materiales poseen características muy similares a las de materiales como la de espuma de poliuretano, lana de roca, lana de vidrio, ver Tabla 4.28, que son por lo general las alternativas para el uso en acondicionamiento acústico, por lo tanto los materiales analizados en este estudio son una alternativa a ser considerada para la utilización en conjunto de sistemas constructivos enfocados a el confort acústico.

Tabla 4.28: Tabla de materiales y su valor de pérdida de transmisión sonora.

NOMBRE DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN	ESPESOR cm	PÉRDIDA POR TRASMISIÓN SONORA (dB)
Totora triturada + Tallo de Totora (M1)	Poroso/Sólido	2.5	12
Totora triturada (M2)	Sólido	2.5	17
Totora triturada + Cemento blanco (M3)	Sólido	2.5	14
Lámina de acero	Sólido	2.2	10
Madera lisa	Sólido	1.5	12
Contrachapado con recubrimiento liso	Sólido	1.5	15
Yeso-cartón	Sólido	1.58	18
Sonowall (Espuma poliuretano)	Poroso	6.35	15
Acustifibra	Poroso	2.54	10

4.11. Caso de Estudio

4.11.1. Análisis caso de estudio

Ubicación

Macro: Ciudad de Cuenca en el Sector el Sagrario

Micro: Av. De las Américas y Genera Torres

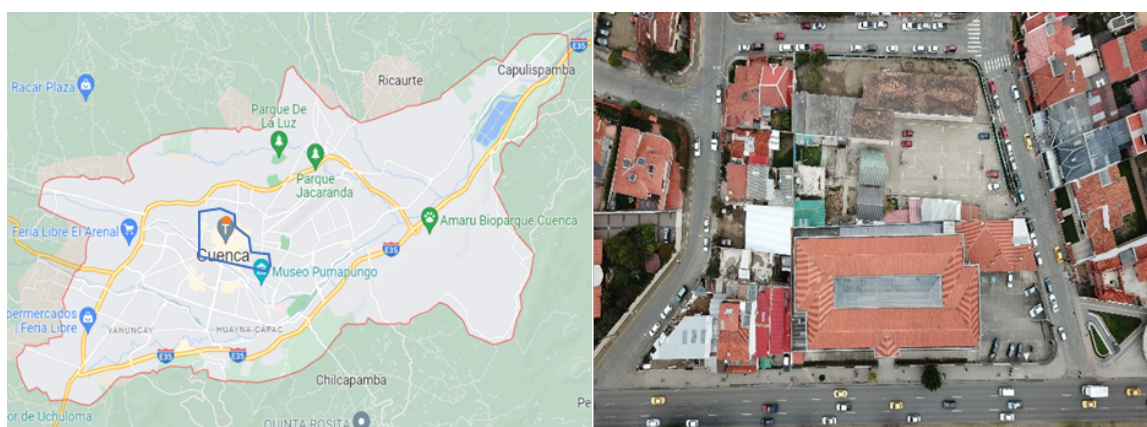


FIGURA 4.28: Ubicación caso de estudio Universidad Católica de Cuenca

4.11.2. Descripción de la Unidad Académica

Unidad académica de ingeniería, industria y construcción

La facultad está distribuida por tres pisos y un subsuelo, la planta baja está conformada por biblioteca, administración, sala de profesores, auditorio, baños, la segunda y tercera planta se encuentra aulas, baños, laboratorios, por último, el subsuelo consta de talleres de proyectos. Cuenta con dos accesos principales en la calle General Torres y la Av. De las Américas, ingresando a un vestíbulo central, con un tragaluz de vidrio ubicado en la parte central de la universidad. Los principales problemas en el ámbito de contaminación acústica que presenta el caso de estudio son su ubicación y su método constructivo. Es evidente estas determinantes, por lo cual se debería analizar nuevas estrategias constructivas, una alternativa es la instalación paneles de revestimiento acústico para lograr una solución oportuna.

4.11.3. Mediciones de sonido en el caso de estudio

Las mediciones de sonido son importantes para el desarrollo de la propuesta, el objetivo es determinar las condiciones en las que se desarrollan las actividades intelectuales dentro de la institución, enfocados en el ámbito de confort acústico, de esta forma se realiza por medio de instrumentos de medición acústica previamente calibrados la recolección de datos en distintos espacios específicos del caso de estudio, eventualmente se procesará los



FIGURA 4.29: Fachada frontal Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción

Tabla 4.29: Principales problemas acústicos.

Ubicación	Sistema Constructivo
<p>Se encuentra ubicado en la Av. De las Américas, vía considerada como una arteria principal, debido a que recolecta el tráfico de vías locales urbanas, las horas con mayor afluencia de automóviles son 06h00 a 07h00 de 12h00 a 14h00 y de 17h00 a 20h00.</p>	<p>La facultad posee un sistema constructivo tradicional de:</p>
	

datos obtenidos para el análisis y determinación del estado actual del mismo, con respecto al ámbito de confort acústico.

4.11.4. Proceso de medición

La obtención de datos se realiza con instrumentos de medición medioambiental, en este caso se utiliza el sonómetro Sper Scientific con número de serie 092011 (Figura 4.30), este instrumento permite la recolección avanzada de datos digitales en el campo acústico,

medidos en decibeles durante cierto periodo de tiempo.

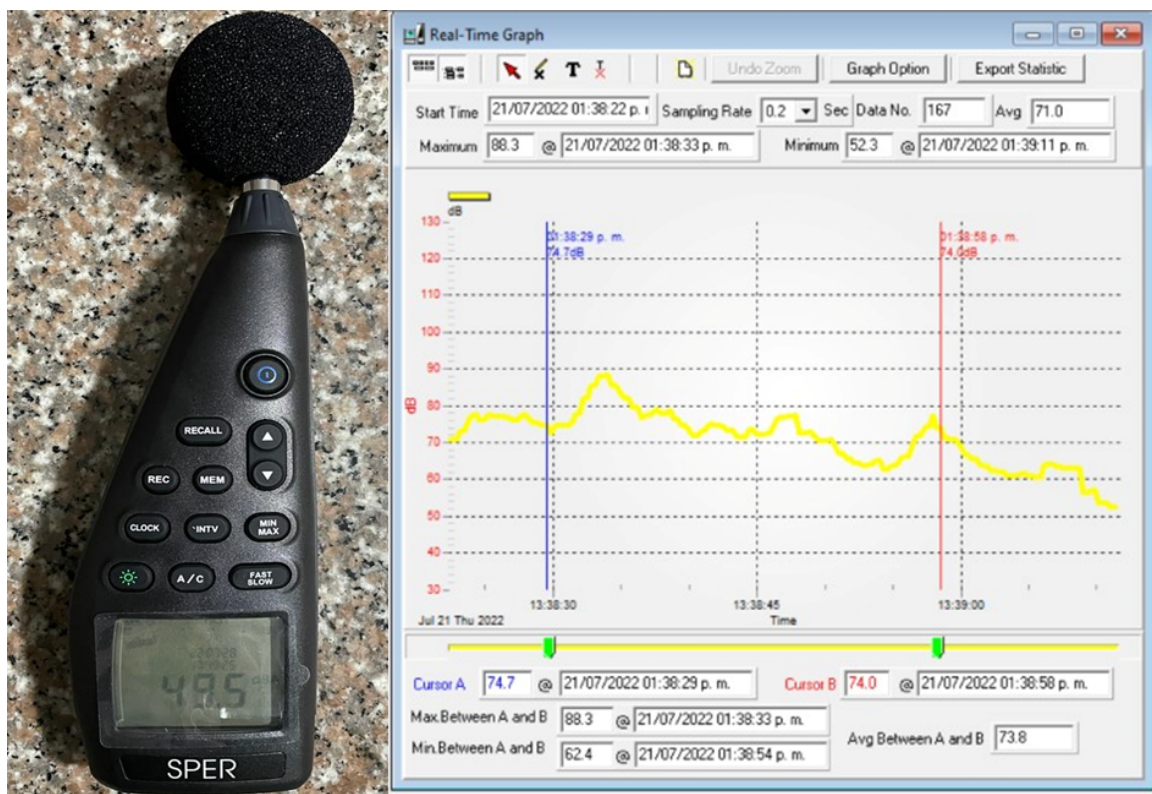


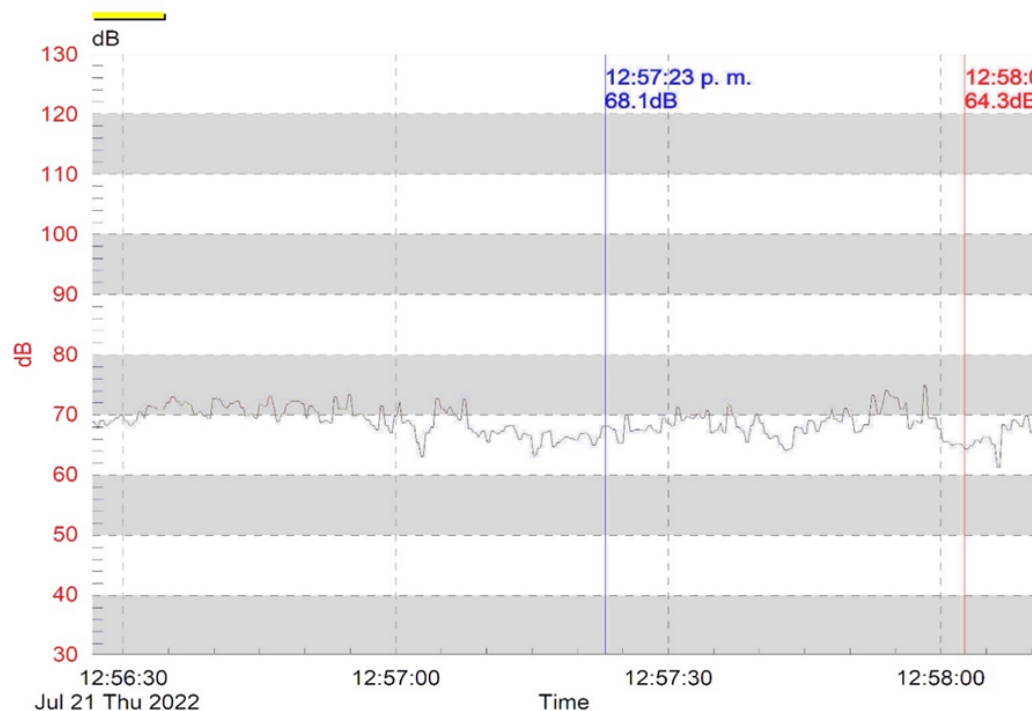
FIGURA 4.30: Instrumentos de medición Sper Scientific (sonómetro y software)

La primera medición se realiza al interior del salón de clase 210 ubicado en la primera planta alta de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción, se establece al interior del aula escogida espacios específicos para realizar varias mediciones con la finalidad de obtener una base de datos que demuestre la percepción acústica de los usuarios ubicados en distintos lugares del salón, el sonómetro utilizado esta previamente calibrado desde fábrica, se utiliza el software Sper 850013 para la tabulación de datos, se conecta mediante USB el sonómetro al computador y se da inicio a la medición.



FIGURA 4.31: Medición de ruido salón de clases 210.

La medición se la realiza en intervalos de tiempo calibrados en 3 minutos y 5 minutos, en horarios vespertinos y matutinos, la base de datos obtenida se extrae directamente del software de medición, como se observa en la Figura 4.32.



Luego de las mediciones se procede a cuantificar los datos, se determina que al interior del salón de clases durante el horario de 07h00 am a 16h00 pm, el promedio de ruido o sonido que se percibe es de 65.45 dB, obteniendo como valor más alto durante la medición 68.3 dB y como valor menor 61.1 dB. Estos valores superan los límites para el nivel de confort acústicos establecidos entre los 25 dB y 40 dB, lo cual determina que en el caso de estudio sufre de contaminación acústica, cabe recalcar que dicha contaminación



FIGURA 4.32: Resultados de mediciones de ruido medioambientales salón de clases 210.

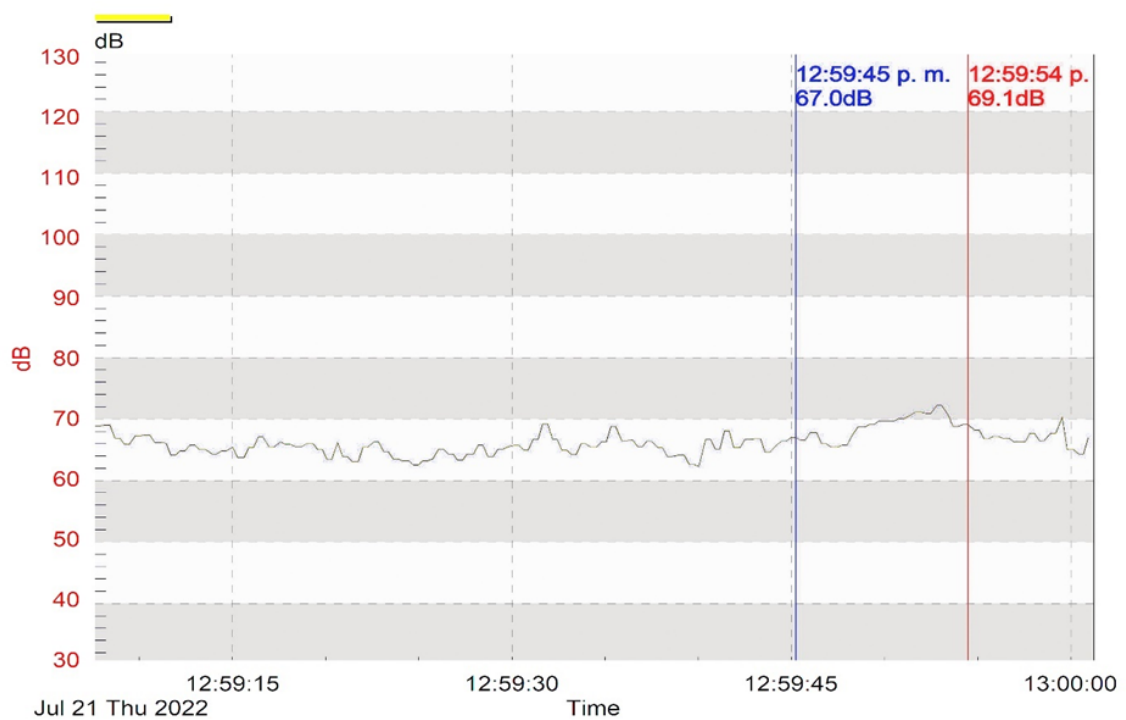
acústica no es constante, los estudios realizados están enfocados en los lapsos altos de contaminación, existen momentos donde los límites de nivel acústico están dentro de lo establecido, sin embargo, la problemática existe.

La segunda medición se realiza al exterior del salón 210, ubicado en la primera planta alta de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, el pasillo es un área concurrida en su totalidad por estudiantes, profesores y usuarios de la facultad, para la medición se sitúa el sonómetro en tres distintas posiciones y distancias del caso de estudio con la finalidad de observar cómo actúa el sonido a su alrededor, el sonómetro utilizado está previamente calibrado desde la fábrica, se utiliza el software Sper 850013 para la tabulación de datos, se conecta mediante USB el sonómetro al computador y se da inicio a la medición.



FIGURA 4.33: Medición de ruido al exterior del salón de clases 210.

La medición se la realiza en intervalos de tiempo calibrados en 3 minutos y 5 minutos, en horarios vespertinos y matutinos, la base de datos obtenida se extrae directamente del software de medición, como se observa en la Figura 4.34.



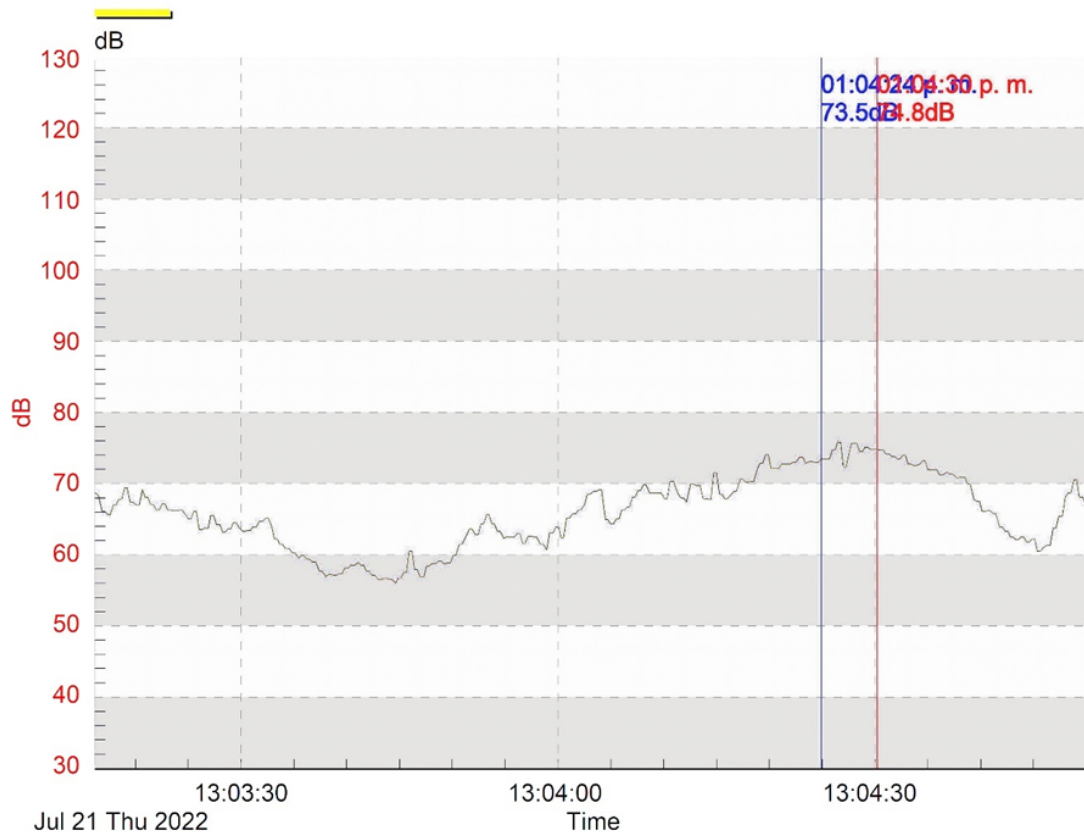


FIGURA 4.34: Resultados de mediciones de ruido medioambientales al exterior salón de clases 210.

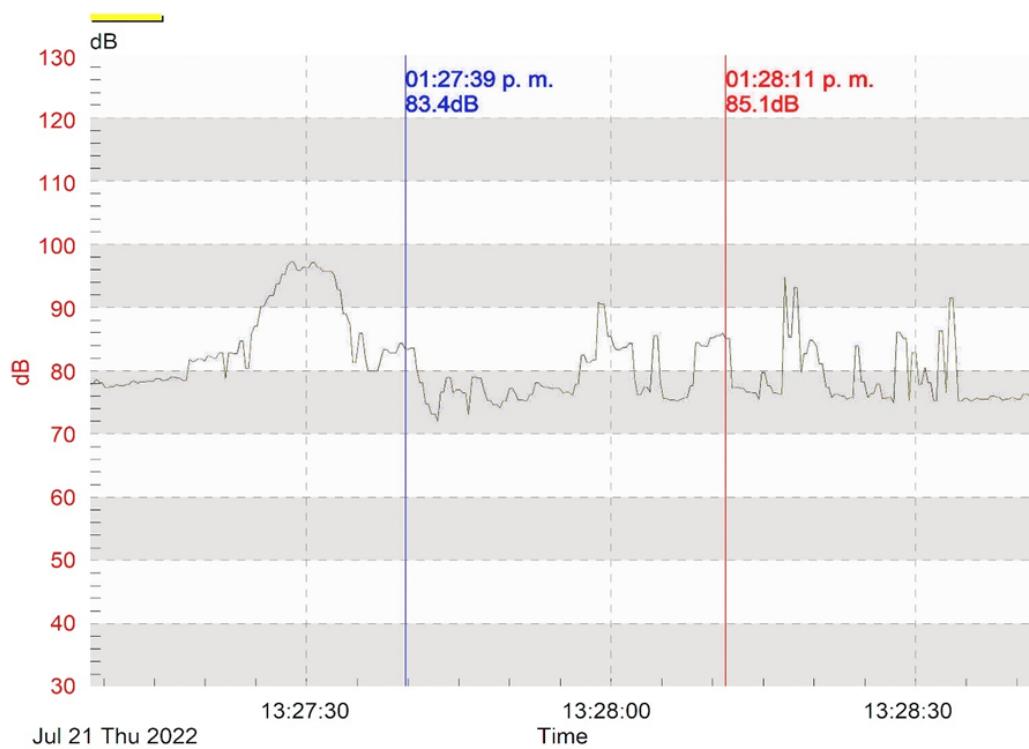
Luego de las mediciones se procesa los datos, con lo cual se determina que, al exterior del salón de clases en los pasillos de la facultad, durante el horario de 07h00 am a 16h00 pm, el promedio de ruido o sonido que se percibe es de 71.1dB, obteniendo como valor más alto durante la medición 74.8 dB y como valor menor 67.0 dB. Estos valores superan los límites para el nivel de confort acústico establecidos entre los 25 dB y 40 dB, se determina que en los exteriores del caso de estudio existe contaminación acústica, factor importante que influye al momento de las mediciones interiores, donde el confort acústico se ve afectado.

La tercera medición se realiza al exterior de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, ubicados con dirección a la Av. de las Américas, lugar al cual se encuentra orientada la fachada lateral derecha del caso de estudio, se observa gran afluencia de tráfico indistintamente del horario, sumado a ruidos provenientes de talleres aledaños, para la medición se sitúa el sonómetro en tres distintas posiciones y distancias del caso de estudio con la finalidad de observar cómo actúa el sonido a su alrededor, el sonómetro utilizado esta previamente calibrado desde la fábrica, se utiliza el software Sper 850013 para la tabulación de datos, se conecta mediante USB el sonómetro al computador y se da inicio a la medición.



FIGURA 4.35: Medición de ruido al exterior de la facultad.

La medición se la realiza en intervalos de tiempo calibrados en 3 minutos y 5 minutos, en horarios vespertinos y matutinos, la base de datos obtenida se extrae directamente del software de medición, como se observa en la Figura 4.36.



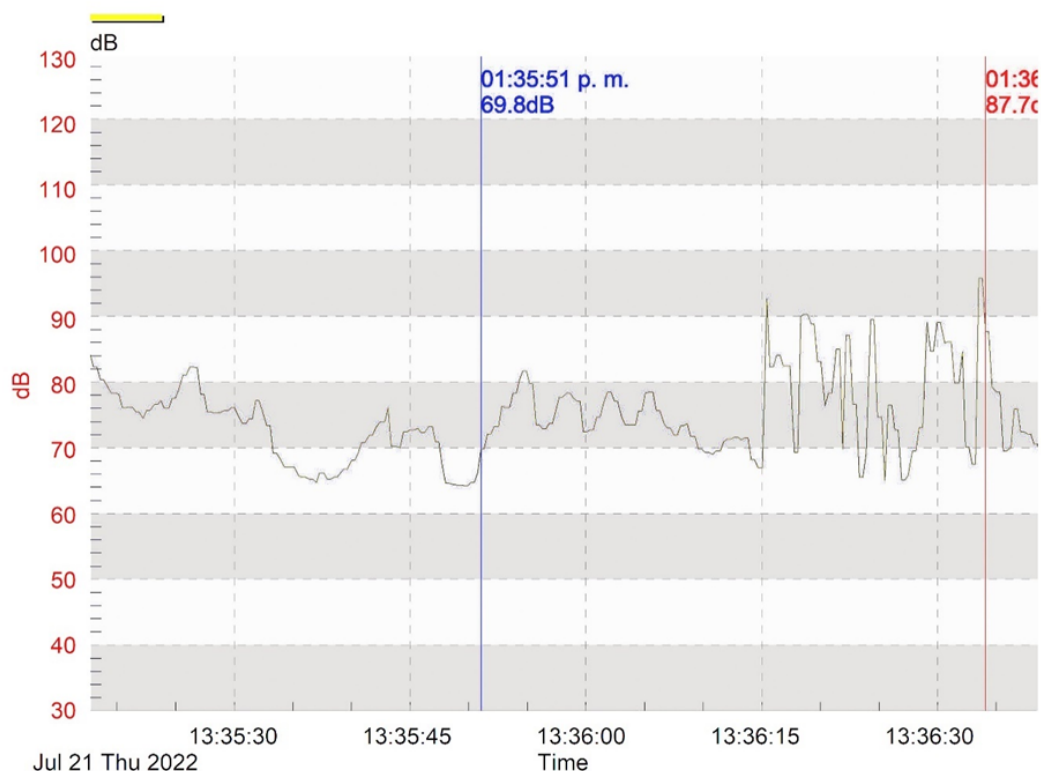


FIGURA 4.36: Resultados de las mediciones de ruido medioambiental al exterior de la facultad.

Transcurrido el proceso de las mediciones se obtiene los siguientes datos, con lo cual se determina que al exterior de la facultad objeto de caso de estudio en horarios de 07h00 am a 16h00 pm, el promedio de ruido o sonido al que se está expuesto es de 81.5dB, obteniendo como valor más alto durante la medición 87.7 dB y como valor menor 69.8 dB. Estos valores superan los límites para el nivel de confort acústico establecidos entre los 25 dB y 40 dB, cabe recalcar que se estudian los lapsos de alta exposición, se determina que en los exteriores del caso de estudio existe contaminación acústica, en gran parte debido al ruido producido por el flujo vehicular que se encuentra continuo a la edificación con una distancia que separa de 6 metros, factor importante que influye al momento de las mediciones interiores, donde el confort acústico se ve afectado.

4.11.5. Análisis de resultados de las mediciones de sonido en el caso de estudio.

Se realizan varias mediciones en el caso de estudio de tal manera de constatar varios factores en el ámbito de confort acústico, se obtiene la primera medición al interior del aula 210 un valor promedio de 68.3 dB, la segunda medición se la realiza en el exterior del aula sobre los pasillo de la facultad registrando un promedio de 71.1 dB, la tercera medición corresponde al exterior de la facultad donde está ubicada la mayor fuente de contaminación acústica, como es la Av. de las Américas, el valor promedio de sonido obtenido es de 81.5 dB, por lo tanto se determina que el salón de estudios 210 logra aislar el sonido exterior proveniente de sus dos fuentes colindantes en un promedio de 8 dB,

con la actual tecnología constructiva con la que se encuentra edificado el lugar de estudio, sin embargo los niveles obtenidos no favorecen a la edificación para la función en la que se encuentra destinada en la actualidad, según lo determinado en la norma de BIAP (Organización internacional de audio fonología) el nivel sonoro recomendable dentro de un aula no debe superar los 40 dB estos son parámetros estándar para establecimientos educacionales con la finalidad de promover el correcto funcionamiento de aprendizaje, didáctico, intelectual, de ser alterados estos parámetros la capacidad de atención se dificulta, estudios de la Organización mundial de la salud (OMS) indican que la exposición prolongada a niveles de contaminación acústica ha provocado entre el 30 % a 40 % de los problemas relacionados a la pérdida auditiva de los alumnos, al igual que del personal docente, sistemas constructivos adecuados son necesarios para evitar esta problemática que se encuentra presente a nivel local, a fin de precautelar la salud de los usuarios y brindando el confort acústico ideal para desarrollar las actividades sin distracciones.

4.11.6. Aplicación en caso de estudio

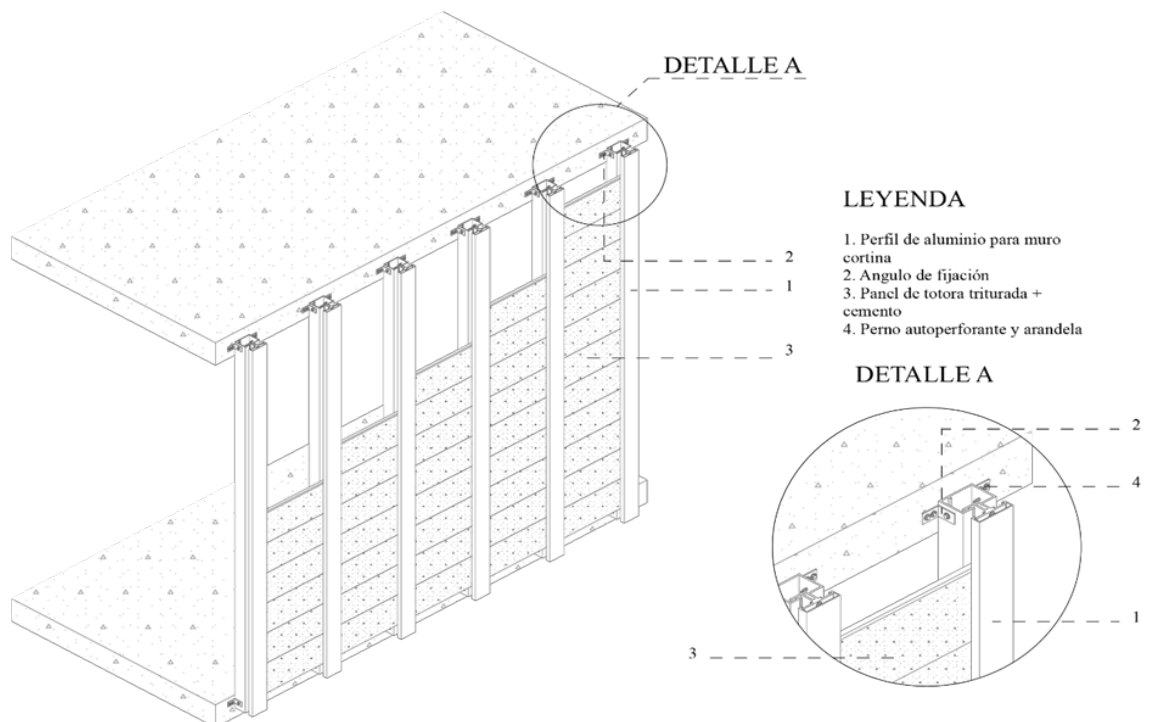
La investigación realizada demuestra que el caso de estudio consta de un sistema constructivo que no brinda el suficiente confort acústico para el desarrollo de actividades de aprendizaje, se plantea la utilización de paneles de aislamiento acústico de fibra de Titora (PAAT) como sistema constructivo suplementario de revestimiento acústico y acabado. El salón de clases 210 (Figura 116) es un ejemplo de la necesidad de desarrollar propuestas y estudios previos ante la problemática actual de la contaminación acústica, que no solo se presenta en el caso de estudio, es evidente que existen falencias en distintos sectores de la ciudad donde no se le da la importancia necesaria al tema de confort acústico, en la actualidad el ser humano moderno está inmerso y expuesto a un sin número de distracciones, es por ello que dentro de la planificación y construcción de centros pedagógicos se debería tomar la problemática planteada como factor primordial de diseño.



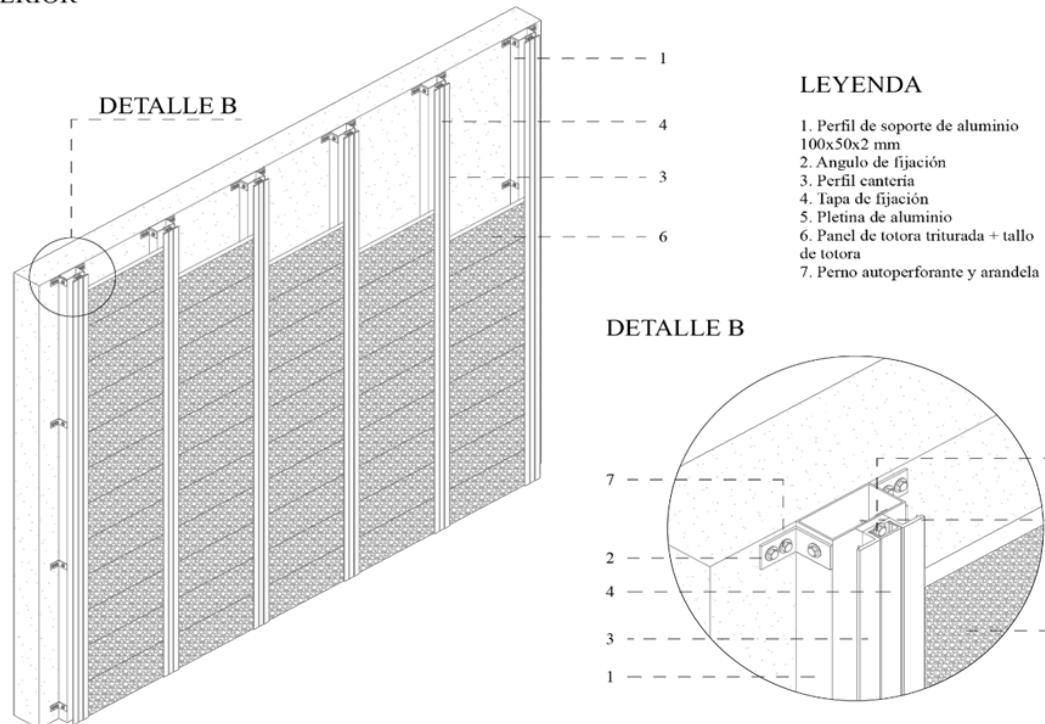
FIGURA 4.37: Salón de clases 210 con panel de aislamiento acústico acabado en tallo de totora (PAAT)

4.11.7. Solución constructiva de instalación

SISTEMA CONSTRUCTIVO ENTRE LOSAS



SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA REVESTIMIENTO EXTERIOR



SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA REVESTIMIENTO EXTERIOR

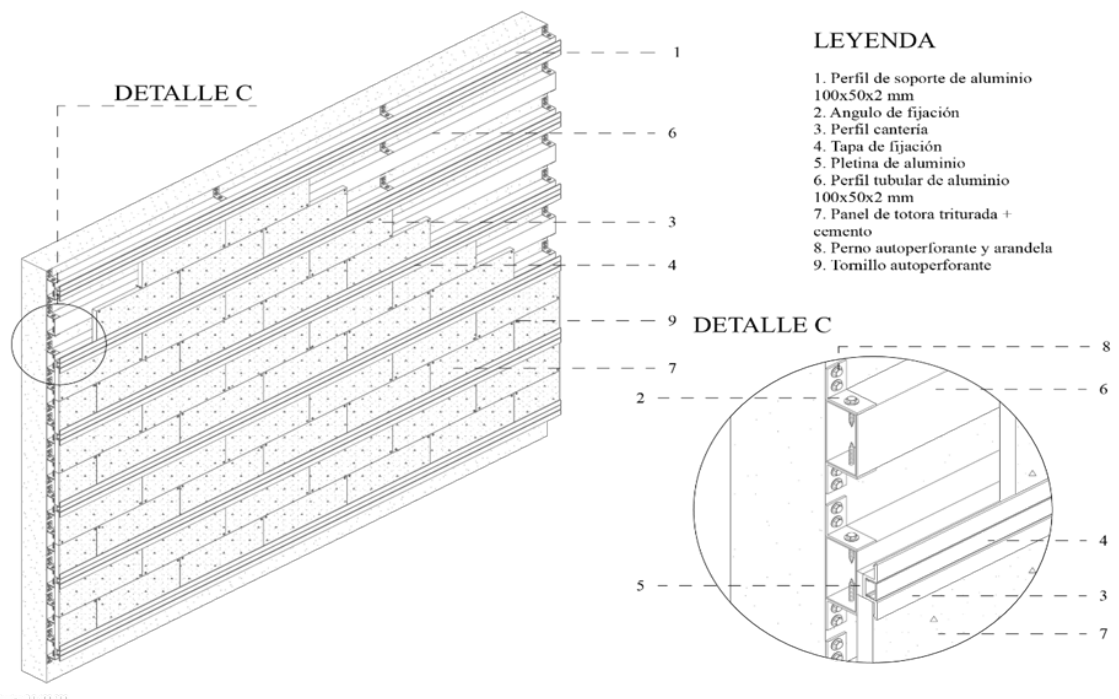
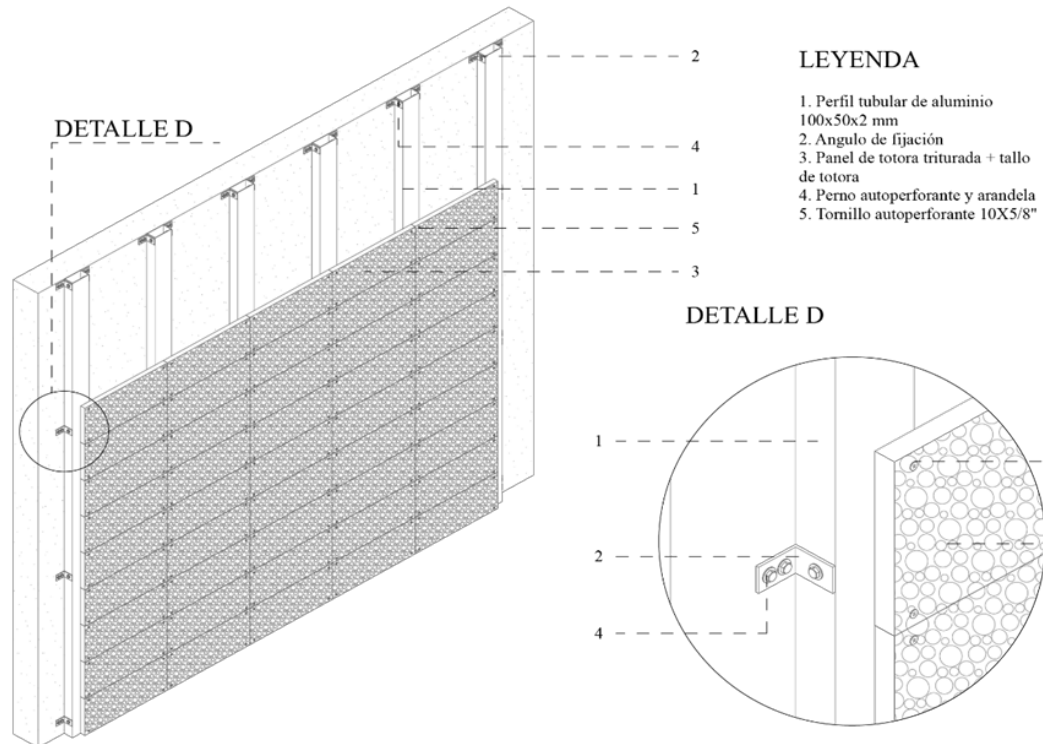


FIGURA 4.38: Detalles constructivos PAAT

SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA REVESTIMIENTO INTERIOR



SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA REVESTIMIENTO INTERIOR

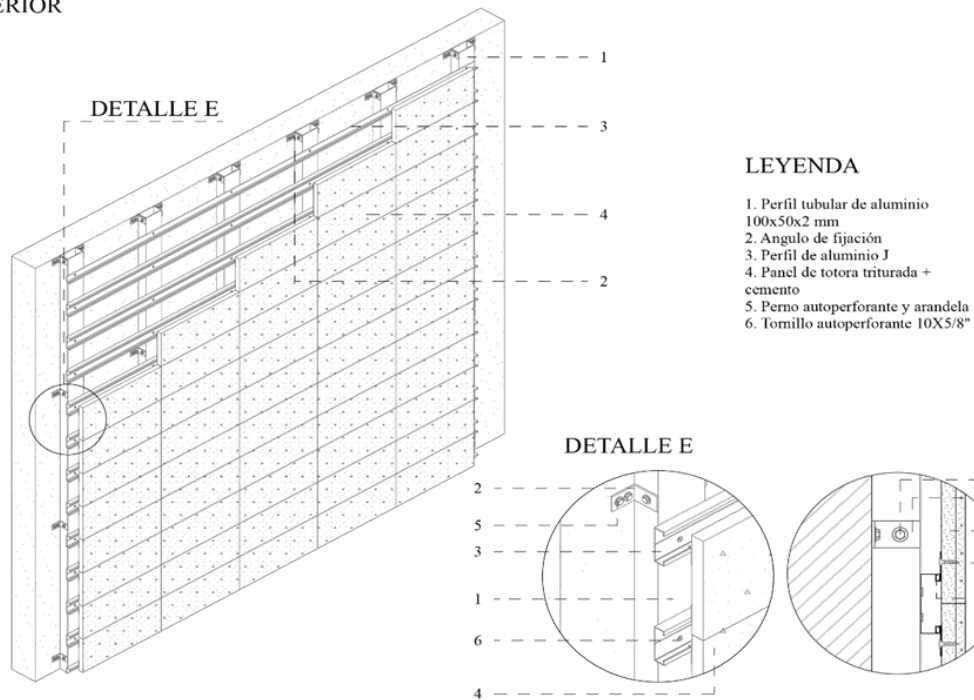


FIGURA 4.39: Detalles constructivos PAAT

SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA CIELO RASO

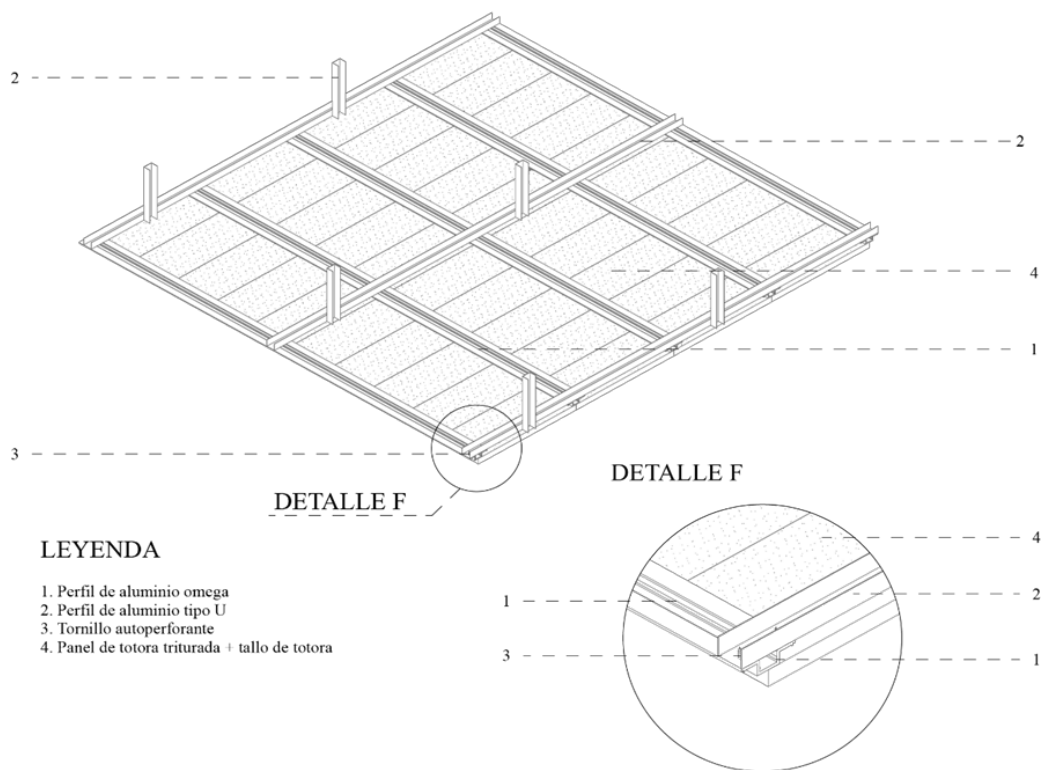


FIGURA 4.40: Detalles constructivos PAAT

4.11.8. Análisis y evaluación de la factibilidad del panel

Con la finalidad de comprender el costo del proceso de elaboración de cada panel y precio de venta, es necesario realizar el análisis de precio unitario basado en el formato de unidad 20 cm de ancho x 50 cm de largo x 2.5 cm de espesor y a su vez por m².

Tabla 4.30: Análisis de precios unitarios PAAT.

Análisis de precios unitarios					
Rubro	Panel de Totora acabado natural triturado 20cm x 50cm x 2.5cm				
Unidad	u				
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Total
Trituradora	1	5.00	5.00	0.2	\$0.60
Herramienta menor 10 % mano de obra					\$0.22
Subtotal Equipo:					\$0.82
Mano de obra					
Descripción	Cantidad	Jornal/hora	Costo Hora	Rendimiento	Total
Artesano	1	1.98	1.98	0.2	\$1.12
Subtotal de mano de obra:					\$1.12
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total	
Harina de trigo	gr	1000	1.15	\$1.15	
Azúcar	gr	500	0.95	\$0.48	
Bicarbonato de Sodio	gr	200	5.95	\$1.19	
Agua	lt	2	0.40	\$0.01	
Fibra de Totora	gr	3000	0.10	\$0.30	
Subtotal de materiales					\$3.13
Total, costo directo (E + MA + MO)					\$5.07
Costo Indirecto					\$0.70
Costo total del panel					\$5.77
Valor ofertado					\$6.29

Tabla 4.31: Análisis de precios unitarios PAAT.

Análisis de precios unitarios					
Rubro	Panel de Totora acabado de cemento blanco 20cm x 50cm x 2.5cm				
Unidad	U				
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Total
Trituradora	1	5.00	5.00	0.2	\$0.60
Herramienta menor 10 % mano de obra					\$0.22
Subtotal Equipo:					\$0.82
Mano de obra					
Descripción	Cantidad	Jornal/hora	Costo Hora	Rendimiento	Total
Artesano	1	1.98	1.98	0.2	\$1.12
Subtotal de mano de obra:					\$1.12
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total	
Harina de trigo	gr	1000	1.15	\$1.15	
Azúcar	gr	500	0.95	\$0.48	
Bicarbonato de Sodio	gr	200	5.95	\$1.19	
Agua	lt	2	0.40	\$0.01	
Fibra de Totora	gr	3000	0.10	\$0.30	
Cemento blanco	gr	350	1.50	\$1.05	
Malla polietileno	m ²	0.5	2.00	\$1.00	
Subtotal de materiales					\$5.18
Total, costo directo (E + MA + MO)					\$7.12
Costo Indirecto					\$0.70
Costo total del panel					\$7.82
Valor ofertado					\$8.61

Tabla 4.32: Análisis de precios unitarios PAAT.

Análisis de precios unitarios					
Rubro	Panel de Totora acabado de tallo de totora 20cm x 50cm x 2.5cm				
Unidad	U				
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Total
Trituradora	1	5.00	5.00	0.2	\$0.60
Ingletadora	1	2.00	2.00	0.2	\$0.20
Herramienta menor 10 % mano de obra					\$0.22
Subtotal Equipo:					\$1.02
Mano de obra					
Descripción	Cantidad	Jornal/hora	Costo Hora	Rendimiento	Total
Artesano	1	1.98	1.98	0.2	\$1.12
Subtotal de mano de obra:					\$1.12
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total	
Harina de trigo	gr	1000	1.15	\$1.15	
Azúcar	gr	500	0.95	\$0.48	
Bicarbonato de Sodio	gr	200	5.95	\$1.19	
Agua	lt	2	0.01	\$0.01	
Fibra de Totora	gr	3000	0.10	\$0.30	
Malla polietileno	m ²	0.5	2.00	\$1.00	
Subtotal de materiales					\$4.13
Total, costo directo (E + MA + MO)					\$6.27
Costo Indirecto					\$0.70
Costo total del panel					\$6.97
Valor ofertado					\$7.59

El análisis de precio unitario determina el costo del panel de aislamiento acústico compuesto de totora triturada (PAAT) en sus diferentes versiones y acabados, la cantidad necesaria para cubrir 1 m² es de 10 paneles como se indica en la tabla 4.31, 4.32, 4.33.

Tabla 4.33: Precio de panel por m².

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Precio Total
Panel compuesto de Totora triturada	m ²	10	5.77	\$55.77
Valor ofertado				\$62.90

Tabla 4.34: Precio de panel por m².

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Precio Total
Panel compuesto de Totora triturada + malla polietileno + cemento blanco	m ²	10	7.82	\$78.20
Valor ofertado				\$86.10

Tabla 4.35: Precio de panel por m².

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Precio Total
Panel compuesto de Totora triturada + malla polietileno + tallo de totora	m ²	10	6.97	\$69.70
Valor ofertado				\$75.90

4.11.9. Factibilidad del panel

El estudio de factibilidad se lo realiza en base a la comparativa de materiales que cumplan las características de aislamiento acústico y que se comercialicen dentro del mercado, para el análisis se tomaron en cuenta los productos más comunes para este uso, de esta manera se determina que el valor del panel propuesto PAAT se sitúa dentro del panel promedio para este tipo de necesidad ver Tabla 46, siendo superado en términos económicos por el panel de espuma poliuretano, pese a esto cabe recalcar que la diferencia en costo no es amplia y se podría considerar tecnificar la fabricación del panel con la finalidad de abaratar costos y lograr estabilizar el precio del mercado, como recordatorio el PAAT es un elemento constructivo ecológico proveniente de una fibra natural que en comparación a la espuma poliuretano no contamina al medioambiente ni al usuario a lo largo de su vida útil, sumado a sus características en cuanto a funcionalidad, resistencia y apariencia hacen del panel una alternativa constructiva viable para el aislamiento acústico.

Tabla 4.36: Precios comparativos de materiales para aislamiento acústico.

Descripción	Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Costo (u)	Costo (m ²)
Panel de Totora acabado natural triturado	20	50	2.5	6.29	\$62.90
Panel de Totora acabado en cemento blanco	20	50	2.5	8.61	\$86.10
Panel de Totora acabado en tallo de totora	20	50	2.5	7.59	\$75.90
Panel PowerPRO (Lana de roca)	50	120	7	50.00	\$83.33
Panel MAVE (espuma poliuretano)	30	30	6	6.00	\$66.67
Panel DeVorm (Poliestireno reciclado)	72	80	2.5	102.00	\$186.20

4.11.10. Aplicación y uso de paneles acústicos



FIGURA 4.41: Salón de reuniones con sistema constructivo de aislamiento acústico PAAT.

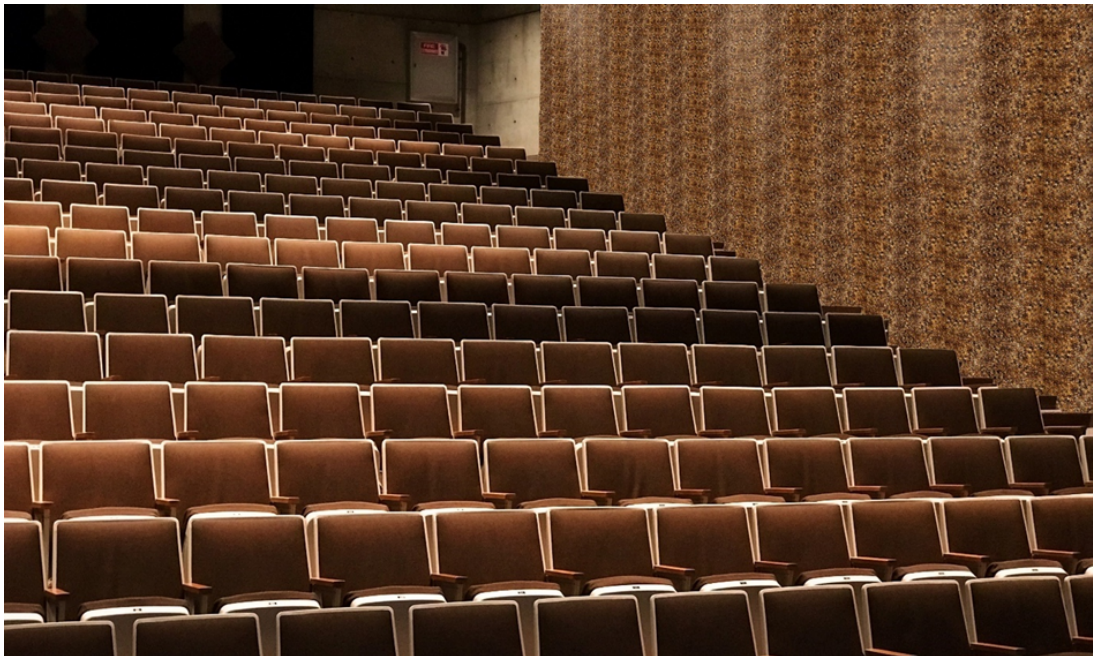


FIGURA 4.42: Auditorio con sistema constructivo PAAT.



FIGURA 4.43: Biblioteca con aislamiento acústico PAAT en cielo raso.



FIGURA 4.44: Recepción aplicada el sistema constructivo PAAT.

Tabla 4.37: Resultados y fichas técnicas de las propuestas.

FICHA TÉCNICA.							
PANEL DE TOTORA TRITURADA							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN							
MUESTRA	FUERZA MÁX (Kg.f)	ÁREA PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)				
1 (21 días)	1161.5	25	46.5				
MÓDULO DE RETURA DE FLEXIÓN							
MUESTRA	UNIDAD (cm)			LECTURA	CARGA kgf	MÓDULO DE ROTURA	
	LARGO	ANCHO	ALTURA			Kg/cm ²	
1	25	8	2.5	19	58.4	36.8	
COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA							
NOMBRE DEL MATERIAL	ESPESOR cm	BANDAS DE FRECUENCIA Hz (coeficiente 0-1)					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Panel compuesto de totora triturada	2.5	0.1	0.03	0.06	0.23	0.36	0.17
PÉRDIDA DE TRASMISIÓN SONORA (dB)							
NOMBRE DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN	ESPESOR cm		PÉRDIDA POR TRASMISIÓN SONORA (dB)			
Panel compuesto de totora triturada	Sólido	2.5		17			
COSTO DE PANEL POR m ²							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO		PRECIO TOTAL		
Panel compuesto de totora triturada	m ²	10	5.77		\$55.77		
VALOR OFERTADO					\$62.90		

FICHA TÉCNICA.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + TALLO DE TOTORA

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

MUESTRA	FUERZA MÁX (Kg.f)	ÁREA PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
1 (21 días)	1148.5	25	45.9

MÓDULO DE RETURA DE FLEXIÓN

MUESTRA	UNIDAD (cm)			LECTUR A	CARGA kgf	MÓDULO DE ROTURA
	LARGO	ANCHO	ALTUR A			Kg/cm ²
1	25	8	2.5	22	66.2	41.7

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA

NOMBRE DEL MATERIAL	ESPESOR cm	BANDAS DE FRECUENCIA Hz (coeficiente 0-1)					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Panel compuesto de totora triturada + Tallo de totora	2.5	0.06	0.03	0.11	0.42	0.36	0.46

PÉRDIDA DE TRASMISIÓN SONORA (dB)

NOMBRE DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN	ESPESOR cm	PÉRDIDA POR TRASMISIÓN SONORA (dB)
Panel compuesto de totora triturada + Tallo de totora	Poroso/sólido	2.5	12

COSTO DE PANEL POR m²

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO TOTAL
Panel compuesto de totora triturada + Tallo de totora	m ²	10	6.97	\$69.70
VALOR OFERTADO				\$75.90

FICHA TÉCNICA.

PANEL DE TOTORA TRITURADA + TALLO DE TOTORA

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

MUESTRA	FUERZA MÁX (Kg.f)	ÁREA PROBETA (cm ²)	RESISTENCIA LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
1 (21 días)	1200.3	25	48.0

MUESTRA	UNIDAD (cm)			LECTURA	CARGA kgf	MÓDULO DE ROTURA Kg/cm ²
	LARGO	ANCHO	ALTURA			
1	25	8	2.5	22	66.2	41.7

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA

NOMBRE DEL MATERIAL	ESPESOR cm	BANDAS DE FRECUENCIA Hz (coeficiente 0-1)					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Panel compuesto de totora triturada + Cemento blanco	2.5	0.84	0.5	0.06	0.22	0.37	0.19

PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN SONORA (dB)

NOMBRE DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN	ESPESOR cm	PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN SONORA (dB)	
Panel compuesto de totora triturada + Cemento blanco	Sólido	2.5		14

COSTO DE PANEL POR m²

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO TOTAL
Panel compuesto de totora triturada + Cemento blanco	m ²	10	7.82	\$78.20
			VALOR OFERTADO	\$86.10

4.12. Conclusiones del Capítulo 4

La Totora es un elemento de gran abundancia en la región de estudio, es por ello que su utilización es detonante primordial en la investigación, la optimización de este recurso natural supone una alternativa en el ámbito constructivo, su historia a través de los tiempos ha marcado un legado, en la actualidad su uso se ve opacado por las grandes industrias, los materiales prefabricados han acaparado el mercado de tecnologías constructivas, sin embargo el presente estudio trata de motivar la investigación y mediante ella la utilización de diferentes fibras naturales que se encuentran en la naturaleza.

La fabricación de paneles de aislamiento acústico compuesto de fibra de totora es la propuesta base de la investigación, su producción se da en varias etapas compuestas por recolección y procesamiento de materia prima, creación de aglomerantes naturales y fusión de los elementos mencionados, luego de un arduo proceso se consolida el material que por sus características es sometido a varias pruebas físico, mecánicas, acústicas.

Los prototipos utilizados para los ensayos, son conformados de tal manera que al obtener los resultados de cada una de las pruebas se establezca una comparación de las características entre los elementos, esto permitirá evaluar a los paneles desde distintos ámbitos científicos, estableciendo una ficha técnica para cada uno de ellos.

Los ensayos realizados sobre las muestras según normas específicas para cada uno de ellos, permiten establecer estándares para la utilización de los paneles, por medio del método de investigación de prueba y error, se obtienen dosificaciones, formas, resistencias, métodos de producción, acabados, luego de este proceso investigativo se procede a la conformación de los paneles propuestos y sus respectivos ensayos técnicos.

Los resultados obtenidos durante los ensayos para el panel de aislamiento acústico compuesto por fibras de Totora (PAAT) permiten catalogar al panel como una alternativa sustentable dentro del campo de materiales de aislamiento o recubrimiento interior para la construcción, comparado a materiales que en la actualidad se comercializan para este uso, sus características son competitivas e incluso su rendimiento supera a elementos utilizados en el ámbito de sistemas de aislamiento acústico aplicado en la construcción, cabe destacar que los materiales utilizados en la actualidad son producto de procesos de alto consumo energético, muchos de ellos incluso son contaminantes activos durante su tiempo de vida útil, en este sentido la propuesta se basa propiamente en rescatar esta fuente natural sustentable y viable, esto debido a la abundancia de fibra en la región de estudio, que en la actualidad no es utilizada en su totalidad, el aprovechamiento de este recurso al igual que el de muchas otras fibras naturales supone una alternativa amigable con el medio ambiente, que puede ser aprovechada incluso a grandes escalas por medio de un proyecto de tecnificación para la producción del material.

Conclusiones

- Respecto al caso de estudio, de acuerdo a las mediciones de nivel de ruido realizadas:
 1. Interior Aula 210: El nivel promedio de ruido es de 65,45 dB
 2. Exterior Aula 210: El nivel promedio de ruido es de 71,10 dB
 3. Exterior Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción: El nivel promedio de ruido es de 81,50 dB;

La experimentación propia, el análisis referente a los materiales, sistemas constructivos de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, y tomando en cuenta que el nivel de confort acústico admisible en aulas de estudio no debe sobrepasar los 40 dB, se concluye que, existe un alto nivel de contaminación acústica, por tanto, se hace necesaria la implementación de paneles absorbentes acústicos para mejorar el acondicionamiento sonoro de los espacios.

- Gracias a los ensayos realizados en cuanto a las características de:
 1. Resistencia a la compresión, en el que se analizaron tres probetas por cada una de las propuestas, obteniendo como mejor resultado para cada una de la muestras los siguientes datos, probeta compuesta por totora triturada sometida a una carga de 1161,5 kg.f con una resistencia de 46,5 Kg/cm²; probeta compuesta por totora triturada + malla polietileno + tallo de totora sometida a una carga de 1148,5 Kg.f con una resistencia de 45,9 Kg/cm²; probeta compuesta por totora triturada + malla polietileno + cemento blanco sometida a una carga de 1200,3 con una resistencia de 48 Kg/cm² .
 2. Resistencia a la flexión, se analizaron tres muestras por cada una de las propuestas obteniendo como mejor resultado para cada uno de los grupos los siguientes datos, probeta compuesta por totora triturada sometida a una carga de 58,4 kg.f con un módulo de rotura de 36,79 Kg/cm²; probeta compuesta por totora triturada + malla polietileno + tallo de totora sometida a una carga de 66,2 Kg.f con un módulo de rotura de 41,69 Kg/cm²; probeta compuesta por totora triturada + malla polietileno + cemento blanco sometida a una carga de 63,6 kg.f con un módulo de resistencia de 40,06 Kg/cm² .
 3. Coeficiente de absorción sonora, en este caso se pusieron a prueba tres muestras o modelos, dando como resultado en frecuencias bajas por ejemplo, para una frecuencia de 100Hz, la muestra 1 (Totora triturada + Tallo de Totora) posee un coeficiente de 0,08, la muestra 2 (Totora Triturada) posee un coeficiente de 0,50 y la muestra 3 (Totora triturada + Cemento Blanco) posee un coeficiente de 0,84; mientras que para una frecuencia altas de 1600Hz, muestra 1=0,51,

muestra 2=0,48 y muestra 3=0,48; en tanto que para frecuencia intermedia 500Hz, muestra 1=0,11, muestra 2=0,06 y muestra 3=0,06.

4. Pérdida de transmisión sonora, aquí por supuesto también fueron analizadas 3 muestras cuyos resultados fueron, para el análisis con carga anecoica la muestra M1 (Totorá triturada + Tallo de Totorá) un valor promedio de pérdida de transmisión sonora de 30 dB, M2 (Totorá triturada) una valor promedio de 20 dB y M3 (Totorá triturada + cemento blanco) un valor promedio de 25 dB; para el análisis con carga rígida los resultados obtenidos son M1 (Totorá triturada + Tallo de Totorá) un valor promedio de 12 dB, M2 (Totorá triturada) un valor promedio de 14 dB y M3 (Totorá triturada + cemento blanco) un valor promedio de 16 dB. Se puede concluir que, el panel propuesto cumple con los estándares admisibles de acuerdo a las normas tanto nacionales como internacionales.
- En lo referente al análisis de costos se puede concluir que, el panel propuesto (PAAT) está dentro del rango de precios de paneles que cumplen las mismas funciones y se ofertan en el mercado local y nacional. (Panel de lana de roca = 83,33 USD/m²; panel de espuma de poliuretano = 66,67/m²; panel de poliuretano reciclado = 186,20 USD/m²; y finalmente panel PAAT (propuesta) = 75,90 USD/ m². Si tomamos en consideración que el análisis de nuestra propuesta se realizó en función de los pocos paneles que se fabricaron para realizar las pruebas, podemos concluir que los gastos bajarán el momento que el panel se fabrique en masa y por ende el precio final de éste también disminuirá de forma considerable, lo cual lo haría más atractivo al consumidor, con el valor añadido que nuestro producto se conforma de materia prima orgánica.
 - Finalmente se concluye que se ha cumplido con todos los objetivos específicos, pues éstos llevaron a la obtención del objetivo general: “Fabricar un panel de revestimiento acústico a partir de materiales compuestos reforzados con fibras de Totorá que puedan ser adaptados a centros pedagógicos de la ciudad de Cuenca.

Recomendaciones

- Se recomienda el uso de paneles PAAT en el aula 210 y en todas las aulas de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción; y en centros educativos y similares, porque, además de ser un buen absorbente acústico y cumplir con todas las normas en cuanto a la insonorización de edificaciones, está elaborado con fibras naturales, lo que representa un aporte muy importante en cuanto a la sostenibilidad del medio ambiente puesto que no solo es amigable con el medio ambiente, sino, que su huella ecológica es mucho menor si lo comparamos con paneles comunes que ofrece el mercado.
- Se recomienda profundizar en el estudio de paneles a base de fibras de totora, puesto que se podrían ofrecer varias alternativas al usuario, como: paneles de mayor espesor, de mayor longitud y con un recubrimiento especial que permita pintarlos o pre pintarlos de diversos colores, con el fin de que sean también una respuesta al momento de decorar un espacio.
- Conservar el medio ambiente es una tarea que debe involucrarnos a todos, en tal virtud es recomendable realizar estudios interdisciplinarios para profundizar en el conocimiento, tratamiento y la aplicación de las fibras naturales que pueden servir como materia prima para elaborar materiales compuestos.
- Plantear la intervención de un espacio arquitectónico educacional conlleva a generar nuevas experiencias entre los usuarios, incluso se podría generar un estudio sobre los resultados de la propuesta y discutir el alcance en el ámbito pedagógico que se pueda conseguir a través de la aplicación en las distintas zonas pedagógicas, recomendar el análisis acústico de toda una institución, con el fin de establecer las zonas donde es necesaria la intervención con los paneles acústicos y de esta manera contribuir al confort acústico y por ende a la mejora del aprendizaje.

Referencias

- Abriga Nature. (2020). *Fibra de coco natural*. <https://www.abriganature.com/fibra-de-coco-natural---placas-1250x625mm-12.html>
- Acoustical Solutions. (2017). Major Northeastern University. <https://acousticalsolutions.com/application/major-northeastern-university/>
- AECOR. (2020). *Publicación de la nueva norma une-iso 1996, partes 1 y 2. asociación española para la calidad acústica*. <https://aecor.org/publicacion-nueva-norma-une-iso-1996-1-2-2/>
- Afelma. (2021, 25 de marzo). *El sector de las lanas minerales reivindica su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Madrid - España*. Asociación de Fabricantes Españoles de Lanas Minerales Aislantes:. <https://afelma.org/aislar-un-edificio-con-los-materiales-adecuados-equivale-en-terminos-de-la-reduccion-de-emisiones-de-co2-a-plantar-200-arboles/>
- Aguirre, M., Ávila, M., y Pasantez, J. (2016). *Arquitectura tradicional de cuenca, recuperación y alternativa sustentable en la contemporaneidad*. Cuenca, Ecuador. <https://www.eumed.net/libros-gratis/actas/2016/filosofia/Arquitectura-tradicional-Cuenca-Marco-Benigno.pdf>
- Aislamiento y acondicionamiento acústico las mejores*. (s.f.). ARMAS PARA COMBATIR AL RUIDO.
- Arauacustica. (2020). *Acústica para la arquitectura*. https://www.arauacustica.com/files/noticias/pdf_esp_354.pdf
- ArchDaily México. (2018, 1 de octubre). *Archdaily méxico. "escuela primaria woodland / hmfh architects"*. <https://www.archdaily.mx/mx/902593/escuela-primaria-woodland-hmfh-architects>
- Architects., E. P. W. . H. (s.f.).
- Assa Abloy. (2018). *Soluciones acústicas*. <https://www.assaabloydooraccessories.us/en/accessories-solutions/acoustic-solutions/>
- Auccacusi, M. (2020). *Análisis de la técnica ancestral del tejido de la totora como patrimonio cultural: Caso isla balseiro chimú, 2020* (Tesis de grado, Universidad San Martín de Porres). https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7136/AUCCACUSI_KM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Auersignal. (2015). *Todo sobre el volumen*. <https://www.auersignal.com/es/datos-tecnicos/indicacion-acustica/todo-sobre-el-volumen/#Was%20ist%20der%20Schalldruck?>
- Aza, L. (2016). *La totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades* (Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya). <https://docplayer.es/34676347-La-totora-como-material-de-aislamiento-termico-propiedades-y-potencialidades.html>
- BOE. (2007). *Legislación consolidada* (Vol. BOE-A-2007-18397(254)). Madrid, España.

-
- <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-18397-consolidado.pdf>
- Brambilla, G., Benocci, R., Confalonieri, C., y Roman, H. (2020). *Applies Sciences*, 10, 15. doi: 10.3390/app10072451
- Buildings, D. (2021). *Sound insulation in buildings*. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Sound_insulation_in_buildings
- Carhuanambo, J. (2016). *Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, cajamarca 2016*” (Tesis de Grado, Universidad Privada del Norte). <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7328/CARHUANAMBO%20VILLANUEVA,%20Jhenifer%20Thajana.pdf?sequence=5>
- Castañeda, H., y Escalante, M. (2020). *Aprovechamiento del aserrín para la fabricación de ladrillos ecológicos, y lograr su próxima aplicación en el Perú* (Tesis de Grado, Universidad Tecnológica del Perú). https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3336/Hugo%20Casta%C3%B1eda_Mark%20Escalante_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castillo, J., y Costa, A. (2012). Características físicas de materiales absorbentes sonoros porosos. , 1, 1–8. <https://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/fundamentosdeacusticayelectroacustica/pub/file/FAyE0412E1-Castillo-Costa.pdf>
- Chile España, A., y Servicios Legislativos, D. (s.f.). *Legislación extranjera contaminación acústica*.
- Choffnes, D. (2017). *And from the inside at isec* (Tesis de grado, Universidad Católica de Cuenca). <http://dspace.ucacue.edu.ec/handle/reducacue/8177>
- Chova. (2020). *Propiedades del sonido: amplitud y frecuencia*. <https://chova.com/propiedades-del-sonido-amplitud-y-frecuencia/>
- Chuncho, G., Chuncho, C., y Aguirre, Z. (2019). Anatomía y morfología vegetal. Universidad Nacional de Loja. <https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2019-12/ANATOMI%CC%81A%20Y%20MORFOLOGI%CC%81A%20VEGETAL.pdf>
- Chávez, N. (2007). *Introducción a la investigación educativa* (Vol. 3). Venezuela.
- Civil Engineering B. (2018). *Aislamiento acústico para edificios*. <https://civilengineeringbible.com/article.php?i=133>
- Contreras, A. (2020). *Acondicionamiento termoacústico de vivienda en zona tropical: Caso habitación urbana San Cirilo, Iquitos, Maynas - Loreto 2019* (Tesis de Grado, Universidad Científica del Perú, San Juan Bautista-Perú). <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle>
- Corredor-Bedoya, A., Acuña, B., Serpa, A., y Masiero, B. (2021). Effect of the excitation signal type on the absorption coefficient measurement using the impedance tube. *Applied Acoustics*, 171. doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107659
- CTIA. (2018). *Qué es ¿espectro?* <https://www.ctia.org/news/what-is-spectrum-a-brief-explainer>
- Cucharero, J., Hänninen, T., y Lokki, T. (2019-06-29). Influence of sound-absorbing material placement on room acoustical parameters. *Acoustics*, 1(3), 644–660. <https://doi.org/10.3390/acoustics1030038> doi: 10.3390/acoustics1030038
- Cupa Group. (2020). *Materiales sostenibles para el aislamiento acústico*. <https://www.cupagroup.com/>
-

-
- Desarrollo Energía and Sostenible. (2016). *Impacto de la energía*. <https://www2.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm>
- Domínguez, A. (2015). El poder vinculante del sonido. la construcción de la identidad y la diferencia en el espacio sonoro. , *25*, 95–104. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-70172015000200008
- EEA (Ed.). (2020, 20 de marzo). Noise pollution is a major problem, both for human health and the environment. *European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/articles/noise-pollution-is-a-major?>
- Espinoza, M. (2015). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar* (Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca). <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23026/1/tesis.pdf>
- Esquerdo, T. (2015). Desarrollo de modelos de comportamiento acústico y caracterización de materiales elaborados con aligerantes la construcción, aplicación a sistemas de control de ruidos [Tesis Doctoral]. <https://riunet.upv.es/bitstream/>
- European Acústica. (2020). *El sonido y sus características*. <https://www.europeanacustica.com/aislamiento-acustico/el-sonido-caracteristicas>
- European Commission. (2020). *Eu noise policy*. https://ec.europa.eu/environment/noise/policy_en.htm
- Expo, A. (2022). *Paneles tipo sándwich* (Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Cuenca, Universidad Católica de Cuenca). <http://dspace.ucacue.edu.ec/handle/reducacue/8177>
- Farias, G. (2018). *Fibras textiles naturales y vegetales*. <https://gabrielfariasiribarren.com/fibras-textiles-naturales-vegetales/>
- Farooqi, Z., Muhammad, S., Nukshab, Z., Ghulam, M., Mahroz, M., y Muhammad, U. (2019). Contaminación acústica vehicular: sus implicaciones ambientales y control estratégico. *Intech Open Book*, *22*. <https://www.intechopen.com/chapters/71662>
- Flor Planta. (2016, 9 de junio). *Totora (Typha latifolia): Características, cultivo y cuidados*. *Flor de Planta*. <https://www.flordeplanta.com.ar/acuaticas/totora-typha/>
- Gallardo, B. (2019). *Arquitectura y sonido. el evento sonoro como generador del proyecto* [Tesis de Pregrado]. http://oa.upm.es/54139/1/TFG_Diaz_Gallardo_Barbara.pdf
- Getzner. (2021). *Supresión eficaz del sonido de impacto*. <https://www.getzner.com/en/applications/construction/building-acoustics/floating-floors>
- Gilavand, A., y Jamshidnezhad, A. (2016). The Effect of Noise in Educational Institutions on Learning and Academic Achievement of Elementary Students in Ahvaz, South-West of Iran. *International Journal of Pediatrics*, *4*(3), 1453–1463. doi: 10.22038/ijp.2016.6500
- Gobierno Canarias. (2019). *Fuentes de contaminación acústica*. https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/prevencion-y-calidad-ambiental/contaminacion_ambiental/contaminacion_acustica/fuentes_de_contaminacion_acustica/
- Granda, L. (2018). *Evaluación de las propiedades de materiales compuestos fabricados a partir de fibras semiquímicas de leucaena collinsii y polipropileno* (Tesis Doctoral,
-

-
- Universitat de Girona, Universitat de Girona). <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/398953/tlagg.pdf?sequence=7>
- Guijarro, J., Terán, I., y Valdez, M. (2016). Determinación de la contaminación acústica de fuentes fijas y móviles en la vía a Samborondón en Ecuador. , 20(38), 56. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5280032>
- Gulab, S. (2017). Sonority and reduplication in hadoti. *Journal of Universal Language*, 18(2), 37. doi: 10.22425/jul.2017.18.2.1
- Harvard T.H. Chan. (2017, 17 de febrero). *Building evidence. the 9 foundations of healthy buildings*. https://forhealth.org/9_Foundations_of_a_Healthy_Building.February_2017.pdf
- Hidalgo, J. (2017). *Constructive applications of totora (Schoenoplectus californicus) in binderless boards* (Tesis Doctoral, ETS). doi: 10.20868/UPM.thesis.56706
- HMFH Architects. (2022). *HMFH Architects. HMFH Architects*. <https://www.hmfh.com/>
- Hurtado, J. (2007). *Metodología de la investigación* (Vol. 4). <https://dariososafoula.files.wordpress.com/2017/01/hurtado-de-barrera-metodologicc81a-de-la-investigaciocc81n-guiccc81a-para-la-comprensioocc81n-holicc81stica-de-la-ciencia.pdf>
- Ieda. (2019). *¿qué es una onda?* http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/10122019/08/es-an_2019121012_9122135/1_qu_es_una_onda.html
- Interempresas (Ed.). (2020, 14 de julio). *Soluciones de aislamiento, acondicionamiento y control del ruido en los gimnasios para cuidar la salud acústica de los usuarios*. <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/>
- ISOVER. (2019). *Fuentes del ruido*. <https://www.isover.es/>
- Jara, O. (2018). *Artes y oficios (constructivos en totora) como vinculación material al diseño y detalle arquitectónico* (Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Ambato, Universidad Técnica de Ambato). <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28762>
- Kapelusz. (2016). *Los materiales y el sonido*. <https://www.editorialkapelusz.com/wp-content/uploads/2018/01/CAP-MODELO-AVANZA-NATURALES-5-FED.pdf>
- Kumar, A. (2016). Anatomy of ear. *En Otolology & Middle Ear Surgery* (pág, 500). <https://www-jaypeedigital-com>
- Licla, L. (2016). *Evaluación y percepción social del ruido ambiental generado por el tránsito vehicular en la zona comercial del Distrito de Lurín* (Tesis de Grado, Universidad Agraria La Molina, Lima-Perú). <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3168/licla-tomayro-luis-ricardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Loja, M. (2015). *Investigación de las principales tecnologías constructivas de edificaciones utilizadas en la ciudad de Cuenca* (Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca, Universidad de Cuenca). <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21638>
- Línea 5. (2016). *Northeastern University College of Engineering Classrooms*. , 5. <https://www.linea5.com/neu-collegeofengineeringclassroom>
- López, A., López, W., y Ticliahuanca, E. (2019). Responsabilidad social sobre contaminación acústica en los estudiantes de Ingeniería Industrial. *Universidad Nacio-*

-
- nal José Faustino Sánchez Carrión, 2(5), 9. <https://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/INFINITUM/article/download/572/552/1559>
- López, O. (2011). *Bernhard Leitner: Sound Spaces*. https://www.archdaily.com/168979/bernhard-leitner-sound-spaces?ad_medium=gallery
- MAE. (2012). *Norma técnica que establece los límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles*. Quito, Ecuador. <https://www.cip.org.ec/attachments/article/450/ANEXO%205%20RUIDO.pdf>
- Manrique, D. (2016, 8 de noviembre). *Atrapar el sonido: una historia épica*. <https://espacio.fundaciontelefonica.com/noticia/atrapar-el-sonido-una-historia-epica/?ide=49958>
- Marañón, J., Calandra, M., Delnero, J., y Algozino, J. (2016). *Análisis de fluctuaciones de la presión mediante la Metodología CPM*. Argentina. <https://rdu.iua.edu.ar/bitstream/123456789/2008/1/J.%20Mara%c3%b1%c3%b3n%20Di%20Leoa.pdf>
- Martínez Gavilanes, J. (2017). Evaluación del ruido en cuenca a 2015. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 9(1). doi: 10.18272/aci.v9i15.711
- Ministerio Ambiente. (2021). *Norma tÉcnica que establece los limites permisibles de ruido ambiente para*. <https://www.cip.org.ec/attachments/article/450/ANEXO%205%20RUIDO.pdf>
- Mizar, D., y Munzón, C. (2018). Impacto ambiental de los procesos de producción. Una revisión de su evolución y tendencias. *Revista I+D*, 8(1), 15–20. <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/identific/article/download/2941/3429>
- Monje, G. (2016). *Diseño de un panel sándwich semi-ligero con aislamiento de fibra natural proveniente del Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente en el mercado, en base a parámetros térmicos, acústicos y de respeto por el medio ambiente* (Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, Universidad de Cuenca). <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23944>
- Muñoz, F., Ballerini, A., y Gacitúa, W. (2013). Variabilidad de las propiedades físicas, morfológicas y térmicas de la fibra de corteza de *Eucalyptus nitens*. *Revista Maderas, Ciencias y Tecnología*, 15(1), 17–30. doi: 10.4067/S0718-221X2013005000002.
- Mézière, F., Derode, A., y Muller, M. (2016). Measurements of ultrasound velocity and attenuation in numerical anisotropic porous media compared to Biot's and multiple scattering models. *Ultrasonics*, 54(5). doi: 10.1016/j.ultras.2013.09.013
- Navacerrada, M., Prida, D., Sesmero, A., Pedrero, A., Gómez, T., y Fernández, P. (2021). Comportamiento acústico y térmico de materiales basados en fibras naturales para la eficiencia energética en edificación. *Informes de la Construcción*, 73(561), 1–9. doi: 10.3989/ic74558
- Nermin, A., Seddeq, H., y Hamouda, T. (2021). Acoustic and thermal performance of sustainable fiber reinforced thermoplastic composite panels for insulation in buildings. *Journal of Building Engineering*, 40, 8. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102747> doi: 10.1016/j.jobe.2021.102747
- NIH. (2019a). *Pérdida auditiva inducida por ruido*. *National Institute of Deafness and other Communication Disorders*. <https://www.nidcd.nih.gov/health/noise-induced-hearing-loss>
- NIH. (2019b). *Pérdida de audición inducida por el ruido*. <https://www.nidcd.nih.gov/sites/default/files/Documents/health/hearing/>
-

[noise-induced-hearing-loss-spanish-8-2021.pdf](#)

- Norma técnica que establece los límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles. *nte_inen_2665*. (s.f.).
- Ordenanza de control de la contaminación originada por la emisión de ruido provenientes de fuentes fijas y móviles. (s.f.).
- Parlamento Europeo. (2003). Ley 37/2003. *RUIDO*, 15. https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdf/64B04748-1456-4755-BD55-7836DA8E8055/115191/RD_1513_2005_consolidado.pdf
- Penagos, M., y Rocha, N. (2018). *El confort acústico en la mampostería estructural* (Tesis de pregrado, Universidad la gran Colombia). https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3384/Confort_acustico_mamposteria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pereira, M. (2015). Relación entre energía, medio ambiente y desarrollo económico a partir del análisis jurídico de las energías renovables en Colombia. *Saber, Ciencia y Libertad*, 10(1), 35–60. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5329119.pdf>
- Peña, B. (2016). *Panel prefabricado a base de fibras naturales* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca], Repositorio digital.]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25315>
- Pruna, V. (2014). *El eucalipto alternativa poco ecológica de reforestación en la zona oriental de Salcedo* (Tesis de Grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito-Ecuador). http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/2903/1/58669_1.pdf
- Pucha, M. (2018). *Caracterización de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D* [Tesis de Maestría]. Quito-Ecuador. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/>
- Pujol, S., Levain, J., Houot, H., Petit, R., Berthillier, M., Defrance, J., ... Mauny, F. (2019, 21 de noviembre). Association between ambient noise exposure and school performance of children living in an urban area: a cross-sectional population-based study. *Journal of Urban Health*, 2.
- Quintero, L. (2018). *Desarrollo y evaluación de un material compuesto elaborado a partir de polipropileno y fibras cortas de bambú mediante la técnica de modelo por compresión en caliente* (Tesis de Maestría, Universidad Pontificia Bolivariana). <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/>
- Rockfon. (2021). *Diseño en Escuelas*. ROCKWOOL Group.
- Rodríguez, C. (2016). *El Problema De La Contaminación Acústica En Nuestras Ciudades: Evaluación De La Actitud Que Presenta La Población Juvenil De Grandes Núcleos Urbanos: El Caso De Zaragoza* (Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.) <https://zaguan.unizar.es/record/48395/files/TESIS-2016-141.pdf>
- Rodríguez, A. (2018). *Beneficios al incorporar aditivo plastificante e incorporador de aire en el concreto en la ejecución de proyectos de pistas y veredas del Distrito de Visco - Pasco* (Tesis de Grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco). http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/770/1/T026_44883374_T.pdf
- Romero, E. (2020). *Aislante térmico y acústico para paredes hecho a partir de paja*

-
- de arroz. <https://www.elementsgroup.com.ec/aislante-termico-y-acustico-para-paredes-hecho-a-partir-de-paja-de-arroz/>
- Samaniego, L. (2019). *Contaminación sonora por ruido vehicular y sus efectos en la salud humana en la zona céntrica regenerada de la ciudad de Loja* (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja). <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22472/1/Luis%20Efr%c3%a9n%20Samaniego%20Samaniego.pdf>
- SciDevNet. (2018). *Latinoamericanos en riesgo de salud por ruido excesivo*. <https://www.scidev.net/americas-latinas/news/latinoamericanos-en-riesgo-de-salud-por-ruido-excesivo/>
- Servicio Acreditación Ecuatoriano. (2018). *Ensayos de acústica ambiental para medir el ruido*. <https://www.acreditacion.gob.ec/ensayos-de-acustica-ambiental-miden-ruido/>
- Shanahan. (2015). *Northeastern's Blackman Auditorium*. <https://www.shanahansound.com/northeastern-auditoriums>
- Siemens Stiftung. (2016). *Velocidad del sonido*. <https://medienportal.siemens-stiftung.org/es/home>
- Simarro, A. (2015). *Metodología para la evaluación del impacto del ruido ambiental producido por la maquinaria en minería a cielo abierto* (Tesis de Pregrado, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS). https://oa.upm.es/36422/1/PFC_Alberto_Simarro_Cemborain.pdf
- Sound Fighter. (2020). *What Are The Causes of Noise Pollution*. <https://www.soundfighter.com/what-are-the-causes-of-noise-pollution/>
- Souza, E. (2021, 27 de mayo).
- Srámková, H. (2015). The softest sound levels of the human voice in normal subjects. *The Journal of the Acoustical Society of*, 137, 407. doi: 10.1121/1.4904538
- Steelcase. (2018). *Acústica, trabajo y el entorno físico*. 360 Focus.
- Synthesisia Technology. (2019). *Tipos de aislamientos acústicos para suelos*. <https://blog.synthesia.com/es/tipos-de-aislamientos-acusticos-para-suelos>
- The NEW WOODLAND ELEMENTARY SCHOOL. (2015).
- UCUENCA (Ed.). (2021). Campus Central. <https://www.ucuenca.edu.ec/nosotros/campus/campus-central>
- UCUENCA E.P. (2014). Condiciones generales de ejecución de la obra aulario para el centro científico tecnológico y de investigación Balzay de la universidad de Cuenca. En (p. 313). Cuenca, Ecuador. <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchi>
- UCUENCA E.P. (2019, 14 de marzo). Diseños arquitectónicos y de ingeniería para el centro científico, tecnológico y de investigación Balzay. En *Empresa pública de la universidad de cuenca*. <https://ucuencaep.com.ec>
- Universidad FASTA. (2016). *Generación de sonidos*. <https://www.ufasta.edu.ar/nueva-presencial/files/2016/12/04-Generaci%C3%B3n-de-sonidos.pdf>
- UNTREF (Ed.). (2020). *Por la cuarentena se registraron atenuaciones de ruido en CABA*. <https://www.untref.edu.ar/mundountref/cuarentena-caba-atenuaciones-ruido-cistas>
- USGBC. (2018, 18 de septiembre). *Us gbc. us gbc leed*. <https://www.usgbc.org/projects/woodland-elementary-school-0>
-

-
- Valverde, G. (2018). *La gestión de la calidad en la obra aulario 1 para el centro tecnológico de Balzay de la universidad de Cuenca* (Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca). <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30319>
- Velasco, L., Goyos, L., Delgado, R., y Quezada, Y. (2015a). Evaluación de paneles aislantes fabricados en fibras de totora (typha latifolia) evaluation of insulating panels made of cattails fibers (typha latifolia). *Revista Gaceta Técnica, Volumen (Vol. 14, Number 1.*
- Velasco, L., Goyos, L., Delgado, R., y Quezada, Y. (2015b). Evaluación de paneles aislantes fabricados en fibras de totora (typha latifolia). *Revista Gaceta Técnica, 14*(1), 23–32. <https://revistas.uclave.org/index.php/gt/article/view/1251/553>
- Velasco, R. (2021). *Acústica en el salón de clases*. <https://solucionesacusticas.com/acustica-en-el-salon-de-clases/>
- Velasquez, R. (2019). *Efecto de la humedad relativa y tiempo de almacenamiento de las hojas de eucalipto deshidratado (Eucalyptus)* (Tesis de Grado, Universidad Nacional de Piura). <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2006>
- Velásquez, S., Peláez, G., y Giraldo, D. (2016). *Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos*. http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/324
- Victory, J. (2021). *Noise-induced hearing loss. Healthy Hearing*. <https://www.healthyhearing.com/help/hearing-loss/noise-induced-hearing-loss>
- Vigran, T. (2012). Normal incidence sound transmission loss in impedance tube - measurement and prediction methods using perforated plates. *Applied Acoustics, 73*(4), 454–459. doi: 10.1016/j.apacoust.2011.11.009
- VIRCO. (2022). *Virco*. <https://virco.com/flexible-classrooms-new-middle-school>
- Zambrano, M. (2018). *Totora: Análisis de su comportamiento como material en la construcción para futuras aplicaciones* (Tesis de Grado, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca-Ecuador). <http://186.5.103.99/bitstream/reducacue/8085/>
- Zhao, Y., Xu, J., Davy, J., Liu, Z., y Fard, M. (2022). Prediction of random incidence sound absorption coefficients of porous materials. *Applied Acoustics, 189*. doi: 10.1016/j.apacoust.2021.108625

Anexos	161
Anexo 1:	161
Anexo 2:	163
Anexo 3:	165
Anexo 4:	179
Anexo 5:	195

Quito, 28 de abril de 2022

Código de solicitud: S22-002
Atención: Srta. Yuliana Torres
Institución: Universidad Católica de Cuenca
Dirección: Av. De Las Américas y Humboldt, Cuenca
Teléfono: (07) 2 830 751
E-mail: yuly_25@hotmail.es

Requerimiento:

Ensayo para la determinación del coeficiente de absorción sonora en tres (3) muestras de conformado de fibra totora no tejido. Las muestras tienen un diámetro de 35 mm.

Metodología:

El ensayo para la determinación del coeficiente de absorción sonora está fundamentado en el estándar UNE-EN-ISO 10534-2 "Determinación de Coeficiente de Absorción Acústica en tubos de impedancia" por el método de la función de transferencia.

El procedimiento permite obtener el coeficiente de absorción sonora en bandas de tercio de octava entre 100 y 5000 Hz. Sin embargo, debido a las dimensiones del tubo de impedancia, los resultados entre 100 y 400 presentan mayor incertidumbre.

La calibración del sistema de medida se realizó de acuerdo con el procedimiento definido por el fabricante, utilizando una muestra anecoica de 5 mm de espesor.

Se realizaron 3 repeticiones para cada una de las muestras, y los resultados muestran el promedio y la desviación estándar para cada frecuencia central en bandas de tercio de octavas. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayos acústicos de la Universidad de Las Américas bajo condiciones controladas de temperatura (18 °C) y humedad relativa (50%).

Equipamiento:

Tubo de impedancia: Spectronics
Modelo: ACUPRO 4
Micrófonos: GRAS tipo 26CA
Altavoz: JBL2426J
Estándares: ISO 10534-2, ASTM E1050-98
Muestra de calibración: Esponja de poliuretano de 5 mm de espesor
Calibración: 6 – abr – 2022

Resultados:

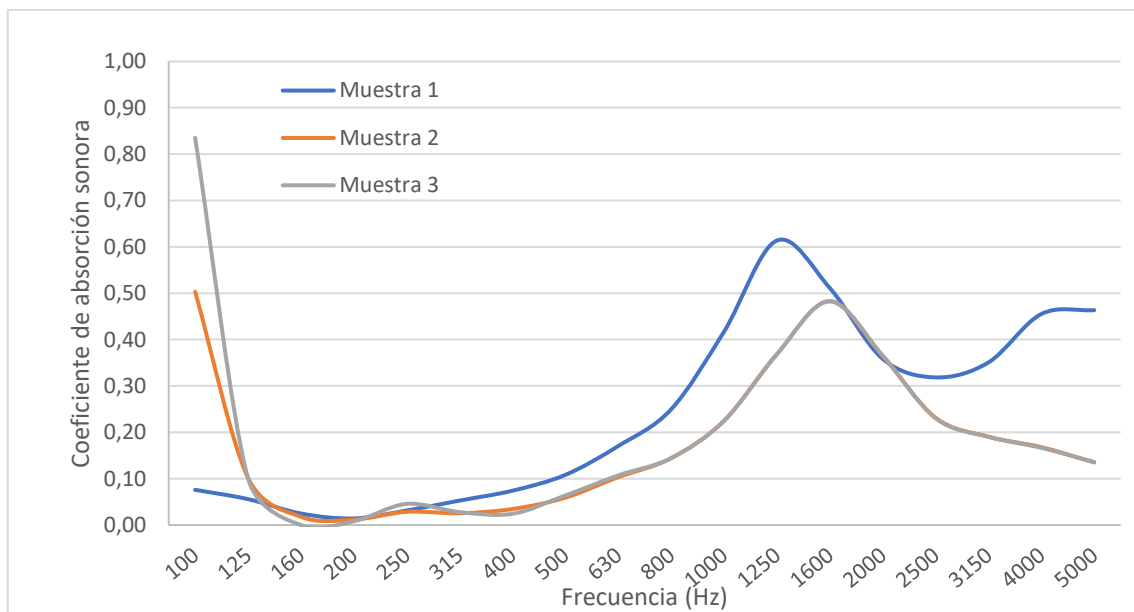
Las muestras recibidas fueron etiquetadas de la siguiente manera, de acuerdo con las características facilitadas por los interesados

	Etiqueta
Muestra 1	Entera_triturada_1
Muestra 2	Totora_Canela_1
Muestra 3	Totota_Cemento_1

Los resultados obtenidos en el ensayo fueron los siguientes:

Frecuencia (Hz)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
100	0,08 (0,04)	0,50 (0,43)	0,84 (0,00)
125	0,06 (0,03)	0,10 (0,08)	0,10 (0,00)
160	0,02 (0,02)	0,02 (0,01)	-
200	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)
250	0,03 (0,01)	0,03 (0,01)	0,05 (0,00)
315	0,05 (0,01)	0,03 (0,01)	0,03 (0,00)
400	0,07 (0,00)	0,03 (0,01)	0,02 (0,00)
500	0,11 (0,00)	0,06 (0,01)	0,06 (0,00)
630	0,17 (0,00)	0,10 (0,00)	0,11 (0,00)
800	0,25 (0,00)	0,14 (0,00)	0,14 (0,00)
1000	0,42 (0,00)	0,23 (0,00)	0,22 (0,00)
1250	0,61 (0,00)	0,37 (0,00)	0,37 (0,00)
1600	0,51 (0,00)	0,48 (0,00)	0,48 (0,00)
2000	0,36 (0,00)	0,36 (0,00)	0,37 (0,00)
2500	0,32 (0,00)	0,23 (0,00)	0,23 (0,00)
3150	0,35 (0,00)	0,19 (0,00)	0,19 (0,00)
4000	0,46 (0,00)	0,17 (0,00)	0,17 (0,00)
5000	0,46 (0,00)	0,13 (0,00)	0,14 (0,00)

*Los valores presentados entre paréntesis () corresponden a la desviación estándar.



Elaborado por

Revisado por

Quito, 28 de abril de 2022

Código de solicitud: S22-002
Atención: Srta. Yuliana Torres
Institución: Universidad Católica de Cuenca
Dirección: Av. De Las Américas y Humboldt, Cuenca
Teléfono: (07) 2 830 751
E-mail: yuly_25@hotmail.es

Requerimiento:

Ensayo para la determinación del coeficiente de absorción sonora en tres (3) muestras de conformado de fibra totora no tejido. Las muestras tienen un diámetro de 35 mm.

Metodología:

El ensayo para la determinación del coeficiente de absorción sonora está fundamentado en el estándar UNE-EN-ISO 10534-2 "Determinación de Coeficiente de Absorción Acústica en tubos de impedancia" por el método de la función de transferencia.

El procedimiento permite obtener el coeficiente de absorción sonora en bandas de tercio de octava entre 100 y 5000 Hz. Sin embargo, debido a las dimensiones del tubo de impedancia, los resultados entre 100 y 400 presentan mayor incertidumbre.

La calibración del sistema de medida se realizó de acuerdo con el procedimiento definido por el fabricante, utilizando una muestra anecoica de 5 mm de espesor.

Se realizaron 3 repeticiones para cada una de las muestras, y los resultados muestran el promedio y la desviación estándar para cada frecuencia central en bandas de tercio de octavas. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayos acústicos de la Universidad de Las Américas bajo condiciones controladas de temperatura (18 °C) y humedad relativa (50%).

Equipamiento:

Tubo de impedancia: Spectronics
Modelo: ACUPRO 4
Micrófonos: GRAS tipo 26CA
Altavoz: JBL2426J
Estándares: ISO 10534-2, ASTM E1050-98
Muestra de calibración: Esponja de poliuretano de 5 mm de espesor
Calibración: 6 – abr – 2022

Resultados:

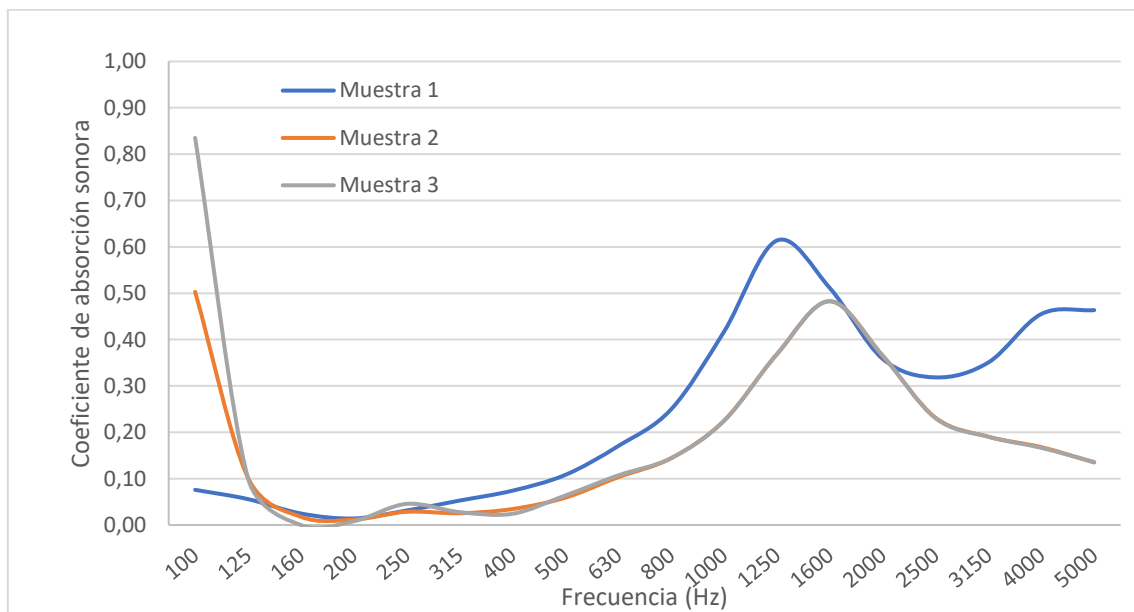
Las muestras recibidas fueron etiquetadas de la siguiente manera, de acuerdo con las características facilitadas por los interesados

	Etiqueta
Muestra 1	Entera_triturada_1
Muestra 2	Totora_Canela_1
Muestra 3	Totota_Cemento_1

Los resultados obtenidos en el ensayo fueron los siguientes:

Frecuencia (Hz)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
100	0,08 (0,04)	0,50 (0,43)	0,84 (0,00)
125	0,06 (0,03)	0,10 (0,08)	0,10 (0,00)
160	0,02 (0,02)	0,02 (0,01)	-
200	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)
250	0,03 (0,01)	0,03 (0,01)	0,05 (0,00)
315	0,05 (0,01)	0,03 (0,01)	0,03 (0,00)
400	0,07 (0,00)	0,03 (0,01)	0,02 (0,00)
500	0,11 (0,00)	0,06 (0,01)	0,06 (0,00)
630	0,17 (0,00)	0,10 (0,00)	0,11 (0,00)
800	0,25 (0,00)	0,14 (0,00)	0,14 (0,00)
1000	0,42 (0,00)	0,23 (0,00)	0,22 (0,00)
1250	0,61 (0,00)	0,37 (0,00)	0,37 (0,00)
1600	0,51 (0,00)	0,48 (0,00)	0,48 (0,00)
2000	0,36 (0,00)	0,36 (0,00)	0,37 (0,00)
2500	0,32 (0,00)	0,23 (0,00)	0,23 (0,00)
3150	0,35 (0,00)	0,19 (0,00)	0,19 (0,00)
4000	0,46 (0,00)	0,17 (0,00)	0,17 (0,00)
5000	0,46 (0,00)	0,13 (0,00)	0,14 (0,00)

*Los valores presentados entre paréntesis () corresponden a la desviación estándar.



Elaborado por

Revisado por



Designation: E2611 – 17

Standard Test Method for Normal Incidence Determination of Porous Material Acoustical Properties Based on the Transfer Matrix Method¹

This standard is issued under the fixed designation E2611; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the use of a tube, four microphones, and a digital frequency analysis system for the measurement of normal incident transmission loss and other important acoustic properties of materials by determination of the acoustic transfer matrix.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.4 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

[C634 Terminology Relating to Building and Environmental Acoustics](#)

[E90 Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements](#)

[E1050 Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System](#)

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E33 on Building and Environmental Acoustics and is the direct responsibility of Subcommittee E33.01 on Sound Absorption.

Current edition approved April 1, 2017. Published July 2017. Originally approved in 2009. Last previous edition approved in 2009 as E2611 – 09. DOI: 10.1520/E2611-17.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

2.2 ISO Standards:

[ISO 140-3 Acoustics—Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements—Part 3: Laboratory Measurement of Airborne Sound Insulation of Building Elements³](#)

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The acoustical terminology used in this test method is intended to be consistent with the definitions in Terminology [C634](#).

3.1.1 *reference plane*—an arbitrary section, perpendicular to the longitudinal axis of the tube that is used for the origin of linear dimensions. Often it is the upstream (closest to the sound source) face of the specimen but, when specimen surfaces are irregular, it may be any convenient plane near the specimen.

3.1.2 *sound transmission coefficient, τ* —(dimensionless) of a material in a specified frequency band, the fraction of airborne sound power incident on a material that is transmitted by the material and radiated on the other side.

$$\tau = \frac{W_t}{W_i}$$

where:

W_t and W_i = the transmitted and incident sound power.

3.1.3 *sound transmission loss, TL* —of a material in a specified frequency band, ten times the common logarithm of the reciprocal of the sound transmission coefficient. The quantity so obtained is expressed in decibels.

$$TL = 10 \log_{10} \left(\frac{W_i}{W_t} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\tau} \right)$$

3.1.3.1 *Discussion*—In this standard the symbol TL_n will be applied to sound which impinges at an angle normal to the test specimen, as opposed to an arbitrary or random angle of incidence.

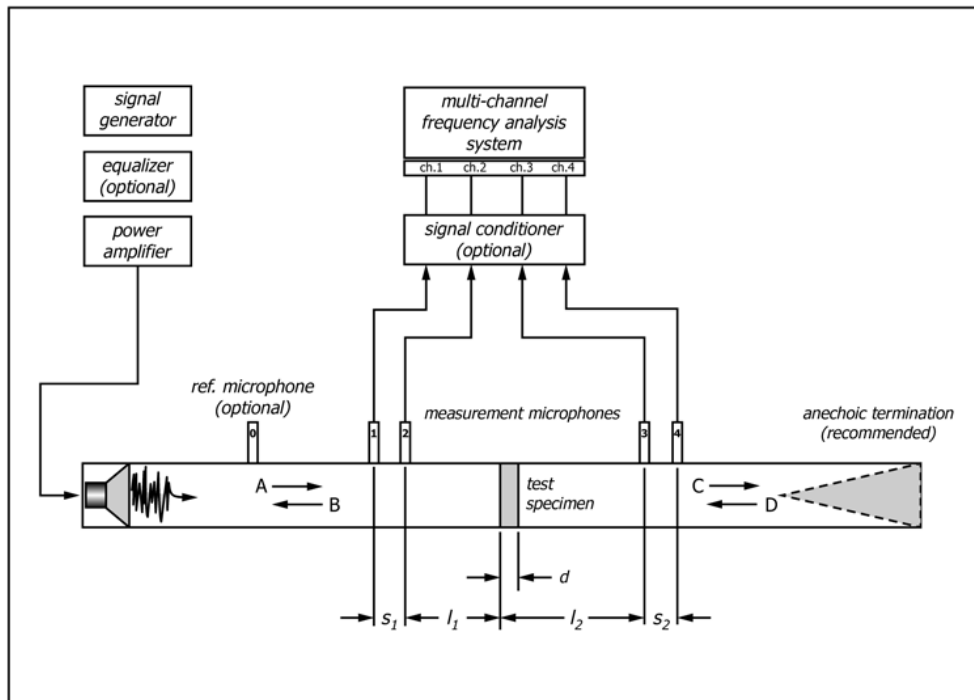
3.2 Symbols:

c = speed of sound, m/s.

ρ = density of air, kg/m^3 .

f = frequency, hertz, (Hz).

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.



NOTE 1—A, B, C, and D are the forward and backward components of the standing wave field. 1, 2, 3, and 4 are the measurement locations; 0 is an optional reference location. Distances are measured from the specimen reference plane.

FIG. 1 Schematic Drawing of Measurement Setup

G_{11} , G_{22} , etc. = auto power spectra (autospectrum) of the acoustic pressure signal at microphone locations 1, 2, and so on.

G_{21} , G_{32} , etc. = cross power spectrum (cross spectrum) of the acoustic pressure signals at location 2 relative to location 1, 3 relative to 1, and so on. In general, a complex value.

\bar{H}_{21} , \bar{H}_{31} , etc. = measured transfer function of the acoustic pressure signals at location 2 relative to location 1, 3 relative to 1, and so on. In general, a complex value. Note that H_{11} is purely real and equal to 1.

H^I , H^{II} = calibration transfer functions for the microphones in the standard and switched configurations, respectively. See 8.4.

H^c = complex microphone calibration factor accounting for microphone response mismatch.

H_{21} , H_{31} , etc. = transfer function of two microphone signals corrected for microphone response mismatch. In general, a complex value.

NOTE 1—In this context, the term “transfer function” refers to the complex ratio of the Fourier transform of two signals. The term “frequency response function” arises from more general linear system theory (1).⁴ This test method shall retain the use of the former term. Users should be aware that modern FFT analyzers might employ the latter terminology.

$$j = \sqrt{-1}$$

$$k = 2\pi f/c; \text{ wave number in air, m}^{-1}.$$

NOTE 2—In general the wave number is complex where $k' = k' - jk''$. k' is the real component, $2\pi f/c$, and k'' is the imaginary component of the wave number, also referred to as the attenuation constant, nepers/m. This

⁴ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

accounts for the effects of viscous and thermal dissipation in the oscillatory, thermoviscous boundary layer that forms on the inner surface of the duct, (2). The wave number k' of the propagating wave interior to the material being tested is generally different from that in air, and may be calculated in certain cases from the acoustic transfer matrix.

d = thickness of the specimen in meters; see Fig. 1.

11, 12 = distance in meters from the reference plane (test sample front face) to the center of the nearest microphone on the upstream and downstream side of the specimen; see Fig. 1.

s_1 , s_2 = center-to-center spacing in meters between microphone pairs on the upstream and downstream side of the specimen; see Fig. 1.

R = complex acoustic reflection coefficient.

α = normal incidence sound absorption coefficient.

TL_n = normal incidence transmission loss.

k' = complex wavenumber of propagation in the material, m^{-1} .

Z = characteristic impedance of propagation in the material, rays.

3.3 *Subscripts, Superscripts, and Other Notation*—The following symbols, which employ the variable X for illustrative purposes, are used in Section 8:

X_c = calibration.

XI , XII = calibration quantities measured with microphones placed in the standard and switched configurations, respectively.

\bar{X} = measured quantity prior to correction for amplitude and phase mismatch.

$|X|$ = magnitude of a complex quantity.

ϕ = phase of a complex quantity in radians.

X_i = imaginary part of a complex quantity.

Xr = real part of a complex quantity.

3.4 *Summary of Complex Arithmetic*—The quantities in this standard, especially the transfer function spectra, are complex-valued in general. The following may be useful in evaluating the defining equations:

$$e^{j\omega} = \cos(\omega) + j\sin(\omega)$$

$$(A + jB) \times (C + jD) = (AC - BD) + j(AD + BC)$$

$$1/(A + jB) = A/(A^2 + B^2) - jB/(A^2 + B^2)$$

4. Summary of Test Method

4.1 This test method is similar to Test Method **E1050** in that it also uses a tube with a sound source connected to one end and the test sample mounted in the tube. For transmission loss, four microphones, at two locations on each side of the sample, are mounted so the diaphragms are flush with the inside surface of the tube perimeter. Plane waves are generated in the tube using a broadband signal from a noise source. The resulting standing wave pattern is decomposed into forward- and backward-traveling components by measuring sound pressure simultaneously at the four locations and examining their relative amplitude and phase. The acoustic transfer matrix is calculated from the pressure and particle velocity, or equivalently the acoustic impedance, of the traveling waves on either side of the specimen. The transmission loss, as well as several other important acoustic properties of the material, including the normal incidence sound absorption coefficient, is extracted from the transfer matrix.

5. Significance and Use

5.1 There are several purposes of this test:

5.1.1 For transmission loss: (a) to characterize the sound insulation characteristics of materials in a less expensive and less time consuming approach than Test Method **E90** and ISO 140-3 (“reverberant room methods”), (b) to allow small samples tested when larger samples are impossible to construct or to transport, (c) to allow a rapid technique that does not require an experienced professional to run.

5.1.2 For transfer matrix: (a) to determine additional acoustic properties of the material; (b) to allow calculation of acoustic properties of built-up or composite materials by the combination of their individual transfer matrices.

5.2 There are significant differences between this method and that of the more traditional reverberant room method. Specifically, in this approach the sound impinges on the specimen in a perpendicular direction (“normal incidence”) only, compared to the random incidence of traditional methods. Additionally, reverberation room methods specify certain minimum sizes for test specimens which may not be practical for all materials. At present the correlation, if any, between the two methods is not known. Even though this method may not replicate the reverberant room methods for measuring the transmission loss of materials, it can provide comparison data for small specimens, something that cannot be done in the reverberant room method. Normal incidence transmission loss may also be useful in certain situations where the material is

placed within a small acoustical cavity close to a sound source, for example, a closely-fitted machine enclosure or portable electronic device.

5.3 Transmission loss is not only a property of a material, but is also strongly dependent on boundary conditions inherent in the method and details of the way the material is mounted. This must be considered in the interpretation of the results obtained by this test method.

5.4 The quantities are measured as a function of frequency with a resolution determined by the sampling rate, transform size, and other parameters of a digital frequency analysis system. The usable frequency range depends on the diameter of the tube and the spacing between the microphone positions. An extended frequency range may be obtained by using tubes with various diameters and microphone spacings.

5.5 The application of materials into acoustical system elements will probably not be similar to this test method and therefore results obtained by this method may not correlate with performance in-situ.

6. Apparatus

6.1 The apparatus is a set of two tubes of equal internal area that can be connected to either end of a test sample holder. The number of sets of tubes depends on the frequency range to be tested. A wider frequency range may require multiple measurements on a set of several tubes. At one end of one tube is a loudspeaker sound source. Microphone ports are mounted at two locations along the wall of each tube. A two- or four-channel digital frequency analysis system, or a computer that can effectively do the same calculations, is used for data acquisition and processing.

6.2 Tube:

6.2.1 *Construction*—The interior section of the tube may be circular or rectangular and shall have a constant cross-sectional dimension from end-to-end. The tube shall be straight and its inside surface shall be smooth, nonporous, and free of dust, in order to maintain low sound attenuation. The tube construction shall be sufficiently massive so sound transmission through the tube wall is negligible compared with transmission through the sample. See **Note 3**. Compliant feet or mounts must be used to attenuate extraneous vibration entering the tube structure from the work surface.

NOTE 3—The tube can be constructed from materials including metal, plastic, concrete, or wood. It may be necessary to seal the interior walls with a smooth coating in order to maintain low sound attenuation for plane waves.

6.2.2 *Working Frequency Range*—The working frequency range is:

$$f_l < f < f_u \quad (1)$$

where:

f = operating frequency, Hz,
 f_l = lower working frequency of the tube, Hz, and
 f_u = upper working frequency of the tube, Hz.

6.2.3 The lower frequency limit f_l is determined by the spacing of the microphones and the accuracy of the analysis

system. The microphone spacing shall be greater than one percent of the wavelength corresponding to the lower frequency of interest.

6.2.4 The upper frequency limit f_u depends on the diameter of the tube, the microphone spacing, and the speed of sound.

6.2.4.1 *Diameter*—In order to maintain plane wave propagation, the upper frequency limit (3) is defined as follows:

$$f_u < \frac{Kc}{d} \quad \text{or} \quad d < \frac{Kc}{f_u} \quad (2)$$

where:

- f_u = upper frequency limit, Hz,
- c = speed of sound in the tube, m/s,
- d = diameter of the tube, m, and
- K = 0.586.

6.2.5 For rectangular tubes, d is defined as the largest section dimension of the tube and K is defined as 0.500. Extreme aspect ratios greater than 2:1 or less than 1:2 should be avoided. A square cross-section is recommended.

6.2.6 Conduct the plane wave measurements within these frequency limits established by Eq 1 in order to avoid cross-modes that occur at higher frequencies, when the acoustical wave length approaches the sectional dimension of the tube.

6.2.7 *Length*—The tube should be sufficiently long for plane waves to be fully developed before reaching the microphones and test specimen. A minimum of three tube diameters must be allowed between sound source and the nearest microphone. The sound source may generate non-plane waves along with desired plane waves. The non-plane waves usually will subside at a distance equivalent to three tube diameters from the source. If measurements are conducted over a wide frequency range, it may be desirable to use a tube, which provides multiple microphone spacing, or to employ separate tubes. The overall tube length also must be chosen to satisfy the requirements of 6.5.3 and 6.5.5.

6.2.8 *Tube Termination*—The termination of the tube is arbitrary in principle, but experience has found that the most useful termination is at least weakly anechoic, causing minimal reflection of the sound wave back down the tube. A convenient way of providing this is to install a wedge or pyramidal shaped section of some sound absorbing material such as glass fiber, about 30 cm long, in the open end of the tube. As the two-load method requires a second measurement with a different tube termination, the wedge should be easily removable so that an open or closed termination may be provided.

6.2.9 *Tube Venting*—Some tube designs cause large temporary pressure variations to be generated during installation or removal of the test specimen. This may induce microphone diaphragm deflection. By including a pressure relief opening of some type, the potential for damage to a microphone diaphragm due to excessive deflection may be reduced. One way to accomplish this is by drilling a small vent, 1 to 2 mm in diameter, through the wall of the tube. It is recommended to locate the tube vent near the sound source, away from microphone locations, and to seal the vent during acoustic measurements.

6.3 Test Specimen Holder:

6.3.1 *General Features*—The specimen holder may either be integrated with the tube or may be a separate, detachable extension of the tube.

6.3.2 *Detachable Holder*—As a detachable unit, the holder must make an airtight fit with the end of the tube opposite the sound source. The holder must conform to the interior shape and dimensions of the main part of the tube. The connecting joint must be finished carefully and the use of a sealant, such as petroleum jelly or silicone grease, is recommended.

6.3.3 *Integral Holder*—If the sample holder is in an integral part of the tube, it is recommended to make the installation section of the tube accessible for mounting of the specimen by a removable cover. The mating surfaces must be finished carefully, and the use of a sealant is recommended.

6.3.4 *Circular Holder*—For circular tubes, it is recommended to make the specimen accessible from both the front and back of the sample holder. It is then possible to check the position and flatness of the front and back surface of the specimen. Holders may be constructed from a rigid, clear material, such as acrylic, to facilitate inspection.

6.3.5 *Rectangular Holder*—With rectangular tubes, it is recommended to install the specimen from the side, making it possible to check the fitting and the position of the specimen in the tube and to check the position and flatness of the front surface.

6.4 Sound Source:

6.4.1 *Kind and Placement*—The sound source should have a uniform power response over the frequency range of interest. It may either be coaxial with the main tube or joined to the main tube by means of a transition having a straight, tapered, or exponential section (Fig. 2).

6.4.2 *Isolation*—The sound source and transition shall be sealed and isolated from the tube to minimize structure-borne sound excitation of the tube. If a direct radiator loudspeaker is

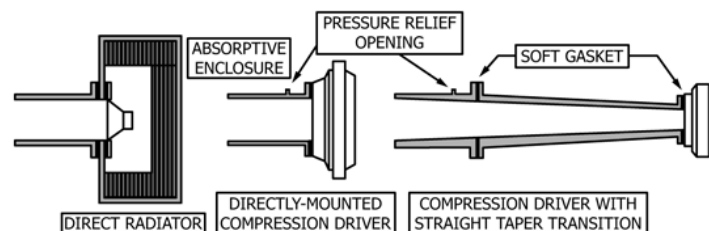


FIG. 2 Sound Source Configuration

utilized, it shall be contained in a sound-isolating enclosure in order to avoid airborne flanking transmission to the microphones (Fig. 2).

6.4.3 *Termination*—Resonances of the air column in the tube may arise if the mechanical impedance of the loudspeaker membrane or diaphragm is high. In this case, it is recommended to apply a porous absorber coating or lining inside either the tube near the loudspeaker or inside the sound transition. Alternatively, the locations described above may be lightly filled with a low density absorbing material.

6.4.4 *Equalization*—When an absorptive medium is placed near the sound source as described in 6.4.3, significant sound energy will be lost at higher frequencies. An electronic equalizer may then be required to shape the sound spectra measured at the microphone positions so that they are relatively flat. This will minimize the loss of signal-to-noise capability at high frequencies.

6.5 Microphones:

6.5.1 *Type, Diameter*—Nominally identical microphones shall be mounted according to 6.5.6. The microphone diameter must be small in comparison with the spacing between microphone ports and also to minimize spatial averaging at higher frequencies across the diaphragm face. It is recommended that the microphone diameter be less than 20 % of the wavelength of the highest frequency of interest. Table 1 provides maximum recommended frequency limits for several typical microphone sizes used at room temperature. Where greater microphone sensitivity is required (e.g., on the transmitted side of high loss samples), larger diameters may be selected for use with large tubes working at low frequencies.

6.5.2 *Microphone Venting*—Some microphones may be designed with a vent to allow for static pressure equalization on either side of the diaphragm. In general, venting may be accomplished either to the inside or to the outside of the tube. Two alternate venting methods are available: back-vented (preferred) and side-vented. A microphone pair of either design may be used. Microphones must be sealed carefully when installed in the normal sound transmission tube to avoid leaks, which may interfere with proper operation of the microphone vent, thus causing significant changes to the low frequency response. Blockage of a vent of an individual microphone will alter its phase response, resulting in large errors in the measurements.

6.5.2.1 *Back-Vented Microphones*—Back-vented microphones are vented out through the back of the preamplifier barrel to the outside of the tube. Very low frequency accuracy is improved when the static pressure equalization vent is isolated from the sound field within the sound transmission tube (4). Sealing may be accomplished either against the rear of the microphone cartridge barrel or against the protection grid. If the seal is established against the latter, the threads of

the protection grid should be sealed with silicone grease to prevent leakage between the tube interior and the back vent (Fig. 3).

6.5.2.2 *Side-Vented Microphones*—The side-venting path proceeds from the vent opening, which is located between the protection grid threads and the diaphragm, to the front of the microphone, and therefore vent to the inside of the tube. Sealing may be established either against the rear of microphone cartridge barrel or against the protection grid. If the seal is established against the latter, the threads of the protection should be sealed with silicone grease to prevent leakage (Fig. 3).

6.5.2.3 *Non-Vented Microphones*—Microphones with non-vented diaphragms may be used if appropriate.

6.5.3 *Spacing*—A large spacing between microphones enhances the accuracy of the measurements, however, the microphone spacing must be less than the shortest half wavelength of interest (5).

$$s < \frac{c}{2f_u} \quad (3)$$

where:

s = microphone spacing, m,
 c = speed of sound, m/s, and
 f_u = upper frequency limit, Hz.

6.5.4 The maximum microphone spacing s must be no larger than 80 % of $c/2f_u$.

6.5.5 *Location*—The minimum distance between the sound source and the closest microphone must follow the requirements of 6.2.7. The minimum distance between the specimen and the closest microphone depends somewhat on the surface characteristics of the specimen. In order to maintain the greatest signal-to-noise ratio, the minimum spacing between the specimen and microphone can be modified as follows.

6.5.5.1 *Flat Surface*—The closest microphone can be moved to within one-half of the tube diameter, or one-half of the largest section dimension in the case of a rectangular tube.

6.5.5.2 *Nonhomogenous Surface*—The closest microphone should be at least one tube diameter, or the largest section dimension in the case of rectangular tube, to help suppress the influence of higher-order modes induced by the rough surface of the specimen.

6.5.5.3 *Asymmetrical Surface*—The closest microphone should be at least two tube diameters (two times the largest section dimension in the case of a rectangular tube) to facilitate the dissipation of higher order modes generated from a rough surface. The higher order modes will decay exponentially as they propagate along the tube.

6.5.6 *Mounting*—Both microphone diaphragms must be flush with the interior surface of the tube using port openings through the side of the tube. If the microphones are switched, care must be taken when the microphones are removed from their port so that the original mounting geometry is maintained when they are replaced. A small stop may be employed to control the depth of each microphone in the port as shown in Fig. 4. The lip should be kept small and identical for both microphone ports.

TABLE 1 Recommended Frequency Limits for Microphones

Nominal Diameter (in.)	Diaphragm Diameter (mm)	Maximum Frequency (Hz)
1	22.70	3000
1/2	12.20	5600
1/4	5.95	11500

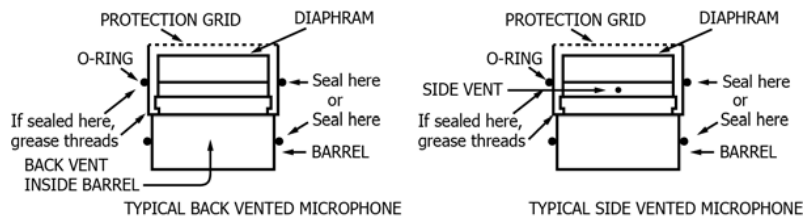


FIG. 3 Microphone Venting and Sealing

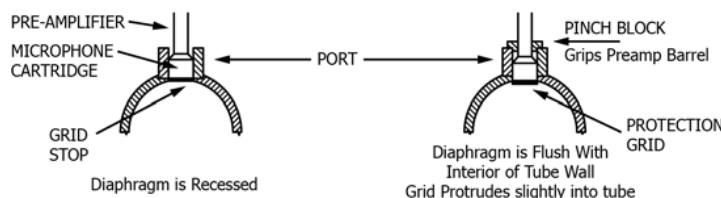


FIG. 4 Typical Microphone Mounting and Alternate Mounting

6.5.6.1 *Alternate Mounting*—In order to avoid the small recess caused by mounting the microphones according to 6.5.6, an alternative pinch block mounting technique may be used as shown in Fig. 4. This method has the advantage of positioning the microphone diaphragm flush with the inside of the normal sound transmission tube (the protection grid will protrude slightly) and the pinch block provides lateral support for the microphone within the port. The pinch block must not interfere with venting provided by the microphone preamplifier.

6.5.6.2 *Microphone Acoustic Center*—In order to help control measurement uncertainties in this test method, the lateral separation between the microphone axes needs to be precisely known. Unfortunately, the acoustical separation between microphones axes may be slightly different from their physical separation. This uncertainty becomes more pronounced as the ratio between microphone diameter and separation distance increases. Since there is no procedure available for determining the acoustical separation, it is recommended that the physical separation be controlled throughout the test series. If the microphones are switched to reduce phase mismatch errors, as discussed in 8.4.5, the physical separation should be maintained carefully with the aid of a jig, such as a rotating circular plate mounted in the sidewall of the tube. It is recommended the individual microphones be identified positively to monitor their relative positions during switching.

6.6 Test Signal:

6.6.1 *Signal Characteristic*—It is recommended that the test signal be random noise having a uniform spectral density across the frequency range of interest. The spectral line spacing of the test signal should be compatible with the analysis bandwidth. Alternative test signals may also be used if they have an equivalent spectral density. These alternative signals include pseudo-random noise and swept or stepped sine generation.

NOTE 4—A signal generator capable of producing a compatible test signal often is incorporated within a digital frequency analysis system. When employing alternative signals, it is recommended that each time block used in the frequency analysis be synchronized with individual repetitions of the test signal pattern.

6.6.2 *Signal-to-Noise Ratio*—The sound source shall generate sufficient signal at all microphone locations so that the measured signal in each test frequency band is at least 10 dB greater than the background noise.

6.7 Test Measuring Equipment:

6.7.1 *Measuring Apparatus*—The signal processing equipment shall consist of one, two, or preferably four similar microphones, a similar number of analog signal conditioners (optional) and a multi-channel Fast Fourier Transform (FFT) analyzer, or equivalent. The signal from each microphone system is connected to an individual channel of the analyzer. See Figs. 5 and 6.

6.7.2 *Computing Device*—A computer or other digital processor, either separate from or part of the digital frequency analysis system, is necessary in order to calculate TL_n and other material properties. A complete set of mathematical expressions is given in 8.5.4.

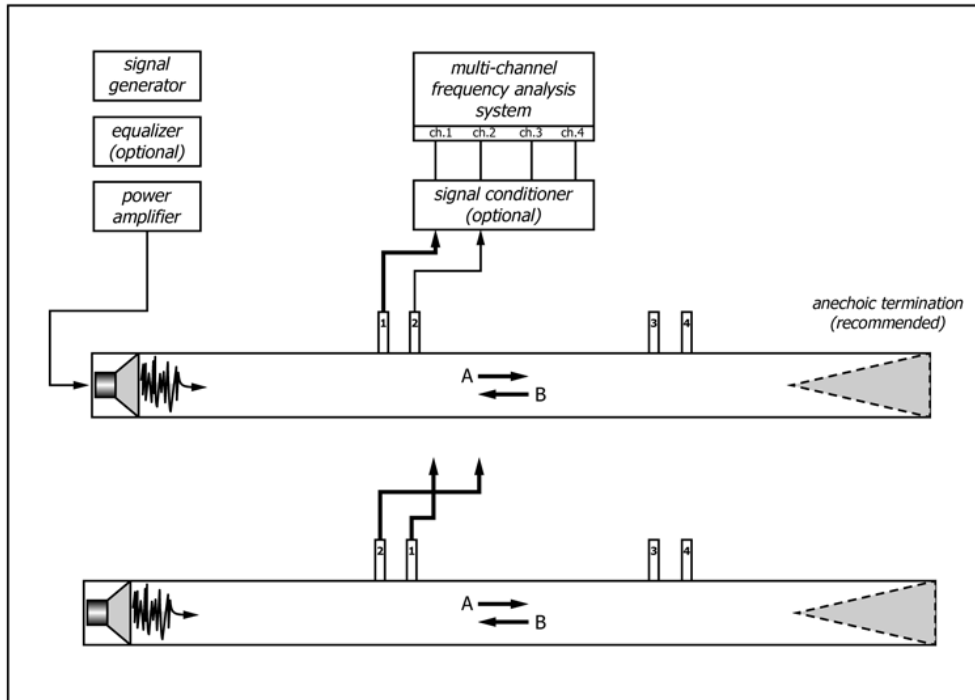
6.7.3 *Temperature Sensor*—A thermometer or other ambient temperature sensing device shall be installed so the air temperature is known to within $\pm 1^\circ\text{C}$.

6.7.4 *Barometric Pressure Indicator*—A barometer or other equivalent indicating device shall be located in the vicinity of the sound transmission tube. The atmospheric pressure shall be measured with a tolerance ± 0.5 kPa.

6.7.5 *Relative Humidity Indicator*—A device capable of determining the relative humidity of the air shall be located in the vicinity of the sound transmission tube. The relative humidity shall be measured to within a tolerance of 5 %.

7. Test Specimen

7.1 *Mounting*—Each specimen must have the same shape and area as the tube cross-section. The mounting conditions will strongly affect the measured transmission loss. The specimen may be rigidly mounted or clamped to the wall of the tube, freely suspended with a dense flexible seal, or some other method of mounting. Care must be taken to mount multiple samples in a consistent manner, and to report details of the mounting method sufficient to reproduce the mount. Any



NOTE 1—I: direct transfer function; II: switched transfer function.

FIG. 5 Apparatus and Instrumentation for Microphone Calibration in the Longitudinal Direction

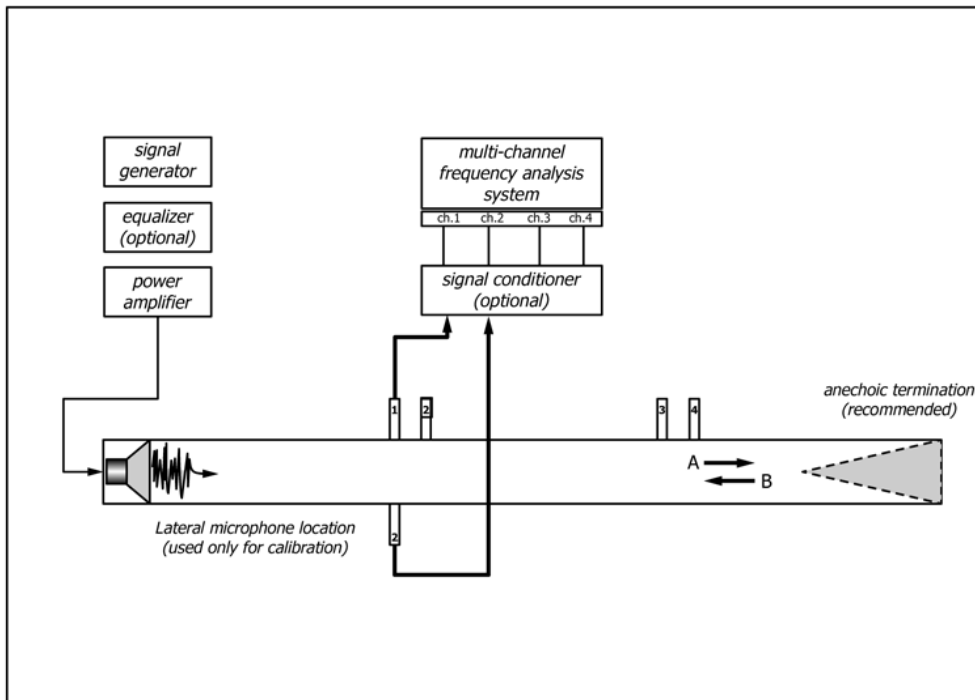


FIG. 6 Apparatus and Instrumentation for Microphone Calibration in the Same Transverse Plane

flexible mounting material must be previously shown to have a TL greater than the specimen material. A small opening around the edge will have a dramatic impact on the transmission loss calculations. Any peripheral cracks or gaps must be sealed with

petroleum jelly, modeling clay, or putty. It is desirable to have the specimen possess a relatively flat surface for reasons stated in 6.5.5.

7.2 Alignment—The front surface of test specimens shall be mounted normal to the tube axis unless the surface specifically is designed otherwise.

7.3 Containment—With porous materials of low bulk density, it may be helpful to define the front surface by a thin wire grid with wide mesh if it is representative of the application.

7.4 Number—A minimum of three specimens should be cut from the sample and tested with the same mounting conditions. When the sample has a cross-section that is not uniform, for example, a fissured acoustical tile, additional specimens should be selected in order to include representative regions of the surface. In any case, the results should be averaged.

8. Procedure

8.1 Procedure—The determination of the transfer matrix requires a measurement of the complex sound pressure (amplitude and relative phase) at four locations, two on either side of the specimen. This is accomplished in practice by measuring the transfer function H between a reference and the four locations. There are a variety of methods for acquiring the four transfer functions, summarized in **Table 2**. The procedure requires as a minimum a two-channel analyzer and a single microphone. More channels and more microphones will speed the procedure but will generally require correction for amplitude and phase mis-match between the microphones, as described in **8.4.5**. If there are fewer than 4 signal channels employed, the transfer function measurements are made sequentially as one or more microphones are moved from location to location. If microphones are moved, the unused locations must have their tube penetrations blocked from communication with the outside air. Four or five channels allow the transfer function measurements to be made simultaneously.

8.1.1 Reference—The reference for the transfer functions may be one of the four measurement locations, a separate measurement location (location 0) removed from the original four, or the electrical signal provided to the source microphone.

8.1.2 Other Parameters—In addition to the transfer functions, other parameters required for calculation of the transfer matrix are the ambient speed of sound and air density, the separation distance between the microphones, the location

of the microphone locations relative to the reference plane, and the thickness of the specimen. These parameters are illustrated in **Fig. 1**.

8.2 Speed of Sound—The speed of sound in air changes with temperature. The value of the speed of sound shall be computed from the measured temperature according to:

$$c = 20.047\sqrt{273.15 + T} \quad (4)$$

where:

c = speed of sound, m/s, and
 T = room temperature, ° C.

8.3 Air Density—The characteristic impedance of air, ρc , may be found using the following expression for the air density:

$$\rho = 1.290 \left(\frac{P}{101.325} \right) \left(\frac{273.15}{273.15 + T} \right) \quad (5)$$

where:

ρ = air density, kg/m³,
 P = atmospheric pressure, kPa, and
 T = room temperature, ° C.

8.4 Calibration:

8.4.1 The procedure described here provides a means of correcting the measured transfer function data for mismatch in both the amplitude and phase responses of the two sets of measurement channels. Two approaches are suggested, one using the two microphone penetrations used for the measurement, and one using two penetrations located on the same plane. See **Figs. 5 and 6**.

8.4.2 Signal-to-Noise Ratio—With the representative test specimen in place, measure the sound pressure level spectrum at each microphone with the sound source on and off to ensure that the conditions of **6.6.2** are met. A highly absorptive termination must be in place for this procedure. Test data at specific frequencies where the criterion of **6.6.2** is not met must be identified.

8.4.3 Averaging Considerations—The technique of ensemble averaging has the effect of reducing uncertainties due to the variance of random noise; however, the ratio of signal to noise is unaltered. The number of averages needed is dependent upon the required precision of the transfer function estimate (see **Section 9**).

TABLE 2 Measurement Configurations and Procedures

Number of Channels	Number of Microphones	Transfer Function Reference	Transfer Functions Measured	Correction	Procedure
2	1	source signal	$H_{1s}, H_{2s}, H_{3s}, H_{4s}$	none	single microphone moves to locations 1–4
2	2	microphone 1 at location 0	$H_{10}, H_{20}, H_{30}, H_{40}$	none	microphone 2 moves to locations 1–4
2	2	microphone 1 at location 1	$H_{11}=1, H_{21}, H_{31}, H_{41}$	none	microphone 2 moves to locations 2–4
4	4	microphone 1 at location 1	$H_{11}=1, H_{21}, H_{31}, H_{41}$	$H_{21}^c, H_{31}^c, H_{41}^c$	microphones 1–4 fixed in locations 1–4
5	4	source signal	$H_{1s}, H_{2s}, H_{3s}, H_{4s}$	$H_{1s}^c, H_{2s}^c, H_{3s}^c, H_{4s}^c$	microphones 1–4 fixed in locations 1–4
5	5	microphone 5 at location 0	$H_{10}, H_{20}, H_{30}, H_{40}$	$H_{10}^c, H_{20}^c, H_{30}^c, H_{40}^c$	microphones 1–4 fixed in locations 1–4

8.4.4 *Windowing*—FFT analysis is made on blocks of data as a time record of finite length. This process is a truncation of a continuous time history requiring the use of a time-weighting function (window) to de-emphasize the truncated parts of the time record. A variety of windows are available and each has specific advantages depending on the type of test signal utilized. For this test method, the Hanning window is recommended for measurement of transfer function (6). If synchronized time averaging is considered as an option (see 6.6.1), the best time-weighting function is the uniform or boxcar window. Synchronizing the test signal pattern with the time blocks eliminates truncation (leakage) altogether.

8.4.4.1 If the time averaging method is selected and if the time blocks are synchronized with a repeated test signal pattern, unsynchronized “noise” will be reduced by $10/\log(N)$ decibels, where N is the number of averages (7).

8.4.5 *Amplitude and Phase Corrections*—Since the transfer function is a complex ratio of the acoustic pressure responses, any variation in the amplitude or phase responses of the transfer function pairs will affect the accuracy of the transfer function measurement. The following sequence of measurements and computations provides a means for correcting the measured transfer function between pairs of measurement channels. The general procedure is to measure the transfer function in the normal manner, and then physically switch the location of the microphones and measure again. This allows the calculation of a correction transfer function which accounts for the variation between microphones without including the phase difference due to propagation delay between them.

8.4.5.1 The termination of the tube should be at least weakly anechoic for maximum accuracy of this calibration procedure. See the termination recommendations of 6.2.8. Amplitude and phase corrections are determined using any pair of microphone locations. During the calibration procedure the unused locations must have their tube penetrations blocked from communication with the outside air, either by leaving the unused microphones in place or by some other means.

8.4.5.2 *For Microphone Correction Using Penetrations Along the Tube Axis:*

Step 1—Measure the following two transfer functions using the same computational algorithms for each microphone pair. Place the microphones in the direct configuration of Fig. 5 and measure.

$$H_{n,ref}^I = |H^I| e^{j\phi^I} = H_r^I + jH_i^I \quad (6)$$

Interchange the reference and measurement microphones to assume the switched configuration as shown in Fig. 5 and measure.

$$H_{n,ref}^{II} = |H^{II}| e^{j\phi^{II}} = H_r^{II} + jH_i^{II} \quad (7)$$

Care should be taken when interchanging the microphones to ensure that microphone 1 in the switched configuration occupies the precise location that microphone 2 occupied in the standard configuration, and vice versa (see 6.5.6).

Step 2—The following equations are valid for the case where the digital frequency analysis system always uses channel 1 as the reference channel. An alternative set of equations are presented in Appendix X1, which may be more convenient for systems where the reference analysis channel also can be

switched. Compute the correction transfer function H^c representing the amplitude and phase mismatches $|H^c|$ and ϕ^c for each transfer pair using the following equation:

$$H_{n,ref}^c = (H^I \cdot H^{II})^{1/2} = |H^c| e^{j\phi^c} \quad (8)$$

8.4.5.3 *For Microphone Correction Using Penetrations in the Same Transverse Plane*—If provision is made to place a microphone pair at the same axial location in the tube, propagation delay is zero and a single measurement of the transfer function expresses the amplitude and phase difference.

Step 1—Measure the following transfer function using the same computational algorithms for each microphone pair. Place the microphones in the configuration shown in Fig. 6 and measure.

$$H_{n,ref} = |H_{n,ref}| e^{j\phi_{n,ref}} = H_{n,ref}^r + jH_{n,ref}^i \quad (9)$$

Step 2—The correction transfer function H^c for each transfer function pair, representing the amplitude and phase mismatches $|H^c|$ and ϕ^c , equals the transverse transfer function:

$$H_{n,ref}^c = |H_c| e^{j\phi_c} = H_r + jH_i = H_{n,ref} \quad (10)$$

8.4.5.4 *For Microphone Corrections Using a Separate Signal Reference*—If the electrical signal to the loudspeaker is used as a reference, the channel pairs cannot be switched. In this case, the microphone amplitude and phase differences are normalized to one of the microphones so that the differences are the same for all transfer function pairs.

Step 1—Measure the following two transfer functions using the same computational algorithms for each microphone pair. Place the microphones in the direct configuration of Fig. 7 and measure.

$$H_{l,sig}^I = |H^I| e^{j\phi^I} = H_r^I + jH_i^I \quad (11)$$

Place the second microphone in the location used by microphone 1 to assume the switched configuration as shown in Fig. 7 and measure.

$$H_{n,sig}^{II} = |H^{II}| e^{j\phi^{II}} = H_r^{II} + jH_i^{II} \quad (12)$$

Care should be taken when interchanging the microphones to ensure that the second microphone in the switched configuration occupies the precise location that microphone 1 occupied in the standard configuration (see 6.5.6).

Step 2—Compute the correction transfer function H^c representing the amplitude and phase mismatches $|H^c|$ and ϕ^c for each transfer pair using the following equation:

$$H_{n,s}^c = \left(\frac{H^{II}}{H^I} \right) = |H^c| e^{j\phi^c} \quad (13)$$

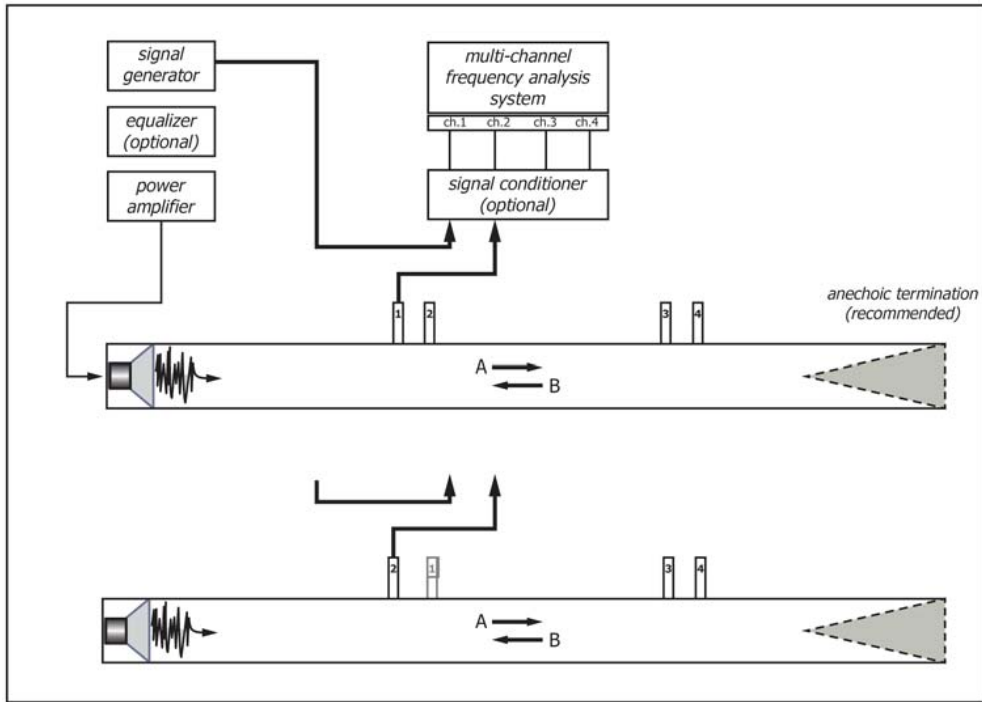
8.4.6 During the course of measurement, correct each measured transfer function by dividing it by the appropriate correction transfer function.

$$H = \frac{\bar{H}}{H^c} \quad (14)$$

8.5 Measurements:

8.5.1 *Transfer Function*—Insert the test specimen and measure the complex acoustic transfer functions between the reference and the remaining microphones:

$$H_{n,ref} = \frac{G_{n,ref}}{G_{ref,ref}} = |H| e^{j\phi} = H_r + jH_i \quad (15)$$



NOTE 1—I: direct transfer function; II: switched transfer function.

FIG. 7 Apparatus and Instrumentation for Microphone Calibration Using a Loudspeaker Signal as Reference

8.5.2 Eq 15 determines the transfer function by taking the ratio of the cross power spectrum to the reference autospectrum. The transfer function also could be calculated directly from the complex ratio of the Fourier transform of the acoustic pressure at the microphone nearest the test specimen to the Fourier transform of the acoustic pressure at the microphone nearest the sound source. For a single measurement, both methods yield identical results. When averaging is employed (see 8.4.3), the method of calculation shown in Eq 15 reduces the effects of noise. Since all FFT analysis systems do not define the cross spectrum consistently, adherence to the definitions implied in Eq 15 must be strictly observed.

8.5.3 Mismatch Correction—Using the method described in 8.4, correct each \bar{H} for mismatch arising from the microphone amplitude and phase responses, by dividing it by its corresponding correction transfer function.

8.5.4 Transfer Matrix—Calculate the Normal Incidence Transfer Matrix as follows:

8.5.4.1 Two-Load Method:

(1) A single transfer matrix measurement involves two basic measurements with the two different terminations. The transfer matrix relates the acoustic pressure and particle velocity on front and back surface of the specimen. The tube must be configured with two different terminations (see 6.2.8), represented by indices *a* and *b*, in order to obtain four linear equations that can be used to solve for the four unknown matrix elements.

transfer matrix, termination “a” (16)

$$\begin{bmatrix} p_a \\ u_a \end{bmatrix}_{x=0} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_a \\ u_a \end{bmatrix}_{x=d}$$

transfer matrix, termination “b”

$$\begin{bmatrix} p_b \\ u_b \end{bmatrix}_{x=0} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_b \\ u_b \end{bmatrix}_{x=d}$$

(2) Here, Eq 16 with index “a” could represent an “anechoic” or otherwise minimally reflecting termination, and Eq 16 with index “b” could represent a blocked or open termination, reflecting a portion of incident wave.

(3) For each load case, decompose the acoustic wave field inside the tube into forward and backwards traveling waves on either side of the specimen, indicated in Fig. 1 using Eq 17-20.

$$A = j \frac{H_{1,ref} e^{-jkl_1} - H_{2,ref} e^{-jk(l_1+s_1)}}{2 \sin ks_1} \quad (17)$$

$$B = j \frac{H_{2,ref} e^{+jk(l_1+s_1)} - H_{1,ref} e^{+jkl_1}}{2 \sin ks_1} \quad (18)$$

$$C = j \frac{H_{3,ref} e^{+jk(l_2+s_2)} - H_{4,ref} e^{+jkl_2}}{2 \sin ks_2} \quad (19)$$

$$D = j \frac{H_{4,ref} e^{-jkl_2} - H_{3,ref} e^{-jk(l_2+s_2)}}{2 \sin ks_2} \quad (20)$$

(4) For each load case, determine the acoustic pressure and particle velocity on both faces of the specimen (at $x = 0$ and at $x = d$):

$$p_0 = A + B \quad p_d = Ce^{-jkd} + De^{+jkd} \quad (21)$$

$$u_0 = (A - B)/\rho c \quad u_d = (Ce^{-jkd} - De^{+jkd})/\rho c$$

(5) From the pressure and particle velocity values in each load case, calculate the transfer matrix for the specimen:

$$T = \begin{bmatrix} \frac{P_{0a}u_{db} - P_{0b}u_{da}}{P_{da}u_{db} - P_{db}u_{da}} & \frac{P_{0b}P_{da} - P_{0a}P_{db}}{P_{da}u_{db} - P_{db}u_{da}} \\ \frac{u_{0a}u_{db} - u_{0b}u_{da}}{P_{da}u_{db} - P_{db}u_{da}} & \frac{P_{da}u_{0b} - P_{db}u_{0a}}{P_{da}u_{db} - P_{db}u_{da}} \end{bmatrix} \quad (22)$$

8.5.4.2 One-Load Method:

(1) For specimens which are geometrically symmetric (presenting the same physical properties to the sound field on either side), the procedure of 8.5.4.1 may be simplified by recognizing that reciprocity places two constraints on the transfer matrix.

$$T_{11} = T_{22} \quad \text{and} \quad T_{11}T_{22} - T_{12}T_{21} = 1 \quad (23)$$

(2) This allows the elements of the matrix to be determined by a measurement of the microphone transfer function with a single termination case, preferably the anechoic case.

$$T = \begin{bmatrix} \frac{p_d u_d + p_0 u_0}{p_0 u_d + p_d u_0} & \frac{p_0^2 - p_d^2}{p_0 u_d + p_d u_0} \\ \frac{u_0^2 - u_d^2}{p_0 u_d + p_d u_0} & \frac{p_d u_d + p_0 u_0}{p_0 u_d + p_d u_0} \end{bmatrix} \quad (24)$$

8.5.5 Calculate Material Properties:

8.5.5.1 Transmission Coefficient (anechoic-backed):

$$t = \frac{2e^{jkd}}{T_{11} + (T_{12}/\rho c) + \rho c T_{21} + T_{22}} \quad (25)$$

8.5.5.2 Normal Incidence Transmission Loss:

$$TL_n = 20 \log_{10} \left| \frac{1}{t} \right| \quad (26)$$

8.5.5.3 Reflection Coefficient (hard-backed):

$$R = \frac{T_{11} - \rho c T_{21}}{T_{11} + \rho c T_{21}} \quad (27)$$

8.5.5.4 Absorption Coefficient (hard-backed):

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (28)$$

8.5.5.5 Propagation Wavenumber in Material:

$$k' = \frac{1}{d} \cos^{-1} T_{11} \quad (29)$$

8.5.5.6 Characteristic Impedance in Material:

$$z = \sqrt{T_{12}/T_{21}} \quad (30)$$

9. Sources of Error

9.1 *Estimation Errors*—Transfer function estimates are made from sample records of finite duration and frequency resolution and are susceptible to random and bias errors.

9.2 *Random Error*—Random error generally is kept low by ensemble averaging in the frequency domain, that is, measur-

ing several individual estimates, and computing the average. Frequency smoothing, that is, averaging together the results for several frequency bands also may be employed. Typically, a product of filter bandwidth and record sample length (BT product) of 50 to 100 will keep random error sufficiently low. The number of averages performed on an FFT analyzer is essentially the same as the BT product. Alternatively, the averaging time required to achieve a desired error level using a linear detector is given by Ref (8):

$$T \approx \frac{G^2}{2Be^2} \quad (31)$$

where:

T = averaging time, s,

G = confidence limit factor (= 11.91 for 95 % confidence limits),

B = filter bandwidth, Hz, and

e = error, decibels.

9.3 *Bias Error*—Bias errors include errors in distance from the specimen, as well as differences between acoustic and geometric centers of microphones. Bias also can arise from uncorrected phase and amplitude mismatch in the microphones and from computational errors in post processing. These bias errors shall be considered part of the uncertainties associated with this test method.

9.3.1 *Time Aliasing*—Time aliasing arises when the duration of each record is similar to or less than the response function of the system. This type of bias error will be low, provided that the time length of each sample record is much larger than the acoustical propagation times within the normal sound transmission tube system, that is:

$$t \gg \frac{2(l+s)}{c} \quad (32)$$

where:

t = the sample record length, s,

l = the distance from the test sample to the nearest microphone, m,

s = microphone spacing, m, and

c = the speed of sound, m/s.

9.3.2 *Tube Attenuation*—The incident and reflected sound waves that propagate within the tube are subject to attenuation due to viscous and thermal losses. This effect causes the loci of pressure minimums to shift asymmetrically in the standing wave pattern as distance from the specimen increases (loci of maximums are minimally affected). Since the microphone positions are placed relatively close to the specimen face tube attenuation normally will not affect the results obtained from this test method.

10. Report

10.1 The report shall include the following information:

10.1.1 A statement, if true in all respects, that the test was performed in accordance with this test method.

10.1.2 A description of the sample adequate to identify another sample of the same material.

10.1.3 A description of the test specimen including their number, size, and method of mounting.

10.1.4 The air temperature at the time of test.

10.1.5 A tabular listing by frequency band of the absorption coefficients (to two significant figures).

10.1.6 If several measurements are made, include the individual results, as well as the averaged results. Results presented using a method other than arithmetic averaging, must be clearly identified.

10.1.7 A description of the instruments used and the details of the procedure also shall be considered part of the report. Signal processing parameters, such as the frequency resolution, the number of averages, and the windowing function also must be included.

10.2 The inclusion of following information in the test report is optional:

10.2.1 The atmospheric pressure at the time of test.

10.2.2 The relative humidity at the time of test.

10.2.3 A tabular listing of the Transmission Coefficient in Material as defined in 8.5.5.1 as a function of frequency (to two significant figures). The designated reference plane must be identified clearly.

10.2.4 A tabular listing of Reflection Coefficient (hard-backed) as defined in 8.5.5.3 as a function of frequency (to two significant figures). The designated reference plane must be identified clearly.

10.2.5 A tabular listing of Propagation Wavenumber in Material as defined in 8.5.5.5 as a function of frequency (to two significant figures). The designated reference plane must be identified clearly.

10.2.6 A tabular listing of Characteristic Impedance in Material as defined in 8.5.5.6 as a function of frequency (to two significant figures). The designated reference plane must be identified clearly.

11. Precision and Bias for Transmission Loss Measurements

11.1 Imprecision in this test method arises from sources other than the measurement procedure. Some materials are not uniform so that specimens cut from the same sample differ in their properties. There is uncertainty in deciding on the

location of the face of a very porous specimen. The largest causes of imprecision are related to the preparation and installation of the test specimen. The specimen must be precisely cut, and the mounting condition reproduced as closely as possible between tests.

11.2 Measurements of the microphone spacing and the distance from the material surface to the center of the nearest microphone must be made to within 1 mm for those materials that have a well-defined surface.

11.3 No quantitative statement on bias can be made at this time since there is presently no material available with known true values of performance, which can be used for determining the bias of this test method.

11.4 There is no true value for this measure of transmission loss, however the results of a round robin, to be conducted, will compare the results to traditional methods. See Test Method E90 and ISO 140-3 to determine a measure of bias.

11.5 The precision will be established by the results of a round robin program, which has not yet been conducted.

11.5.1 The intra- and inter-laboratory precision of this test method, expressed in terms of the intra-laboratory 95 % Repeatability Interval $I(r)$ and the inter-laboratory 95 % Reproducibility Interval $I(R)$, is not yet available. These statistics will be based on the results of a round-robin test program.

11.5.2 The significance of the Repeatability and Reproducibility Intervals is as follows:

11.5.2.1 *Repeatability Interval, $I(r)$* —In the same laboratory on the same material, the absolute value of the difference in two test results will be expected to exceed $I(r)$ only about 5 % of the time.

11.5.2.2 *Reproducibility Interval, $I(R)$* —In different laboratories on the same material, the absolute value of the difference in two test results will be expected to exceed $I(R)$ only about 5 % of the time.

12. Keywords

12.1 4-microphone; impedance tube; normal incidence; transfer function; transfer matrix; transmission loss

ANNEX

(Mandatory Information)

A1. LABORATORY ACCREDITATION

A1.1 Scope

A1.1.1 This annex describes procedures to be followed in accrediting a testing laboratory to perform tests in accordance with this test method.

A1.2 Summary of Procedures

A1.2.1 The laboratory shall allow the accrediting agency to make an on-site inspection.

A1.2.2 The laboratory shall show that it is in compliance with the mandatory parts of this test method in those parts that contain the words shall or must.

A1.2.3 The laboratory shall show the construction and geometry of the tube and specimen holder as described in 6.2.

A1.2.4 The laboratory shall show calculations verifying the tube diameter in accordance with 6.2.4 and 6.2.5.

A1.2.5 The laboratory shall show the sound source and that its frequency response is in accordance with 6.4.

A1.2.6 The laboratory shall report the type of test signal used (see 6.6.1).

A1.2.7 The laboratory shall show that the signal-to-noise ratio of the source is adequate in accordance with 6.6.2.

A1.2.8 The laboratory shall report the amplitude and phase response correction procedure used (see 8.4.5).

A1.2.9 The laboratory shall show sample calculations or the program used to evaluate the equations in 8.4 and 8.5.

A1.3 Reference Tests

A1.3.1 The laboratory shall maintain a reference specimen to be used during periodic tests for quality assurance. It shall be so constructed or formed that it will not deteriorate quickly with use. Its acoustic properties should remain stable during at least ten years of use. As measured by this test method, the sound transmission loss of the reference specimen shall be at least 5 dB for frequencies greater than 250 Hz. The measured acoustic properties and their standard deviations shall be analyzed by the control chart method described in MNL 7 (9). The analysis shall be in accordance with the section entitled “Control-No Standard Given.”

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. ALTERNATE CALIBRATION FACTOR MEASUREMENT

X1.1 Scope

X1.1.1 The information provided in this appendix is for those using a two-channel FFT analyzer intended for use in conjunction with a computing device. When such a system is used, it may be more convenient to assume the complex pressure at microphone position one as the reference for both the standard and switched microphone configurations. Channel one is reference for the transfer function measurement when the microphones are in the standard configuration. Channel two is the reference when the microphones are interchanged to assume the switched configuration.

X1.2 Procedure

X1.2.1 The following is intended to replace 8.4.5.2 (Step 2) which describes a procedure to compute the correction transfer function H^c . All other considerations and computations remain the same as those described in the main body of this test method.

X1.2.1.1 *Step 1*—Use the procedure of 8.4.5.2 (Step 1) to determine the direct and switched transfer functions H^d and H^s .

X1.2.1.2 *Step 2*—Compute the calibration factor H^c representing the amplitude and phase mismatches $|H^c|$ and φ^c , using the following equation:

$$H^c = (H^d/H^s)^{1/2} = |H^c| e^{j\varphi^c} \quad (\text{X1.1})$$

where:

$$|\bar{H}^c| = (|\bar{H}^d|/|\bar{H}^s|)^{1/2} = \left\{ \left[|\bar{H}_r^d|^2 + |\bar{H}_i^d|^2 \right] / \left[|\bar{H}_r^s|^2 + |\bar{H}_i^s|^2 \right] \right\}^{1/4} \quad (\text{X1.2})$$

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{2} (\bar{\varphi}^d - \bar{\varphi}^s) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{\bar{H}_i^d \bar{H}_r^s - \bar{H}_r^d \bar{H}_i^s}{\bar{H}_r^d \bar{H}_r^s + \bar{H}_i^d \bar{H}_i^s} \right] \quad (\text{X1.3})$$

and it is assumed that the phase mismatch is between $-\pi/2$ and $\pi/2$ radians.

X1.2.1.3 *Step 3*—Continue this procedure at 8.4.6.

REFERENCES

- (1) Harris, C. M., editor, *Shock and Vibration Handbook*, McGraw-Hill, Third Edition, 1988, Chapter 21, pp. 4–8.
- (2) Song, B. H., and Bolton, J. S., “A Transfer-Matrix Approach for Estimating the Characteristic Impedance and Wave Numbers of Limp and Rigid Porous Materials,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 107, 2000, pp. 1131–1152.
- (3) Rayleigh, J. W. S., *The Theory of Sound*, Dover Publications, Inc., New York, NY, Vol 2, 1896, p. 161.
- (4) *Condenser Microphones Data Handbook*, Bruel and Kjaer, Revision September 1982, p. 56.
- (5) Chung, J. Y., and Blaser, D. A., “Transfer Function Method of Measuring In-Duct Acoustic Properties I. Theory and II. Experiment,” *Journal of the Acoustical Society of America*, 68(3), 1980, pp. 907–921.
- (6) Gade, S., and Herlufsen, H., “Use of Weighting Functions in DFT/FFT Analysis (Part 1),” *Bruel and Kjaer Technical Review*, No. 3, 1987.
- (7) Application Note 245-1, “Signal Averaging ...,” Hewlett Packard, P.O. Box 58004, Santa Clara, CA, 95052-8004.
- (8) Beranek, L. L., *Noise and Vibration Control*, McGraw-Hill, New York, NY, 1971, pp. 116–117.
- (9) ASTM Manual Series: *MNL 7, Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis*, Sixth Edition, p. 54.

BIBLIOGRAPHY

- (1) C384 Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method²
- (2) C423 Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method²
- (3) ISO 10534-1 Acoustics—Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance or Admittance—Part 1: Impedance Tube Method³
- (4) ISO 10534-2 Acoustics—Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes—Part 2: Transfer-Function Method³
- (5) London, A., “The Determination of Reverberant Sound Absorption Coefficients from Acoustic Impedance Measurements,” *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol 22 (2), March 1950, pp. 263–269.
- (6) Mechel, F. P., “Design Charts for Sound Absorber Layers,” *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol 83(3), March 1988, pp. 1002–1013.
- (7) Højbjerg, K., “A New Two-Microphone Impedance Tube with Improved Microphone Design for Materials Testing,” SAE 911091, Proceedings of the 1991 Noise and Vibration Conference, pp. 457–459.
- (8) Beranek, L. L., *Acoustical Measurements*, Published for the Acoustical Society of America by the American Institute of Physics, Woodbury, NY, 1988 Revised Edition, pp. 72–73.
- (9) Pierce, A. D., *Acoustics—An Introduction to Its Physical Principles and Applications*, published for the Acoustical Society of America by the American Institute of Physics, Woodbury, NY, 1989, p. 351.
- (10) Munjal, M. L., and Doige, A. G., “Theory of a Two Source-Location Method for Direct Experimental Evaluation of the Four-Pole Parameters of an Aeroacoustic Element,” *J. Sound Vib.*, 141, 1990, pp. 323–333.
- (11) Yoo, T., Bolton, J. S., and Alexander, J. H., “Prediction of Random Incidence Transmission Loss Based on Normal Incidence Four-Microphone Measurements,” *Proc. InterNoise*, 2005.
- (12) Song, B. H., and Bolton, J. S., and Kang, Y. J., “Effect of Circumferential Edge Constraint on the Acoustical Properties of Glass Fiber Materials,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 110, 2001, pp. 2902–2916.
- (13) Song, B. H., and Bolton, J. S., “Investigation of the Vibrational Modes of Edge-Constrained Fibrous Samples Placed in a Standing Wave Tube,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 113, 2003, pp. 1833–1849.
- (14) Song, B. H., and Bolton, J. S., “Enhancement of the Barrier Performance of Porous Linings by Using Internal Constraints,” *Noise Control Engineering J.*, 51, 2003, pp. 16–35.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>



Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D1037; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

INTRODUCTION

The test methods presented herein have been developed and are presented to serve two distinct purposes. They are divided into two parts.

Part A. General Test Methods for Evaluating the Basic Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials—Part A is for use in obtaining basic properties suitable for comparison studies with other materials of construction. These refined test methods are applicable for this purpose to all materials covered by Definitions **D1554**.

Part B. Acceptance and Specification Test Methods for Hardboard—Part B is for specific use in specifications for procurement and acceptance testing of hardboard. These test methods are generally employed for those purposes in the industry. By confining their intended use as indicated, it has been possible to achieve adequate precision of results combined with economy and speed in testing, which are desirable for specification use.

The choice between a particular test method and its alternative should be made with a full understanding of the intended purpose of each, because values obtained from tests may, in some cases, differ. Of the test methods presented in both parts, some have been in generally accepted use for many years, some are modifications and refinements of previously developed test methods, and some are more recent developments. Where test methods are suitable for more than one of the purposes, they are delineated in Part A, but not repeated in Part B. It is the intent that reference to the appropriate section of the test method shall suffice in specifications developed for the different materials.

1. Scope

1.1 **Part A—General Test Methods for Evaluating the Basic Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.** These test methods cover the determination of the properties of wood-base fiber and particle panel materials that are produced as mat-formed panels such as particleboard, medium-density fiberboard, hardboard, and oriented strand board.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D07 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.03 on Panel Products. Current edition approved May 1, 2012. Published June 2012. Originally approved in 1949. Last previous edition approved in 2006 as D1037 – 06a. DOI: 10.1520/D1037-12.

Significance and Use	3
Apparatus	4
Test Specimens	5
Moisture Content and Conditioning Requirements	6
Accelerated Aging	7
Size, Physical Properties and Appearance of Panels	8
Static Bending	9
Tension Parallel to Surface	10
Tension Perpendicular to Surface	11
Compression Parallel to Surface	12
Fastener Holding Tests:	
Lateral Nail Resistance	13
Nail Withdrawal	14
Nail-Head Pull-Through	15
Direct Screw Withdrawal	16
Hardness	17
Hardness Modulus	18

TABLE 1 Basic Test Procedures for Evaluating Properties of Wood Base-Fiber and Particle Panel Materials

ASTM Designation	Test Methods for
C177	Steady-State Heat-Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus ^A
C209	Cellulosic Fiber Insulating Board ^A
C236	Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of the Guarded Hot Box ^A
C384	Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method ^A
C423	Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method ^A
D149	Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies ^B
D150	A-C Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulating Materials ^B
D257	D-C Resistance or Conductance of Insulating Materials ^B
D495	High-Voltage, Low-Current, Dry Arc Resistance of Solid Electrical Insulation ^B
D1666	Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Materials ^C
D1761	Mechanical Fasteners in Wood ^C
E72	Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction ^D
E84	Surface Burning Characteristics of Building Materials ^D
E90	Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions ^A
E96	Water Vapor Transmission of Materials ^A
E97	Directional Reflectance Factor, 45-deg 0-deg, of Opaque Specimens by Broad-Band Filter Reflectometry ^E
E119	Fire Tests of Building Construction and Materials ^D
E136	Behavior of Materials in a Vertical Tube Furnace at 750°C ^D
E152	Fire Tests of Door Assemblies ^D
E162	Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source ^D
E661	Performance of Wood and Wood-Based Floor and Roof Sheathing Under Concentrated Static and Impact Loads ^D
E662	Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials ^D
E906	Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products ^D

Shear in the Plane of the Panel	19
Glue-Line Shear (Block Type)	20
Falling Ball Impact	21
Abrasion Resistance by the U.S. Navy Wear Tester	22
Moisture Tests:	
Water Absorption and Thickness Swelling	23
Linear Expansion with Change in Moisture Content	24
Cupping and Twisting	25
Interlaminar Shear	26
Edgewise Shear	27
Compression-Shear	28

1.2 **Part B—Acceptance and Specification Test Methods for Hardboard.** The methods for Part B provide test procedures for measuring the following properties of hardboard:

Thickness	32
Modulus of Rupture	33
Tension Strength Parallel to Surface	34
Tension Strength Perpendicular to Surface	35
Water Absorption and Thickness Swelling	36
Moisture Content and Specific Gravity	37

1.3 There are accepted basic test procedures for various fundamental properties of materials that may be used without modification for evaluating certain properties of wood-based fiber and particle panel materials. These test methods are included elsewhere in the *Annual Book of ASTM Standards*. The pertinent ones are listed in **Table 1**. A few of the test methods referenced are for construction where the wood-base materials often are used.

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI equivalents are approximate in many cases. 1 in. = 25.4 mm, 1 lbf = 4.45 N.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

- 2.1 **ASTM Standards:**²
- C273** Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials
 - D143** Test Methods for Small Clear Specimens of Timber
 - D905** Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading
 - D1554** Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials
 - D2395** Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials
 - D2915** Practice for Sampling and Data-Analysis for Structural Wood and Wood-Based Products
 - D3043** Test Methods for Structural Panels in Flexure
 - D3501** Test Methods for Wood-Based Structural Panels in Compression
 - D4442** Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

^A *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.06.
^B *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.
^C *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.10.
^D *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.07.
^E *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

- E4** Practices for Force Verification of Testing Machines
- E691** Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

PART A—GENERAL TEST METHODS FOR EVALUATING THE BASIC PROPERTIES OF WOOD-BASE FIBER AND PARTICLE PANEL MATERIALS

3. Significance and Use

3.1 These test methods cover small-specimen tests for wood-base fiber and particle panel materials that are made to provide:

3.2 Data for comparing the mechanical and physical properties of various materials,

3.3 Data for determining the influence on the basic properties of such factors as raw material and processing variables, post-treatments of panels, and environmental influences, and

3.4 Data for manufacturing control, product research and development, and specification acceptance.

3.5 Not all the tests outlined in these test methods may be necessary to evaluate any particular panel for any specified use. In each instance, therefore, it will be necessary to determine which tests shall be made.

4. Apparatus

4.1 *Testing Machine*—For strength and fastener holding tests, any standard testing machine (see Note 1) capable of applying and measuring the load with an error not to exceed ±1.0 % shall be used as provided in Practices E4.

NOTE 1—Some testing machines operated at speeds allowed in these test procedures without proper damping devices or in need of adjustment may yield values in error because of “follow-through” due to mass inertia effects in the weighing system. Care must be exercised in the selection of testing machines so that values obtained from test are not in error more than the amount stipulated.

5. Test Specimens

5.1 The number of specimens to be chosen for test and the method of their selection depend on the purpose of the particular tests under consideration, so that no general rule can be given to cover all instances. It is recommended that whenever possible, a sufficient number of tests be made to permit statistical treatment of the test data (see Note 2). In the evaluation of a panel material, specimens for test should be obtained from a representative number of panels. In properties reflecting differences due to the machine direction of the panel, specimens from each panel shall be selected both with the long dimension parallel to the long dimension of the panel, and with the long dimension perpendicular to the long dimension of the panel.

NOTE 2—Guidance on statistical sampling is provided in Practice D2915.

6. Moisture Content and Conditioning Requirements

6.1 The physical and mechanical properties of building panels depend on the moisture content at time of test.

6.2 The moisture conditioning selection for each test procedure within this standard depends upon the purpose of the particular tests under consideration. All specimens within each test sample shall be conditioned as required to meet the specific test objectives.

6.3 The following moisture conditioning regimens are commonly employed with the test procedures of this standard:

6.3.1 *Dry “As Received”*—Specimens to be tested “as received” shall be tested without supplemental conditioning to alter the moisture content.

6.3.2 *Dry “Conditioned”*—Specimens to be tested air-dry shall be conditioned to a constant weight and moisture content in a conditioning chamber maintained at a relative humidity of 65 ± 5 % and a temperature of 68 ± 6°F (20 ± 3°C) (See Note 3).

NOTE 3—This conditioning regime represents a common standard for wood and wood-based materials.

6.3.3 *Water Soaked*—Specimens to be tested in the soaked condition shall be submerged in water at 68 ± 2°F (20 ± 1°C) for 24-h (see Note 4) before the test and shall be tested within 30 minutes upon removal from the water.

NOTE 4—When it is desired to obtain the effect of complete saturation, the specimens shall be soaked for a longer period.

6.3.4 *Accelerated Aging*—Accelerated aging cycles shall be completed per Section 7 of this standard.

6.3.5 *Other*—Other conditioning methods that are designed to meet the test objectives may be employed provided that they are clearly described in the test report.

6.4 Specimens shall be subjected to the conditioning regimens of section 6.3 after they have been cut to the final dimensional sizes required for the test procedures within this standard.

6.5 When water soaked conditioning (section 6.3.3), accelerated aging conditioning (section 6.3.4) or other conditioning method is employed to simulate an application moisture exposure:

6.5.1 The sample dimensions and weights shall be recorded before and after conditioning. Any computed properties shall be reported based upon both the pre-conditioned dimensions or weight, or both, and upon the dimensions or weight, or both, after the moisture conditioning treatment.

6.5.2 If the objective is to estimate the relative change in a property due to the moisture conditioning treatment, a matched set of material shall be tested in the dry (section 6.3.1 or 6.3.2) condition. The conditioning treatment selected for the matched set shall be based upon the test objectives.

6.6 For all testing within this standard, the moisture conditioning method selected and resulting test sample moisture contents shall be reported.

7. Accelerated Aging

7.1 Scope and Significance

7.1.1 The accelerated aging treatment is one possible conditioning treatment (see Section 6) and is used to obtain a measure of the inherent ability of a material to withstand severe exposure conditions and maintain its mechanical and physical properties. Appropriate specimens shall be prepared and subjected to the six cycles of accelerated aging before the property is evaluated. The cycling exposure is a simulated condition developed to evaluate how a material will stand up under aging conditions.

NOTE 5—All of the tests listed in this standard may not be required for any specific investigation or specification. Static bending (Section 9), nail-holding (Sections 13-15), and water absorption and thickness swelling (Section 23) tests are usually sufficient to evaluate the resistance of a wood-base panel material to aging. In some instances it may be desirable to evaluate the effect of accelerated aging on some other property, including properties outside the scope of this standard.

7.2 Test Specimens

7.2.1 The test specimens shall be cut to size for testing and dimensions or weight measured, or both, as specified in the pertinent sections of this standard before being subjected to the cyclic exposure listed in section 7.3. When tests involving fasteners are made, the fasteners shall be driven prior to the aging exposure. Corrosion-resistant fasteners shall be used because extractives or other materials present will corrode ordinary steel fasteners.

7.3 Accelerated Aging Cycles

7.3.1 Subject each specimen to six complete cycles of accelerated aging. If the cycle is to be broken, as for a weekend, the break shall be made during the freezing portion of the cycle. Each cycle shall consist of the following:

7.3.2 Immersion in water at 120 ± 3°F (49 ± 2°C) for 1 h,

7.3.3 Exposure to steam and water vapor at 200 ± 5°F (93 ± 3°C) for 3 h,

7.3.4 Freezing at 10 ± 5°F (-12 ± 3°C) for 20 h,

7.3.5 Heating at 210 ± 3°F (99 ± 2°C) in dry air for 3 h,

7.3.6 Exposure again to steam and water vapor at 200 ± 5°F (93 ± 3°C) for 3 h, and

7.3.7 Heating in dry air at 210 ± 3°F (99 ± 2°C) for 18 h.

7.3.8 After the completion of the six-cycle accelerated aging the specimens shall be conditioned at a temperature of 68 ± 6°F (20 ± 3°C) and a relative humidity of 65 ± 2 % for at least 48 h before testing.

7.4 Handling and Support of Specimens During Exposure

7.4.1 The specimens shall be supported vertically in racks during accelerated aging. One example is shown in Fig. 1. Specimens shall fit in the racks loosely with at least 1-in. (25 mm) separation between specimens so as to freely permit swelling both parallel and perpendicular to the plane of the panel of the specimen. Racks shall not appreciably shield specimens nor prevent draining after soaking. Further, when in the tank during the exposure to steam and water vapor, specimens shall be placed so that jets of steam and vapor will not erode the specimens.

7.5 Apparatus

7.5.1 Tank and Controls for Soaking and Steaming:

7.5.1.1 *Tank or Vat*—A tank or vat, such as shown in Fig. 2, shall be used to conduct the exposures listed in 7.3.2, 7.3.3, and 7.3.6 of the accelerated aging test. A unit of the size shown is adequate for specimens of the size required in this standard. For tests of larger components, units as long as 9 ft (2.7 m) have proven to be satisfactory. The essential features of the tank are as follows:

7.5.1.2 Corrosion-resistant container, because of extractives developed during these cycles and present in wood-base materials,

7.5.1.3 A pipe to the bottom with a diffuser (perforated T-pipe),

7.5.1.4 A drain, although for larger tanks a pump has proven to be advantageous, and

7.5.1.5 A loose-fitting cover that will permit some steam to escape during steam and water vapor phase.

7.5.1.6 Supports shall be provided in the bottom of the tank to keep the specimens from direct contact with the water.

7.5.1.7 The tank may be insulated or uninsulated; but if insulated, the cover is to be left open during the steaming portion of the cycle. Heat loss during the soaking exposure (7.3.2) requires addition of heat by steam or the equivalent. This provides for circulation around the specimens being soaked and aids in maintaining the desired temperature with greater uniformity. Heat loss during the exposure to steam and water vapor (7.3.3 and 7.3.6) along with the escaping steam aids in providing a dynamic condition. During those steps the drain should be open to permit condensate to drain; or as an alternative method, the water level in the tank should be about 2 in. (51 mm) above the perforated pipes so that the steam percolates through it.

7.5.2 *Controls and Source for Soaking and Steaming*—A suitable unit for providing heat for soaking and exposure to steam and water vapor is shown diagrammatically in Fig. 3. In this instance, an air-operated dry kiln controller provides the temperature control required for either the soaking exposure (7.3.2) or the exposure to steam and water vapor (7.3.3 and 7.3.6). In operation for the soaking exposure (7.3.2) the tank is filled to the desired level by opening valves 1 and 3, after which valve 3 is closed. The controller is set at 120°F (49°C) and the sensor is placed in the water at mid-depth. Valve 2 is opened and steam flows into the water until desired temperature is attained and air-operated valve closes. Temperature is

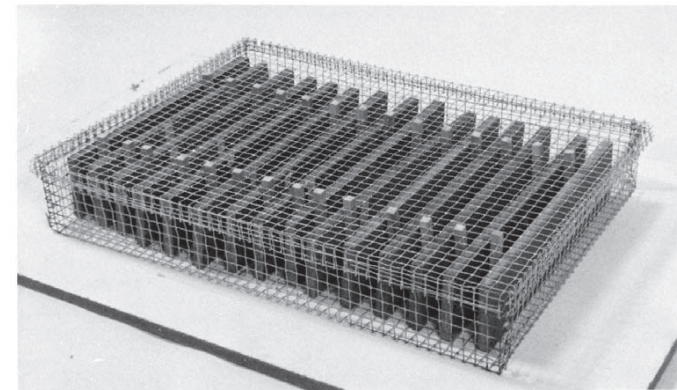


FIG. 1 Specimens Supported Vertically in Rack

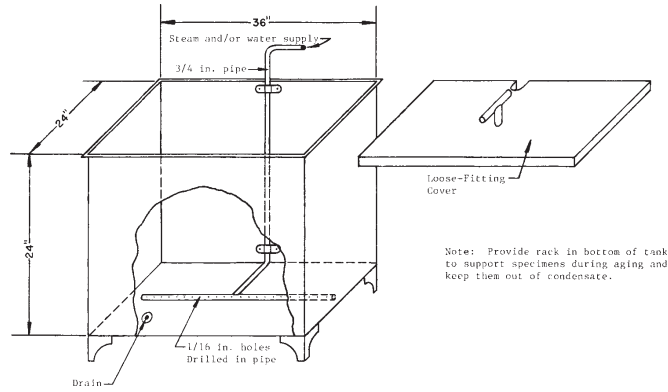


FIG. 2 Sketch of Stainless Steel Tank for Accelerated Aging Small Specimens

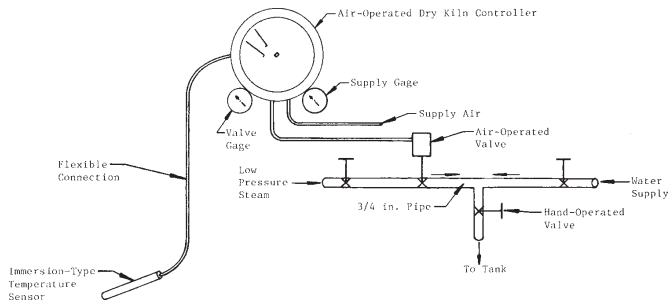


FIG. 3 Diagram of Air-Operated Controller for 120°F (49°C) Soaking and 200°F (93°C) Spraying

maintained automatically by addition of steam as required. For the exposures of 7.3.3 and 7.3.6, the controller is set for 200°F (93°C) so steam is automatically metered to maintain that temperature. Valve 2 is adjusted so that cycles of steam “on” are long with respect to steam “off.” This system requires a supply of compressed air.

7.5.2.1 An electrically controlled valve using thermistor-actuated relays will function as well. When steam is not readily available, a small boiler can be used as a source. This positive system of operation and control has proven to be satisfactory and requires a minimum of manpower time.

7.5.3 *Oven*—The oven for heating the specimens at 210°F (99°C) shall be of the positive ventilating type of sufficient capacity to maintain the desired temperature and remove moisture as fast as it is evaporated.

7.6 *Inspection of Material During Cyclic Exposure*

7.6.1 The test specimens shall be frequently inspected during the accelerated aging exposure for any signs of delamination or other disintegration. If there is any apparent damage to the material, it shall be described in the report, as well as the cycle exposure in which the damage became apparent.

7.7 *Testing and Reporting*

7.7.1 Tests for the appropriate properties shall be conducted after the final conditioning period (7.3.8). Calculations and reported results shall be based on both the original dimensions or weight, or both, and the dimensions or weight, or both, after the accelerated aging treatment.

8. *Size, Physical Properties and Appearance of Panels*

8.1 *Size of Finished Panels*

8.1.1 When measurements of finished panels are required, the width and length of each finished panel shall be obtained by measuring the width and length at each end and at mid-length to an accuracy of ±0.3 % or 1/16 in. (2 mm), whichever is smaller.

8.2 *Variation in Thickness*

8.2.1 For the determination of variations in thickness, specimens at least 6-in. (152-mm) square shall be used. The thickness of each specimen shall be measured at five points, near each corner and near the center, and the average thickness and the variation in thickness noted. These measurements shall be made to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

8.3 *Specific Gravity*

8.3.1 When specific gravity of the finished panel is required, specific gravity shall be tested in accordance with Test Methods D2395 Method A from a panel specimen with a minimum surface area of 9 in.² (58 cm²).

8.4 *Moisture Content*

8.4.1 The moisture content shall be measured in accordance with Test Methods D4442 Method B from a panel specimen with a minimum surface area of 9 in.² (58 cm²). See Note 6.

NOTE 6—The moisture content may be determined based upon the “as-tested” and “oven-dry” mass of specimens tested using one of the test procedures listed within this standard.

8.5 *Surface Finish*

8.5.1 The finish of both surfaces shall be described. A photograph of each surface may be taken to show the texture of the panel. This photograph shall show suitable numbering so that the building panel may be properly identified.

9. *Static Bending*

9.1 *Scope*

9.1.1 Static bending tests shall be made to determine the flexural properties, such as modulus of rupture and apparent modulus of elasticity. When required, the stress at proportional limit and work-to-maximum load can be determined. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

9.2 *Test Specimen*

9.2.1 Each test specimen shall be 3 ± 1/32 in. (76 ± 1 mm) in width if the nominal thickness is greater than 1/4 in. (6 mm), and 2 ± 1/32 in. (51 ± 1 mm) in width if the nominal thickness is 1/4 in. or less (see Note 7). The length of each specimen shall be 2 in. (51 mm) plus 24 times the nominal thickness (see Notes 8 and 9). The width and length, of each specimen shall

be measured to an accuracy of ±0.3 %. The thickness of each specimen shall be measured to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

NOTE 7—Based on industry practice, OSB is typically tested with a width of 4.5 in. (114 mm) in accordance with Test Methods D3043 Method D.

NOTE 8—In cutting specimens to meet the length requirements of 2 in. (51 mm) plus 24 times the nominal thickness, it is not intended that the length be changed for small variations in thickness. Rather it is the thought that the nominal thickness of the panel under test should be used for determining the specimen length.

NOTE 9—Long-span specimens are desired for tests in bending so that the effects of deflections due to shear deformations will be minimized and the values of moduli of elasticity obtained from the bending tests will approximate the true moduli of the materials.

9.3 *Span and Supports*

9.3.1 The span for each test shall be 24 times the nominal thickness (depth) of the specimen (see Note 10), measured to an accuracy of ± 1/16 in. (2 mm). The supports shall be such that no appreciable crushing of the specimen will occur at these points during the test. The supports either shall be rounded or shall be bearing plates that are permitted to tilt and roll as the specimen deflects. When rounded supports, such as those shown in Fig. 4, are used, the radius of the rounded portion shall be at least 1 1/2 times the thickness of the material being tested. If the material under test deviates from a plane, laterally adjustable supports shall be provided (see Note 11).

NOTE 10—Establishment of a span-depth ratio is required to allow an accurate comparison of test values for materials of different thicknesses. It should be noted that the span is based on the nominal thickness of the material and it is not intended that the spans be changed for small variations in thickness.

NOTE 11—Laterally adjustable supports may be necessary for the specimens tested in the soaked condition because of warping or twisting that may occur due to soaking. Details of laterally adjustable supports may be found in Fig. 1 of Test Methods D3043.

9.4 *Procedure*

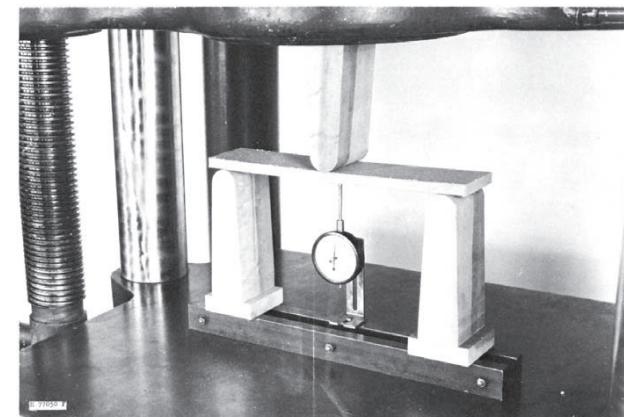


FIG. 4 Static Bending Test Assembly

9.4.1 The specimens shall be loaded at the center of span with the load applied to the top surface of the specimen, as the product will be installed. If the product can be installed in either direction then equal number of specimens shall be tested face-up and face-down. Testing shall maintain a uniform loading rate through a rounded loading block as shown in Fig. 4. The bearing blocks shall be at least 3 in. (76 mm) in width. The radius of the rounded portion of the loading block shall be approximately equal to 1½ times the thickness of the specimen.

9.4.2 For each specimen, the character and the sequence of the failure shall be noted, whether or not the initial failure was in compression or tension. See Note 12.

NOTE 12—Photographs of typical failures will be helpful.

9.5 Speed of Testing

9.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine to achieve an outer fiber strain rate of 0.005 in./in./min (0.005 mm/mm/min) calculated in accordance with Eq 1. See Notes 13-15. The crosshead speed, adjusted for thickness, shall not vary by more than ±50 % from that specified for a given test. The speed of testing shall be recorded on the data sheet.

$$N = \frac{zL^2}{6d} \tag{1}$$

where:

- N = rate of motion of moving head, in./min (mm/min),
- z = outer fiber strain rate, in./in./min (mm/mm/min),
- L = span, in. (mm), and
- d = depth (thickness) of specimen, in. (mm).

NOTE 13—The crosshead speed shall mean the free-running, or no-load, crosshead speed for testing machines of the mechanical-drive type, and the loaded crosshead speed for testing machines of the hydraulic-loading type.

NOTE 14—Based on Eq 1, the calculated rate of head descent is:

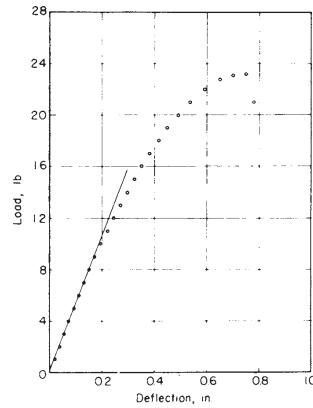
- 0.12 in./min (3 mm/min) for ¼ in. (6 mm) thickness,
- 0.24 in./min (6 mm/min) for ½ in. (12 mm) thickness,
- 0.36 in./min (9 mm/min) for ¾ in. (19 mm) thickness,
- 0.48 in./min (12 mm/min) for 1 in. (25 mm) thickness.

NOTE 15—If a faster test speed is desired for Quality Assurance purposes, the principles of section 8.5 of Test Methods D3043 should be followed.

9.6 Load-Deflection Measurements

9.6.1 The load-deflection data shall be obtained until the maximum load is achieved. The deflection of the specimen shall be measured at the mid-span point by means of an indicating dial gage or linear voltage differential transducer (LVDT) or linear potentiometer (see Note 16) attached to the base of the testing jig, with the dial plunger in contact with the bottom of the specimen at the center. This arrangement is shown in Fig. 4. Note the load and deflection at first failure and at maximum load. Take readings of deflection at least to the nearest 0.005 in. (0.10 mm). Fig. 5 shows a typical load-deflection curve.

NOTE 16—The range of standard 0.001-in. (0.02-mm) indicating dial is 1 in. (25 mm). The total deflection of some thicknesses of panels may exceed 1 in. at failure. When this happens, either a 2-in. (50-mm)



	Metric Equivalents					
in.	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
mm	5	10	15	20	25	
lb	4	8	12	16	20	24
kg	1.8	3.6	5.4	7.2	9	10.8

FIG. 5 Typical Load-Deflection Curve for Static Bending Test

total-travel indicating dial or a suitable 2:1 reducing lever in conjunction with a 1-in. travel dial should be used so that maximum deflections can be obtained.

9.7 Calculation and Report

9.7.1 The modulus of rupture, apparent modulus of elasticity, and when required, stress at proportional limit and work-to-maximum load shall be calculated for each specimen in accordance with the following equations:

$$R_b = \frac{3P_{max}L}{2bd^2} \tag{2}$$

$$E = \frac{L^3 \Delta P}{4bd^3 \Delta y} \tag{3}$$

$$S_{pl} = \frac{3P_{pl}L}{2bd^2} \tag{4}$$

$$W_{ml} = \frac{a}{bdL} \tag{5}$$

where:

- a = area under load-deflection curve to maximum load, lbf-in. (N-m),
- b = width of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- d = thickness (depth) of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- E = apparent modulus of elasticity, psi (kPa),
- L = length of span, in. (mm),
- ΔP/Δy = slope of the straight line portion of the load-deflection curve (see Note 17), lbf/in. (N/mm),
- P_{max} = maximum load, lbf (N),
- P_{pl} = load at proportional limit (see Note 18), lbf (N),

- R_b = modulus of rupture, psi (kPa),
- S_{pl} = stress at proportional limit, psi (kPa), and
- W_{ml} = work to maximum load, lbf-in./in.³ (N-mm/mm³).

NOTE 17—A linear regression of the load-deflection curve between 10 % and 40 % of P_{max} generally produces satisfactory results for (ΔP/Δy).

NOTE 18—P_{pl} can be determined at the point on the load-deflection curve where the slope of the tangent deviates from the slope of the straight line (ΔP/Δy) more than a given threshold value. The threshold value can be established based on statistical and graphical methods and experience. The value of 10 % normally gives a good estimate but it depends on the calculation procedure, the type and condition of product.

9.7.2 The report shall include the orientation of the face of the panel during the test (face-up or face down), the description of failure, and the calculated properties for each specimen. For modulus of elasticity and stress at proportional limit the parameters used in calculations shall be reported.

10. Tension Parallel to Surface

10.1 Scope

10.1.1 The tension test parallel to the surface shall be made to determine the tensile strength in the plane of the panel. When required, the axial stiffness or modulus of elasticity can be determined. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel. See Note 19.

NOTE 19—When the materials exceed 1 in. in thickness, crushing at the grips during test is likely to adversely affect the test values obtained. It is recommended that for material greater than 1 inch in thickness, the material be sawn to ½ in. (12 mm) thickness. Test values obtained from resawn specimens may be only approximate, because strengths of material near the surface may vary from the remainder.

10.2 Test Specimen

10.2.1 Each test specimen shall be prepared as shown in Fig. 6. The reduced section shall be cut to the size shown with a band saw. The minimum width of each specimen at the reduced section shall be measured to an accuracy of ±0.3 %. The corresponding thickness shall be measured to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

10.3 Procedure

10.3.1 The specimen shall be loaded using self-aligning, self-tightening grips that distribute the force evenly over the grip surface and do not allow slipping, with gripping surfaces at least 2-in. (50-mm) square, to transmit the load from the testing machine to the specimen. Fig. 7 shows a typical assembly for the tension test of building panels.

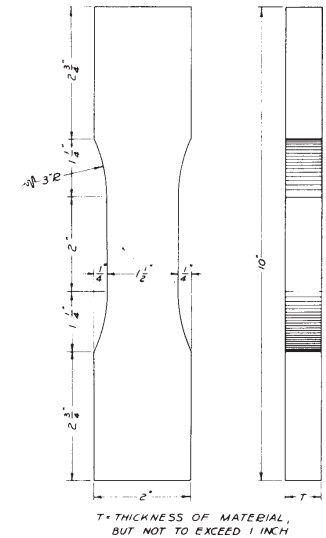
10.3.2 For each specimen, the character and location of the failure shall be noted.

10.4 Speed of Testing

10.4.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.15 in./min (4 mm/min) ±50 %. See Note 13.

10.5 Load-Deformation Measurements

10.5.1 When required, obtain load-deformation curves. To measure the deformation, attach an extensometer or other suitable device over the central portion of the specimen. Points of attachment (gage points) shall be within the reduced section



	Metric Equivalents							
in.	¼	1	1¼	1½	2	2¾	3	10
mm	6	25.4	32	38	51	70	76	254

FIG. 6 Detail of Specimen for Tension Test Parallel to Surface

of the specimen. Read the deformation to the nearest 0.0001 in. (0.0025 mm). Choose increments of loading so that not less than 12 readings are obtained before proportional limit.

10.6 Calculation and Report

10.6.1 The maximum tensile stress and, when required, modulus of elasticity shall be calculated for each specimen in accordance with the following equations:

$$R_t = \frac{P_{max}}{bd} \tag{6}$$

$$E_t = \frac{l_g \Delta P}{bd \Delta y} \tag{7}$$

where:

- b = width of the reduced cross-section of the specimen measured in dry condition, in. (mm),
- d = thickness of the specimen measured in dry condition, in. (mm),
- E_t = modulus of elasticity in tension parallel to the surface of the panel, psi (MPa),
- l_g = gage length or distance between the gage points of extensometer, in. (mm),
- ΔP/Δy = slope of the straight line portion of the load-deformation curve (see Note 17), lbf/in. (N/mm),
- P_{max} = maximum load, lbf (N), and
- R_t = maximum tensile stress, psi (MPa).

11. Tension Perpendicular to Surface (Internal Bond)

11.1 Scope

11.1.1 The tension test perpendicular to the surface shall be made to determine cohesion of the panel in the direction perpendicular to the plane of the panel.

11.2 Test Specimen

11.2.1 The test specimen shall be 2-in. (50-mm) square and the thickness shall be that of the finished panel. The dimensions of the specimen shall be measured to an accuracy of ±0.3 %.

11.3 Procedure

11.3.1 Loading blocks of steel or aluminum alloy 2-in. (50-mm) square and 1 in. (25 mm) in thickness shall be effectively bonded with a suitable adhesive (see Note 20) to the square faces of the specimen. The resulting bond shall exceed the cohesive strength of the material perpendicular to the plane of the panel. Fig. 8 shows details of the specimen and loading fixtures. The maximum distance from the center of the universal joint or self-aligning head to the glued surface of the specimen shall be 3 in. (76 mm).

NOTE 20—Any suitable adhesive that provides an adequate bond may be used for bonding the specimen to the loading blocks. Epoxy resins are recommended as a satisfactory bonding agent. Other resins such as hot melt cements or water based adhesives may be used provided the conditions of gluing do not significantly alter the moisture condition of the specimen. The pressure required to bond the blocks to the specimen will depend on the density of the panel and the adhesive used, and should not damage the specimen.

11.3.2 Engage the loading fixtures, such as are shown in Fig. 8, attached to the heads of the testing machine, with the blocks attached to the specimen. Stress the specimen by separation of the heads of the testing machine until failure occurs. The direction of loading shall be as nearly perpendicular to the faces of the specimen as possible, and the center of load shall pass through the center of the specimen.

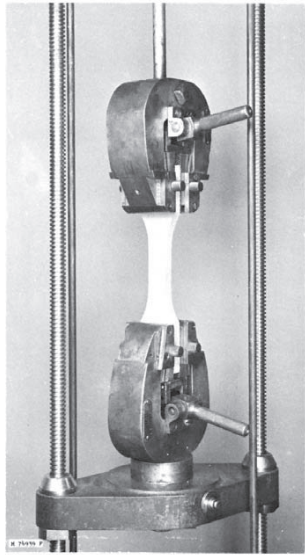
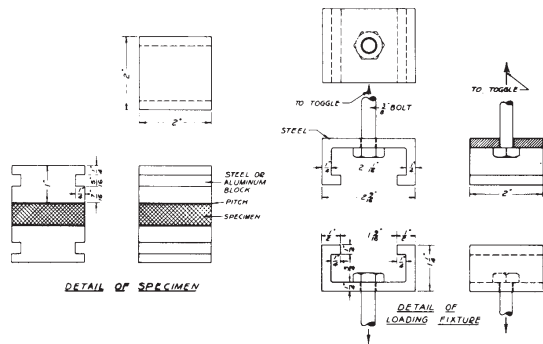


FIG. 7 Assembly for Tension Test Parallel to Surface

10.6.2 The report shall include the calculated properties and the description of failure for each specimen. If the failure is within 1/2 in. (12 mm) of either grip, the test value shall be discarded.



Metric Equivalents

in.	1/4	3/16	1/2	7/16	1/2	3/4	1 1/4	1 1/16	2	2 1/16	2 9/16
mm	6	7.5	9	10.5	12.7	19	31.7	39	51	52	64.3

FIG. 8 Detail of Specimen and Loading Fixture for Tension Test Perpendicular to Surface

11.4 Speed of Testing

11.4.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine 0.08 in./in. (cm/cm) of thickness per min. It is not intended that the testing machine speed shall be varied for small differences in panel thickness such as an embossed surface, but rather that it shall not vary more than ±50 % from that specified herein. See Note 13.

11.5 Calculation and Report

11.5.1 The internal bond of each specimen shall be calculated in accordance with the following equation:

$$IB = \frac{P_{max}}{ab} \quad (8)$$

where:

- a = width of the specimen measured in dry condition, in. (mm),
- b = length of the specimen measured in dry condition, in. (mm),
- P_{max} = maximum load, lbf (N), and
- IB = internal bond strength, psi (MPa).

11.5.2 The report shall include the location of the plane of failure such as the face/layer or the upper, middle or lower third. If any of the specimens fails due to failure of the adhesive bond to the loading block, the test result of that specimen shall be discarded.

12. Compression Parallel to Surface

12.1 Scope

12.1.1 The compression test parallel to the surface shall be made to determine the compressive strength in the plane of the panel. When required, the axial stiffness or modulus of elasticity and stress at proportional limit can be determined. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

12.2 Test Methods

12.2.1 Because of the large variation in character of wood-base fiber and particle panel materials and the differences in manufactured thicknesses, one method is not applicable for all materials. One of the three methods detailed as follows shall be used depending on the character and thickness of the panel being evaluated:

12.2.2 Method A (Laminated Specimen), shall be used for materials 3/8 in. (10 mm) or more but less than 1 in. (25 mm) in nominal thickness, particularly when modulus of elasticity and stress at proportional limit are required. Laminate two thicknesses when the material is 1/2 in. (13 mm) or greater thickness. Use three thicknesses for materials with thickness less than 1/2 in. (13 mm). The nominal size of the specimen shall be 1 by 4 in. (25 by 102 mm) by the thickness as laminated. The 4-in. (102-mm) long dimension shall be parallel to the applied force.

12.2.3 Method B (Lateral Support), shall be used for materials less than 3/8 in. (10 mm) in thickness, particularly when modulus of elasticity and stress at proportional limit are required. Specimens shall be 1 by 4 in. (25 by 102 mm) by the thickness as manufactured and evaluations made in a suitable

lateral support device. The 4-in. (102-mm) long dimension shall be parallel to the applied force.

12.2.4 Method C (Short Column), shall be used when maximum crushing strength only is required or where the thickness of the panel material is 1 in. (25 mm) or more and either maximum crushing strength, modulus of elasticity, and stress at proportional limit or only maximum crushing strength is required. When the material being evaluated is 1 in. or less in thickness, the width of the specimen shall be 1 in. (25 mm), the thickness shall be as manufactured, and the length (height as tested) shall be four times the thickness. When the material being evaluated is more than 1 in. (25 mm) in thickness, the width shall be equal to the nominal thickness and the length (height as loaded) shall be four times the nominal thickness.

12.3 Test Specimen

12.3.1 The test specimens shall be carefully sawn with surfaces smooth and planes at right angles to the faces of the panels as manufactured. For the laminated specimens (Method A), pieces of panel at least 1 in. (25 mm) larger in length and width than the finished size of specimen shall be laminated using thin spreads of epoxy resin or other adhesive that does not contain water or other swelling agent (see Note 21). Bonding pressures shall not exceed 50 psi (345 kPa). Test specimens shall be sawn from the laminated pieces after at least 8 h of curing of the resin at room temperature. The thickness shall be measured to at least the nearest 0.001 in. (0.025 mm). The width shall be measured to an accuracy of ±0.3 %.

NOTE 21—An adhesive that contains water or other swelling agent might produce internal stresses adjacent to the glue lines.

12.4 Method of Loading

12.4.1 The specimen shall be loaded through a spherical loading block, preferably of the suspended self-aligning type. The specimen shall be centered carefully in the testing machine in a vertical plane as shown in Fig. 9 for unsupported 4-in.

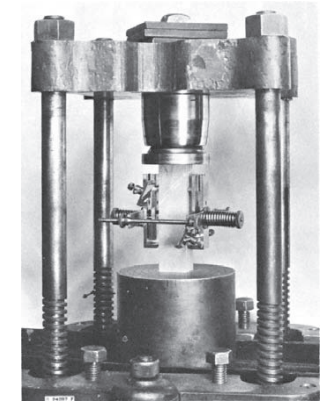


FIG. 9 Assembly for Compression Parallel to Surface Test of Unsupported Specimen

(102-mm) specimen and in Fig. 10 for laterally supported pack device. See Note 22.

NOTE 22—The lateral support device is detailed in Fig. 2 of Test Methods D3501.

12.5 Speed of Testing

12.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.005 in./in. (mm/mm) of length per min. Speed of test therefore for the 4-in. specimen of Methods A and B shall be 0.02 in./min (0.5 mm/min.). See Note 13. The crosshead speed shall not vary by more than ±50 % from that specified for a given test.

12.6 Load-Deformation Measurements

12.6.1 When required, obtain load-deformation curves for the full duration of each test. Fig. 9 shows a Lamb's Roller Compressometer on an unsupported specimen. Fig. 10 shows a Marten's Mirror Compressometer on a laterally supported specimen. Use these or equally accurate instruments for measuring deformation. Attach compressometer over the central portion of the length; points of attachment (gage points) shall be at least 1 in. (25 mm) from the ends of specimen. Choose increments in loading so that not less than 12 readings are obtained before proportional limit. Read deformation to the nearest 0.0001 in. (0.0025 mm).

12.7 Calculation and Report

12.7.1 The compressive strength and, when required, modulus of elasticity and stress at proportional limit shall be calculated in accordance with the following equations:

$$R_c = \frac{P_{max}}{bd} \tag{9}$$

$$E = \frac{l_g}{bd} \frac{\Delta P}{\Delta y} \tag{10}$$

$$S_{pl} = \frac{P_{pl}}{bd} \tag{11}$$

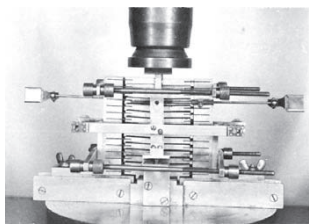


FIG. 10 Assembly for Compression Parallel to Surface Test of a Laterally Supported Specimen

where:

- b = width of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- d = thickness of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- E_t = modulus of elasticity in tension parallel to the surface of the panel, psi (MPa),
- l_g = distance between the gage points of compressometer, in. (mm),
- $\Delta P/\Delta y$ = slope of the straight line portion of the load-deformation curve (see Note 17), lbf/in. (N/mm),
- P_{max} = maximum load, lbf (N),
- P_{pl} = load at proportional limit (see Note 18), lbf (N),
- R_c = compressive strength, psi (MPa), and
- S_{pl} = stress at proportional limit, psi (MPa).

12.7.2 The report shall indicate which method (laminated specimen, lateral support, or short column) was used and the calculated properties for each specimen. The type of failure of each specimen shall be determined and included in the report.

13. Lateral Nail Resistance

13.1 Scope

13.1.1 Nail-holding tests shall be made to measure the panel's resistance to lateral movement of a nail through a panel (Note 23). To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with the movement of the nail parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

NOTE 23—If this test is performed on some panels, the nail may bend and pull out of the stirrup. If this happens, the maximum load does not characterize the true resistance of the panel and this result should be noted. In these situations, the nail may be replaced with a hardened steel dowel of an equivalent diameter to avoid nail bending and determine the true resistance of the panel.

NOTE 24—Values obtained from this test are dependent on the thickness of the specimen. Values, however, are not directly proportional to the thickness. For this reason values obtained from tests of different panels can only be compared exactly if the thicknesses are equal.

13.2 Test Specimen

13.2.1 The test specimen shall be 3 in. (76 mm) in width and of convenient length with the thickness of the panel as manufactured. The test fastener (see Note 25) shall be driven at the right angle to the face of the panel so that about an equal length of nail projects from each face. The fastener shall be centered on the width and located 1/4, 3/8, 1/2, or 3/4 in. (6, 10, 13, or 19 mm) from one end (see Note 26). Tests shall be made for all four edge distances for each material tested. The thickness of each specimen shall be measured to an accuracy of ±0.3 %.

NOTE 25—A smooth shank six penny (6d) common wire nail with a 0.113 in. (2.90 mm) diameter shank is commonly used for this test. Other fasteners, including hardened steel dowels of equivalent diameter may be selected to meet the test objectives. It is advisable to measure the variation in diameter of the fastener.

NOTE 26—The edge distance is the distance from the center of the fastener to the edge of the panel.

13.3 Specimens Tested in the Dry Condition

13.3.1 When the tests are conducted with dry "as received" (section 6.3.1) or dry "conditioned" (section 6.3.2) materials, the tests shall be made immediately after the fasteners have been driven.

13.4 Specimens Moisture Cycled Before Test

13.4.1 When a water soaked (section 6.3.3), accelerated aging (section 6.3.4) or other conditioning method is employed to simulate an application moisture exposure with this test method, the fastener shall be driven prior to the moisture cycle.

13.5 Method of Loading

13.5.1 Clamp the end of the specimen opposite to the end with the test fastener in a position parallel to the movement of the testing machine. A grip such as the type used for tension tests parallel to the plane of the panel is suitable. Engage the fastener by the stirrup, and connect in turn to one platen of the testing machine by a rod. A typical test assembly for measuring the resistance of a nail in the lateral direction is shown in Fig. 11. The stirrup and connections are detailed in Fig. 12. See Note 27.

NOTE 27—For other types of fasteners, such as staples, modification of the stirrup may be necessary.

13.6 Speed of Testing

13.6.1 The specimen shall be loaded continuously throughout the test by separation of the heads of the testing machine at a uniform rate of crosshead speed of 0.25 in./min (6 mm/min) ±50 %. See Note 13.

13.7 Test Data and Report

13.7.1 The load required to move the fastener to the edge of the specimen shall be the measure of the lateral resistance. The maximum load and the nature of failure shall be included in the report. See Note 28. The type and diameter of fastener used shall be described in the report.

NOTE 28—In some cases it is useful to report the resistance in lbf/in. (N/mm) dividing the maximum load by the depth of fastener penetration; for example, when different panel thicknesses are compared.

14. Nail Withdrawal

14.1 Scope

14.1.1 Nail-holding tests shall be made on nails driven through the specimen from face to face to measure the resistance to the nail withdrawal in a direction normal to the face of the panel.

14.2 Test Specimen

14.2.1 The test specimen shall be of convenient size, at least 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane, and the thickness of the panel as manufactured. The test fastener shall be driven through the panel at the right angle to the face, and at least 1/2 in. (13 mm) of the shank portion shall project above the surface of the panel. The thickness of each specimen shall be measured to an accuracy of ±0.3 %. See Notes 29 and 30.

NOTE 29—A smooth shank six penny (6d) common wire nail with a 0.113 in. (2.90 mm) diameter shank is commonly used for this test. It is advisable to measure the variation in diameter of the nails. In certain instances it may be more desirable to use a pointed steel pin with a head or other suitable end to engage the load-applying fixture.

NOTE 30—Where the use of a particular nail or fastener requires less than 1/2 in. of shank projecting above the surface, then only sufficient length may be left to permit engagement in the testing assembly.

14.3 Specimens Tested in the Dry Condition

14.3.1 When the tests are conducted with dry "as received" (section 6.3.1) or dry "conditioned" (section 6.3.2) materials, the withdrawals shall be made immediately after the fasteners have been driven.

14.4 Specimens Moisture Cycled Before Test

14.4.1 When a water soaked (section 6.3.3), accelerated aging (section 6.3.4) or other conditioning method is employed to simulate an application of moisture exposure with this test method, the fastener shall be driven prior to the moisture cycle.

14.5 Method of Loading

14.5.1 The assembly for the nail direct-withdrawal test is shown in Fig. 13. Attach the specimen-holding fixture to the lower platen of the testing machine. Insert the specimen in the fixture with the heads of the nails up, as shown. Engage the heads of the nails by the load-applying fixture equipped with a slot for easy attachment. This loading fixture shall be attached to the upper platen of the testing machine. Loads shall be applied by separation of the platens of the testing machine. The fitting is detailed in Fig. 14. See Note 31.

NOTE 31—For other types of fasteners, such as staples, modification of the loading fixture may be necessary.

14.6 Speed of Testing

14.6.1 The specimen shall be loaded continuously throughout the test by a uniform motion of the movable head of the testing machine at a rate of 0.06 in./min (1.5 mm/min) ±50 %. See Note 13.

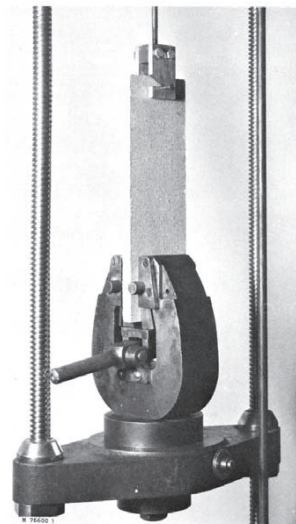
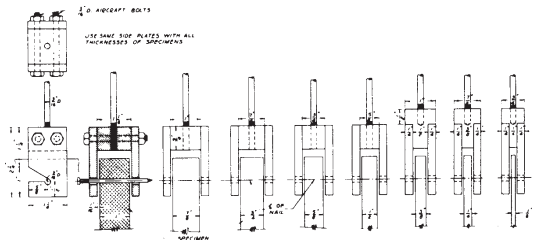


FIG. 11 Test Assembly for Measuring the Resistance of Nails to Lateral Movement



		Metric Equivalents											
in.	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/8	1 1/4	2 1/4
mm	1.5	3	4.5	9	12.7	15	19	21	25.4	28	32	57	

FIG. 12 Detail of Stirrups and Connections for Measuring the Resistance of Nails to Lateral Movement

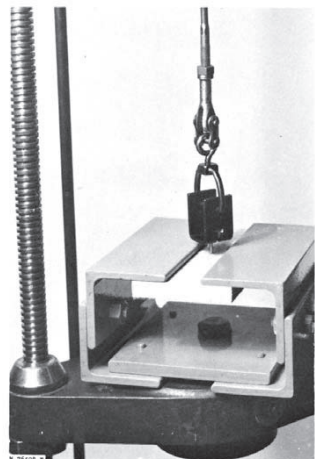
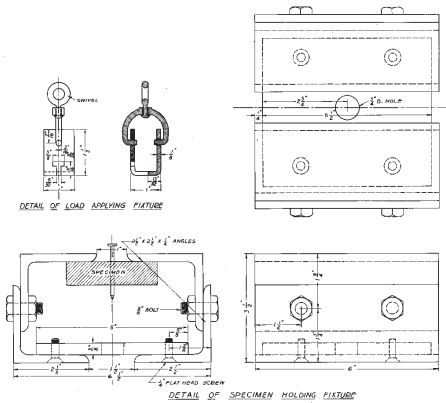


FIG. 13 Test Assembly for Measuring the Resistance of Nails to Direct Withdrawal



NOTE 1—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 14 Details of Testing Equipment for Measuring the Resistance of Nails to Direct Withdrawal

NOTE 32—For interior applications, the resistance to pull-through of a finishing nail may be preferred. For other applications, some special fasteners like staples or roofing nails may be desired instead of a common nail.

15.2 Test Specimen

15.2.1 The test specimen shall be of convenient size, at least 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane, and the thickness of the panel as manufactured. The test nail shall be driven through the panel at the right angle to the face with the head flush with the surface of the panel (see Note 33). The size of the head and shank diameters of the nails used for this testing shall be measured and reported to an accuracy of ±1.0%. The thickness of each specimen shall be measured to an accuracy of ±0.3%.

14.7 Test Data and Report

14.7.1 The maximum load required to withdraw the fastener shall be the measure of resistance of the material to direct fastener withdrawal, and shall be included in the report. See Note 28. The type and the size of the fastener used shall be described in the report.

15. Nail-Head Pull-Through

15.1 Scope

15.1.1 Nail-head pull-through tests shall be made to measure the resistance of a panel to having the head of a common nail or other fastener pulled through the panel. This test is to simulate the condition encountered with forces that tend to pull paneling or sheathing from a frame. See Note 24 and Note 32.

NOTE 33—A sixpenny (6d) common wire nail with a 0.266 in. (6.75 mm) diameter head and a 0.113 in. (2.90 mm) diameter shank is commonly used for this test. Other fasteners may be selected to meet the test objectives.

15.3 Specimens Tested in the Dry Conditions

15.3.1 When the tests are conducted with dry “as received” (section 6.3.1) or dry “conditioned” (section 6.3.2) materials, the pull through shall be made immediately after the fasteners have been driven.

15.4 Specimens Moisture Cycled Before Test

15.4.1 When a water soaked (section 6.3.3), accelerated aging (section 6.3.4) or other conditioning method is employed to simulate an application of moisture exposure with this test method, the fastener shall be driven prior to the moisture cycle.

15.5 Method of Loading

15.5.1 Modify the assembly for the direct withdrawal test detailed in Fig. 14 by replacing the top pair of angles in the specimen-holding fixture with a 6-in. (152-mm) length of 6 by 2 1/4-in. (152 by 57-mm) steel channel. The web of the channel shall have a 3-in. (76-mm) diameter opening centered in the web. The edge of this opening provides the support to the specimen during test. The specimen-holding fixture shall be centered and attached to the lower platen of the testing machine. The specimen shall be inserted in the holding fixture with the point of the test fastener up. The pointed end of the fastener shall be gripped by a gripping device of such a design as to allow accurate specimen positioning and true axial loading (see Note 34). Load shall be applied by separation of the platens of the testing machine.

NOTE 34—A “Jacob’s”-type drill chuck attached to the upper platen of the testing machine with a universal joint or toggle linkage, to provide for automatic aligning, has been used successfully.

15.6 Speed of Testing

15.6.1 The specimen shall be loaded continuously throughout the test by a uniform motion of the movable head of the testing machine at a rate of 0.06 in./min (1.5 mm/min) ± 50%. See Note 13.

15.7 Test Data and Report

15.7.1 The maximum load required to pull the head of the fastener through the panel shall be the measure of resistance of the material to fastener-head pull-through, and shall be included in the report for each specimen. See Note 28. The report shall describe the type and head and shank diameters of the nails used and the failure modes observed.

16. Direct Screw Withdrawal

16.1 Scope

16.1.1 Screw-holding tests shall be made on screws threaded into the panel to measure the resistance to screw withdrawal in a plane normal to the face of the panel. For numerous applications, the withdrawal resistance of screws from the edge of the panel is desired. When that value is required the screw withdrawal resistance in the plane parallel to the face shall be determined. See Note 24.

16.2 Test Specimen

16.2.1 Withdrawal from the Face of the Panel—The test specimen shall be of convenient size, at least 3 by 4 in. (76 by

102 mm) in plane. The thickness of the specimen shall be at least 1 in. (25 mm) unless other considerations make it desirable to test with the thickness as manufactured, because local bending of the panel at withdrawal may affect test results. If necessary, glue up two or more thicknesses of the panel to arrive at the 1-in. minimum thickness. A rubber cement or other suitable flexible adhesive shall be used, which does not alter the properties and moisture condition of the panel. The screw (see Note 35) shall be threaded 3/8 in. (17 mm) into a lead hole in the specimen at the right angle to the face of the panel. The lead hole shall be predrilled using a drill of 0.9 of the root diameter of the screw (see Note 36).

16.2.2 Withdrawal from the Edge of the Panel—The test specimen shall be of convenient size, at least 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane, and the thickness of the panel as manufactured (see Note 37). To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with screw withdrawal parallel and perpendicular to the long-axis of the panel. The screw (see Note 35) shall be threaded 3/8 in. (17 mm) into a lead hole in the edge of the panel at midthickness at the right angle to the surface of the edge. The lead hole shall be predrilled using a drill of 0.9 of the root diameter of the screw (see Note 36).

NOTE 35—Number 10 Type AB screws should have a root diameter 0.138 ± 0.003 in. (3.51 ± 0.1 mm) and a pitch of 16 threads per inch. The diameter of the lead hole should be 0.125 in. (3.2 mm).

NOTE 36—It is recognized that some other lead hole diameter may give higher withdrawal resistance values for some densities and kinds of panels. Departures from this size of lead hole are permitted, but diameter used shall be reported.

NOTE 37—In some applications where several thicknesses of hardboard or the thinner particleboard are laminated together, it may be desirable to obtain the edge withdrawal resistance of a laminated panel. When this is done, the specimen is laminated from an odd number of thicknesses and the screw is located at the midthickness of the center laminate.

16.3 Specimens Tested in the Dry Condition

16.3.1 When the tests are conducted with dry “as received” (section 6.3.1) or dry “conditioned” (section 6.3.2) materials, the withdrawals shall be made immediately after the screws have been embedded.

16.4 Specimens Cycled Before Test

16.4.1 When a water soaked (section 6.3.3), accelerated aging (section 6.3.4) or other conditioning method is employed to simulate an application of moisture exposure with this test method, the screw shall be embedded prior to the moisture cycle.

16.5 Method of Loading

16.5.1 The assembly for the direct screw withdrawal is the same as shown for direct nail withdrawal in Fig. 13. Attach the specimen-holding fixture to the lower platen of the test machine. Insert the specimen in the fixture with the head of the screw up as shown. Engage the head of the screw by the load-applying fixture equipped with a slot for easy attachment. Attach this loading fixture to the upper platen of the testing machine. Load shall be applied by separation of the platens of the testing machine.

16.6 Speed of Testing

16.6.1 The specimen shall be loaded continuously throughout the test by a uniform motion of the movable head of the testing machine at a rate of 0.06 in./min (1.5 mm/min) \pm 50 %. See **Note 13**.

16.7 Test Data and Report

16.7.1 The report shall include the following:

16.7.2 Type of withdrawal resistance (face, edge-parallel or edge-perpendicular to the long axis of the panel) and the maximum load required to withdraw the screw from the panel. See **Note 28**. If the screw is broken rather than withdrawn, it shall be noted and the test value shall be discarded.

16.7.3 The type and size of the screw, and diameter of lead hole actually used.

16.7.4 Thickness of the panel and depth of screw penetration as actually tested.

17. Hardness

17.1 Scope

17.1.1 The modified Janka-ball test method shall be used for determining hardness of panel.

17.2 Test Specimen

17.2.1 Each specimen shall be nominally 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane and at least 1 in. (25 mm) thick (see **Note 38**). Because most panels are manufactured in thicknesses of less than 1 in. (25 mm), the specimen for test shall be made by bonding together several layers of the panels to make the required thickness. A rubber cement or other suitable flexible adhesive shall be used, which does not alter the properties and moisture condition of the panel. The finished specimen shall be trimmed after bonding so that edges are smooth. The thickness of the specimens as tested shall be measured to an accuracy of \pm 0.3 %.

NOTE 38—If the purpose of the test is to measure the indentation resistance of the panel as manufactured, the multiple piece specimen may be tested without gluing the layers together.

17.3 Procedure

17.3.1 The modified Janka-ball test method shall be used with a “ball” 0.444 in. (11.3 mm) in diameter. The load shall be recorded when the “ball” has penetrated to one-half its diameter into the panel, as determined by an electric circuit indicator or by the tightening of the collar against the specimen. The test assembly with a tool of the tightening collar type is shown in **Fig. 15**.

17.3.2 Two penetrations shall be made on each of the two flat faces of the panel. The locations of the points of penetration shall be at least 1 in. (25 mm) from the edges and ends of the specimen and far enough apart so that one penetration will not affect another one.

17.4 Speed of Testing

17.4.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.25 in./min (6 mm/min) \pm 50 %. See **Note 13**.

17.5 Test Data and Report

17.5.1 The load required to embed the “ball” to one-half its diameter into the panel shall be the measure of hardness, and shall be included in the report. Where one face of the panel is

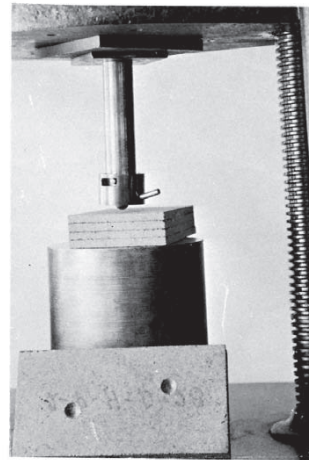


FIG. 15 Janka Ball Test Apparatus for Hardness of Panels

different from the other, as for example the smooth face and wire-textured back of most hardboards, the data obtained from the two faces shall be reported separately. The thickness of the test material shall also be included.

18. Hardness Modulus

18.1 Scope

18.1.1 The hardness modulus method of determining “equivalent Janka-ball hardness” may be used for determining hardness of building fiberboard and particleboard panels

18.2 Significance and Use

18.2.1 The hardness modulus (in pounds per inch of penetration) divided by 5.4 gives the equivalent Janka-ball hardness in pounds.³ The thinness of most wood-base panel materials precludes the use of the regular Janka-ball procedure (see **Methods D143**) unless several thicknesses are laminated together to provide a thickness of 1 in. (25 mm) or more.

18.2.2 This procedure is applicable for materials greater in thickness than 1/8 in. (3 mm). For thicknesses 1/8 in. or less, stacks of material may be used, but extreme care must be taken to select the proper slope for hardness modulus.

18.3 Test Specimen

18.3.1 Each specimen shall be nominally 3 by 6 in. (76 by 152 mm) in plane by the thickness of the material. When materials are 1/4 in. (6 mm) or less in thickness, an extra specimen shall be prepared as a backing material during the test. The finished specimen shall be sawn square with smooth

³For further information on this relationship consult “Hardness Modulus as an Alternate Measure of Hardness to the Janka Ball for Wood and Wood-Base Materials,” by W. C. Lewis, U.S. Forest Service, research note FPL-0189, March 1968. Available from Forest Products Laboratory, One Gifford Pinchot Dr., Madison, WI 53705-2398.

edges. The thickness of the specimens as tested shall be measured to an accuracy of \pm 0.3 %.

18.4 Procedure

18.4.1 The rate of penetration of the modified Janka-ball, 0.444 in. (11.3 mm) in diameter, shall be used for determining hardness modulus. See **Note 39**. Each test shall be continued until the penetration is about 0.1 in. (2.5 mm).

NOTE 39—Suitable modifications of the Janka-ball hardness apparatus to measure penetration are shown in **Figs. 16 and 17**. **Fig. 16** shows the

modification for manual measurements of penetration and **Fig. 17** shows a cone unit with microformer for autographic recording. **Fig. 18** shows the kind of load-penetration data obtained from tests.

18.4.2 At least two penetrations shall be made on each of the two flat faces of each specimen. Where one face is different from the other as, for example, the smooth face and wire-textured back of most hardboards, the data obtained from the two faces shall be reported separately. The locations of the points of penetration shall be at least 1 in. (25 mm) from the

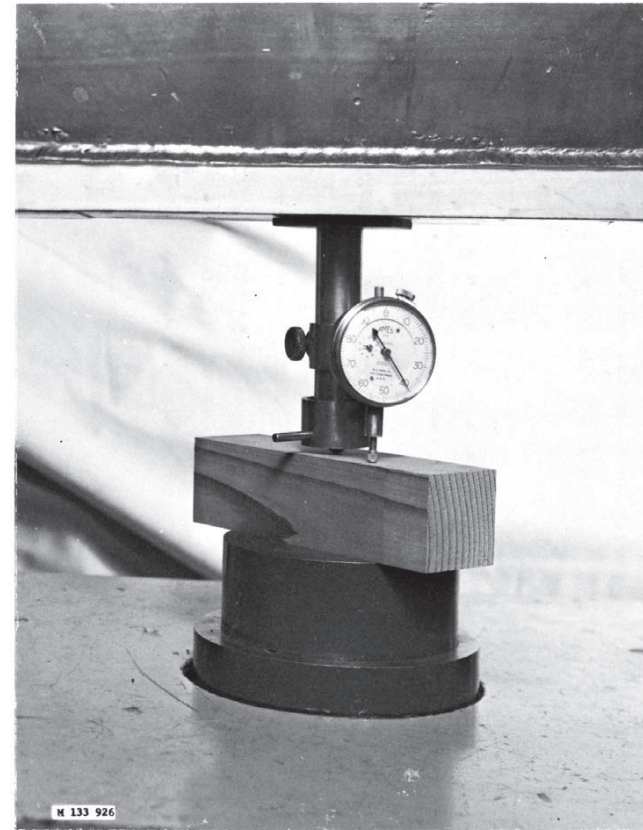


FIG. 16 Janka-Ball Hardness Tool Equipped with a Micrometer Dial for Measuring Penetration

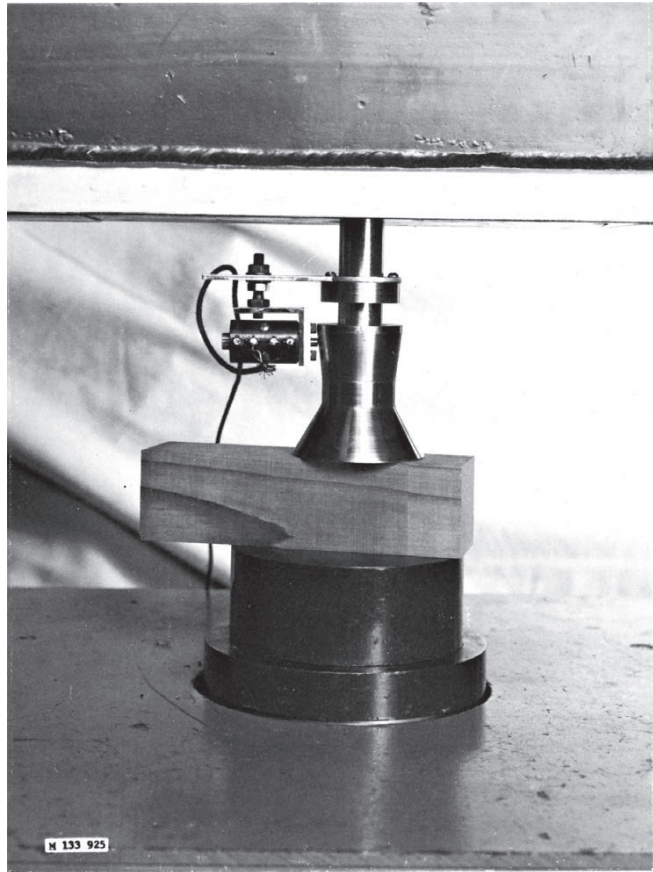


FIG. 17 Janka-Ball Hardness Tool Adapted with Cone and Microformer Unit for Direct Autographic Recording of Load-Penetration Data

edges and ends of specimens and far enough apart so that one penetration will not affect another one.

18.5 Speed of Testing

18.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.05 in./min (1.3 mm/min) ± 50 %. See Note 13.

18.6 Test Data and Report

18.6.1 The slope of the straight-line portion of the load penetration curve in pounds per inch shall be the hardness modulus. The equivalent Janka-ball hardness value in pounds is obtained dividing this hardness modulus by the factor 5.4.

18.6.2 The hardness modulus as determined from the load-penetration curve and the calculated equivalent Janka-ball hardness value shall be included in the report.

19. Shear in the Plane of the Panel

19.1 Scope

19.1.1 Shear tests shall be made on specimens prepared by laminating each specimen so that the plane of the shear failure will be in the panel proper and not in the glue lines. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel. This test, except for the method of

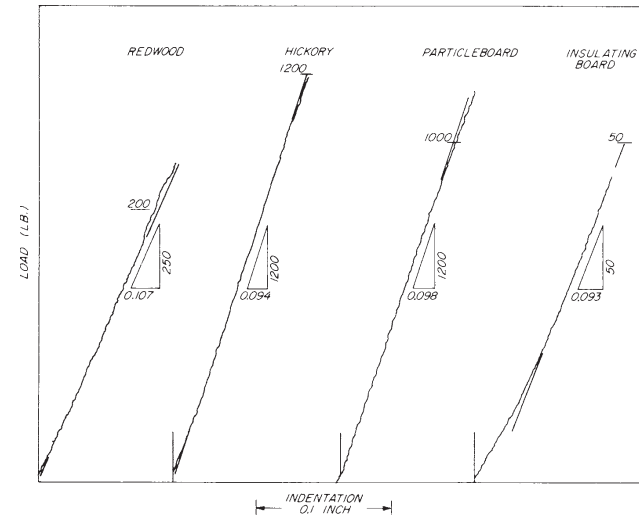


FIG. 18 Typical Load-Indentation Lines Obtained with Autographic Equipment for Wood and Wood-Base Panel Materials. Values Shown on Triangles Were Ones Used to Compute the Hardness Modulus Values

preparing the specimen, follows the procedure described in Section 14 of Methods D143.

19.2 Test Specimen

19.2.1 The shear-parallel-to-plane of panel tests shall be made on 2 by 2 by 2½-in. (51 by 51 by 64-mm) specimens notched as illustrated in Fig. 19. It is the intent in this test to have the plane of shear parallel to the surfaces of the panel and to have the failure approximately midway between the two surfaces of the panel. The specimen shall be glued up by laminating sufficient thicknesses (see Note 40) of the panel together to produce the desired 2-in. (51-mm) thickness of

specimen as shown in Fig. 19. The actual area of the shear surface shall be measured to the nearest 0.005 in. (0.1 mm).

NOTE 40—When the shear strength of a thin panel like hardboard is desired, it will be permissible to use a thicker material such as plywood for outer laminations to reduce the total amount of gluing. When that procedure is used, at least the center lamination and preferably the three center laminations shall be of the panel under test.

19.3 Procedure

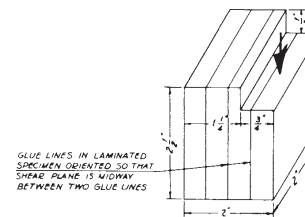
19.3.1 A shear tool with a self-aligning seat shall be used similar to that illustrated in Fig. 22 of Methods D143, providing a ¼ in. (3-mm) offset between the inner edge of the supporting surface and the plane, along which failure occurs. The specimen shall be loaded at the notch, as indicated by the large arrow in Fig. 19, and supported at the opposite corner. Care shall be taken in placing the specimen in the shear tool to see that the crossbar is adjusted so that the edges of the specimen are vertical and the end rests evenly on the support over the contact area. The maximum load and the mode of failure shall be recorded.

19.4 Speed of Testing

19.4.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.024 in./min (0.6 mm/min) ± 50 %. See Note 13.

19.5 Calculation and Report

19.5.1 The maximum shear stress shall be calculated for each specimen in accordance with the following equation:



Metric Equivalents					
in.	¼	¾	1¼	2	2½
mm	12.7	19	31.7	51	63.5

FIG. 19 Shear Parallel to Surface Test Specimen

$$\tau = \frac{P_{max}}{bd} \quad (12)$$

where:

- b* = width of the shear area measured in dry condition, in. (mm),
- d* = depth of the shear area measured in dry condition, in. (mm),
- P_{max}* = maximum load, lbf (N), and
- τ = maximum shear stress, psi (MPa).

19.5.2 The direction of loading, the character and type of failure, the maximum shear stress, the maximum load, and the shear area dimensions of each specimen shall be included in the report. In all cases where the failure at the base of the specimen extends back onto the supporting surface, the test shall be discarded.

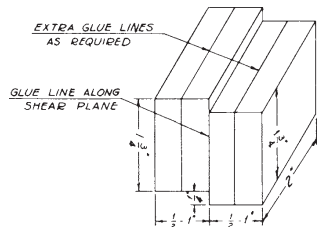
20. Glue-Line Shear (Block Type)

20.1 Scope

20.1.1 The block-type glue-line shear test shall be used to evaluate glued panel constructions that are obtained when thicknesses are laminated together to provide a greater thickness than when manufactured. When desired, the specimens may be modified to evaluate glue lines between the test material and solid wood or veneer by laminating the specimen so that the glue line to be evaluated is so oriented in the specimen that it coincides with the plane of shear in the specimen. The shear blocks shall be fabricated such that the applied load will be parallel to the strong direction of the panel. This test procedure is adopted from Test Method D905, except for the rate of loading (see section 20.4).

20.2 Test Specimen

20.2.1 The test specimen shall be 2 in. (51 mm) in width and 2 in. (51 mm) in height, and shall be fabricated as shown in Fig. 20. The specimen shall be from 1 to 2 in. (25 to 51 mm) thick, depending on the thickness of the panel (see Note 41). Specimens shall be sawn from panels glued up in sizes of at least 6-in. (152-mm) square. Care shall be taken in preparing test specimens to make the loaded surfaces smooth and parallel to each other and perpendicular to the glue line in the shear plane. Care shall be exercised in reducing the lengths of the



Metric Equivalents				
in.	¼	1	1¾	2
mm	6	25.4	44	51

FIG. 20 Block-Type Glue-Line Shear Test Specimen

laminations to 1¼ in. (44 mm) to ensure that the saw cuts extend to, but not beyond the glue line. The width and height of the shear area of each specimen at the glue line shall be measured to the nearest 0.005 in. (0.1 mm).

NOTE 41—When the glue-line shear strength of a thin panel like hardboard is desired, it will be permissible to use a thicker material such as plywood for outer laminations to reduce the total amount of gluing. The material on either side of the glue line in the plane of shear shall be the panel under test unless the test involves a glue line of panel and another material.

20.3 Procedure

20.3.1 The specimen shall be loaded using the shearing tool with a self-aligning seat similar to that shown in Fig. 1 of Test Method D905, adjusted so that failure will occur along or adjacent to the glue line (no offset). Care shall be taken in placing the specimen in the shear tool to see that the crossbar is adjusted so that the edges of the specimen are vertical and the end rests evenly on the support over the contact area. The maximum load, mode of failure, and the percentage of fiber failure shall be recorded.

20.4 Speed of Loading

20.4.1 The load shall be applied with a continuous motion of the movable head of the testing machine at 0.024 in. (0.6 mm/min) ±50 %. See Note 13.

20.5 Calculation and Report

20.5.1 The maximum shear stress shall be calculated for each specimen in accordance with the following equation:

$$\tau = \frac{P_{max}}{bd} \quad (13)$$

where:

- b* = width of the shear area in dry condition, in. (mm),
- d* = depth of the shear area in dry condition, in. (mm),
- P_{max}* = maximum load, lbf (N), and
- τ = maximum shear stress, psi (MPa).

20.5.2 The shear stress at failure, based on the maximum load, the shear area dimensions (the overlap area between the two laminations), and the percentage of fiber failure, for each specimen, shall be included in the report.

21. Falling Ball Impact

21.1 Scope

21.1.1 The falling ball impact test shall be used to measure the impact resistance of panels from the kind of damage that occurs in service when struck by moving objects. In this test a 2-in. (51-mm) diameter steel ball is dropped from increasing heights onto a specimen supported in a frame as described in section 21.2. Each drop is made at the same location on the specimen approximately in the center of the panel, until the panel fails. The height of drop in inches that produces a visible failure on the underside of the specimen is recorded as the index of resistance to impact.

21.2 Apparatus

21.2.1 A suitable assembly for making the falling ball impact test is shown in Fig. 21. Two frames of 1½-in. (38-mm) thick plywood, 9 by 10-in. (228 by 254-mm) outside dimension with a 6-in. (152-mm) central square shall be provided with

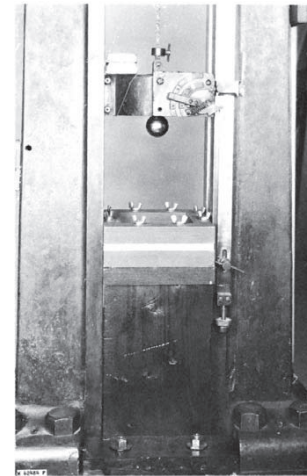


FIG. 21 Test Assembly for Falling Ball Impact Test

eight ¾-in. (9-mm) carriage bolts for clamping the specimen between the frames. The eight bolts shall be spaced equidistant on 8¾-in. (218-mm) diameter circle. A 2-in. (51-mm) diameter steel ball weighing 1.18 lb (535 g) and a suitable means of holding and releasing it from predetermined heights shall be provided. During the test the frame and specimen shall be supported solidly on a suitable base.

21.3 Test Specimen

21.3.1 The impact test specimens shall be 9 by 10 in. (228 by 254 mm) by the thickness of the material. No facing material other than that which is a regular part of the panel shall be applied to the panel prior to test. The thickness of the specimens as tested shall be measured to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

21.4 Procedure

21.4.1 The specimen shall be clamped securely between the frames. Drop the steel ball with an initial drop of 1 in. (25 mm) so that it strikes approximately at the center of the specimen. Make repeated drops from increasing heights until a visible fracture is produced on the top and bottom surface of the specimen. Increments of drop shall be 1 in. (25 mm), measuring the distance from the bottom of the ball to the top surface of the specimen. The heights of drop that produce visible fractures on each surface shall be recorded. Catch the ball after each drop so that there will be only one impact for each drop.

21.5 Report

- 21.5.1 The report shall include the following:
- 21.5.2 Description of the failure,
- 21.5.3 Heights of drop that produced failures on each surface, and
- 21.5.4 The measured thickness of each test specimen.

22. Abrasion Resistance by the U.S. Navy Wear Tester

22.1 Scope

22.1.1 Abrasion resistance tests shall be made on the panel to determine the wear under simulated conditions of uniform abrasion. See Note 42.

NOTE 42—Other test methods have been used to measure abrasion resistance of other materials. The test method delineated here has been used extensively for measuring the resistance of wood and other wood-base materials like plywood to surface abrasion.⁴

22.2 Test Specimen

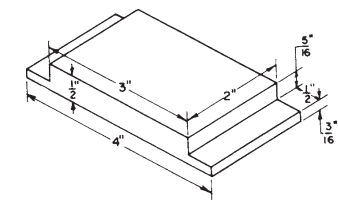
22.2.1 The area of the test specimen to be abraded shall be 2 by 3 in. (51 by 76 mm), and the specimen shall be fabricated from a piece of the panel 2 by 4 in. (51 by 102 mm) by the thickness of the material as shown in Fig. 22. When the panel tested is less than ½ in. (12 mm) thick, either sufficient pieces shall be laminated together to provide the ½-in. thickness or the specimen shall be backed by a thickness of wood or plywood sufficient to provide the ½-in. total specimen thickness required. The specimens shall be air-conditioned before test (see section 6.3.2) and the test made in the same conditioned atmosphere. The actual dimensions of the abrading area of the specimen shall be measured to the nearest 0.01 in. (0.2 mm). The thickness of the test specimen shall be measured to the nearest 0.001 in. (0.025 mm) near each corner and the center.

22.3 Procedure

22.3.1 Conduct the test with the Navy-type abrasion machine⁵ as shown in Fig. 23, using new No. 80-grit aluminum oxide, or equivalent, as the abrading medium. Apply the grit continuously (see Note 43) to the 14-in. (355-mm) diameter steel disk, which serves as a platform supporting the specimen and rotates at the rate of 23½ r/min. Rotate the specimen in the same direction as the steel disk at the rate of 32½ r/min. Superimpose a load of 10 lb (4.5 kg) on the test specimen. The machine is designed so that twice each revolution the specimen is raised ¼ in. (1.6 mm) above the steel disk and immediately

⁴ U.S. Forest Products Laboratory Report R1732, "The Abrasion Resistance of Wood as Determined with the U.S. Navy Wear Test Machine."

⁵ The Navy-type wear tester may be constructed from drawings obtainable from the U.S. Navy or the Forest Products Laboratory. It is manufactured commercially by the Tinius Olsen Testing Machine Co., Willow Grove, PA.



Metric Equivalents					
in.	¾	1	1½	2	3
mm	4.5	7.5	12.7	51	76

FIG. 22 Test Specimen for Abrasion Resistance Test

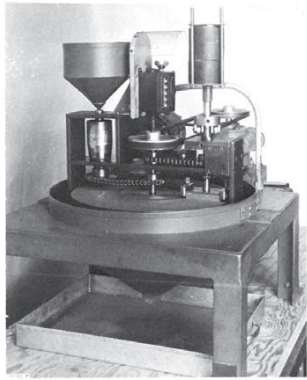


FIG. 23 Navy-Type Wear Machine for Abrasion Resistance Test

lowered. Determine the decrease in the thickness of the specimen at the end of each 100 revolutions of the steel disk by measuring the thickness of the specimen to the nearest 0.001 in. (0.025 mm) near each corner and at the center. Remove any dust or abrading material adhering to the surface of the specimen before measuring the thickness. The mean of the five thickness readings shall be taken as the loss in thickness of the specimen. Repeat this procedure until the specimen has 500 revolutions of wear or as required. See Note 44.

NOTE 43—The Navy wear tester is designed so that there is an excess of grit on the abrading disk at all times. During all parts of the abrading action, except when the specimen is in the raised position, the specimen is pushing a small amount of grit ahead of it.

NOTE 44—When values of accumulated wear are plotted as ordinates against revolutions, the slope of the curve is a straight line for wear through uniform materials. When the rate of wear per 100 revolutions of the abrading disk is not uniform after the first 200 revolutions, it is probably due to a change in abrasion resistance with depth from the original surface of the material being tested.

22.4 Report

22.4.1 The report shall include the following:

22.4.2 Loss in thickness in inches per 100 revolutions of wear if uniform, and

22.4.3 The loss in thickness in inches for each 100 revolutions if the amount of wear changes with depth from the original.

23. Water Absorption and Thickness Swelling

23.1 Scope

23.1.1 A test shall be made to determine the water-absorption characteristics of panels. For Method A (section 23.5) the water absorption and thickness swelling are expressed as a percent for the specimen after a 2-plus-22-h submersion. For Method B (section 23.6) the water absorption and thickness swelling are expressed as a percent for the specimen after a single continuous submersion time of 24-h. Method A, with its initial 2-h submersion period, provides

information on the short term (2 h) and longer term (2-plus-22-h) water absorption and thickness swelling performance. Because Method A calls for a short removal period after 2 h, the values from Method A and Method B are not necessarily compatible.

23.2 Test Specimen

23.2.1 The test specimen shall be 12 by 12 in. (305 by 305 mm) or 6 by 6 in. (152 by 152 mm) by the thickness of the material with all four edges smoothly and squarely trimmed.

23.3 Conditioning Prior to Test

23.3.1 Prior to the test, the test specimens shall be in the “dry” condition in accordance with section 6.3.2. See Note 45.

NOTE 45—Conditioning prior to testing is not a common practice for quality control testing and some other circumstances. If the specimen is not conditioned to the defined parameters in section 6.3.2, the deviation from the conditioning requirement shall be reported.

23.4 Weight, Thickness, and Volume of Test Specimen

23.4.1 After conditioning, the weight of the specimen shall be measured to an accuracy of $\pm 0.2\%$. The width, length, and thickness of the specimen shall be measured to an accuracy of $\pm 0.3\%$ to compute the volume of the specimen. The thickness shall be measured at four points midway along each side 1 in. (25 mm) in from the edge of the specimen and the average of these four measurements shall be used for the thickness swelling determination (see Note 46).

NOTE 46—Where a common practice or special consideration requires thickness determinations at the edge or another distance from the edge, the edge distance used shall be reported. For textured surfaces, the surface area of the measuring device shall be of sufficient diameter as not to penetrate localized indentations of the textured surface.

23.5 Method A: 2-Plus-22-h Submersion in Water

23.5.1 The specimens shall be submerged horizontally under 1 in. (25 mm) of potable water maintained at a temperature of $68 \pm 2^\circ\text{F}$ ($20 \pm 1^\circ\text{C}$). See Note 47. Fresh water shall be used for each test. After a 2-h submersion, suspend the specimen to drain for 10 ± 2 min, then remove the excess surface water and immediately weigh the specimen and determine the thickness according to section 23.4. Submerge the specimen for an additional period of 22 h and repeat the above weighing and measuring procedures.

NOTE 47—As an alternative to the above method of submersion, the specimens may be submerged vertically. The amounts of water absorbed for tests of this duration are not the same for the two methods of submersion. Specimens suspended vertically will absorb considerably more water than those suspended horizontally. Therefore, values obtained from the horizontal and vertical methods are not comparable.

23.6 Method B: Single Continuous 24-h Submersion in Water

23.6.1 The procedure for determining water absorption after a 24-h submersion shall be the same as that provided in sections 23.2 through 23.5, except that only two sets of measurements are required, initial and after the 24-h submersion period.

23.7 Drying After Submersion

23.7.1 After submersion using Method A or B, the specimens shall be dried in an oven at $217 \pm 4^\circ\text{F}$ ($103 \pm 2^\circ\text{C}$) to determine the moisture content in accordance with Test Methods D4442.

23.8 Calculation and Report

23.8.1 The moisture content of the specimens before and after submersion shall be calculated based on oven-dry weight. Report shall include the size of the specimens and the description of the submersion procedure (Method A or Method B, horizontal or vertical submersion). The amount of water absorbed by the specimen during the submersion shall be calculated from the increase in weight and expressed as the percentage by volume and by weight based on the volume and the weight, respectively, after conditioning. Assume the specific gravity of the water to be 1.00 for this purpose. The thickness swelling shall be reported as a percentage of the conditioned thickness.

24. Linear Expansion with Change in Moisture Content

24.1 Scope

24.1.1 Tests of linear expansion with changes in moisture content shall be made to measure the dimensional stability of a panel with change in moisture content.

24.2 Test Specimen

24.2.1 The test specimens shall be 3 in. (76 mm) in width and at least 12 in. (305 mm) in length with the edges smoothly and squarely trimmed. If the panel is not large enough to permit a 12-in. (305-mm) specimen, the maximum length possible shall be used, but it shall be at least 6 in. (152 mm). Two specimens shall be cut from each panel, one specimen with the long side parallel to the long dimension of the panel and the other specimen—perpendicular.

24.3 Procedure

24.3.1 Specimens shall be conditioned to practical equilibrium (see Note 48) at a relative humidity of $50 \pm 2\%$ and a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) and the length of each specimen shall be measured to the nearest 0.001 in. (0.02 mm). Then the specimens shall be conditioned to practical equilibrium at a relative humidity of $90 \pm 5\%$ and a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) and the length shall be measured again to the nearest 0.001 in. (0.02 mm). See Notes 49 and 50. For each measurement the specimen shall be oriented in the same way (for example, numbered surface up with numbers reading from the side toward the operator). See Note 51.

NOTE 48—Practical equilibrium is defined as the state of time-change in weight where for practical purposes the specimen is neither gaining nor losing moisture content more than 0.05 weight percent in a 24-h period. It is helpful in determining the end point in conditioning to plot weight change against time. When the curve becomes asymptotic to a horizontal line, practical equilibrium is indicated.

NOTE 49—Where values of linear change with change in moisture content associated with exposure to a greater humidity change are desired, equilibrium at a relative humidity of $30 \pm 1\%$ may be used for the lower humidity condition rather than the 50% specified in this section. The report shall state the actual humidity conditions used. When the change between 30 and 90% relative humidity is desired, it is suggested the specimens be prepared in pairs, conditioned at 50% relative humidity, and then one specimen of each pair be conditioned at 90% relative humidity and the other at 30% relative humidity.

NOTE 50—Certain wood products experience difficulty reaching an equilibrium moisture content when exposed to 90% relative humidity, making the standard 50 to 90% relative humidity test method unreliable. As an alternative to the standard 90% upper relative humidity level, equilibrium at $80 \pm 3\%$ may be used. The coefficient of variability for linear expansion tested with an 80% upper relative humidity should be

less than that of the 90% relative humidity test because of the smaller allowable range in endpoint relative humidity and the possible differences in hygroexpansivity of a given material between 80 and 90% relative humidity.

NOTE 51—Figs. 24 and 25 provide details of a dial gage comparator that may be used for measuring linear expansion with change in moisture content. Any equally or more accurate measurement procedure may be used.

24.4 Calculation and Report

24.4.1 The linear expansion with change in moisture content shall be reported as the percentage change in length based on the length at 50% relative humidity. The report shall include the conditions used. When change in length from 30 to 90% (or 30 to 80%) relative humidity is desired, this may be estimated with sufficient accuracy by adding the changes in length between 50 and 90% (or 50 and 80%) and 50 and 30% relative humidity.

25. Cupping and Twisting

25.1 Scope

25.1.1 When required, measurements of cupping and twisting shall be made after accelerated aging (see Section 7).

25.2 Test Specimen

25.2.1 The test specimen shall be 12-in. (305-mm) square by the thickness of the material with all four edges smoothly and squarely trimmed. The dimensions of the specimen shall be measured to an accuracy of $\pm 0.3\%$.

25.3 Procedure

25.3.1 Cupping shall be determined by placing a straight-edge across opposite edges of the specimen, and measuring the maximum distance to the concave face to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

25.3.2 Twisting shall be determined by placing the specimen with three corners touching a level surface and measuring the distance from the raised corner to the surface to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

25.4 Report

25.4.1 The report shall include the size of specimens and necessary details regarding methods and results of measurements.

26. Interlaminar Shear

26.1 Scope

26.1.1 Tests in interlaminar shear (shear in the plane of the panel) shall be made on specimens bonded between two steel loading plates loaded in compression on the edge to obtain

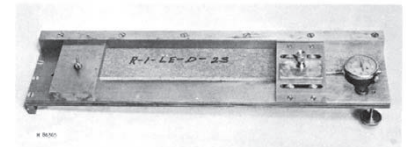
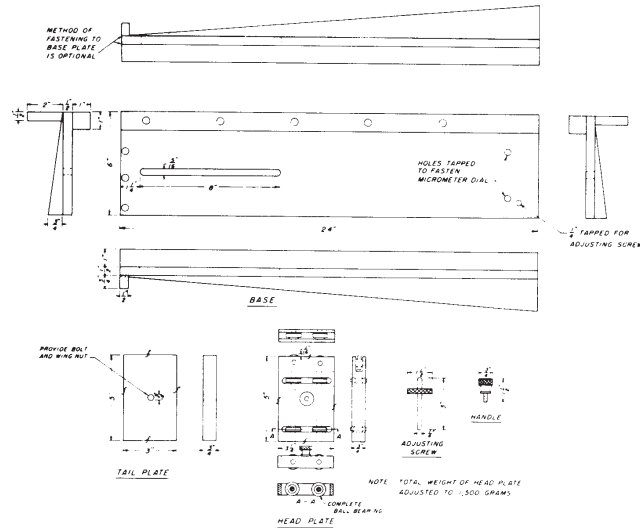


FIG. 24 Dial Gage Comparator for Determining Linear Expansion with Change in Moisture Content



NOTE 1—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 25 Details of Dial Gage Comparator for Measuring Linear Expansion with Change in Moisture Content

shear strength and deformation properties of the panel. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

26.2 Significance and Use

26.2.1 Shear properties in the plane of the panel (interlaminar shear) duplicate the kind of shear stress encountered in such glued structural assemblies as structural sandwiches and adjacent to gluelines between flanges and webs in box-beams and I-beams and gusset plates in trusses. The procedure used follows closely the requirements of Test Method C273. While it apparently yields values in the same plane as the "block shear" test of Section 20, values obtained are not comparable because of effects of friction in the block shear tool and the fact that failure in the block shear test can only occur in a 1/8-in. (3-mm) thick area in the middle of the specimen. The interlaminar shear strength test offers the additional advantage that shear deformation data can be obtained when desirable.

26.3 Test Specimen

26.3.1 The interlaminar shear tests shall be made on specimens 2 by 6 in. (51 by 152 mm) by the thickness of the material, when the panel material is 1/2 in. (12.5 mm) in thickness or less. For materials greater than 1/2-in. (12.5-mm) thick, the specimen shall have a width of at least twice the thickness but not less than 2 in. (51 mm) and a length at least 12 times the thickness (see Note 51). The edges of the specimen shall be sawn square and smooth. The length and width shall be measured to an accuracy of ±0.3 %. The thickness shall be measured to an accuracy of 0.001 in. (0.025 mm).

26.3.2 Steel loading plates 3/4-in. (19-mm) thick, having a width equal to the specimen width and a length equal to the specimen length plus 1/4 in. (7 mm) shall be bonded to each face of the specimen as shown in Fig. 26 using suitable adhesive (see Note 20). The loading ends of the plates shall project 1/4 in. (7 mm) beyond the end of the specimen and they shall be beveled at 45° and oriented as shown. Use minimum spreads and extreme care when applying adhesive to prevent infusing into the specimen and thus reinforcing the panel.

NOTE 52—A length ratio of 12:1 is prescribed as a minimum so that secondary normal stresses are minimal.

26.4 Procedure

26.4.1 The load shall be applied through notched fittings such that the line of action of the direct compressive force shall pass through the diagonally opposite corners of the specimen as shown in Fig. 26. The lower fitting shall be placed on a spherical bearing block as shown in Fig. 27 so that the load is uniformly distributed across the width of the specimen.

26.5 Speed of Testing

26.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine equal to 0.002 times the length in./min (mm/min) ± 50 %. See Note 13.

26.6 Load-Deformation Data

26.6.1 When shear modulus is required, data for plotting load-deformation curves can be obtained by using the arrangement shown in Fig. 27, which measures the displacement of one plate with respect to the other. Displacement can be measured by the dial gage or microformer.

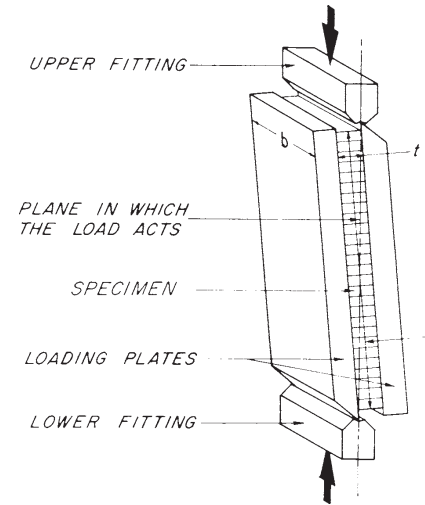


FIG. 26 Detail of Specimen and Loading Apparatus for Determining Interlaminar Shearing Properties

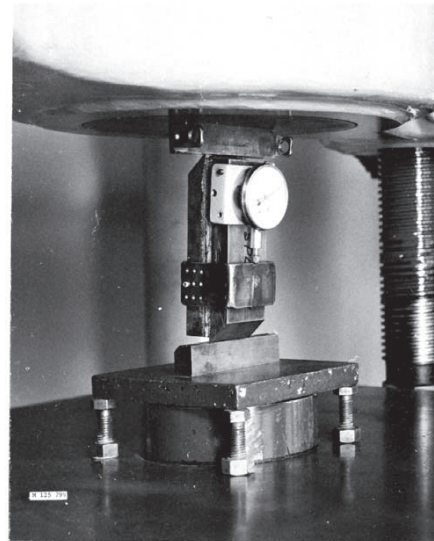


FIG. 27 Test Assembly for Determining Interlaminar Shearing Properties, Showing Dial Gage Apparatus for Measuring Shear Displacement

26.7 Calculation and Report

26.7.1 The interlaminar shear strength and, when required, the interlaminar shear modulus shall be calculated for each specimen in accordance with the following equations, and the values determined shall be included in the report:

$$f_s = \frac{P_{max}}{bL} \quad (14)$$

$$G = \frac{d}{bL} \frac{\Delta P}{\Delta y} \quad (15)$$

where:

- b = width of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- d = thickness of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- f_s = interlaminar shear strength, psi (MPa),
- G = interlaminar shear modulus, psi (MPa),
- L = length of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- P_{max} = maximum load, lbf (N), and
- ΔP/Δy = slope of the straight line portion of the load-deformation curve (see Note 17 and Note 53), lbf/in. (N/mm).

NOTE 53—Eq 15 assumes that the strains in the loading plates and in the bond between the plates and the specimen are negligible.

26.7.2 A secant modulus may be calculated for data that do not have an initial straight-line relationship. Then (ΔP/Δy) is the slope of the secant of the load-deformation curve in a given range. The method used to determine shear modulus shall be reported.

27. Edgewise Shear

27.1 Scope

27.1.1 Tests in edgewise shear (shear normal to the plane of the panel, or panel shear) shall be made on specimens clamped between two pairs of steel loading rails. These rails when loaded in axial compression or tension introduce shear forces in the specimen that produce failures across the panel. With most panel materials, failure is a combination of diagonal tension and compression. To evaluate directional properties, an equal number of specimens shall be tested with their long-axis parallel and perpendicular to the long-axis of the panel.

27.2 Significance and Use

27.2.1 This test produces the kind of shear stress that occurs when shear forces are introduced along the edges of the material. The usual applications are where the panel is used as sheathing and racking forces are involved. When panel areas are large with respect to thickness, buckling may occur due to diagonal compressive forces. When this is so, actual panel shear strength may be lower than determined from this test.

27.3 Test Specimen

27.3.1 Each specimen, 3 1/2 by 10 in. (89 by 254 mm) by the thickness of the material, shall be prepared as shown in Fig. 28. The thickness and length of the specimen shall be measured to an accuracy of ±0.3 %.

27.4 Procedure

27.4.1 The load shall be applied in either tension or compression such that the line of action of the applied force passes

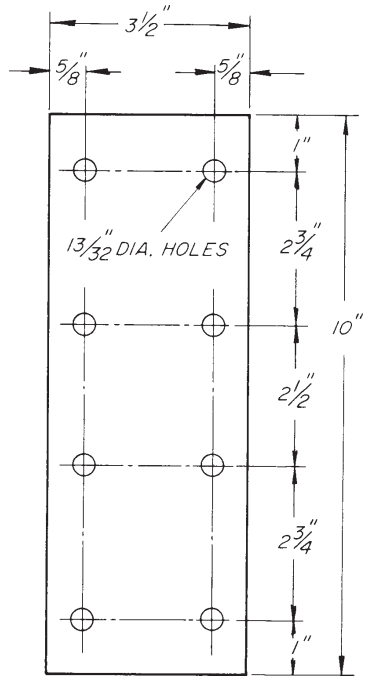


FIG. 28 Detail of Edgewise Shear Specimen

through diagonally opposite corners of a 1-in. (25-mm) wide by 10-in. (254-mm) long shear area. The 1/4 in. (32 mm) width on either side of the shear area shall be used to grip the panel using friction. See Note 54.

Note 54—This test procedure is commonly executed using pneumatic or hydraulic gripping devices through which a tension force is applied across the shear area. As an alternative, the bolted grips such as those pictured in Fig. 29 may be used. These grips use hardened steel loading rails with serrated gripping surfaces and are bolted to the specimen with eight 3/8-in (10 mm) high-strength bolts. The bolts are tightened to prevent the rails from slipping when the load is applied so as to avoid bolt-bearing failures in the panel material. The pressure necessary to prevent slipping will depend upon the density of the material. In order to obtain sufficient gripping pressure when testing some low-density panels, a certain amount of crushing of the specimen beneath the loading rails is unavoidable. The lower fitting is placed on a

spherical bearing block so that the load is applied uniformly. The upper fitting is positioned directly above the lower fitting; thus the direct compressive force is applied vertically as shown in .

27.5 Speed of Testing

27.5.1 The load shall be applied continuously throughout the test at a uniform rate of motion of the movable crosshead of the testing machine of 0.02 in./min (0.5 mm/min) ± 50 %. See Note 13.

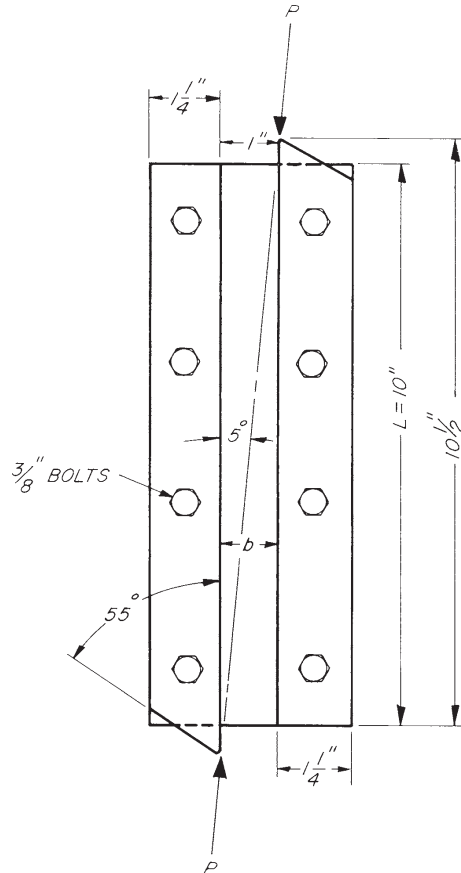


FIG. 29 Detail of Loading Rails Used with Edgewise Shear Specimen

27.6 Calculation and Report

27.6.1 The edgewise shear strength shall be calculated for each specimen in accordance with the following formula, and the values determined shall be included in the report:

$$f_s = \frac{P_{max}}{dL} \quad (16)$$

where:

- d = thickness of specimen measured in dry condition, in. (mm),
- f_s = edgewise shear strength, psi (MPa),
- L = length of specimen measured in dry condition, in. (mm), and

P_{max} = maximum compressive load, lbf (N).

27.6.2 Report shall include the description of test apparatus, direction of loading (compression or tension), and calculated values. The kind of failure shall also be described.

28. Compression-Shear

28.1 Scope

28.1.1 This test destructively determines the compressive-shear strength of a panel specimen without gluing or clamping. It provides an indication of the bond quality of a material subjected to shear deformation, which correlates to the tensile strength perpendicular-to-surface (internal bond) test (Section 11).

28.1.2 It is appropriate for specimens from 1/4 in. (6.4 mm) to 1 5/16 in. (33.3 mm) in thickness if the panel exhibits sufficient compressive strength perpendicular to the surface so that the primary mode of failure is shear in a plane nearly parallel to the surface.

28.1.3 The specimen may be tested with the shear stress applied parallel or perpendicular to the panel length, or at any angle in between.

28.2 Summary of Test Method

28.2.1 The test employs the principle that an axially loaded column develops maximum shear stress at an angle 45° to the direction of an applied compressive load. A short columnar assembly of upper and lower sections, to which a compressive load is applied at a uniform rate, is formed by placing a specimen between friction surfaces of mating shear jaws that are oriented at 45° to the axis of the column (Fig. 31). Components of the applied load subject the specimen to compression stress perpendicular to the surface, and shear

stress parallel to the surface of the specimen. The shear jaws can be adjusted so that the applied load is always directed through the geometric center of the test specimen. The surfaces of the jaws are designed to transfer the shear force to the specimen. Removable restraining bars, one on the upper end of the upper-shear jaw, and one on the lower end of the lower-shear jaw position the specimen for testing, and also transmit some shear if transfer by the jaw surfaces is incomplete. The base of the lower section of the test column rides on a journaled-roller assembly that permits unrestrained lateral movement to occur as shear strain develops. A hemispherical-pivot point is attached to the top of the upper section of the test column to enable unevenly thick or improperly cut specimens with slight dimensional variations to be tested without modification.

28.3 Significance and Use

28.3.1 The intent of the compression-shear test method is to provide a quick, simple, reproducible, and quantitatively accurate means for measuring the bond quality of panel products.

28.3.2 Panel producers can use it to monitor quality control, and secondary manufacturers and researchers can evaluate the relative strength of panels with similar particle geometries.

28.3.3 The results of the compression shear test can be used directly as a measure of bond quality, or the results may be correlated, using appropriate statistical procedures, to those of the tensile strength perpendicular-to-surface test outlined in Section 11.

28.4 Interferences

28.4.1 The configuration of the test specimen results in some non-uniformity of stress across and through the specimen. Thus, the plane of maximum shear is not precisely

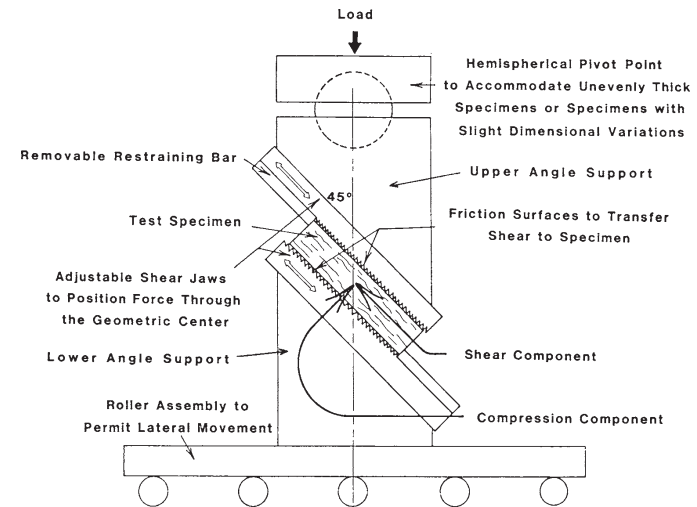


FIG. 31 Principle of Compression-Shear Test

parallel to the panel face. However, results correlate well with the common method of evaluating bond quality as specified in Section 11.

28.4.2 Shear failure should occur near the center plane of the specimen. When shear failure occurs on, or near the surface of the specimen, it may not be indicative of a poorly bonded face, since stress concentrations at the interface of the bar, and specimen may initiate unwarranted failure.

28.4.3 When shear failure occurs at or near the specimen's surface, a verification test with a representative specimen shall be conducted as directed in Section 11 to determine if the surface is actually the weakest plane.

28.4.4 Panel types having different particle geometries or orientations, but the same tensile strength perpendicular-to-surface values (Section 11), may have different compression-shear values. Therefore, it may be necessary for each user to develop specific correlations for each panel type to be tested.

28.4.5 Particles aligned perpendicular to the shear force may fail in rolling shear, determined by wood strength, not bond strength.

28.4.6 When bond strength of oriented strand board (OSB) is desired, the test specimen shall be cut so that the orientation of all layers of the specimen is aligned at 45° to the shear force.

28.5 Apparatus

28.5.1 The compression-shear test apparatus consists of the compression-shear device, illustrated in Fig. 32, and any machine (see Note 55) that can apply a compressive force

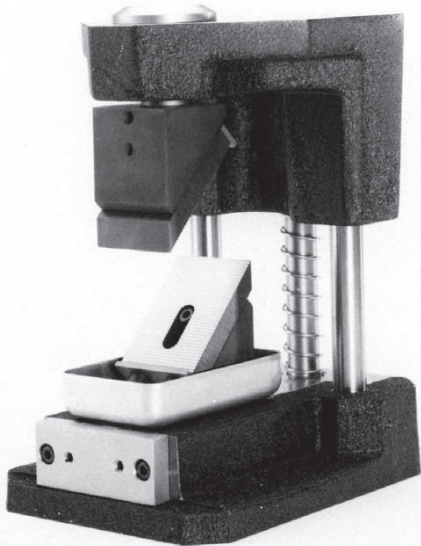


FIG. 32 Compression-Shear Device

measurable within ±2 % accuracy at a rate that will develop 5000 lbf (22 000 N) within 4 ± 2 s, when platens or crosshead and load cell are in contact with a 5/8-in. (149-mm) diameter 7/8-in. (22-mm) or thicker steel plate.

NOTE 55—Experience indicates that a machine with a 5000 lbf load capacity should be sufficient for testing commercially produced commodity panel types. However, high strength experimental, or specialty-panel types may require a machine capacity of up to 10 000 lbf.

28.6 Test Specimen

28.6.1 Test specimen shall be a 2 ± 1/16-in. (51 ± 1.6-mm) wide rectangle with all edges trimmed smoothly and squarely. The length, ±1/16 in. (±1.6 mm), shall be determined in accordance with thickness as listed in Table 2.

28.6.2 A specimen that is to be tested in a swollen state may be cut before or after swelling. For a specimen to be tested in the swollen state and cut prior to swelling, the thickness of the specimen as it will be tested shall be anticipated in order to establish specimen length. To compensate for any anticipated change in length, the length shall be increased or decreased by the amount of the anticipated change.

28.6.3 Individual agencies promulgating the compression-shear test as a quality control test shall decide what method of wetting shall be appropriate. Otherwise, users shall decide the appropriate method, and shall include it in report.

28.6.4 The length, width, thickness, and weight of each specimen shall be measured prior to test to an accuracy of ±0.3 %.

28.7 Procedure

28.7.1 Symmetrically position the upper- and lower-shear jaws, with restraining bars attached, so that the applied force will be directed through the geometric center of the test specimen.

28.7.2 The correct positioning of a specimen can be checked by marking, and aligning the specimen as follows: Use a 45/90° square to determine the geometric center of the long edge of the specimen and draw two 45° lines through this point to form an X.

28.7.3 Place the test specimen flush against the lower-restraining bar and shear jaw, and position the lower-shear jaw so that the indicator line on the lower-angle support is aligned with the vertical line on the test specimen; then position the upper-shear jaw so that the indicator line of the upper-angle

TABLE 2 Specimen Length as a Function of Thickness^A

Thickness Range, in. (mm)	Length, in. (mm)
0.250 to 0.312 (6.35 to 7.93)	2.000 (50.80)
0.313 to 0.437 (7.94 to 11.10)	2.125 (53.98)
0.438 to 0.562 (11.11 to 14.28)	2.250 (57.15)
0.563 to 0.687 (14.29 to 17.45)	2.375 (60.33)
0.688 to 0.812 (17.46 to 20.63)	2.500 (63.50)
0.813 to 0.937 (20.64 to 23.80)	2.625 (66.68)
0.938 to 1.062 (23.81 to 26.98)	2.750 (69.85)
1.063 to 1.187 (26.99 to 30.15)	2.875 (73.03)
1.188 to 1.312 (30.16 to 33.32)	3.000 (76.20)

^A The thickness at the time of testing is the basis for establishing length. For example, a specimen 0.820-in. (13.21-mm) thick shall be 2.250-in. (57.2-mm) long. In instances where the thickness variation of a group of similar specimens would dictate cutting specimens of different lengths, the length of all specimens in the group shall be governed by the thickest specimen. For example, in a group composed of two specimens that individually measure 0.410 and 0.465-in. (10.4 and 11.8-mm) thick, each specimen shall be 2.250-in. (57.2-mm) long.

support is aligned with the same line on the test specimen when each shear jaw's face and restraining bar are flush with the test specimen, as illustrated in Fig. 33.

28.7.4 Position the compression-shear device in the testing machine that will apply the compressive load.

28.7.5 Place a test specimen in the device; apply a compressive load at the rate specified in section 28.5, and record the maximum load to failure.

28.8 Calculation and Report

28.8.1 Assume that the shear area is the product of the measured length and width dimensions, even when the plane of failure is not parallel to the surface.

28.8.2 Calculate the maximum shear stress for each specimen in accordance with the following equation:

$$\tau = \frac{P_{max}}{\sqrt{2bd}} \quad (17)$$

where:

- b* = width of the specimen, in. (mm),
- d* = length of the specimen, in. (mm),
- P_{max}* = maximum load, lbf (N), and
- τ = maximum-shear stress, psi (MPa).

28.8.3 The report shall include the following:

28.8.4 The brand name and model number of the machine used to apply the compressive load, and how the load was delivered, that is, through manual or motorized application.

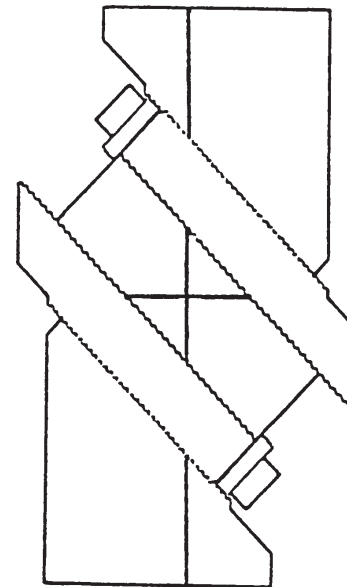


FIG. 33 Proper Positioning of Test Specimen and Shear Jaws on Angle Supports

28.8.5 The actual length, width, and thickness of the specimen, in. (mm).

28.8.6 The orientation of panel length, or machine direction to the direction of shear stress.

28.8.7 Special conditions of test, if any (see 28.6.3).

28.8.8 The maximum load, lbf (N).

28.8.9 The maximum shear stress, psi (MPa) for each specimen as calculated in section 28.8.2.

28.8.10 The percent moisture content at time of test as determined in accordance with section 8.4.

PART B—ACCEPTANCE AND SPECIFICATION TEST METHODS FOR HARDBOARD

29. Test Panel

29.1 A test panel of minimum dimensions of 40 by 48 in. (1.0 by 1.2 m) shall be sawn for each test panel whenever possible. The 48-in. dimension of the test panel shall be across the longer dimension of the panel as it is usually obtained. When the test panels are less than 40 by 48 in. in size, a sufficient number of panels shall be selected for each test series to yield the equivalent number of specimens, as shown in Fig. 34.

30. Test Specimens

30.1 Specimens shall be sawn from the test panel, as shown in Fig. 34, exercising care so that edges are straight, smooth, and square, and so that ends and sides are mutually perpendicular to each other.

31. Conditioning

31.1 Except in case of disputes, test all specimens at the moisture content as shipped or received. In cases of dispute, condition the specimens to a constant weight prior to testing, at a relative humidity of 50 ± 2 % and a temperature of 72 ± 2°F (22 ± 1°C).

32. Thickness

32.1 Apparatus

32.1.1 Any thickness measuring instrument on which the contacting surfaces are flat and have a minimum diameter of 7/16 in. (11 mm) shall be used. Pressure on the contacting surfaces shall be not less than 7 psi (48 kPa) nor greater than 12 psi (83 kPa), and the instrument shall be such that determinations of thickness are accurate to 0.001 in. (0.02 mm).

32.2 Test Specimen

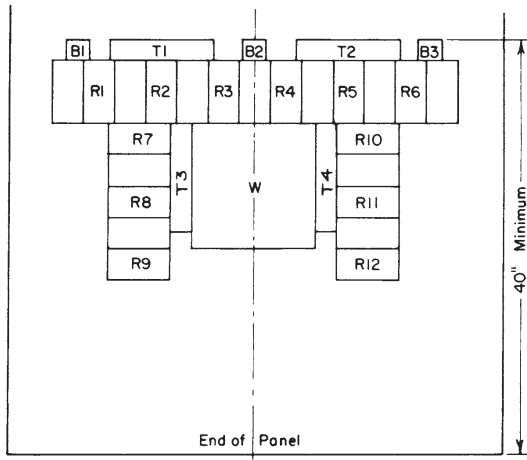
32.2.1 Twelve 3 by 6-in. (76 by 152-mm) modulus-of-rupture specimens, as specified in section 33.2, shall be used for the determinations of thickness.

32.3 Procedure

32.3.1 Measure the thickness at two points on each specimen approximately 1 in. (25 mm) in from the center of the long edges to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

32.4 Calculation and Report

32.4.1 Report the average thickness of the twelve specimens for each test panel to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).



Modulus of rupture (*R*)—twelve 3 by 6 in. (76 by 152 mm)
 Tension parallel to surface (*T*)—four 2 by 10 in. (51 by 254 mm)
 Tension perpendicular to surface (*B*)—three 2 by 2 in. (51 by 51 mm)
 Water absorption and swelling (*W*)—one 12 by 12 in. (304 by 304 mm)

NOTE 1—The suffix numbers may be used to identify individual specimens by location and to record specimen test data.

FIG. 34 Diagram for Cutting Test Specimens from Hardboard Test Panel

33. Modulus of Rupture

33.1 Apparatus

33.1.1 *Testing Machine*—Any standard testing machine (see Note 1) capable of applying and measuring the load with an error not to exceed $\pm 1.0\%$, as provided in Practices E4.

33.1.2 *Span and Supports*—The span shall be 4 in. (102 mm) from center to center of the supports when testing nominal thicknesses not less than $\frac{1}{10}$ in. (2.5 mm) nor greater than $\frac{3}{8}$ in. (9.5 mm). For thicknesses less than $\frac{1}{10}$ in. a span of 2 in. (51 mm) shall be used. The supports and loading block shall be rounded to a radius of not less than $\frac{3}{16}$ in. (5 mm) nor more than $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) and shall be at least 3 in. (76 mm) long.

33.2 Test Specimen

33.2.1 The test specimen shall be 3 by 6 in. (76 by 152 mm) by the thickness of the panel. Six specimens with the long dimension parallel and six specimens with the long dimension perpendicular to the long dimension of the panel shall be taken for testing, as shown in Fig. 34.

33.3 Procedure

33.3.1 *Thickness*—The thickness of each specimen shall be measured to the nearest 0.001 in. (0.025 mm) using the apparatus and procedure specified in Section 34.

33.3.2 *Width*—The width of each specimen shall be measured to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) at the line of load application.

33.3.3 *Load Application*—The specimen shall be centered flatwise on the parallel supports. The specimen shall be placed

for testing so that the screen, or rough side, or back surface of sanded two side (S2S) panels when it can be determined, is placed in tension.

33.3.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously at midspan at an approximately uniform rate of motion of the movable crosshead such that the outer fiber strain rate is 0.02 in./in./min (0.02 mm/mm/min). The rate of motion of the crosshead shall be calculated in accordance with Eq 1. See Notes 56 and 57. The crosshead speed, adjusted for thickness, shall not vary by more than $\pm 50\%$ from that specified for a given test. The speed of testing shall be recorded on the data sheet.

NOTE 56—Based on Eq 1, the calculated speed of the crosshead to achieve an outer fiber strain rate of 0.02 in./in./min is approximately:

0.13 in./min (3.3 mm/min)	for $\frac{1}{10}$ -in. (2.5-mm) thickness, 2-in. (51-mm) span
0.14 in./min (3.6 mm/min)	for $\frac{3}{8}$ -in. (9.5-mm) thickness, 4-in. (102-mm) span

NOTE 57—This speed is the differential speed between the moving crosshead and the supports.

33.3.5 The load shall be applied until definite failure occurs. The maximum load shall be recorded to accuracy of the testing machine.

33.4 Calculation and Report

33.4.1 The modulus of rupture shall be calculated for each specimen in accordance with the following equation:

$$R_b = \frac{3P_{max}L}{2bd^2} \quad (18)$$

where:

- b* = width of specimen, in. (mm),
- d* = thickness of specimen, in. (mm),
- L* = length of span, inch (mm),
- P* = maximum load, lbf (N), and
- R_b* = modulus of rupture, psi (MPa).

33.4.2 The average modulus of rupture of the twelve specimens for each test panel shall be reported to the nearest 100 psi (0.5 MPa).

34. Tension Parallel to Surface

34.1 Procedure

34.1.1 The procedure for determining tension parallel to surface shall be the same as that provided in Section 10, except that the uniform rate of separation of the jaws of the tensile grips shall be 0.15 ± 0.025 in./min. (3.8 ± 0.6 mm/min.). From each test panel, two specimens shall be selected with the long dimension parallel and two specimens with the long dimension perpendicular to the long dimension of the test panel, as shown in Fig. 34. The thickness of each specimen shall be measured to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) and the width to the nearest 0.01 in. (0.2 mm).

34.2 Calculation and Report

34.2.1 The tension shall be calculated for each specimen in accordance with Eq 6.

34.2.2 The average tension of the four specimens for each test panel shall be reported to the nearest 100 psi (0.5 MPa).

35. Tension Perpendicular to Surface

35.1 Procedure

35.1.1 The procedure for determining tension perpendicular to surface shall be the same as that provided in Section 11, except that the uniform rate of separation of the heads of the testing machine shall be 0.15 ± 0.025 in./min. (3.8 ± 0.6 mm/min.). From each test panel, three specimens shall be selected for test as shown in Fig. 34. Saw each test specimen accurately so that it is 2.00 ± 0.01 in. (50.8 ± 0.2 mm) on a side. If improper adhesion of the metal loading blocks to the specimen is indicated by less than 95 % fiber transfer at failure, the tests shall be repeated using supplemental specimens obtained from the same general area of the test panel as the original specimens.

35.2 Calculation and Report

35.2.1 The tension perpendicular to surface shall be calculated for each specimen in accordance with Eq 7.

35.2.2 The average tension of the three specimens from each test panel shall be reported to the nearest 5 psi (0.05 MPa).

36. Water Absorption and Thickness Swelling

36.1 Procedure

36.1.1 The procedure for determining water absorption after a 24-h immersion shall be the same as that provided in Section 23, Method B on a single 12-in. (305-mm) square specimen (see Note 58), as shown in Fig. 34.

NOTE 58—A 6 by 6-in. (152 by 152-mm) specimen may be used for convenience as an alternative size. The smaller specimen will usually yield slightly higher values for water absorption. In cases where dispute is likely because of amount of water absorbed, the 12-in. square specimens should be used.

36.2 Calculation and Report

36.2.1 The water absorption and average thickness swelling values shall be calculated for each test panel, and reported to the nearest 1 % on a weight basis.

37. Moisture Content and Specific Gravity

37.1 Moisture content and specific gravity of each modulus-of-rupture specimen shall be determined based on the volume at test and oven-dry weight in accordance with Test Methods D4442 and D2395. The average values shall be reported for each test panel to the nearest 0.1 % for moisture content and 0.01 for specific gravity. See Note 59.

NOTE 59—For some specification purposes it may be advantageous to report density instead of specific gravity. When this is so, report the average density in lb/ft³ to the nearest 1 lb/ft³.

38. Report

38.1 The data reported shall include, in addition to the actual test results and data called for specifically under each test, a description of the material, sampling procedure, record of any conditioning or treatment, and notes regarding any specific details that may have a bearing on the test results.

39. Precision and Bias

39.1 Statements on precision and bias have not been developed for these methods. Precision will be estimated in accordance with the interlaboratory test program prescribed by Practice E691.

40. Keywords

40.1 hardboard; medium density fiberboard; oriented strand board; panels; particleboard; particle panel materials; wood; wood-base fiber; wood-base panel



D1037 – 12

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).

NEC

NORMA ECUATORIANA
DE LA CONSTRUCCIÓN

ESTRUCTURAS DE MADERA



Econ. Diego Aulestia Valencia
Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda

Econ. Luis Felipe Guevara Urquiza
Subsecretario de Hábitat y Asentamientos Humanos

Arq. Rubén Darío Paredes Cortez
Subsecretario de Vivienda

Arq. Jose Antonio Toral Valdivieso
Director de Hábitat y Asentamientos Humanos

Arq. Jose Antonio Martín Erquicia
Coordinador de proyecto

Textos:

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)
Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON)

Producción Editorial:

Dirección de Comunicación Social, MIDUVI

Diciembre 2014

ISBN:0000000000

■ Prólogo

Al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, ente rector de las políticas de hábitat y vivienda a nivel nacional, le corresponde formular la normativa que propicie el desarrollo ordenado y seguro de los Asentamientos Humanos, la densificación de las ciudades y el acceso a la vivienda digna.



Bajo ese marco, y considerando además que nuestro país está localizado en una zona calificada de alto riesgo sísmico, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda llevó a cabo un proceso de actualización de la Normativa Técnica referente a la Seguridad Estructural de las Edificaciones (Código Ecuatoriano de la Construcción de 2001). Esta labor fue realizada en conjunto con la Cámara de la Industria de la Construcción, entidad que coordinó el desarrollo de varios documentos normativos a través de comités de expertos de entidades públicas, del sector privado y representantes de instituciones académicas. Se realizaron talleres de trabajo con los profesionales del sector y se aplicaron las mejores prácticas internacionales en el ámbito de la edificación.

El objetivo fue determinar nuevas normas de construcción de acuerdo a los avances tecnológicos a fin de mejorar los mecanismos de control en los procesos constructivos, definir principios mínimos de diseño y montaje en obra, velar por el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad, y fijar responsabilidades, obligaciones y derechos de los actores involucrados en los procesos de edificación.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción pretende dar respuesta a la demanda de la sociedad en cuanto a la mejora de la calidad y la seguridad de las edificaciones, persiguiendo a su vez, proteger al ciudadano y fomentar un desarrollo urbano sostenible



Econ. Diego Aulestia Valencia
Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda

TABLA DE DATOS

NOMBRE DEL DOCUMENTO HABILITANTE	FECHA
Actualización mediante Acuerdo Ministerial Nro. 0047	15 de diciembre de 2014
MIDUVI, Registro Oficial, Año II, Nro. 413	10 de enero de 2015

LISTADO DE PERSONAS Y ENTIDADES PARTICIPANTES

INSTITUCIÓN	NOMBRE
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Ing. José Vicente Chiluisa Ochoa
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Arq. Francesca Blanc
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Ab. Jonathan Santiago Gómez Pumagualle
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Arq. Jose David Saura Gonzalez
Cámara de la Industria de la Construcción	Ing. Hermel Flores Maldonado
Cámara de la Industria de la Construcción	Ing. Ginno Manciatì Jaramillo
Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha	Ing. Carlos Baldeón Valencia
Escuela Politécnica Nacional	Ing. Sigifredo Décimo Díaz Mendoza
Escuela Politécnica Nacional	Ing. Patricio Honorato Placencia Andrade
Escuela Politécnica Nacional	Arq. Félix Policarpo Vaca Moncayo
Escuela Politécnica Nacional	Ing. Hugo Alfonso Yépes Arosteguí
Universidad San Francisco de Quito	Ing. Telmo Andrés Sánchez Graunauer
Universidad San Francisco de Quito	Dr. Fabricio Oswaldo Yépez Moya
Pontificia Universidad Católica del Ecuador	Ing. Oswaldo Marcelo Guerra Avendaño
Pontificia Universidad Católica del Ecuador	Ing. Guillermo Ricardo Realpe Rivadeneira
Universidad Central del Ecuador	Msc. Ing. Hernán Estupiñan Maldonado
American Concrete Institute	Ing. Juan Carlos Garcés P.
FRACATALES Cia. Ltda.	Dr. Vinicio Andrés Suárez Chacón
GEOESTUDIOS S.A.	Dr. Xavier Fernando Vera Graunauer
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Ing. José Andrés Vallejo Bermeo
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Ing. Michael Joseph Maks Davis
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Ing. Mathieu Lamour
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Dr. Mauro Pompeyo Niño Lázaro
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Dr. Miguel Angel Jaimes Téllez
Consultor Particular	Dr. Pedro Pablo Rojas Cruz
Consultor Particular	Ing. Jaime Enrique García Alvear
Consultor Particular	Ing. Fabián Enrique Espinosa Sarzosa
Consultor Particular	Ing. Jorge Luis Palacios Riofrío
Consultor Particular	Ing. Jorge Enrique Orbe Velalcázar
Consultor Particular	Msc. Ing. Alex Francisco Albuja Espinosa

NEC

NORMA ECUATORIANA
DE LA CONSTRUCCIÓN

ESTRUCTURAS DE MADERA

CONTENIDO

Índice de tablas	5
Índice de figuras	6
1. Generalidades	7
1.1. Preliminar	7
1.2. Definiciones	7
1.3. Simbología.....	13
1.3.1. Unidades	13
1.3.2. Abreviaciones.....	13
1.3.3. Simbología	14
1.4. Marco normativo y referencias	16
1.4.1. Referencias de la NEC-SE-MD.....	16
1.4.2. Normas del INEN	17
1.4.3. Normas ecuatorianas de la construcción.....	19
1.4.4. Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-MD	19
1.4.5. Otras referencias citadas en la NEC-SE-MD.....	19
2. Alcances y requisitos generales	21
2.1. Alcances	21
2.2. Aplicabilidad y responsabilidad	21
2.3. Método de diseño estructural	21
2.3.1. Consideraciones para el diseño.....	21
2.3.2. Requisitos de diseño.....	22
3. La madera: del recurso primario al material de construcción.....	24
3.1. El recurso forestal	24
3.1.1. El recurso forestal nacional.....	24
3.1.2. Recurso renovable	24
3.1.3. Manejo forestal sustentable	24
3.1.4. Régimen forestal para el aprovechamiento y comercialización de madera	25
3.2. Uso de la madera como material de construcción	26
3.2.1. Procedencia del material	26
3.2.2. Establecimientos autorizados	26
3.2.3. Los proveedores de madera estructural	26
3.3. Beneficiarios del material madera	27

3.3.2.	Especificidades físicas y mecánicas.....	28
3.3.3.	Relación al agua	29
3.4.	Humedad	29
3.4.1.	El agua de la madera	29
3.4.2.	Contenido en humedad.....	30
3.4.3.	Humedad de equilibrio de la madera	31
3.4.4.	Estabilidad dimensional	32
3.4.5.	Madera en servicio	34
3.5.	Durabilidad y preservación.....	34
3.5.1.	Preliminar	34
3.5.2.	Ataques biológicos	34
3.5.3.	Durabilidad natural	35
3.5.4.	Preservación	36
3.5.5.	Resistencia a la corrosión.....	41
3.6.	Secado de la madera	41
3.6.1.	Aspectos generales	41
3.6.2.	Recomendaciones.....	41
3.6.3.	Técnicas de secado de la madera	42
3.7.	Corte y secciones.....	42
3.8.	Clasificación visual	42
4.	Bases para el diseño	44
4.1.	Consideraciones generales.....	44
4.2.	Elementos y sistemas constructivos	44
4.3.	Protección por diseño.....	45
4.3.1.	Protección ante la humedad	45
4.3.2.	Ilustraciones de protección ante la humedad.....	47
4.3.3.	Protección contra hongos	54
4.3.4.	Protección contra insectos xilófagos.....	54
4.3.5.	Protección contra el fuego	54
4.3.6.	Diseño sismoresistente	56
4.4.	Mantenimiento.....	58
4.5.	Otras consideraciones.....	59
5.	Diseño estructural.....	60
5.1.	Consideraciones generales de diseño	60
5.1.1.	Condiciones de resistencia y de rigidez	60
5.1.2.	Condiciones para madera estructural	60
5.1.3.	Elementos estructurales	60

5.1.4.	Madera laminada	61
5.2.	Cargas	61
5.3.	Clasificación estructural de las maderas	61
5.3.1.	Clasificación por densidad básica	61
5.3.2.	Esfuerzos admisibles	61
5.3.3.	Módulo de elasticidad	62
5.3.4.	Factores de reducción de resistencia	63
5.4.	Uniones	63
5.4.1.	Uniones clavadas	64
5.4.2.	Uniones empernadas	64
5.4.3.	Otros medios de validación permitidos	65
6.	Apéndices	66
6.1.	Media anual del CHE de la madera en localidades del ecuador	66
6.1.1.	Provincia del Carchi	66
6.1.2.	Provincia de Imbabura	67
6.1.3.	Provincia de Pichincha	68
6.1.4.	Provincia de Cotopaxi	69
6.1.5.	Provincia de Tungurahua	69
6.1.6.	Provincia de Bolívar	70
6.1.7.	Provincia de Chimborazo	70
6.1.8.	Provincia de Cañar	71
6.1.9.	Provincia del Azuay	71
6.1.10.	Provincia de Loja	72
6.1.11.	Provincia de Esmeraldas	72
6.1.12.	Provincia de Manabí	73
6.1.13.	Provincia de Los Ríos	74
6.1.14.	Provincia del Guayas	74
6.1.15.	Provincia de El Oro	75
6.1.16.	Provincia del Napo	75
6.1.17.	Provincia de Pastaza	76
6.1.18.	Provincia de Morona Santiago	76
6.1.19.	Provincia de Zamora -Chinchipe	76
6.1.20.	Provincia Insular Galápagos	77
6.2.	Apéndice informativo: algunas especies maderables del Ecuador	78
6.3.	Apéndice informativo: interacciones agua/madera	79
6.4.	Apéndice informativo: solicitudes mecánicas a comprobarse	80

Índice de tablas

Tabla 1: Simbología	15
Tabla 2 : Normas del INEN (madera).....	19
Tabla 3: Relación: Contracción tangencial/contracción radial (fuente: título G, NSR 2010).....	34
Tabla 4: Cuadro referencial de escalas de absorción, destinado a la clasificación de las maderas	40
Tabla 5: Esfuerzos admisibles para la madera (MPa)	62
Tabla 6: Modulo de elasticidad para la madera (MPa)	63
Tabla 7: algunas especies maderables del Ecuador	78

Índice de figuras

Figura 1: Términos usados en la definición de defectos y presentación de la Norma de Clasificación Visual (1/2)	9
Figura 2: Términos usados en la definición de defectos y presentación de la Norma de Clasificación Visual (2/2)	11
Figura 3: composición del tronco y cortes.....	28
Figura 4: Isotermas de Sorción (fuente: título G, NSR 2010)	32
Figura 5: Protección por diseño	47
Figura 6: Protección de la humedad del suelo en una losa o piso	48
Figura 7: Protección de la humedad del suelo en una placa o losa de cimentación	49
Figura 8: Protección de la humedad en pilotes.....	49
Figura 9: Protección de la humedad en columnas en contacto con el piso.....	50
Figura 10: Aislamiento de la humedad en pilastres.....	51
Figura 11: Protección de la humedad en pisos de madera elevados.....	51
Figura 12: Aislamiento de la humedad en entrepiso sobre mure de adobe	52
Figura 13: Aislamiento de la humedad en entrepiso sobre muro de ladrillo.....	52
Figura 14: Protección de la humedad en paredes exteriores	53
Figura 15: interacciones agua/madera.....	79
Figura 16: solicitaciones mecánicas del Manual de Diseño de la JUNAC	80
Figura 17: solicitaciones mecánicas detalladas del Manual de Diseño de la JUNAC.....	81

1. Generalidades

1.1. Preliminar

La información contenida en este capítulo, ha sido tomada en su mayoría del “Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino”, editado por la Junta del Acuerdo de Cartagena. Esta información está respaldada por ensayos realizados en los países de la Subregión Andina (Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales), así como investigaciones en otros países.

El Ecuador como miembro de la Junta del Acuerdo de Cartagena, participó en los años ochentas, conjuntamente con Venezuela, Colombia, Bolivia y Perú, en el Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales PADT REFORT, con la finalidad de desarrollar el Estudio Integral de la Madera para la Construcción, al término del cual generó algunas publicaciones (véase la sección [1.4.1](#)). Estos documentos han servido de base para la elaboración de este capítulo, en el área de maderas, porque están sustentados en miles de ensayos efectuados en los diferentes laboratorios de los 5 países del Pacto Andino.

En el contenido de las diferentes disposiciones, se hará referencia a valores u otra información que los proveedores y constructores con madera deben considerar como elementos vinculantes de esta norma.

1.2. Definiciones

NOTA:

Cuando se trate de términos que constituyen defectos en la madera, sus límites permisibles se podrán encontrar en el Manual de Clasificación Visual para Madera Estructural, documento elaborado en el Marco del Proyecto PADT-REFORT, del Ex Pacto Andino, y reproducido por la CAMICON).

Para efectos de la aplicación de esta norma, se adoptan las definiciones técnicas de términos definidas en esta sección.

Se referirá igualmente a las definiciones de las normas indicadas en la sección [0](#) y en el Manual de Diseño de la JUNAC.

Acciones

Una acción es:

- Una fuerza (carga) aplicada a la estructura (acción directa); ó
- Una deformación impuesta (acción indirecta), por ejemplo, efectos de la temperatura o asientos.

Acebolladura

Es la separación del leño entre dos anillos de crecimiento consecutivo.

Anhidro

Estado de la madera, sin contenido de humedad

Anillo de crecimiento

Bandas de tejido que se observan en el corte transversal de tronco y de madera aserrada en forma de coronas sucesivas, que corresponden al tejido formado en una etapa de crecimiento.

Anisotropía

Propiedad de ciertos materiales que, como la madera, presentan características diferentes según la dirección que se considere.

Apilar

Es el proceso de arrumar ordenadamente la madera, formando lotes o pilas más o menos homogéneas, a fin de secarla o almacenarla.

Arista

Línea de unión entre dos caras adyacentes en una pieza de madera serrada.

Arista faltante

Es un defecto que se visualiza por la ausencia de un segmento de la pieza, y que afecta la continuidad de la pieza, reduciendo por lo tanto su resistencia mecánica.

Aserrar

Es la operación de cortar la madera a partir de una troza, y darle una escuadría determinada con sierra manual o eléctrica.

Contenido de humedad (CH)

El contenido de humedad (CH) de la madera es la cantidad de agua que contiene una pieza de madera en un momento dado, que se expresa como un porcentaje de su peso anhidro.

Contracción de la madera

Es la reducción de la dimensión de la madera por disminución de su contenido de humedad durante el secado; a partir del 30 % aproximadamente hasta la condición anhidra (CH= 0%).

Corte longitudinal

Es el corte paralelo al eje longitudinal de una pieza, que a su vez, puede ser en el sentido radial, tangencial u oblicuo.

Corte radial

Es el resultante de un corte longitudinal, paralelo a los radios y perpendicular a los anillos de crecimiento.

Corte transversal

Es el corte perpendicular al eje longitudinal de una pieza.

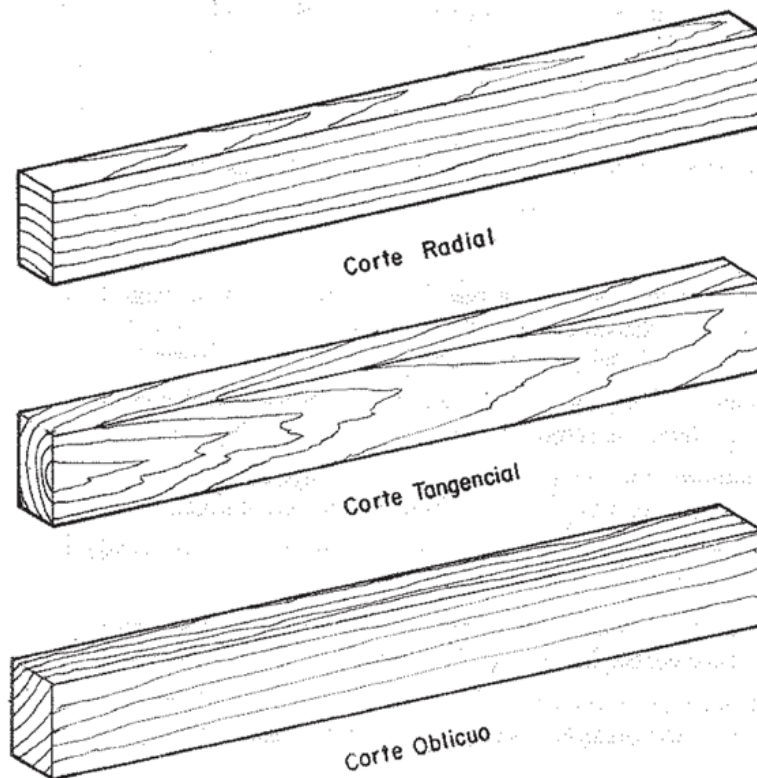


Figura 1: Términos usados en la definición de defectos y presentación de la Norma de Clasificación Visual (1/2)

Densidad de la madera

Es la relación que existe entre la masa y el volumen de una pieza de madera, a un determinado contenido de humedad. En el Sistema Internacional se expresa en gr/cm^3 o kg/m^3 . Según las condiciones de humedad de la madera, se conocen algunos tipos de densidad:

- Densidad básica

Es la relación entre el peso de la madera en estado anhidro y su volumen en estado verde o saturado (CH mínimo del 30 %). Es un indicativo de las propiedades mecánicas que tiene una madera. Está en función de la edad, a mayor edad del árbol de donde procede la madera, su densidad aumenta.

- Densidad verde o saturada

Es la relación que existe entre la masa y el volumen de la madera en estado verde o saturado, con un contenido de humedad mayor al 30 %.

- Densidad seca al aire

Relación que existe entre el peso y el volumen de la madera en estado seco al aire, con un contenido de humedad de alrededor al 12 %.

- Densidad seca al horno o anhidra

Relación que existe entre el peso y el volumen de la madera en estado anhidro, es decir con un contenido de humedad del 0 %.

Duramen

Porción de madera procedente de la parte interna del tronco, de los tejidos muertos y lignificados del árbol, con propiedades de resistencia mecánica y de resistencia al ataque de hongos y/o insectos, mayores que la albura. Frecuentemente de coloración más oscura que la albura.

Estructura

Combinación organizada de las partes conectadas entre sí proyectada para proveer un cierto grado de rigidez. Este término se refiere a las partes sometidas a carga.

Grano

Es la dirección de las fibras y de otros tejidos longitudinales de la madera, con respecto al eje principal de una pieza aserrada. Se conoce como Grano Recto, cuando la dirección de la fibra es paralela al eje principal de la pieza. Grano inclinado, cuando la fibra guarda cierta inclinación respecto del eje principal de la pieza.

Higroscopía

Propiedad que tiene la madera, mediante la cual es capaz de absorber o eliminar agua hasta lograr un equilibrio con la humedad relativa del aire que la rodea.

Madera

Material más o menos duro, fibroso y compacto, de origen vegetal, proveniente de las plantas leñosas (árboles, arbustos y lianas), principalmente de los troncos de los árboles.

Madera rolliza

Es aquella susceptible de utilizarse en su forma original (redonda), con o sin corteza.

Madera estructural

Aquella que en uso, a más de soportar su propio peso, estará sujeta a esfuerzos diversos. Por tal razón deberá tener una densidad básica mínima de 0.4 gr/cm³.

Madera aserrada

Es la pieza que se obtiene de una troza de madera, mediante cortes longitudinales y/o transversales, realizados con sierras normales o con la sierra eléctrica.

Madera cepillada

Es la pieza nivelada y alisada de una o más de sus caras y/o cantos.

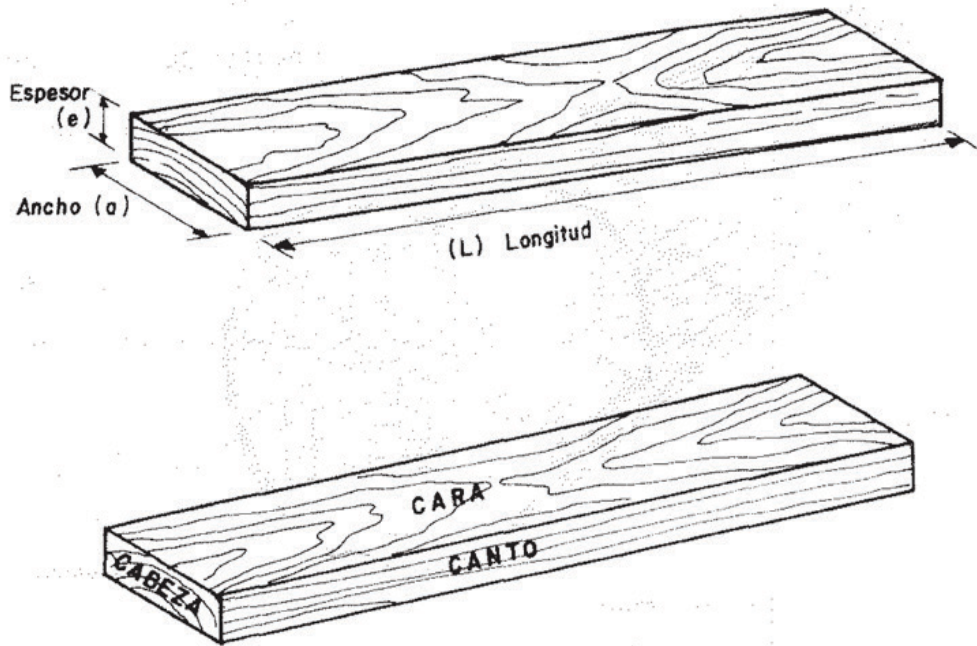


Figura 2: Términos usados en la definición de defectos y presentación de la Norma de Clasificación Visual (2/2)

Madera no estructural

Aquella que en uso, no soporta únicamente su propio peso, pudiendo tener una densidad básica menor a 0.4 gr/cm^3 .

Madera preservada

Es la madera que ha sido sometida a un tratamiento inmunizante con algún tipo de preservante, a efectos de aumentar su durabilidad y resistencia a los agentes biológicos deteriorantes y/o al fuego o procesos de intemperización.

Preservación

Acción y efecto de incorporar a la madera, sustancias tóxicas para agentes biológicos de deterioro de la madera, principalmente hongos e insectos, para alargar la vida útil de la madera.

Pudrición

Es la descomposición de la madera por la acción de hongos xilófagos, acompañada de un proceso gradual de cambios de sus características físicas, químicas y mecánicas.

Rajaduras

Se observan como separaciones del tejido leñoso en la dirección del grano.

Rigidez

Lo contrario a flexible, y que depende del tipo de sección, tamaño, material y dimensión.

Riostra

Elemento secundario, de apoyo o amarre entre otros

Secado de la madera

Proceso de eliminación de la humedad de la madera, por medios naturales o al aire libre, o bajo control de temperatura, humedad relativa del aire y remoción de aire (secado al horno).

Sistema estructural

Elementos resistentes de la construcción y la forma en que se considera que trabajan a efectos de su modelización.

1.3. Simbología

1.3.1. Unidades

Se emplearán las unidades del Sistema Internacional (S.I.) de acuerdo con la Norma [ISO 1000](#).

Para el cálculo se utilizarán las siguientes unidades:

- Aceleraciones: m^2/s
- Altura: m
- Área: m^2
- Fuerzas y cargas: kN o kN/m^2
- Masas: kg
- Momentos: KN.m
- Periodo: s
- Peso específico: kg/m^3
- Presión: Pa o N/m^2
- Resistencia: kPa o MPa (1 MPa \approx 10 kg/cm^2)
- Velocidad: m/s o mm/min

1.3.2. Abreviaciones

CAMICON	Cámara de la Industria de la Construcción
CCA	Cobre, cromo y arsénico
CCB	Cobre, cromo y boro
CH	Contenido de humedad
CHE	Contenido de humedad de equilibrio
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
JUNAC	Junta del Acuerdo de Cartagena
PSF	Punto de Saturación de las Fibras

1.3.3. Simbología

Símbolo	Definición
A_l	Absorción líquida en (l/m^3)
A_s	Absorción sólida (kg/m^3)
C	Concentración del preservante (%)
C_{ed}	Coefficiente de estabilidad dimensional
$C.H.$	Contenido de humedad de la madera (%)
C_R	Contracción radial
C_T	Contracción tangencial
E	Módulo de elasticidad o módulo de Young
$E_{min} (E_{0.05})$	Valor mínimo
$E_{promedio}$	Valor promedio
f_c	Compresión paralela
$f_{c\perp}$	Compresión perpendicular
f_m	Flexión
f_t	Tracción paralela
f_v	Corte paralelo
FC	Factor de reducción por calidad

Símbolo	Definición
FDC	Factor de duración de carga
FS	Factor de servicio y seguridad
FT	Factor de reducción por tamaño
P₀	Peso antes del tratamiento (kg)
P₁	Peso después del tratamiento (kg)
V_p	Volumen de la pieza (m ³)

Tabla 1: Simbología

1.4. Marco normativo y referencias

1.4.1. Referencias de la NEC-SE-MD

Los documentos referentes de la presente norma son los siguientes:

- PADT-REFORT/JUNAC, Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 4ta Edición Preliminar, Lima - Perú, 1984¹.
- PADT-REFORT/JUNAC; Manual de Clasificación de Madera Estructurales, 2da. Edición, Lima - Perú, 1984.
- PADT-REFORT/JUNAC; Tabla de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 20 Especies del Ecuador, Lima Perú, 1981.
- PADT-REFORT/JUNAC; Secado y Preservación de 105 Maderas del Grupo Andino, Lima, ITC.
- PADT-REFORT/JUNAC; Manual de Clasificación Visual para Madera Estructural. Junta del Acuerdo de Cartagena. JUNAC, 1984.
- Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas Junta del Acuerdo de Cartagena, Editorial Carvajal, 1988.
- Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas Junta del Acuerdo de Cartagena, Editorial Carvajal, 1989.
- Manual del Grupo Andino para Aserrío y Afilado de Cintas y Sierras Circulares, Junta del Acuerdo de Cartagena, 1989.
- Tablas de Valores Promedio de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 104 Especies del Grupo Andino (1981);
- Las maderas en Colombia, Centro Colombo-Canadiense de la Madera, Sena Regional Antioquia Chocó, Universidad Nacional de Colombia seccional Medellín 1993. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1982)².

¹ Se lo mencionará como "Manual de Diseño de la JUNAC" en el presente documento

² Los datos de estas fichas técnicas son consideradas como fiables. Contienen informaciones sobre las características mecánicas, durabilidad natural, permeabilidad, trabajabilidad, etc. Se usarán los nombres científicos, siendo variables de una región a otra los nombres vulgares.

1.4.2. Normas del INEN

Abreviación	Nombre y detalles
<u>NTE INEN 1156 (2013)</u>	Maderas. Terminología
<u>NTE INEN 1157 (2013)</u>	Anatomía de la madera. Terminología
<u>NTE INEN 1158 (1984)</u>	Maderas. Selección y colección de muestras.
<u>NTE INEN 1159 (2013)</u>	Madera rolliza y aserrada. Medición y cubicación
<u>NTE INEN 1161 (2013)</u>	Maderas. Acondicionamiento para ensayos tecnológicos
<u>NTE INEN 1164 (2013)</u>	Maderas. Determinación de la contracción
<u>NTE INEN 1162 (2013)</u>	Maderas. Determinación de la densidad aparente
<u>NTE INEN 1160 (1984)</u>	Maderas. Determinación del contenido de humedad * 4
<u>NTE INEN 1163 (1984)</u>	Maderas. Método para la descripción de las características generales, macroscópicas y microscópicas * 4
<u>NTE INEN ISO 3129 (2013)</u>	Maderas. Métodos de muestreo y requisitos generales para ensayos físicos y mecánicos de especímenes de madera clara
<u>NTE INEN 2580 (2011)</u>	Sistema de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de bosques húmedos tropicales
<u>NTE INEN 2579 (2011)</u>	Sistema de clasificación y calificación de trozas de madera para desenrollo proveniente de bosques húmedos tropicales
<u>NTE INEN ISO 2074 (2013)</u>	Madera contrachapada. Vocabulario
<u>NTE INEN 0895 (2013)</u>	Tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibra de madera (MDF). Determinación de las dimensiones de las piezas de ensayo
<u>NTE INEN 0897 (2013)</u>	Tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibras de madera (MDF). Determinación de la densidad aparente

Abreviación	Nombre y detalles
<u>NTE INEN 0896 (2013)</u>	Tableros de madera aglomerada, contrachapada y de fibras de madera (MDF). Determinación del contenido de humedad
<u>NTE INEN 0898 (2013)</u>	Tableros de madera aglomerada. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras
<u>NTE INEN 2364 (2005)</u>	Tableros de madera contrachapada. Calidad de pegado. Requisitos
<u>NTE INEN 2342 (2003)</u>	Tableros de madera contrachapada. Chapas. Requisitos
<u>NTE INEN 2366 (2005)</u>	Tableros de madera contrachapada. Dimensiones
<u>NTE INEN 2365 (2005)</u>	Tableros de madera contrachapada. Medida de las dimensiones
<u>NTE INEN 0900 (2003)</u>	Tableros de madera contrachapada. Requisitos
<u>NTE INEN ISO 16983 (2013)</u>	Tableros de madera. Determinación de hinchazón en espesor después de la inmersión en agua
<u>NTE INEN 1256 (2013)</u>	Tornillería. Arandelas cuadradas para madera. Requisitos
<u>NTE INEN 1248 (2013)</u>	Tornillería. Arandelas redondas para madera. Requisitos
<u>NTE INEN 1432 (1987)</u>	Tornillería. Tirafondos y tornillos para madera. Métodos de ensayos de aptitud para el uso * 4
<u>NTE INEN 1438 (2013)</u>	Tornillería. Tornillo para madera de cabeza avellanada abombada ranurada. Dimensiones
<u>NTE INEN 1442 (2013)</u>	Tornillería. Tornillo para madera de cabeza avellanada con ranura cruciforme. Dimensiones
<u>NTE INEN 1440 (1987)</u>	Tornillería. Tornillo para madera de cabeza cilíndrica baja con ranura cruciforme. Dimensiones * 4
<u>NTE INEN 1441 (2013)</u>	Tornillería. Tornillos para madera de cabeza avellanada abombada con ranura cruciforme. Dimensiones
<u>NTE INEN 1439 (2013)</u>	Tornillería. Tornillos para madera de cabeza avellanada ranurada. Dimensiones

Abreviación	Nombre y detalles
<u>NTE INEN 1437 (2013)</u>	Tornillería. Tornillos para madera de cabeza redonda ranurada. Dimensiones
<u>NTE INEN 0605 (2013)</u>	Productos de alambre. Clavos y tornillos. Métodos de ensayo en uniones estructurales a base de madera
<u>GPE INEN 4 (1973)</u>	Guía artesanal. Uso destornilladores y tornillo para madera

Tabla 2 : Normas del INEN (madera)

1.4.3. Normas ecuatorianas de la construcción

- [NEC-SE-CG](#): Cargas (no sísmicas)
- [NEC-SE-DS](#): Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente
- [NEC-SE-RE](#): Riesgo sísmico, Evaluación, Rehabilitación de estructuras
- [NEC-SE-GM](#): Geotecnia y Diseño de Cimentaciones
- [NEC-SE-HM](#): Estructuras de Hormigón Armado
- [NEC-SE-AC](#): Estructuras de Acero
- [NEC-SE-MP](#): Estructuras de Mampostería Estructural
- [NEC-SE-MD](#): Estructuras de Madera
- [NEC-SE-VIVIENDA](#): Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m

1.4.4. Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-MD

- [NSR 2010](#) (Titulo G)
- Unidades: se emplearán las unidades del S.I. de acuerdo con la Norma [ISO 1000](#).
- Anclaje en la cimentación del refuerzo de los muros: parte cimentaciones del [ACI 318](#).
- Refrentados de las caras de apoyo y de las zonas de apoyo del cabezal: la resistencia debe determinarse usando la correspondiente norma [ASTM](#).

1.4.5. Otras referencias citadas en la NEC-SE-MD

- Descripción de las Cadenas Productivas de Madera en el Ecuador, Ministerio del Ambiente, Quito, 2011
- ORBE VELALCAZAR, J. Contenido de humedad de equilibrio de la madera en varias localidades del Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Nacional

Forestal, Sección Tecnología de la Madera, Centro de Capacitación e Investigación Forestal. Conocoto-Ecuador. 1989. 48.

2. Alcances y requisitos generales

2.1. Alcances

Esta norma establece las regulaciones sobre características de forma, tamaño, calidad y tipo, así como las condiciones mínimas de uso de la madera, para garantizar una mayor vida útil y un grado mínimo de seguridad, para los usuarios de las edificaciones.

Los requisitos establecidos en la presente norma son aplicables:

- A las edificaciones en las cuales la estructura está hecha totalmente de madera.
- A los elementos de madera de las edificaciones mixtas, aquella donde la estructura está hecha parcialmente con madera, complementada con otros materiales como hormigón, acero o mampostería.

2.2. Aplicabilidad y responsabilidad

Este capítulo de la Norma Ecuatoriana de Construcción es de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional, en todo lo que se relaciona con la construcción de edificaciones en las que se utilice la madera escuadrada como material estructural.

Las disposiciones constantes en esta norma se las aplicarán a todas las personas naturales y jurídicas dedicadas a la construcción de edificaciones que utilicen estructuras de madera, así como los proveedores de madera estructural que dispongan la guía de movilización emitida por el Ministerio del Ambiente.

2.3. Método de diseño estructural

2.3.1. Consideraciones para el diseño

En el análisis y diseño de las estructuras de madera deberán respetarse los principios básicos de la mecánica estructural. Se utilizarán procedimientos convencionales de análisis lineal y elástico.

Los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas serán calculados considerando el material como homogéneo, isotrópico y de comportamiento lineal, y con las hipótesis habituales de la teoría de vigas.

En el diseño de estructuras de madera todos los cálculos se harán con base en las dimensiones reales de los elementos utilizados, teniendo en cuenta las reducciones.

En ningún caso se deben utilizar estructuras de madera cuando la temperatura a la cual van a estar sometidas excede 65°C.

Se considera que el diseño se hace con madera aserrada. El diseño con madera rolliza puede ser considerado si se dispone de información de laboratorio que respalde el diseño en ese estado del material. Los resultados de los ensayos de laboratorio, en probetas pequeñas libres de defectos son compatibles con la madera aserrada, no así con la rolliza porque en ésta se incluyen partes del árbol, que no forman parte de las probetas pequeñas libres de defectos, según

expresamente se indican en las normas generalmente aceptadas.

La información sobre los tableros se encuentra en las normas referentes citadas en la sección [1.4.2](#).

De otro lado se pueden usar piezas estructurales de madera laminada, a condición de disponer información consistente de los adhesivos y de la técnica para la elaboración de las piezas: vigas, columnas, pórticos etc. Debe ponerse énfasis en las uniones de las láminas que conformarán la pieza, a fin de garantizar la continuidad de su resistencia.

NOTA: El comportamiento de la madera a la aplicación de los esfuerzos no sigue, en general, la Ley de Hooke, sin embargo para los niveles de sollicitación a los que normalmente se la utiliza se puede asumir un comportamiento elástico-lineal. Por lo que se efectuará el diseño en madera se lo con la clásica Teoría Elástica, ya que se cuenta con información, respaldada con investigaciones, de las propiedades Físico-Mecánicas.

2.3.2. Requisitos de diseño

Todos los elementos de una estructura deberán ser diseñados, construidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por las combinaciones de cargas de servicio consignadas en la [NEC-SE-CG](#).

El diseño de los elementos de madera debe hacerse por el método de esfuerzos admisibles, que exige como mínimo que:

- Los elementos estructurales sean diseñados para que los esfuerzos resultantes de la aplicación de las cargas de servicio sean menores o iguales a los esfuerzos admisibles del material.
- Las deformaciones en los elementos con la aplicación de las cargas de servicio sean menores o iguales a las deformaciones admisibles. Sin embargo debe tomarse en cuenta las deformaciones diferidas debido a cargas permanentes, para que la deformación total sea adecuada.

Se sintetizan los requisitos de diseño como sigue:

Requisitos de resistencia:

Esfuerzos aplicados < esfuerzos admisibles

$$Esfuerzo\ admisible = \frac{FC \times FT}{FS \times FDC} \times Esfuerzo\ último$$

Donde:

FC Factor de reducción por calidad

FT Factor de reducción por tamaño

FS Factor de servicio y seguridad

FDC Factor de duración de carga

Requisitos de rigidez

Deformaciones < Deformaciones admisibles

Las deformaciones deben evaluarse para cargas de servicio. Se debe considerar los incrementos de deformación con el tiempo (deformaciones deferidas) por acción de cargas aplicadas continuamente.

Se precisa que el modulo de elasticidad es aplicable para elementos de madera en flexión, tracción o compresión paralela a las fibras.

NOTA 1:

- *Esfuerzos y deformaciones admisibles para las maderas del Grupo Andino constan en investigaciones sobre el tema, los valores de esfuerzos admisibles, de deformaciones admisibles y otras propiedades constan en el Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino.*
- *No obstante, se puede usar información de otras fuentes como resultado de investigaciones.*
- *Igualmente se recomienda usar la información sobre esfuerzos y deformaciones que constan en la bibliografía especializada y/o de la experiencia de estructuras de madera en servicio.*

NOTA 2: Al estado actual del conocimiento del material al nivel nacional no permite establecer en la presente versión de la norma el diseño al Estado Límite, por no contar con información confiable que permita una razonable seguridad de las estructuras, debido a la gran cantidad de especies latifoliadas de nuestro medio.

3. La madera: del recurso primario al material de construcción

3.1. El recurso forestal

3.1.1. El recurso forestal nacional

Según cálculos estimativos, el Ecuador consume actualmente 5 millones de m³/año de madera rolliza para diferentes usos:

- Tableros contrachapados,
- Muebles,
- Construcción en general,
- Leña y carbón

La fuente principal de abastecimiento es el bosque nativo, que alcanza un 70 % (3.5 millones de m³) y el restante 30 % de plantaciones forestales.

Lamentablemente las estadísticas forestales del país son incompletas. Algunas fuentes oficiales expresan que existen aproximadamente tres millones de hectáreas de bosques nativos de producción, pero únicamente un millón de ellas se encuentran al momento accesible.

Si se considera que con un aprovechamiento sostenible, de cada hectárea de bosque nativo se puede obtener en promedio 1.5 m³ anuales, entonces la producción sostenida es de 1.5 millones de m³, con un déficit de 2 millones de m³, que son cubiertos con madera de tala ilegal o de la conversión de bosque nativo a actividades agropecuarias.

El uso de madera para la construcción debe provenir de bosque nativo manejado sustentablemente, de preferencia de plantaciones forestales, cuyos volúmenes (mínimo 250 m³/ha), son mayores que de bosque nativo (20 a 25 m³/ha).

3.1.2. Recurso renovable

La madera proviene del recurso forestal (bosque nativo y plantaciones forestales), que tiene un carácter renovable, si se manejan bajo la concepción de sustentabilidad; caso contrario, éste se degrada y puede extinguirse.

Adicionalmente, en los bosques primarios existe una amplia variedad de especies forestales potencialmente maderables de las que solo un limitado número han sido estudiadas y de las cuales existe información que permite ser usada en la industria de la construcción.

Esta Norma no pretende regular el manejo de los bosques, pero si asegurar el uso de la madera, de procedencia legal, autorizada y supervisada por la autoridad competente.

3.1.3. Manejo forestal sustentable

El Departamento Forestal de la FAO tiene como tema de política central para promover en el mundo, el concepto de "Manejo Forestal Sostenible" que implica regular la extracción de acuerdo a

la productividad del bosque, sus ciclos productivos y mantención de las condiciones de biodiversidad.

Estas medidas son propiciadas por los países desarrollados, principalmente de Europa, lo que tuvo un reconocimiento mundial en la Cumbre de Río en 1992. Los países pertenecientes a la OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales) tienen compromisos en este mismo sentido. El Banco Mundial y la WWF unen esfuerzos para generar programas con similar objetivo.

3.1.4. Régimen forestal para el aprovechamiento y comercialización de madera

El aprovechamiento y comercialización de madera de bosques naturales y plantados, públicos o privados, está regulado por la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre y las disposiciones establecidas en el Libro III del Régimen Forestal del Texto Unificado de la Legislación Secundaria (TULAS). Además, el Ministerio del Ambiente ha emitido Normas estableciendo criterios técnicos y administrativos que deben ser considerados para la elaboración y ejecución de planes y programas de aprovechamiento y corta, así como para la comercialización de productos forestales.

En la Norma de Procedimientos Administrativos para autorizar el aprovechamiento y corta de madera (Acuerdo Ministerial 139, del 30 de septiembre de 2009), se establecen los requisitos para la elaboración de Planes de Manejo y Programas de Aprovechamiento y Corta, así como los aspectos inherentes a la emisión de la Licencia de Aprovechamiento y Guías de Circulación para la transportación de madera. En la Norma del Sistema de Regencia Forestal (Acuerdo Ministerial 038, del 4 de junio del 2004), se establecen los criterios para el funcionamiento de la regencia y el control de la correcta ejecución de planes y programas a nivel de fincas.

En cuanto al manejo forestal y aprovechamiento de madera de bosques nativos se ha emitido la Norma para el Manejo Forestal Sustentable y aprovechamiento de madera del bosque húmedo (Acuerdo Ministerial 039, del 4 de junio del 2004). También se cuenta con la Norma para el Aprovechamiento Forestal Sustentable del bosque seco (Acuerdo Ministerial 244, del 9 de agosto del 2007) y, la Norma para el Manejo Sustentable de los bosques andinos (Acuerdo Ministerial 128, del 18 de octubre del 2006). Para las plantaciones forestales, existe las Normas para Aprovechamiento de Madera en bosques cultivados y de madera en sistemas agroforestales (Acuerdo Ministerial 040, del 4 de junio del 2004).

Las Normas establecen diferencias entre los requisitos administrativos y técnicos para aprovechar madera de bosques nativos, y de bosques cultivados. Para los primeros debe elaborarse planes de manejo y programas de aprovechamiento y para el segundo, programas de corta (PC). En el caso exclusivo del bosque nativo, para la extracción de madera con arrastre no mecanizado se ha establecido el concepto de Programa de Aprovechamiento Forestal Simplificado (PAFSI) y para la extracción con arrastre mecanizado, el Programa de Aprovechamiento Forestal Sustentable (PAFSU). Adicionalmente, cuando se trata de madera de formaciones pioneras, el aprovechamiento y movilización se realiza en base a un Formulario de Corta (FC). Respecto al Plan de Manejo Integral (PMI), este es un instrumento para la zonificación del uso del suelo en la finca.

En base a la aprobación de planes y programas -según el tipo de bosque a aprovechar-, el Ministerio del Ambiente emite la Licencia de Aprovechamiento Forestal como documento que autoriza la corta del árbol. Las guías de movilización se emiten sustentadas en las respectivas licencias de aprovechamiento de un programa aprobado. El transporte de madera desde el bosque

hasta el destino final (aserríos, centros de acopio, industria), debe realizarse amparado en la Guía de Movilización, las cuales deben establecer el destino final del producto para facilitar procesos de supervisión de la autoridad ambiental. El régimen forestal prevé que el Ministerio del Ambiente realice controles en los destinos de la madera para garantizar que los productos sean de origen legal.

Fuente: Descripción de las Cadenas Productivas de Madera en el Ecuador, Ministerio del Ambiente, Quito, 2011

3.2. Uso de la madera como material de construcción

3.2.1. Procedencia del material

La Autoridad Forestal del Ecuador³ deberá controlar, en los depósitos e industrias de la madera en todo el país, la procedencia legal de la madera a utilizarse en la construcción de viviendas y otras edificaciones, que utilicen la madera como material estructural, conforme a lo expuesto en la sección [3.1.4](#).

3.2.2. Establecimientos autorizados

La Dirección Nacional Forestal, extenderá la guía de movilización, a los interesados que cumplan con los requisitos previstos.

Se destacan los siguientes puntos:

- Abastecerse de madera proveniente de Programas de aprovechamiento y de corta, autorizados por el Ministerio del Ambiente, es decir de procedencia legal.
- Como mínimo, se deberán demostrar las buenas condiciones del secado de la madera (disposiciones, condiciones, tiempos y adecuación de la especie de la madera para secado natural, o infraestructura de secado al horno), y método y producto de preservación, caso sea necesaria (véase las secciones [3.5](#) y [3.6](#)).
- Estar dispuestos a asumir las responsabilidades civiles y penales que se deriven del uso de materiales defectuosos.

Toda persona natural o jurídica, responsable de la construcción de edificaciones con material estructural de madera, deberá proveerse del material, en los establecimientos de comercio de madera estructural, autorizados por la Autoridad Nacional Forestal.

3.2.3. Los proveedores de madera estructural

Para el aprovechamiento de bosques productores (extracción de madera en bosques naturales o plantados), se precisa lo siguiente:

- A los explotadores de bosques de más de 100 has., se les exige previamente un Plan de Manejo;

³ Dirección Nacional Forestal del Ministerio del Ambiente del Ecuador

- A quienes exploten hasta un máximo de 100 has. de bosque, se les exige un Plan de Trabajo. Para ello, el interesado presentará una solicitud a la Autoridad Forestal competente, para la obtención de la Licencia de Aprovechamiento Forestal.

Una vez que ya se ha obtenido la Licencia de Aprovechamiento, este documento lo habilita al interesado, para que se le otorgue una Guía de Movilización Primaria, para que pueda transportar la madera, desde el bosque hasta un depósito de madera, un aserradero o una industria; y se obtendrá una Guía de Movilización Secundaria, cuando el interesado tenga que transportar la madera hasta su destino final. En caso de caducidad de la Guía, ésta podrá ser sustituida por otra, previa anulación de la anterior.

Los proveedores de madera estructural, deberán entregar a los compradores, una lista de las piezas con sus dimensiones y la certificación de sus productos estructurales, con la siguiente información:

- Identificación de la madera (nombre común, nombre científico).
- Contenido de humedad de la madera, secada al horno.
- Densidad básica promedio (a un contenido de humedad del 12%) y grupo estructural o características mecánicas específicas (en este caso, se indicará la fuente y se justificará su fiabilidad)
- Características de durabilidad natural, o retención, penetración, y nombre del preservante utilizado para el caso de maderas que requieran de preservación.
- Cumplimiento de la Norma de Clasificación Visual para Madera Estructural.

3.3. Especificidades del material madera

3.3.1. Generalidades

La madera es un material heterogéneo poroso, de origen vegetal, constituido por células muertas, biodegradable, combustible, e higroscópico y anisotrópico.

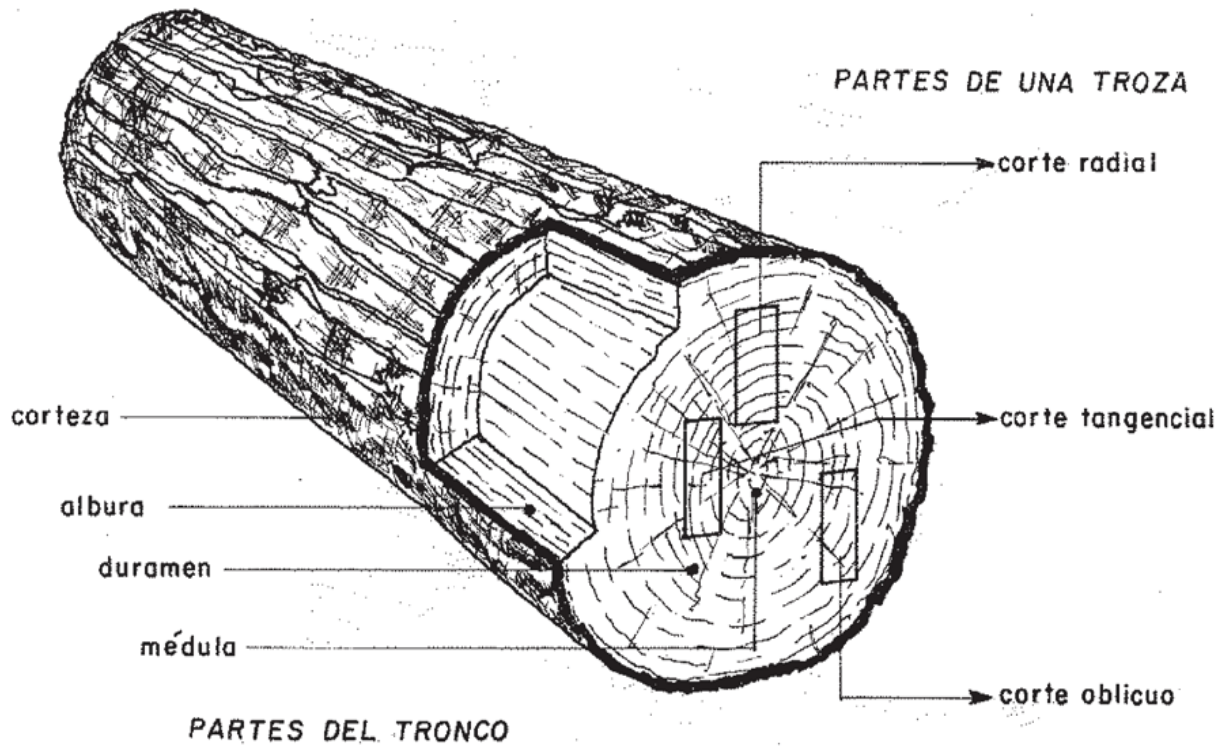


Figura 3: composición del tronco y cortes

3.3.2. Especificidades físicas y mecánicas

La madera es un material anisotrópico, y más propiamente ortotrópico, lo cual obliga a tener presente la orientación de las solicitaciones con relación al material: paralela y perpendicular a la fibra.

El material de construcción "madera" presenta gran variedad física y mecánica, dependiendo aún para una misma especie, de sus condiciones de crecimiento - relacionadas con la latitud, calidad del suelo y características del clima (altitud, temperatura y precipitación)-, procedencia de bosques nativos o plantados, manejo silvicultural, densidad básica y de los defectos que puede presentar una pieza determinada. Cada pieza es un reflejo de todos los factores que afectaron su crecimiento: anillos de crecimiento, densidad, sentido de la fibra, nudos, depósitos, ataques de hongos e insectos.

La madera proveniente de la albura del árbol posee en general, propiedades de resistencia mecánica y de resistencia al ataque de hongos e insectos, menores que la madera de duramen.

Por su mismo origen y debido a los procesos de apeo, aserrado, transporte, secado, inmunización y trabajabilidad las piezas de madera pueden presentar diversos defectos que no afectan su resistencia.

Para su uso estructural se requiere una clasificación que permita identificar piezas con las propiedades mecánicas deseadas. En algunos países el uso estructural de la madera es muy difundido y se cuenta con una clasificación estructural confiable; en otros, su empleo con estos fines es prácticamente inexistente y es difícil encontrar madera clasificada para fines estructurales.

Los valores característicos a considerarse en el marco de la presente norma se encuentran en la

[Tabla 5](#) y en la [Tabla 6](#).

El impacto de la anisotropía se reduce en la madera contrachapada en el que se forman placas de distinto espesor pegando hojas delgadas con las fibras orientadas en direcciones perpendiculares alternadas.

3.3.3. Relación al agua

Una de las especificidades de la madera es su comportamiento respecto al agua.

La humedad influye:

- Las condiciones de durabilidad de la madera (durabilidad natural o preservación, tal como expuesto en la sección [3.4](#), y preservación por el diseño, tal como expuesto en la sección [4.3](#), en particular según el uso futuro de los elementos estructurales de madera, como expuesto en las secciones [3.4.3](#) y [3.4.5](#)).
- Su comportamiento mecánico: variaciones de las propiedades mecánicas, variaciones dimensionales (véase [a](#)), facilidad de realización de ciertas uniones, etc.

Estas interacciones son esquematizadas en la [Figura 15](#).

3.4. Humedad

3.4.1. El agua de la madera

El contenido de humedad en una pieza de madera, es la relación que existe entre el peso del agua que contiene y su peso en estado seco (anhidro), expresado en porcentaje.

La madera contiene agua en dos formas:

- Agua libre
- Agua ligada o higroscópica.

En una madera en estado verde, proveniente de árboles recién cortados, la humedad es superior a 35%.

La humedad de la madera en estado verde se presenta de dos maneras:

- en las cavidades celulares (agua libre),
- en las paredes celulares (agua ligada).

Al secarse la madera, las cavidades celulares pierden el agua libre antes que la de las paredes celulares. Cuando las células están vacías y las paredes celulares se hallan saturadas de agua higroscópica, es que la madera ha llegado al denominado “Punto de Saturación de las Fibras” (P.S.F.), que es alrededor del 30% de contenido de humedad. A partir de este porcentaje, empiezan a aparecer los defectos que suele presentar la madera.

3.4.2. Contenido en humedad

a. Definición y determinación

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra.

El contenido de humedad es un factor muy importante en el uso de la madera, puesto que de él depende una buena parte de sus propiedades físicas y mecánicas (la [Tabla 1.7](#) del [1.6.2](#) del Manual de Diseño de la JUNAC presenta las variaciones de las propiedades mecánicas en función de la variación del contenido de humedad) y su estabilidad dimensional (véase la sección [3.4.4](#)) cuando se halla en servicio, así como su resistencia al ataque de hongos e insectos y su mayor o menor facilidad para ser trabajada.

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$C.H. \% = \frac{P.V. - P.S.}{P.S.} * 100$$

Donde:

C.H. Contenido de humedad de la madera (%),

P.V. Peso de la madera en estado verde o peso inicial (g),

P.S. Peso de la madera seco el horno o anhidro (g). Humedad de la madera en estado verde

Además, se destaca lo siguiente:

- Conviene construir con madera a la humedad de equilibrio, de forma a garantizar la estabilidad dimensional y disminuir los riesgos de ataques biológicos potenciales.
- La madera almacenada llega a tener generalmente un contenido de humedad uniforme, o sea que las piezas de mayor contenido disminuyen, mientras que las que están más secas aumentan.
- La madera en servicio presenta variaciones de contenido de humedad causadas por los cambios climáticos a los que está expuesta.

b. Variación del porcentaje de humedad

- En madera verde, la humedad de la madera varía del 30 al 200 % o más. Normalmente, la albura contiene más humedad que el duramen, pero el duramen de algunas frondosas puede ser también muy húmedo.
- En madera secada al aire, la variación de humedad se debe a factores, tales como: diferencia de las condiciones climáticas, tiempo de su apilamiento, posición de la pila y especie maderable.

c. Medición de la humedad

Se pueden usar detectores eléctricos para medir la humedad de la madera. Estos aparatos, denominados también higrómetros, sirven para medir de manera rápida y fácil la humedad de una

madera y se lo emplea con éxito para el control en las industrias madereras.

Si al artefacto se lo emplea correctamente, es una excelente ayuda para el industrial y para el constructor con madera.

3.4.3. Humedad de equilibrio de la madera

a. Definición

Por ser la madera higroscópica, trata siempre de alcanzar el contenido de humedad de equilibrio del sitio o zona donde se encuentre en servicio.

El contenido de humedad de equilibrio de la madera (CHE) es el contenido de humedad que una madera alcanzará si se la deja indefinidamente bajo condiciones de temperatura y humedad relativa constantes.

Si una madera está completamente seca y se halla expuesta a un ambiente de humedad relativa y temperatura determinada, las moléculas o partículas de agua del medio ambiente penetran por los espacios existentes en su estructura y quedan retenidas en ellos. Éste proceso continúa hasta que se produce un estado de equilibrio entre las partículas de agua que entran y salen de la madera. Este fenómeno llamado sorción es típico de sólidos con una estructura celular compleja, como es el caso de la madera.

Si se mantiene constante la temperatura y varía la humedad relativa del aire, se obtendrá una serie de valores de humedad de la madera que corresponderán a los diferentes equilibrios que se van presentando según los valores cambiantes de la humedad relativa. El poder de higroscopicidad de la madera tiende a disminuir con la elevación de la temperatura.

Existe un equilibrio entre el agua ligada y el estado higrotérmico (humedad relativa más temperatura) del medio ambiente, llamado equilibrio higroscópico de la madera.

b. Determinación general del CHE

Se puede deducir que para cada condición del medio ambiente existe una cierta cantidad de agua sorbida en la madera y por consiguiente un contenido de humedad en la madera. Así se puede deducir que existe una relación entre los conjuntos de valores de temperatura, humedad relativa y contenido de humedad de la madera que corresponde al Equilibrio de Contenido de Humedad y que se define como la humedad máxima que puede adquirir la madera en un medio ambiente de condiciones higrotérmicas constantes.

Toda madera expuesta a condiciones ambientales, aún desde el momento en que se corta el árbol, empieza a perder humedad y se equilibra con el ambiente. Así mismo si el contenido de humedad de una madera está por encima o por debajo del punto de equilibrio perderá o ganará humedad hasta alcanzar dicho punto.

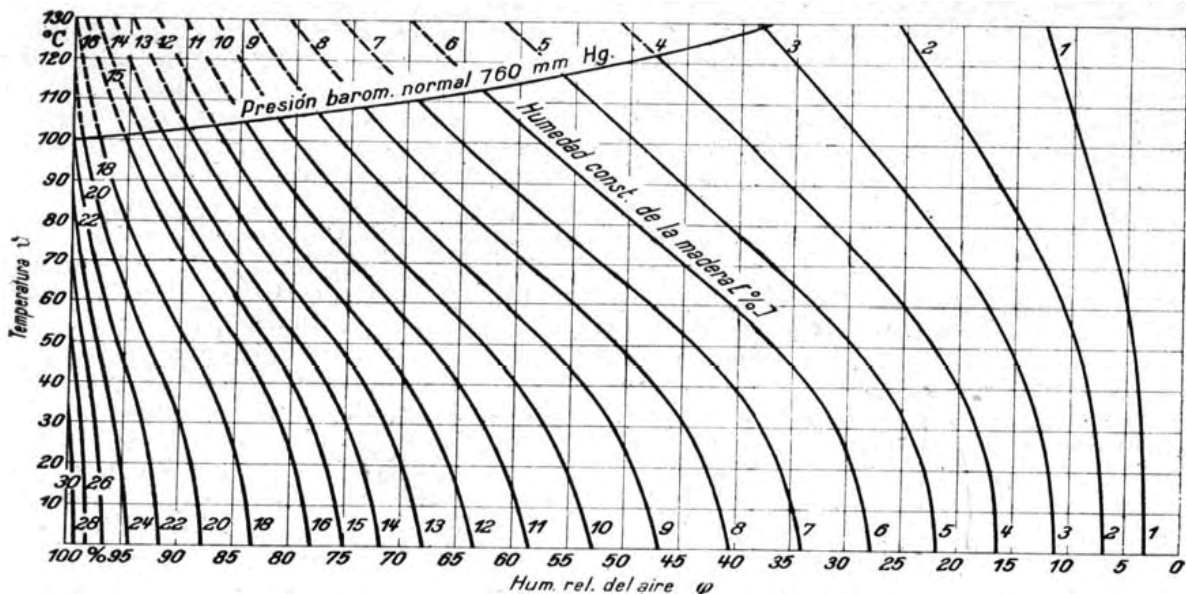


Figura 4: Isotermas de Sorción (fuente: título G, NSR 2010)

Se determinará el CHE mediante datos normales del INAMHI (temperatura y humedad relativa anual, y si pertinente mensual), combinadas a la [Figura 4](#) para determinar el CHE de la madera en servicio.

En defecto o alternativamente, se podrán utilizar los datos referenciales compilados en el Apéndice [6.1](#), que permiten determinar el CHE de la madera en varias localidades del Ecuador.

La densidad es una de las características de la madera que sirve de guía en el Manual de Diseño de la JUNAC para conocer su mayor o menor resistencia. Cuanto más densa o dura es una madera, tanto más difícil es secarla. A un mismo contenido de humedad, las maderas de mayor densidad (densidad básica) requieren de mayor tiempo para secarse y llegar a su contenido de humedad de equilibrio.

3.4.4. Estabilidad dimensional

Para lograr la estabilidad dimensional de una madera, es necesario que su humedad sea igual a la humedad de equilibrio correspondiente a las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire en el sitio donde se encuentra en servicio.

En la práctica, una madera expuesta al aire libre jamás permanece estabilizada a un determinado grado o contenido de humedad, ya que depende de las variaciones de la temperatura y la humedad relativa del ambiente.

A cualquier madera se la debería secar hasta un contenido de humedad que equivalga al valor promedio entre el valor mayor y el valor menor (mensuales) de la humedad de equilibrio de un sitio determinado (véase la [Figura 4](#)).

En el secado al aire libre, la humedad de equilibrio indica la humedad límite a la que se puede llegar utilizando este método de secado. En cambio, en el secado al horno, en el que se pueden cambiar las condiciones de la cámara, se consigue mecánicamente y de manera controlada que el porcentaje de humedad final de la madera puede descender aún más, debajo de la humedad de equilibrio. Véase la sección [3.6.2](#) para más detalles.

a. Coeficiente de contracción

El Manual de Diseño de la JUNAC considera las variaciones dimensionales vinculadas a cambios de humedad de la siguiente forma:

$$E \text{ o } C \% = \frac{CH_f - CH_i}{PSF} \times K$$

Donde:

E, C Expansión o contracción

CH_f Contenido de humedad final

Ch_i Contenido de humedad inicial

PSF Punto de saturación de las fibras (30%)

K Coeficiente de contracción o expansión (total, radial o tangencial, según lo que está calculado); véase la [sección 1.3.2](#) y la [tabla 1.3](#) del Manual de Diseño de la JUNAC

Para disminuir los cambios dimensionales en los elementos de la estructura, se aconseja secar la madera a un contenido de humedad entre 12 y 15% antes de usarla.

Los diferentes cortes de las piezas pueden influir en las deformaciones se recomienda que las piezas para material estructural presenten de preferencia corte radial.

Los detalles constructivos deben permitir a la madera contraerse libremente a medida que se seca.

b. Grado de estabilidad dimensional

La relación entre contracción tangencial y contracción radial indica el grado de estabilidad dimensional de la especie:

$$C_{ed} = C_T / C_R$$

Donde:

C_{ed} Coeficiente de estabilidad dimensional

C_T Contracción tangencial

C_R Contracción radial

Estabilidad	$C_{ed} = C_T / C_R$
Muy estable	Menor de 1.5
Estable	1.5 -1.8
Moderadamente estable	1.8 - 2.4
Inestable	Mayor de 2.5

Tabla 3: Relación: Contracción tangencial/contracción radial (fuente: título G, NSR 2010)

Para los casos en que el contenido de humedad cambie, entre los periodos de construcción y servicio, se debería tener en cuenta este cambio dimensional.

3.4.5. Madera en servicio

Se podrá considerar las siguientes condiciones para evaluar los riesgos relativos al uso de la madera, según sus características de durabilidad natural y su uso:

1. El CHE es escasamente superior a 12% (madera protegida, en espacios poco húmedos, etc.),
2. El CHE es escasamente superior a 20% (madera bajo techo, en espacios ventilados, etc.),
3. El CHE puede superar 20% para tiempos de duración largos.

3.5. Durabilidad y preservación

3.5.1. Preliminar

Se destaca que la durabilidad de las estructuras de madera dependerá de varios factores, que el diseñador deberá tomar en cuenta:

- Durabilidad natural de la especie elegida, necesidad de preservación (o no) e impregnabilidad de la misma;
- Tipo de uso en servicio, clima y CHE;
- Protección por el diseño.

3.5.2. Ataques biológicos

La madera por ser un material orgánico y natural, constituido principalmente por celulosa y lignina, si es sometida a ciertas condiciones de humedad, temperatura y oxígeno puede ser degradada.

A dichas condiciones ambientales pueden invadir ciertos sectores de la madera, como:

- Ataque de hongos xilófagos (pudrición), mohos y hongos cromógenos (atacan la madera con contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras (27 a 32% de CH).
- Insectos xilófagos

a. Agentes destructores de la madera

Los agentes destructores de la madera son:

- Hongos xilófagos: son aquellos capaces de desintegrar las paredes celulares, y por lo tanto, sus características físicas, químicas y mecánicas, ocasionando la pudrición de la madera.
- Mancha azul: no genera en sí una pudrición, puesto que no ataca directamente las paredes celulares. Sin embargo, puede ser el inicio de una pudrición verdadera. La mancha azul o azulada como también se la conoce, presupone la presencia de agua o humedad mayor al 24 %.

b. Insectos xilófagos

Existe gran variedad de insectos xilófagos, que en forma casi exclusiva atacan la madera. Hacen perforaciones, especialmente en la albura, porque el duramen tiene generalmente una resistencia mayor al ataque y a la penetración.

Las perforaciones producidas contribuyen a acelerar el proceso de pudrición ocasionado por esta clase de hongos.

3.5.3. Durabilidad natural

La durabilidad natural de la madera depende principalmente de la especie y de la zona del tronco de donde ha sido extraída (clima, suelo, etc.). Generalmente el duramen contiene sustancias tóxicas como las fenólicas por ejemplo, que rechazan a los agentes biológicos que quieran invadirla.

En su estado natural la albura se considera no durable.

A fin de determinar la relación que existe entre la durabilidad natural y la tratabilidad de una madera, se han establecido 5 categorías, las cuales se basan en porcentajes de pérdidas de peso por la acción de los hongos. Las 5 categorías de durabilidad natural (determinadas mediante ensayos de campo), son las siguientes:

1. Altamente resistentes,
2. Resistentes,
3. Moderadamente resistentes,
4. Muy poco resistentes,
5. No resistentes.

Se precisa que mediante ensayos de laboratorio, se puede determinar la durabilidad relativa, que clasifica la misma característica tal como sigue:

1. Muy resistentes
2. Resistentes
3. Moderadamente resistentes

4. No resistentes

5. Muy susceptibles

Las especies de alta durabilidad natural deben ser usadas preferentemente, mas aun en zonas de posible presencia de agua o humedad, y cercanas o en contacto con el suelo.

Aquellas de poca durabilidad natural, deben preservarse por métodos reconocidos e indicarse el mantenimiento a seguir posteriormente. Se deben tomar precauciones en el tipo de preservación para madera que va a estar en contacto directo con el hombre o con sus alimentos.

Para calificar la durabilidad natural de las especies de madera, se permite usar datos oficiales o producidos mediante investigaciones y ensayos, tales como:

- *Centro Colombo-Canadiense de la Madera, Sena Regional Antioquia Chocó, Universidad Nacional de Colombia seccional Medellín*
- *Base de datos TROPIC del CIRAD*

3.5.4. Preservación

Para evitar el ataque de organismos biológicos degradantes, la madera sin durabilidad natural, puede ser tratada mediante la impregnación de sustancias preservantes, y mediante un buen diseño.

La durabilidad natural se puede aumentar mediante procedimientos artificiales, mediante un simple secado o por tratamientos preservadores especiales.

a. Preservantes

Son sustancias químicas que al aplicarlas adecuadamente en la madera, la hacen resistente al ataque de hongos, insectos y otros agentes de deterioro. La protección se consigue haciendo que la madera se torne venenosa y por lo tanto repelente a los diferentes agentes biológicos de deterioro.

Clasificación de los preservantes

De acuerdo a su origen o naturaleza, los preservantes para madera se clasifican básicamente en:

- Creosotas (ordinaria, líquida, mezclas)
- Oleosolubles o orgánicos (pentaclorofenol, pentaclorofenato de sodio, naftenato de cobre o de zinc)
- Hidrosolubles o inorgánicos (sal simple, sal doble, multisal tipo CCA o CCB)

Preservantes oleosolubles

Son de gran toxicidad para los agentes biológicos, y presentan cualidades muy importantes, como: no son corrosivos, tienen gran poder de penetración y no son inflamables una vez que el solvente se ha evaporado.

Preservantes hidrosolubles

El agua presenta varias ventajas como solvente para los preservantes de madera. Se destacan su buena penetración en la madera, su ausencia de peligro ante el fuego, y además, no es perjudicial para la salud.

Entre los principales preservantes hidrosolubles, se pueden mencionar las sales de C.C.A. Es un compuesto de cobre, cromo y arsénico. Estas sales son muy eficaces en la protección de la madera en contacto directo con el suelo y bajo condiciones de mucha humedad. Sin embargo se debe tener presente su alta toxicidad para seres vivos.

Ventajas del CCA:

- es tóxico para hongos e insectos;
- eventualmente puede tratarse madera en estado húmedo;
- el solvente (agua) es barato y no es inflamable;
- la madera puede recibir pintura después de tratada;
- su aplicación es bastante más rápida en relación a los preservantes oleosos.

Puesto la alta toxicidad del producto, se prestará especial atención a las condiciones de reutilización o reciclaje de las maderas tratadas con CCA. En particular, se prohíbe usarla como combustible, o simplemente quemarla.

Últimamente, se reemplaza el arsénico por el boro (sales de CCB), porque se ha llegado a determinar, que aquel arsénico, resulta nocivo para la salud humana.

Productos caseros ineficientes

Existen varios productos caseros que utilizan ciertos madereros y constructores como preservantes de madera, entre los cuales, se encuentran: el aceite quemado, el diesel, incluso la gasolina, y otros, que suelen emplearlos con este fin.

Siendo de reconocida ineficiencia, no pueden ser empleados como preservativos de la madera.

b. Métodos de preservación

Los procedimientos por osmosis y difusión necesitan que la madera conserve toda la humedad posible para lograr la incorporación de los preservadores salinos. Todos los otros métodos exigen que la madera esté seca, es decir, con un CH entre 15 y 25%.

Todos los cortes o perforaciones que se tengan que hacer a la madera, para colocarlas en obra, se deben practicar antes del tratamiento.

Cuando se tiene maderas que resultan difíciles de preservar, por ser impermeables, se pueden hacer incisiones superficiales, con máquinas apropiadas, para lograr una penetración lateral aceptable, o una mejor distribución del preservador para formar un verdadero anillo protector. Por lo general, las incisiones se practican en la zona crítica de la madera, es decir, en la zona de empotramiento, que es por donde se inician las pudriciones.

No es raro hacer incisiones a lo largo de toda la pieza de madera que haya mostrado deficiencias en la distribución de los preservadores. En general, los métodos de preservación se pueden dividir en tratamientos sin presión y tratamientos con presión.

Métodos sin presión

De estos procedimientos, los más conocidos son aquellos en que se aplica el preservante con brocha, por aspersion, por inmersión, y por difusión.

- **Con brocha y por aspersion.** Mediante estos dos procedimientos, apenas una pequeña cantidad del líquido preservativo penetra en la madera. La ligera absorción que ocurre con este tipo de tratamientos, se debe, en parte, a la resistencia natural de la madera a la penetración, pero también influye la escasa cantidad de preservante que realmente aprovecha.
- **Inmersión prolongada.** Este tratamiento se hace en frío. Se lo emplea generalmente, para tratamientos de madera destinada a la elaboración de ventanas, marcos de puerta, vigas y otros trabajos en que no se halle la madera en contacto directo con el suelo. El tratamiento consiste, en sumergir la madera por espacio mínimo de 24 horas, y un máximo de 48 horas, en que, prácticamente, ya no absorbe más.
- **Inmersión momentánea.** La efectividad de este tipo de preservación, es muy limitada y no se recomienda para tratamientos de madera que luego estará en contacto directo con el suelo o expuesta a la intemperie. No obstante, dicho procedimiento se lo ha utilizado satisfactoriamente en tratamientos de ventanas, puertas, marcos y otros trabajos de carpintería. El tratamiento consiste en sumergir la madera dentro del producto preservativo por espacios de tiempo muy cortos, que van desde varios segundos hasta 10 a 15 minutos. Para ello, obviamente, la madera debe estar seca.
- **Tratamiento por difusión.** Este tratamiento tiene como fundamento aprovechar el desplazamiento de la sabia a través de la madera. Para ello se utiliza madera rolliza, preferentemente de pequeño diámetro, recién cortada y descortezada. Uno de los extremos se lo sumerge en un preservante hidrosoluble. Se puede preparar una solución, mezclando 4 Kg de sales en 100 L de agua.

Métodos a presión

En estos métodos, el preservador se aplica a la madera utilizando presiones distintas a la de la atmosfera dentro de un autoclave

Los métodos a presión que se utilizan para impregnar preservantes en la madera al interior de cilindros cerrados herméticamente; básicamente son dos: el de célula llena y el de célula vacía. Son, indudablemente, los más efectivos pero también los más costosos.

- **De célula llena o de Bethell.** Con este tratamiento se trata de retener en la madera la mayor cantidad posible del líquido preservativo, permitiendo de esta manera que se produzca una absorción máxima en el material tratado.
- **De célula vacía.** Con este procedimiento se pretende recuperar parte de la solución inyectada a presión en la madera. Este método da buen resultado cuando se trata de lograr una penetración bastante profunda pero con una escasa absorción final del líquido

preservativo.

Método Boucherie

Es un procedimiento de tratamiento de la madera basado en el reemplazo de la sabia por un preservante hidrosoluble, cuyos componentes tengan similar velocidad de difusión. Como condición principal se requiere que los elementos a tratarse se encuentren en estado verde, es decir, con un contenido de humedad de por lo menos el 30 %, debiéndose mantener la corteza durante el tratamiento.

Para el funcionamiento del proceso, se requiere 1 atmósfera de presión, que se la consigue por diferencia de niveles a una altura de aproximadamente 10 metros. La madera rolliza, al momento del tratamiento se la coloca en posición inclinada, a fin de facilitar el desplazamiento del preservante a través de los sistemas de conducción de la sabia. Los elementos van sujetos en su extremo superior, mediante un casquete de caucho.

c. Permeabilidad, impregnabilidad

Se recomienda utilizar lo indicado en la [sección 2.3.4](#) del Manual de Diseño de la JUNAC.

En relación con la penetración líquida en la madera, se destaca la característica de impregnabilidad.

Respecto a este aspecto, se deben distinguir 2 partes de la madera: albura y duramen. La segunda parte es más central, en la cual hubo una reacción biológica que le da otras propiedades de impregnación y de vulnerabilidad ante ataques biológicos, en particular.

Clasificación de permeabilidad

Para cada parte de la madera, y cada especie, se define una de las siguientes 4 clases de permeabilidad:

- Permeables
- Moderadamente Permeables
- Escasamente Permeables
- Impermeables

El criterio más importante que debe ser considerado en un tratamiento de preservación, es la cantidad del inmunizante que absorbe la madera y la profundidad a la que penetra. También es necesario considerar, la buena distribución del preservante en toda el área tratada.

La absorción o retención del preservante, se la mide, mediante la siguiente fórmula:

$$A_l = \frac{P_1 - P_0}{V_p} * 1000$$

$$A_s = \frac{C (P_1 - P_0)}{V_p} * 10$$

Donde:

A_l	Absorción líquida en l/m ³
A_s	Absorción sólida en kg/m ³
P₀	Peso antes del tratamiento en kg
P₁	Peso después del tratamiento en kg
V_p	Volumen de la pieza en m ³
C	Concentración del preservante en %

Tipo de absorción	Pentaclorofenol (kg/m ³)	Sales de CCA (kg/m ³)
Absorción alta	+ de 150	+ de 200
Absorción moderada	101 a 150	151 a 200
Absorción pobre	51 a 100	101 a 150
Absorción nula	- de 50	- de 100

Tabla 4: Cuadro referencial de escalas de absorción, destinado a la clasificación de las maderas

Clasificación de la madera por su tratamiento

Está hecha en función de la absorción y tipo de penetración que se presenta en la madera tratada. En este sentido, se establecen 4 categorías de tratabilidad:

1. Fácil de tratar;
2. Moderadamente tratable;
3. Difícil de tratar;
4. Imposible de tratar.

d. Secado de la madera a preservar

La madera que va a ser destinada a tratamientos de preservación, a través de procedimientos, como: a presión, inmersión en frío, requiere de un previo secado hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio, el que normalmente se encuentra entre el 11 y el 16 % en nuestro medio. Contenidos de humedad mayores al 20 % no son recomendables para este tipo de tratamientos.

La práctica más usual para secar madera que se la destina a la construcción (postes, tablas, tablones, etc.) consiste en armar pilas al aire libre, con dos objetivos fundamentales:

1. Reducir al máximo los daños causados por hongos e insectos,
2. Acelerar el proceso de reducción del contenido de humedad.

e. Aspectos económicos de la preservación

La preservación de la madera se torna viable siempre y cuando sea ventajosa desde el punto de vista económico. Es necesidad imperiosa que se preserve una madera que va a ponérsela en servicio, lo que contribuirá a aumentar, no solamente su vida útil sino también su resistencia y

durabilidad.

3.5.5. Resistencia a la corrosión

Las uniones metálicas y otros ensamblajes estructurales deben, si necesario, tener un tratamiento anti-corrosivo.

3.6. Secado de la madera

3.6.1. Aspectos generales

Antes de la construcción, la madera deberá secarse a un contenido de humedad apropiado y tan parecido como sea práctico al contenido de humedad en equilibrio promedio de la región en la cual estará la estructura.

Se debe secar la madera hasta un CH% lo más próximo posible al contenido de humedad de equilibrio con el medio ambiente (humedad de servicio). La madera estructural debe tener un CH inferior a 19%. La madera a ser laminada debe tener una humedad de 12%, al momento de ser procesada.

El secado puede ser natural (con buenas prácticas de apilado, ventilación, etc.) o artificial (se aconsejan hornos o cámaras de secado).

Se recomienda de manera general referirse a las especificaciones y recomendaciones del Manual de Secado publicado por la Junta del Acuerdo de Cartagena (tabla con datos sobre el comportamiento del secado de maderas aptas para construcción, así como una descripción gráfica de los defectos de secado más comunes).

La comprobación del contenido de humedad se puede hacer mediante el uso del xilohigrómetro o medidor eléctrico de humedad.

3.6.2. Recomendaciones

Recomendaciones para ponerla a una madera en servicio:

1. Si no se sabe de antemano en qué localidad va a ser empleada una determinada madera, la misma deberá ser secada hasta un porcentaje de humedad menor al contenido de humedad de equilibrio que registre esa zona.
2. Prácticamente, toda madera que vaya a ser empleada en interiores (pisos, revestimientos, muebles...), se aconseja secarla al horno.
3. La madera secada al aire es apropiada para ser utilizada en elementos en los que las variaciones dimensionales no sean importantes.
4. La madera verde debe limitarse a ser empleada donde se mantenga un alto grado de humedad, o donde la contracción hubiera sido considerada al momento de realizar el proyecto de una construcción.

3.6.3. Técnicas de secado de la madera

a. Secado natural

Se lo lleva a cabo exponiendo la madera aserrada al aire libre en un patio de secado. Este proceso se desarrolla normalmente, excepto cuando la humedad relativa del ambiente es demasiado alta.

El objeto de secar al aire libre es llegar al menor contenido de humedad que permita las condiciones climáticas de una determinada localidad.

El Manual de Diseño de la JUNAC, en su sección [2.2](#), describe varios apilados (horizontal, en caballete, por los extremos, etc.), que facilitan la ventilación natural.

No se debe exponer la madera directamente al sol

b. Secado artificial de la madera

El secado artificial de la madera se lo lleva a cabo, básicamente, por las siguientes razones:

- Reducir su peso y los gastos que implica el transporte;
- Evitar la mancha azul de la madera, las manchas producidas por hongos xilófagos (propios de la madera);
- Evitar el ataque de insectos.

c. Defectos del secado

Entre los defectos del secado, constan los siguientes: reventazón, colapso, rajaduras, grietas superficiales, alabeos (acanalamiento o abarquillado, arqueadura, encorvadura y torcedura o revirado).

3.7. Corte y secciones

El diseñador se referirá:

- A las normas [NTE INEN 2579](#) (2011) y [NTE INEN 2580](#) (2011).
- Al [capítulo 2](#) del Manual de Diseño de la JUNAC (en particular: Aserrado: [sección 2.1](#); Secado: [sección 2.2](#))
- A la [sección 3.1](#) del capítulo 3 del mismo manual, que trata de las escuadrías o secciones preferenciales PADT-REFORT, y de las dimensiones comerciales y reales.

3.8. Clasificación visual

Se considerarán las 3 siguientes referencias:

- Normas [NTE INEN 2579](#) (2011) y [NTE INEN 2580](#) (2011).
- PADT-REFORT/JUNAC; Manual de Clasificación Visual para Madera Estructural. Junta del Acuerdo de Cartagena. JUNAC, 1984

- [Sección 3.4](#) del Manual de diseño para Maderas
- [Título G](#) de la [NSR 2010](#) (en particular en su sección [G.11.2.1](#) – Secado de la madera)

El manual detalle los diferentes defectos que necesitan atención del diseñador:

- defectos de crecimiento
- defectos de secado

La clasificación permite una selección o verificación de las tolerancias permitidas para que sea la madera considerada estructural.

La Norma de Clasificación Visual por Defectos PADT-REFORT está destinada a la clasificación de madera aserrada para uso estructural. Todas las piezas que satisfagan la regla clasifican como Madera Estructural y todas las propiedades resistentes y elásticas asignadas a las especies agrupadas en grupos resistentes son aplicables sin otras restricciones que las tolerancias en dimensiones para la habilitación y fabricación de componentes.

Los aspectos considerados son:

- Alabeo (curvatura de los ejes longitudinal, transversal o de ambos): abarquillado, arqueadura, encorvadura, torcedura
- Arista faltante
- Duramen quebradizo
- Escamadura o acebolladura
- Fallas de compresión
- Grano inclinado
- Grieta
- Medula
- Nudos
- Parenquima
- Perforaciones por insectos
- Rajaduras

4. Bases para el diseño

4.1. Consideraciones generales

La madera estructural soporta algún tipo de esfuerzo en una construcción, es decir, forma la parte resistente de ciertos componentes, como: muros, paredes, pié derechos, columnas, vigas, pisos, techos y otros.

Se debe pensar a las estructuras como un sistema desde la preparación hasta el montaje, considerando cada pieza y cada tarea como parte integrante del conjunto.

Las pautas de diseño arquitectónico propuestas deben tener en cuenta las especificidades del material y asegurar estabilidad, seguridad y durabilidad de las construcciones en madera. Las normas aquí propuestas no tienen carácter restrictivo del diseño y su criterio consiste en asegurar el buen comportamiento de aquellas.

Características físicas. En los diseños de madera estructural se deben tener en cuenta las especificidades debidas al origen orgánico del material: variabilidad natural y defectos, higroscopicidad y su influencia en la estabilidad dimensional, combustibilidad y riesgos de ataques biológicos (hongos, insectos...) y químicos (agentes atmosféricos, etc.).

Características mecánicas. Los diseñadores deben tener en cuenta en sus diseños las características propias del material en cuanto a resistencia y rigidez.

Limitaciones dimensionales. Las dimensiones y formas geométricas disponibles son limitadas en particular por el tamaño de los troncos. Esto se puede superar por ejemplo en la madera laminada pegada, en que piezas de madera de pequeño espesor se unen con pegamentos de alta adhesión para obtener formas estructuralmente eficientes.

4.2. Elementos y sistemas constructivos

El diseñador encontrará en los [capítulos 4 y 5](#) del Manual de Diseño de la JUNAC informaciones respecto a los sistemas y detalles constructivos.

Sistemas constructivos. Las características de la madera, tales como su densidad básica o su buena trabajabilidad, y la disponibilidad de diversos elementos de unión (ensambles, tornillos, grapas, etc.), facilitan el empleo de sistemas constructivos y de montaje tales como paneles precortados y la prefabricación total y parcial, así como diversos grados de industrialización.

Diseño Modular. La uniformidad de dimensiones de los elementos de madera disponibles para la construcción lleva por economía al uso de elementos modulares, y esto debe reflejarse en un diseño basado en sistemas constructivos coherentes. Se tendrán en cuenta las tolerancias del material para su uso adecuado. El diseño modular permite reducir el desperdicio del material.

El Manual de Diseño de la JUNAC define y detalla sistemas estructurales (incluyendo las uniones):

- Sistema entramado
- Sistema poste y viga

- Sistema de armaduras

Se definen sistemas constructivos, respecto al grado de industrialización:

- No industrializados
- Semi-industrializados
- Industrializados

Los detalles constructivos se aplican en particular a:

- Sistema entramado
- Sistema de poste y viga
- Revestimientos

4.3. Protección por diseño

El diseñador se referirá en particular al [capítulo 6](#) del Manual de Diseño de la JUNAC, en particular en sus [secciones 6.1](#) (protección ante la humedad y los hongos) y [6.4](#) (protección con los insectos xilófagos).

4.3.1. Protección ante la humedad

Por ser higroscópica y porosa la madera absorbe agua en forma líquida o de vapor. Si la humedad se acumula en la madera, afecta sus propiedades mecánicas, se convierte en conductora de electricidad y sobre todo, queda propensa a la putrefacción por el ataque de hongos.

La madera puede humedecerse por capilaridad, por lluvia o por condensación, por lo que debe protegerse como se indica a continuación:

- La madera por contacto con el suelo o con alto riesgo de humedad debe ser preservada de acuerdo a la norma establecida.
- El diseño mismo puede evitar la exposición directa de la madera a la lluvia; si esto no se logra, debe protegerse con sustancias hidrófugas o con superficies impermeables.
- Todo elemento estructural expuesto a la intemperie debe apoyarse, con barreras anti capilaridad, sobre zócalos o pedestales de hormigón, metálicos o madera, de tal forma que no permanezcan en contacto con el agua estancada y debe ser protegido, lo mismo que los elementos de madera de recubrimiento de muros exteriores, por medio de aleros y deflectores.
- Para prevenir la condensación es necesario evitar los espacios sin ventilación, especialmente en climas húmedos. En aquellos ambientes que por su uso estén expuestos al vapor, como baños y cocinas, además de suficiente ventilación, deben protegerse las superficies expuestas con recubrimientos impermeables.

Acción capilar

Se diseñará con atención lo que trata de la relación al suelo, de la estructura a las cimentaciones, o

aun contacto entre elementos de madera y otros mineral (mampostería, adobes, hormigón...), en particular respeto al drenaje, a las barreras de humedad (cartón asfáltico, polietileno, brea, etc.), goterones, inclinación de elementos exteriores de madera, etc.

Condensación

Se evitará mediante buena ventilación (natural en particular).

Lluvia

En el caso de zonas climáticas muy húmedas, usando maderas que no tengan la durabilidad adecuada, se aconseja un método de preservación, si posible en vacío-presión.

Los elementos de madera deberán estar a una distancia mínima de 200 mm del suelo.

La madera exterior en contacto directo con las intemperies debe tener una inclinación mínima de 10°.

Ningún extremo o cabeza debe exponerse hacia arriba.

Se puede también colocar una capa de protección selladora.

Protección contra los hongos

Las soluciones ante tal riesgo combinan el uso de una madera adecuada (durabilidad natural o preservación por vacío-presión) y un buen diseño (respecto a los riesgos de capilaridad, condensación y lluvia).

4.3.2. Ilustraciones de protección ante la humedad

La fuente exclusiva de las siguientes figuras es el Manual de Diseño de la JUNAC.

a. Protección general por diseño

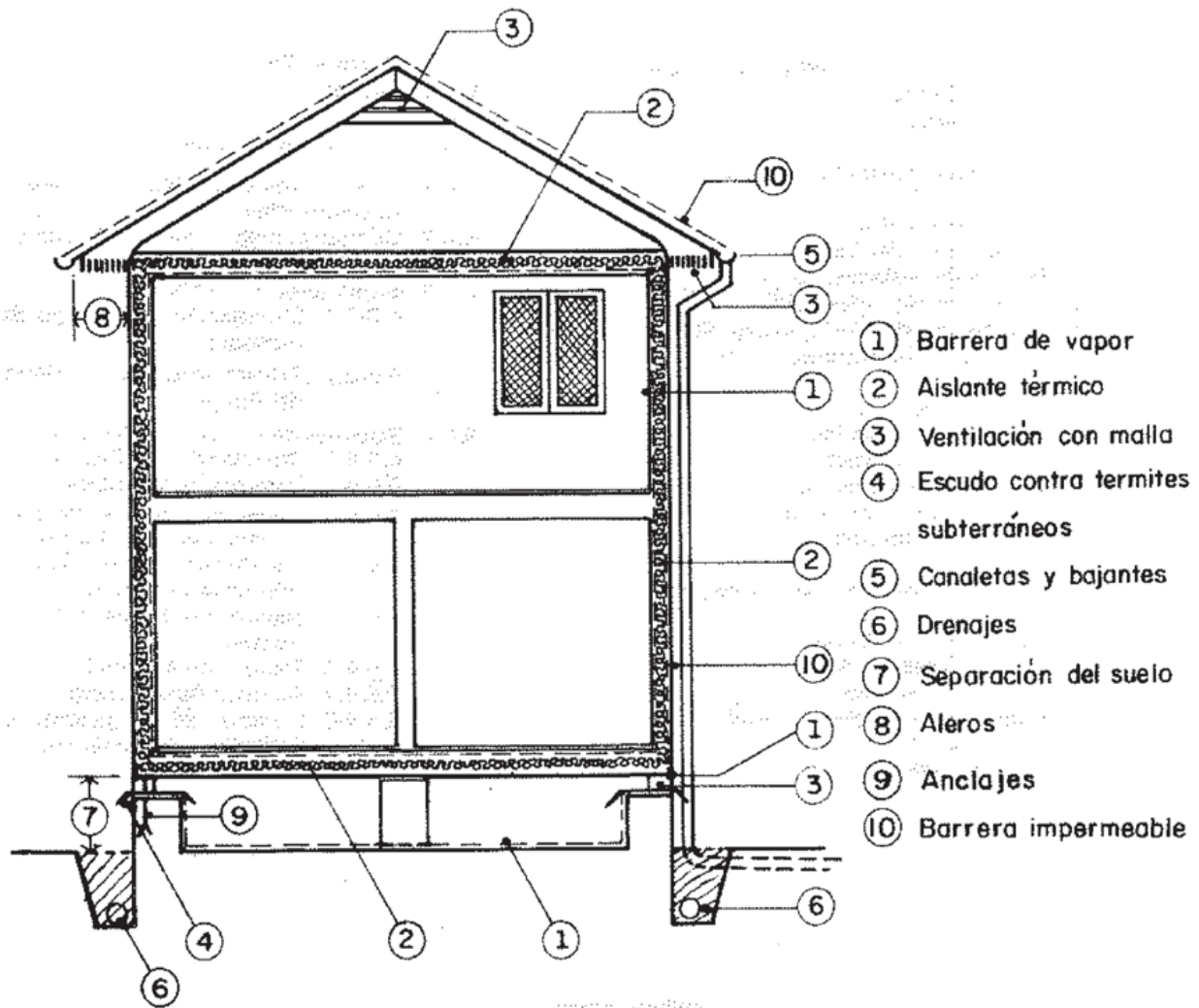


Figura 5: Protección por diseño

b. Cimentaciones

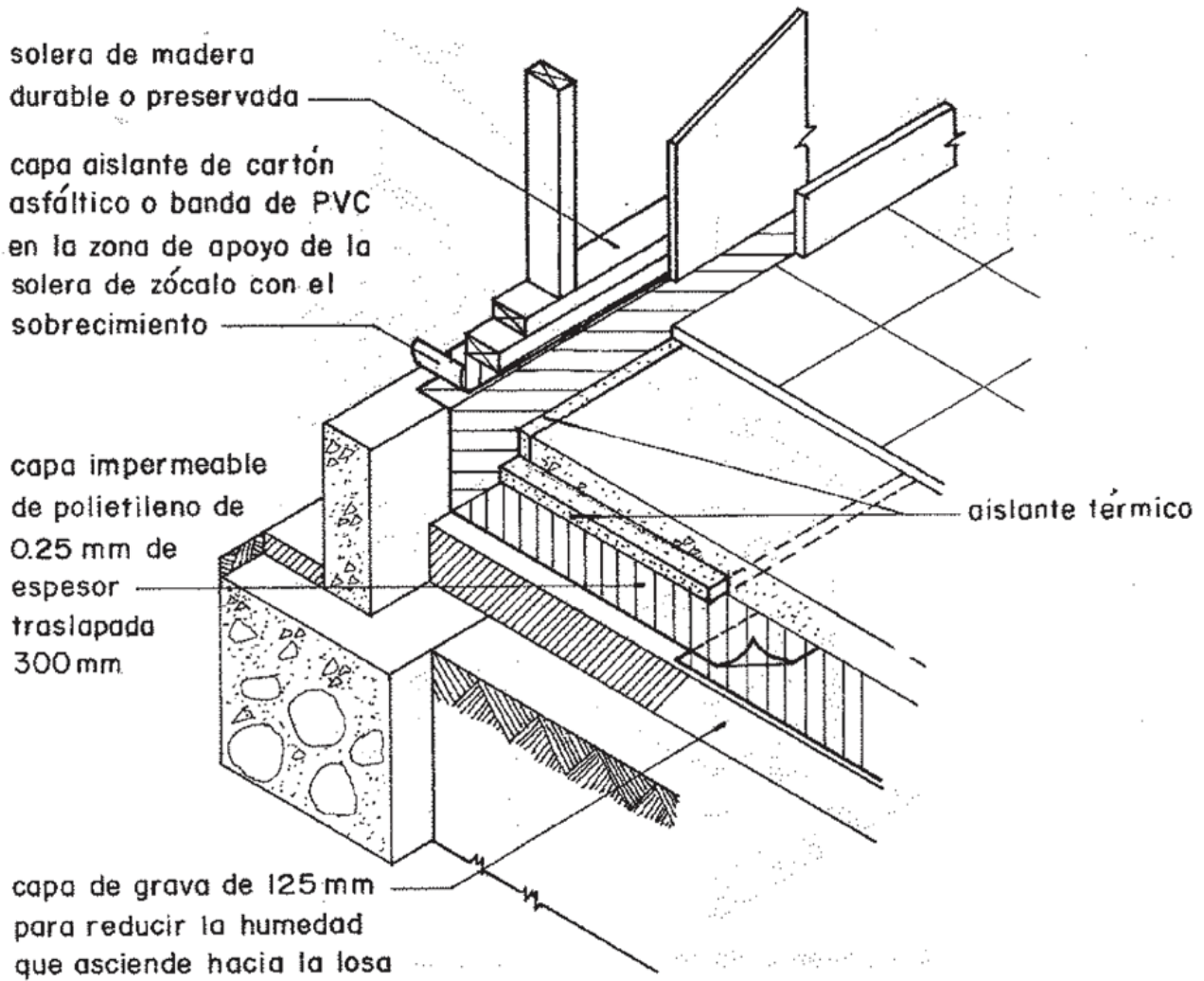


Figura 6: Protección de la humedad del suelo en uno losa o piso

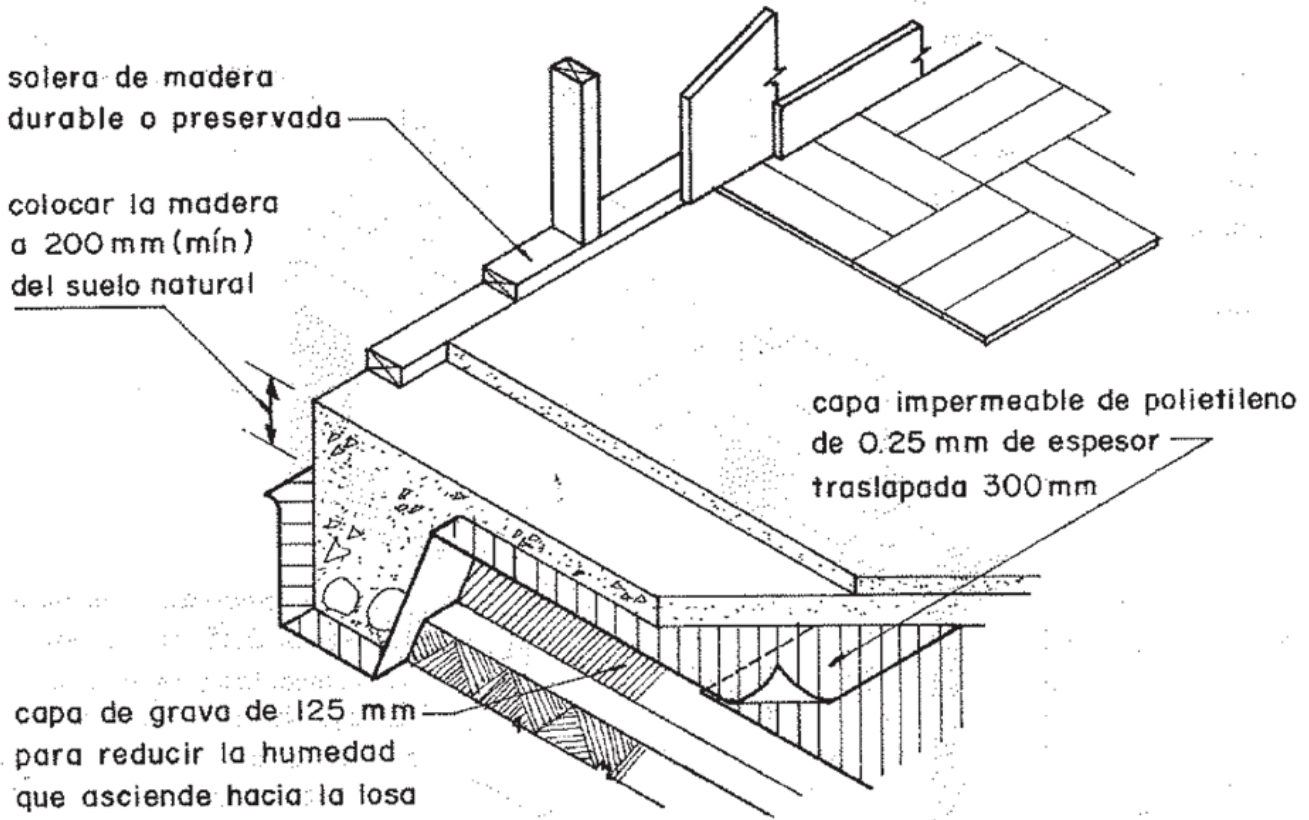


Figura 7: Protección de la humedad del suelo en una placa o losa de cimentación

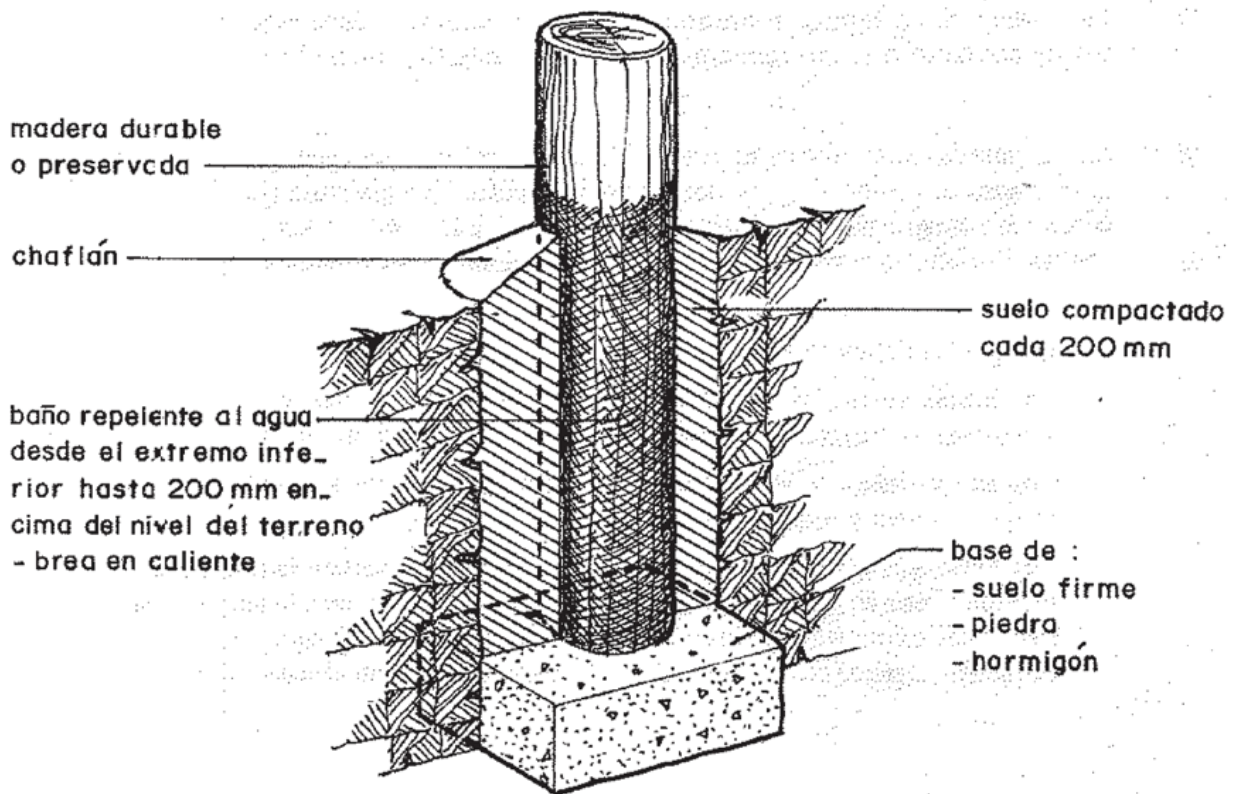


Figura 8: Protección de la humedad en pilotes

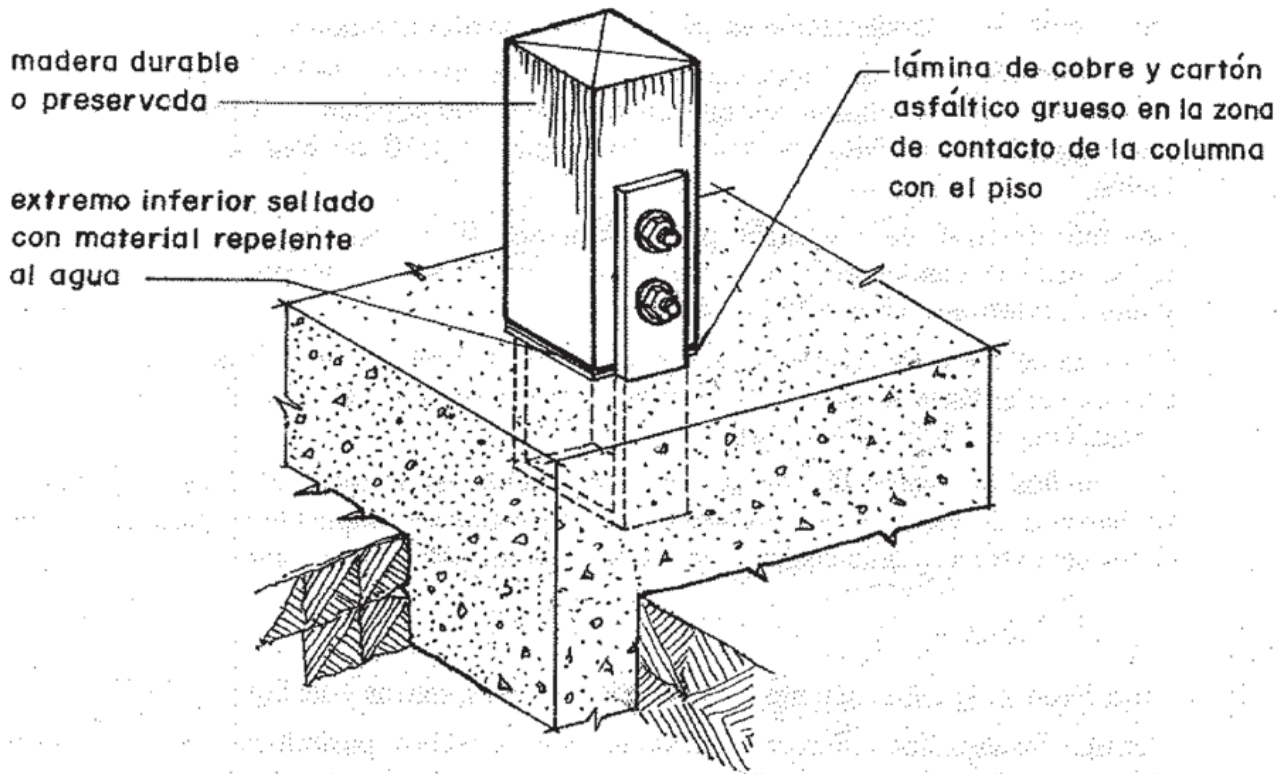


Figura 9: Protección de la humedad en columnas en contacto con el piso

c. Acción capilar

capa aislante de cartón
asfáltico grueso (3mm)
o banda de PVC en la
zona de apoyo de la viga

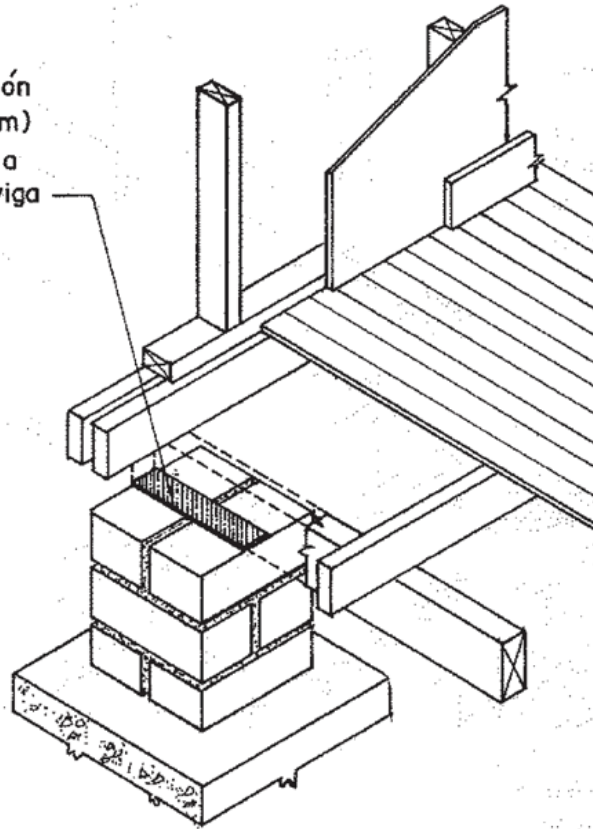


Figura 10: Aislamiento de la humedad en pilastres

friso y solera de zócalo de
madera durable o preservada
adecuadamente

capa aislante de cartón
asfáltico grueso (3mm)
o banda de PVC en la
zona de apoyo de la
solera de zócalo

aberturas en el so-
brecimiento para
ventilación del es-
pacio encerrado
debajo del piso
que totalicen 1/300
del área cubierta

barrera de vapor
debajo del enta-
blado

aislante térmico

capa impermeable de polie-
tileno de 0.15 mm de espe-
sor extendida sobre el suelo
debajo del piso, con las jun-
tas selladas o traslapadas 100
mm; recomendable para sue-
los muy húmedos

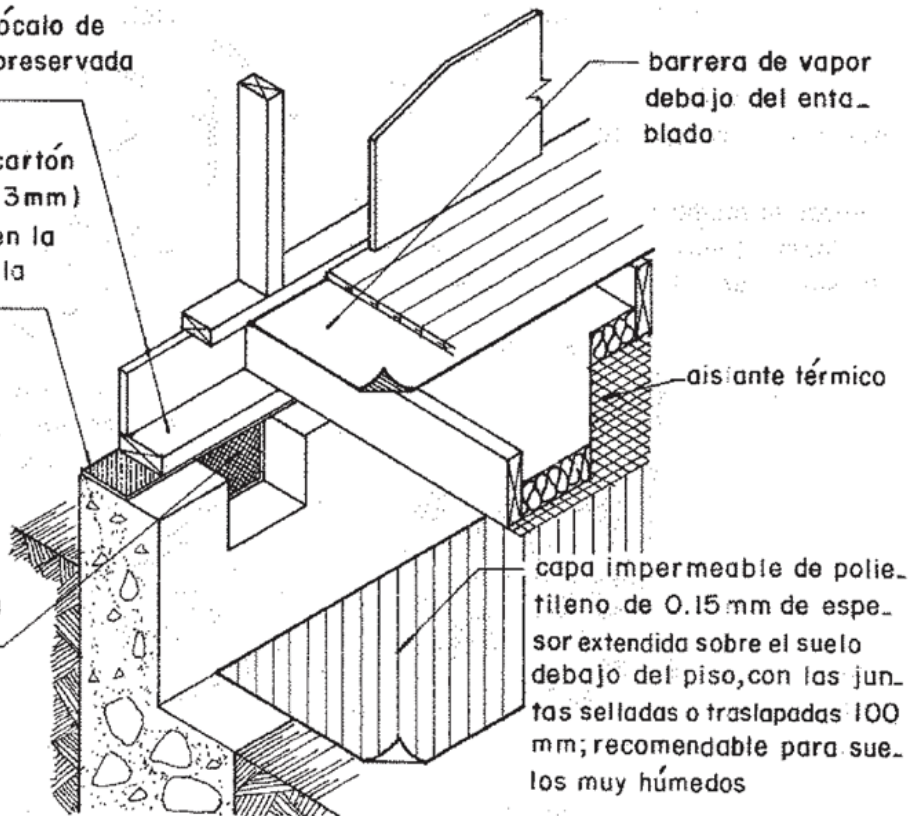


Figura 11: Protección de la humedad en pisos de madera elevados

d. Condensación

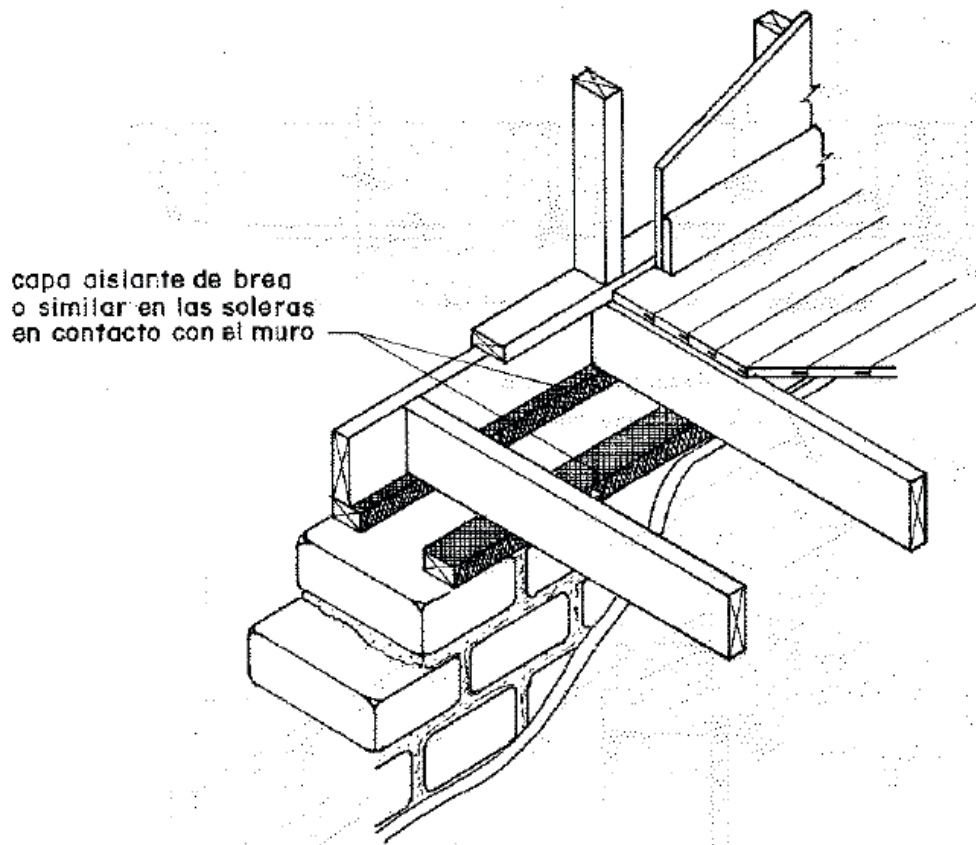


Figura 12: Aislamiento de la humedad en entrepiso sobre mure de adobe

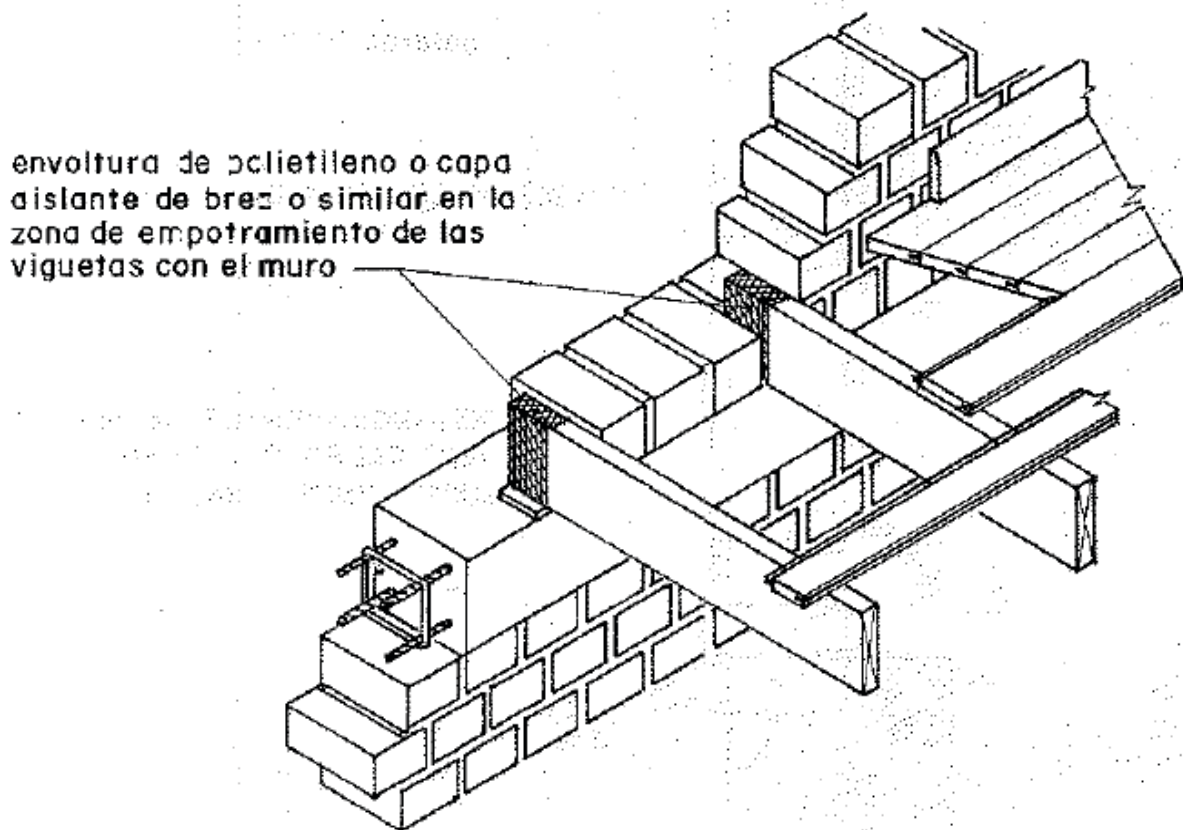
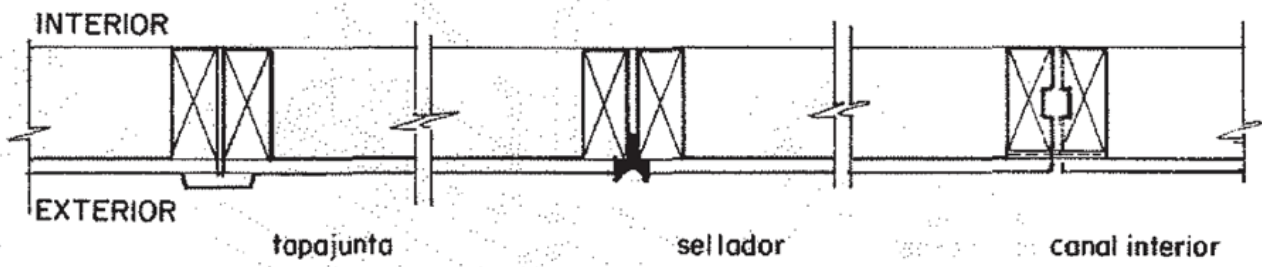
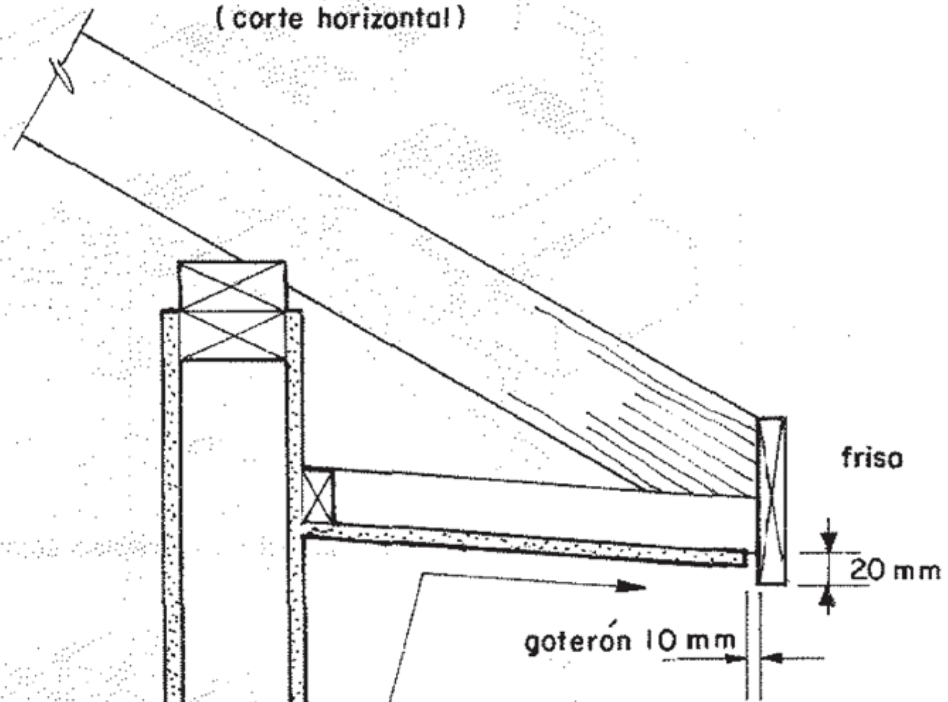


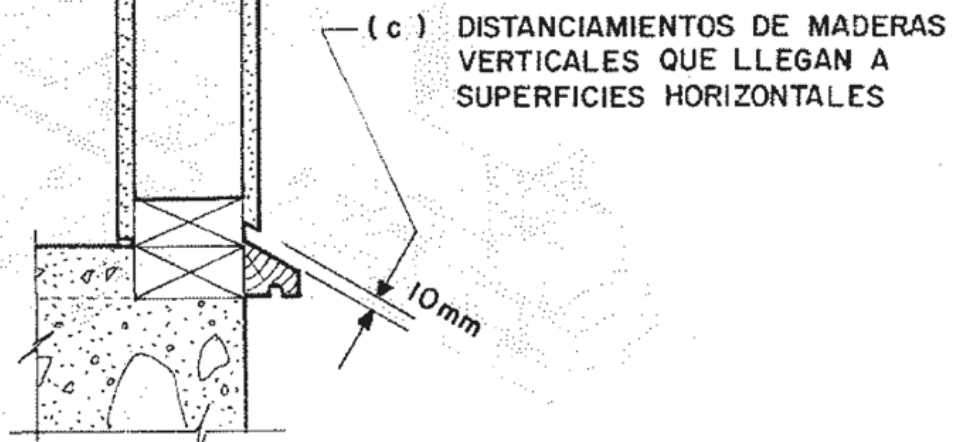
Figura 13: Aislamiento de la humedad en entrepiso sobre muro de ladrillo



(a) PAREDES EXTERIORES
(corte horizontal)



(b) INCLINACION DE ALEROS



(c) DISTANCIAMIENTOS DE MADERAS VERTICALES QUE LLEGAN A SUPERFICIES HORIZONTALES

Figura 14: Protección de la humedad en paredes exteriores

4.3.3. Protección contra hongos

Los hongos que atacan la madera son organismos parásitos de origen vegetal que se alimentan de las células que la componen, desintegrándola. Se reproducen sobre la madera húmeda bajo ciertas condiciones de temperatura, por esporas traídas a través del aire o por el contacto directo con otros hongos. La protección de la madera debe comenzar, desde que se corta. Sin embargo, en la obra debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Debe desecharse la madera con muestras de putrefacción y hongos.
- Debe evitarse el uso de clavos y otros elementos metálicos que atraviesen la madera en las caras expuestas a la lluvia, salvo que se sellen las aberturas. Se recomienda el uso de clavos galvanizados.
- Cuando la madera se instala como enchape, cielo rasos o pisos, debe haber una buena ventilación entre ella y la superficie del material de base, de tal forma que se evite la formación de hongos en la parte posterior del acabado o en su defecto, debe haber una unión completamente sellada entre ella y el material del fondo, tales como los cielo rasos recubiertos con tela asfáltica por la parte superior.

4.3.4. Protección contra insectos xilófagos

La madera puede ser atacada, especialmente en climas húmedos y cálidos, por insectos que perforan su estructura en busca de nutrientes. Entre estos insectos están las termitas aladas, las termitas subterráneas y los gorgojos.

- En zonas donde existan termitas subterráneas, deben eliminarse los restos orgánicos alrededor de la construcción y establecerse barreras de tierra tratada con insecticidas hasta la profundidad de la cimentación.
- Donde existan termitas subterráneas y aladas, deben colocarse barreras o escudos metálicos sobre las superficies de la cimentación en forma completamente continua.
- Donde el riesgo de ataque de insectos sea alto, debe tratarse la madera de construcción con los métodos adecuados.

Las planchas metálicas deben ser inoxidable.

4.3.5. Protección contra el fuego

a. Clasificación de los materiales

Los materiales de construcción se clasifican de acuerdo:

- A su reacción al fuego (capacidad de favorecer la propagación): se clasifica la madera como combustible
- A su resistencia ante el fuego (representa el tiempo que pueden desempeñar su papel con toda seguridad)

De acuerdo a su resistencia ante el fuego es conveniente anotar que la resistencia mecánica de la

madera cuando se quema disminuye solo en función de su destrucción progresiva, es decir, a menor dimensión de la pieza, menor resistencia.

Las grandes piezas de madera sufren una combustión lenta, debido a que su mala conductividad térmica impide expulsar rápidamente la mayor parte de sus gases combustibles, lo cual ocasiona una carbonización superficial. Esta capa de carbón a su vez, empieza a actuar como aislante que protege térmicamente las capas interiores, retardando aun más su destrucción.

La velocidad de combustión de la madera vale en promedio 0.7 mm/min.

Para el diseño debe tenerse en cuenta que la madera es un elemento combustible que se inflama a una temperatura aproximada de 270 °C, aunque algunas sustancias impregnantes o de recubrimiento pueden acelerar o retardar el proceso.

b. Recomendaciones

Se recomienda lo que sigue:

- No deben utilizarse elementos de calefacción que aumenten la temperatura de los ambientes peligrosamente.
- Las paredes próximas a fuentes de calor deben aislarse con materiales incombustibles.
- Las edificaciones adyacentes construidas con madera, deben separarse como mínimo 1.20 m entre sus partes salientes. Si la distancia es menor, los muros no deben tener aberturas y su superficie debe estar recubierta de materiales incombustibles con una resistencia mínima de 1h de exposición. Si están unidas, el paramento común debe separarse con un muro cortafuego de material incombustible. Este muro debe sobresalir en la parte superior por lo menos 0.50 m y en los extremos por lo menos 1.00 m medidos a partir de los sitios que más sobresalgan de las construcciones colindantes. La estabilidad de este muro no debe sufrir con el colapso de la construcción incendiada.
- Las piezas estructurales básicas deben sobredimensionarse 3 y 5 mm en su espesor. En sus caras expuestas.
- Deben evitarse acabados que aceleren el desarrollo del fuego, tales como lacas y barnices óleo soluble.
- En el diseño de las instalaciones eléctricas debe tenerse en cuenta, un claro y fácil acceso a los tableros de circuitos y de control.
- En edificaciones de uso comunitario: escuelas, centros de salud, oficinas, comercios y hoteles, por su tamaño y dada la gran velocidad de propagación del fuego en las estructuras de madera, se debe considerar las siguientes recomendaciones:
 - Acceso rápido y señalizado a las fuentes más probables de incendio.
 - Distribución de extinguidores según las recomendaciones técnicas pertinentes.
 - Salidas de escape suficientes, de fácil acceso y claramente señalizadas.
 - En las edificaciones de varios pisos deben proveerse escaleras exteriores de escape.

- Sistemas automáticos de detección, ya sea por humo o calor.
- Los depósitos para combustible de estufas y calentadores deben localizarse fuera de las edificaciones y deben rodearse de materiales incombustibles o retardadores del fuego.

c. Prevención, previsión y control de incendios

El riesgo contra incendio puede ser controlado mediante una adecuada política de prevención, previsión y control, tal como está expuesto en el [capítulo 12](#) de las NEC.

Sistemas de prevención

Son los recursos que se preparan y disponen en forma anticipada a la aparición de un incendio para reducir la posibilidad de que éste ocurra.

Se basan en dos criterios:

- Exanimación de las fuentes de incendia: fuentes de calor e iluminación, instalaciones eléctricas, materiales inflamables
- Aplicación de tratamientos retardadores de fuego: materiales retardadores de fuego, también llamados ignífugos.

Hay dos métodos disponibles usando retardadores químicos de fuego. Uno consiste en la aplicación de revestimientos de pintura con productos químicos retardantes del fuego. El segundo método consiste en impregnar la madera con sales solubles usando procesos de presión al vacío, como los que se usan en la industria preservadora de la madera.

- Método de Recubrimiento: Consiste en aplicar una capa de retardante en la superficie de la madera.
- Método de Impregnación: Mediante este tratamiento se pretende que la madera no arda fácilmente cuando es sometida a la acción de las llamas o de calor intenso, produciéndose por la general, una carbonización sin llama.

Sistemas de Previsión y Control

Impidan la propagación del fuego, y se basan principalmente en aspectos de diseño arquitectónico, detección y confinamiento del fuego.

4.3.6. Diseño sismoresistente

El diseñador se referirá a la [NEC-SE-DS](#).

a. Comportamiento general de la madera ante un sismo

Se destaca el buen comportamiento estructural de las estructuras en madera durante los sismos, que se relaciona a las siguientes características:

- Poco peso
- Flexibilidad
- Amortiguamiento

- Ductilidad

b. Requisitos básicos

Para lograr que las construcciones de madera tengan una adecuada protección contra sismos es preciso que:

- Las estructuras de madera cumplan los requisitos establecidos en la [NEC-SE-DS](#)
- El diseño arquitectónico cumpla los siguientes requisitos de carácter estructural:
 - Que todos los elementos de la construcción estén debidamente unidos entre sí y la estructura anclada a la cimentación.
 - Que la distribución de los muros en planta sea tal que la longitud de éstos en cada dirección permita resistir los esfuerzos producidos por el sismo.
 - Que la cubierta no sea muy pesada con relación al resto de la estructura.
- Los elementos de las instalaciones de agua y desagüe se fijen a la construcción con soportes que eviten la rotura de los mismos durante los movimientos sísmicos.
- Las uniones de conexión a las redes públicas se hagan por medio de empalmes que permitan movimiento sin romperse.
- Las edificaciones de dos o más volúmenes se comporten independientemente en caso de sismo.

c. Recomendaciones

Se presentan a seguir algunas recomendaciones:

- Proveer flexibilidad en las uniones (no satisfecho por uniones encoladas)
- Fijar todos los elementos (portantes y no portantes) entre sí a través de soleras de amarre, riostras, travesaños...
- Prestar especial atención a la forma de fijación de elementos como chimeneas de ladrillo, parapetos, etc.
- En caso de muros o paredes a base de mampostería, se respetará la [NEC-SE-DS](#) y la [NEC-SE-MP](#) (en particular de acuerdo a la resistencia al corte)
- Privilegiar techos ligeros (menos inercia)
- Pisos elevados: se aconsejan pletinas metálicas unidas con clavos para anclar la estructura de piso a la solera de zócalo, ella misma fijada a la cimentación.
- Muros y tabiques
 - El buen comportamiento de la estructura ante cargas gravitacionales y laterales necesita un buen ensamblaje del entramado de madera y buenos métodos de unión.
 - Los muros deben tener resistencia y rigidez suficiente para resistir solicitaciones laterales (véase muros de corte).

- La buena gestión de las esquinas (2 o más paneles) consiste en rigidizarlos con riostras diagonales (ambos lados en zonas de alto riesgo sísmico).
 - Las riostras son una sola pieza de espesor 25 mm, con inclinación de 30 a 60°, encajando en los pie derechos y soleras.
- Techos: en zonas de alta sismicidad, conviene reforzar la unión techo/pie derecho de los muros, colocando pletinas metálicas o zunchos, por ejemplo.

4.4. Mantenimiento

Toda edificación de madera aunque está bien construida requiere de revisiones, ajustes y reparaciones durante su existencia.

Al poco tiempo de construida probablemente debe ser necesario arreglar fisuras en las uniones de las maderas, desajustes de puertas y ventanas y apretar tornillos o tuercas de pernos para corregir los desajustes debidos al asentamiento del terreno y a la acomodación de la madera a la humedad del ambiente.

Posteriormente debe ser necesario efectuar revisiones periódicas y ejecutar los arreglos necesarios.

- Reclavar los elementos que por la contracción de la madera, por vibraciones o por cualquier otra razón, se hayan desajustado; y, apretar las tuercas en uniones hechas con pernos y tornillos.
- Si se encuentran roturas, deformaciones o podredumbres en las piezas estructurales, se debe dar aviso al constructor.
- Repintar las superficies deterioradas por efectos del viento, de la humedad y del sol.
- Si la madera ha sido tratada con inmunizantes colocados con brocha, aplicar un nuevo tratamiento con la periodicidad y las precauciones que recomienda el fabricante del producto que se use.
- Revisar los sistemas utilizados para evitar las termitas aéreas y subterráneas.
- Fumigar por lo menos una vez al año para evitar la presencia de insectos domésticos y ratas.
- Mantener las ventilaciones de áticos y sobre cimientos sin obstrucciones.
- Inspeccionar posibles humedades que puedan propiciar el crecimiento de hongos y eliminar las causas.
- Limpiar y, si es necesario, arreglar canales y desagües de los techos.
- Verificar la integridad de la instalación eléctrica.
- Verificar los sistemas especiales de protección contra incendios cuando existan.
- En caso de construcciones sobre pilotes, se debe revisar el apoyo homogéneo de la

estructura, su nivelación y el estado de ella.

4.5. Otras consideraciones

Se exponen algunos criterios de diseño que se encuentran detallados en el Manual de Diseño de la JUNAC:

- Protección ante el calor: diseñar la vivienda con circulación de aire, evitando la acumulación de calor. La transmisión de calor debe preverse en la cubierta para salida de aire y en la parte baja para ingreso de aire fresco. Debe procurarse la utilización de aislantes de calor.
- Protección ante los ruidos: los niveles de ruido deben ser corregidos con aislantes acústicos.

5. Diseño estructural

5.1. Consideraciones generales de diseño

5.1.1. Condiciones de resistencia y de rigidez

Se respetarán los requisitos, métodos de análisis y cálculo, bien como recomendaciones del Manual de Diseño de la JUNAC, en particular en sus [capítulos 7 a 12](#).

Además, el apéndice informativo [6.4](#) ilustra las sollicitaciones mecánicas a ser tomadas en cuenta, con referencias al Manual de Diseño de la JUNAC.

5.1.2. Condiciones para madera estructural

La madera empleada en estructuras reunirá las siguientes condiciones:

- Debe ser material clasificado como de calidad estructural, conforme a la sección [3.8](#);
- Debe provenir de especies maderables correspondientes a cualquiera de los tres Grupos Estructurales (A, B o C) definidos en la sección [5.3](#);
- Deben ser piezas de madera dimensionadas de acuerdo a las secciones más usuales;
- Usar madera seca con un contenido de humedad máxima del 19% o del 12% si se trata de madera laminada;
- La madera estructural debe ser de buena durabilidad natural, o, en su defecto, debe ser preservada adecuadamente.
- Los elementos metálicos de las uniones deberán llevar pintura anticorrosiva o en su defecto protección de zincado, si así se especifica en el diseño.

Por fin, salvo casos se puede demostrar lo contrario, el diseño reflejará la no rigidez de las uniones.

5.1.3. Elementos estructurales

El Manual de Diseño de la JUNAC organiza la parte de diseño respecto al dimensionamiento de elementos estructurales siguientes:

- Vigas, viguetas y entablados
- Columnas y entramados
- Muros de corte
- Armaduras ligeras

Se verificarán, según los elementos o sistemas:

- Flexión (tracción y compresión generadas por el propio fenómeno)

- Compresión
- Corte
- Compresión perpendicular
- Flexo compresión
- Flexo tracción
- Deflexión
- Estabilidad

5.1.4. Madera laminada

El diseñador se podrá referir a la sección [G.9.5](#) (MADERA LAMINADA) del título G de la NSR 2010.

5.2. Cargas

Las estructuras de madera deben diseñarse para resistir:

- Las cargas muertas,
- Las cargas vivas
- Las cargas por sismo

El diseñador se referirá a la [NEC-SE-CG](#).

5.3. Clasificación estructural de las maderas

5.3.1. Clasificación por densidad básica

Se agruparon las 105 maderas tropicales estudiadas en 3 grupos estructurales, dependiendo de su densidad básica (DB):

- “A”: DB entre 0.71 y 0.90
- “B”: DB entre 0.56 y 0.70
- “C”: DB entre 0.40 y 0.55.

Respecto a estas clases, se definen las propiedades de resistencia y rigidez definidas más adelante.

5.3.2. Esfuerzos admisibles

Para el diseño estructural deberá usarse los esfuerzos admisibles que consta el Manual de Diseño de la JUNAC. Son consecuencia de un proceso de ensayos con maderas de la Subregión. Los valores indicados están respaldados por un número grande de repeticiones.

Debe tenerse presente que los valores referidos son válidos para madera ESTRUCTURAL, que cumple en su totalidad con la Norma de Clasificación Visual, que se encuentra en el [capítulo 13](#) del Manual mencionado.

Es responsabilidad del calculista especificar madera que cumpla con la Norma de clasificación visual; igualmente se supervisará que la madera que se está usando en la obra cumple con la mencionada norma. Véase el Manual De Clasificación Visual, publicado por la JUNAC.

El Manual de Diseño de la JUNAC constan tres grupos para madera estructural “A”, “B” y “C”. Nuevas especies de madera cuyas densidades básicas se conozcan, se pueden incluir en uno de los grupos estructurales que corresponda.

ESFUERZOS ADMISIBLES ⁴ (MPa)					
Grupo	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
	f_m	f_t	f_c	$f_{c\perp}$	f_v
A	21	14.5	14.5	4	1.5
B	15	10.5	11	2.8	1.2
C	10	7.5	8	1.5	0.8

Tabla 5: Esfuerzos admisibles para la madera (MPa)

*Estos esfuerzos son indicados para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca.

NOTA: se podrán usar datos de investigaciones realizadas con las maderas de la zona andina, tales como los producidos por la Universidad de Medellín.

5.3.3. Módulo de elasticidad

Los valores del módulo de elasticidad o módulo de Young **E** para los tres grupos estructurales, que constan en el Manual, serán los que se usarán para el dimensionamiento de elementos en flexión, y para elementos en compresión y tracción paralelos a las fibras.

Se incluyen dos valores para “**E**”:

- E_{\min} ($E_{0.05}$): valor mínimo, que será válido para el cálculo de elementos individuales tales como vigas o columnas
- E_{promedio} : valor promedio, adecuado para el diseño de elementos en los que exista una acción de conjunto, por ejemplo en viguetas para entablados y pies derechos en tabiques y/o entramados.

⁴ Estos valores son indicados para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca

MODULO DE ELASTICIDAD ⁵ (MPa)		
Grupo	E_{\min} ($E_{0.05}$)	E_{promedio}
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	90000

Tabla 6: Modulo de elasticidad para la madera (MPa)

5.3.4. Factores de reducción de resistencia

Se definen 4 coeficientes de reducción de resistencia:

- FC: Factor de reducción por calidad (permite tomar en cuenta las reducciones por defectos - véase norma de clasificación visual - y por tamaño)

FS: Factor de servicio y seguridad (permite tomar en cuenta varias incertidumbres - conocimiento de las propiedades del material, defectos no detectados, tipo de falla frágil o dúctil, dimensiones reales, etc.).

- FT: Factor de reducción por tamaño (permite tomar en cuenta la disminución del esfuerzo de rotura a flexión para secciones de mayo tamaño)
- FDC: Factor de duración de carga (permite tomar en cuenta que los esfuerzos de rotura de la madera disminuyen con la duración de aplicación de la carga)

Estos factores varían según el tipo de sollicitación. Se determinaran mediante las tablas de la [sección 7.4](#) del Manual de Diseño de la JUNAC (PARTE II).

5.4. Uniones

5.4.1. Alcance

Las prescripciones de este capítulo se refieren a uniones clavadas y enclavadas. Se aceptan otro tipo de uniones siempre y cuando los fabricantes y constructores cumplan con las normas aceptadas internacionalmente.

La unión entre los elementos de madera requiere especial atención, para el cual existen diferentes procedimientos.

El diseñador se referirá al [capítulo 12](#) del Manual de Diseño de la JUNAC, que trata de:

- Uniones clavadas,
- Uniones enclavadas.

NOTA: dependiendo de las condiciones de servicio, en particular la exposición a las intemperies, se deberán usar uniones metálicas con tratamiento anti-corrosivo.

⁵ Estos valores son indicados para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca

5.4.2. Uniones clavadas

Los procedimientos para uniones sometidas a cizallamiento (esfuerzo cortante) son:

- Definir las cargas actuantes en la unión y su orientación con respecto a las piezas de madera
- Seleccionar el diámetro y la longitud de los clavos
- Determinar la carga admisible para un clavo a simple cizallamiento; A continuación, se pueden analizar clavos a doble cizallamiento, clavos lanceros y clavos a tope; ídem para uniones con madera seca

Los procedimientos para uniones sometidas a extracción:

- Definir las cargas actuantes en la unión y su orientación con respecto a las piezas de madera
- Seleccionar el diámetro y la longitud de los clavos
- Determinar la longitud de penetración y calcular la carga admisible para un clavo perpendicular al grano; ídem para clavos lanceros; ídem para clavos en madera seca
- Determinar el número de clavos y su ubicación

Se usa por lo menos 2 clavos.

Se aconseja un pretaladro para maderas densas (grupo A).

Los criterios expuestos son aplicables para clavos comunes de alambre de acero, de sección circular y caña lista. Los criterios son conservadores para otro tipo de acabado, y sobre todo para clavos de alta resistencia.

Se preverá un tratamiento anticorrosivo de los clavos, según la humedad de servicio, y el contenido de humedad de la madera clavada.

5.4.3. Uniones empernadas

Los procedimientos son:

- Definir las cargas actuantes en la unión y su orientación, y seleccionar el diámetro de los pernos
- Determinar la carga admisible por perno (sometidos a doble, simple o múltiple cizallamiento)
- Estimar el número de pernos requerido y definir su ubicación
- Reducir la carga admisible por efecto de grupo
- Verificar la carga admisible en la unión, y en caso necesario, aumentar el número de pernos o su diámetro.

Las recomendaciones se aplican a uniones empernadas de 2 o más elementos de madera.

Los pernos y pletinas metálicas deben ser de acero estructural con resistencia a fluencia mínima

de 2300 kg/cm². Se deben evitar efectos de aplastamiento colocando elementos entre pernos y madera (arandelas, etc.).

Se debe tomar en cuenta las condiciones de humedad, y caso necesario tratamiento anticorrosivo de las uniones.

5.4.4. Otros medios de validación permitidos

Considerando el desarrollo de varios tipos de uniones metálicas de calidad, incluso en términos de comportamiento sísmico, se aceptará validación de uniones mediante procedimientos de cálculos o programas desarrollados por empresas especializadas. En este caso, el diseñador tendrá que detallar las hipótesis de cálculo.

6. Apéndices

6.1. Media anual del CHE de la madera en localidades del Ecuador

Mediante un cuadro, se presenta de todas y cada una de las provincias, un listado de 140 localidades del país con los datos de temperatura, humedad relativa y el correspondiente promedio anual del contenido de humedad de equilibrio de la madera:

6.1.1. Provincia del Carchi

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Tulcán	11,3	80,0	17,5
El Ángel	11,7	72,5	14,6
El Carmelo	12,2	87,5	20,8
San Gabriel	12,4	82,9	19,0
Mira	17,2	78,3	16,8

6.1.2. Provincia de Imbabura

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Salinas	19,4	76,7	16,0
Ibarra	15,4	80,8	17,8
Cahuasquí	16,9	83,0	18,7
Sigsicunga	9,9	81,1	17,6
Atuntaqui	15,4	77,7	16,5
Otavalo	14,4	74,6	15,3
San Pablo del Lago	13,6	82,4	18,5

6.1.3. Provincia de Pichincha

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Malchinguí	13,3	76,2	16,0
Olmedo	10,9	77,5	16,5
Ascázubi	15,1	76,0	15,9
Cochasquí	12,4	73,8	15,1
Perucho	18,5	74,3	15,2
Tabacundo	13,1	75,7	15,8
Quito	13,5	74,6	15,4
Mindo	19,2	90,8	22,4
San Miguel de los Bancos	20,0	93,7	24,4
Tumbaco	16,7	76,9	16,2
Conocota	15,2	77,2	16,3
Uvumbicho	13,6	85,0	19,7
Machachi	12,5	81,6	18,1
Santo Domingo de los Sáchilas	22,0	90,8	22,2
Alluriquín	22,2	88,1	21,0
Chiriboga	16,3	88,6	21,3
Puerto Ila	23,1	88,5	21,1

6.1.4. Provincia de Cotopaxi

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Estación Cotopaxi	7,8	91,1	22,5
Latacunga	13,0	75,4	15,6
La Maná	23,9	88,2	21,2
Pilaló	12,6	91,3	22,9
El Corazón	17,7	94,3	25,0
Pujilí	12,7	75,4	15,6
Salcedo	13,9	74,7	15,4

6.1.5. Provincia de Tungurahua

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Pisavambo	7,2	88,7	21,2
Píllaro	13,4	79,2	17,1
Ambato	14,1	76,0	15,9
Patate	15,8	87,7	21,0
Pedro F. Cevallos	12,6	83,4	18,9
Baños	16,7	83,0	18,7

6.1.6. Provincia de Bolívar

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
San Simón	14,2	80,8	17,8
San Pablo de Atenas	13,4	88,2	21,1
Chillanes	13,3	87,5	20,5
Balzapamba	20,2	94,0	24,6

6.1.7. Provincia de Chimborazo

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Riobamba	13,4	71,4	14,1
Guaslán	14,1	78,2	16,8
Guamote	13,0	82,7	18,6
Rangor	9,0	84,8	19,6
Tixan	7,8	86,4	20,3
Alausí	14,7	77,3	16,4
Chunchi	14,8	86,5	20,4

6.1.8. Provincia de Cañar

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Biblián	14,5	73,2	14,8
Manuel J. Calle	24,7	84,3	19,0
Cañar	10,8	76,2	15,9

6.1.9. Provincia del Azuay

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Paute	17,1	75,3	15,6
Cuenca	14,9	70,5	13,8
El Labrado	8,5	87,8	20,9
Ucubamba	15,6	71,6	14,1
Gualaceo	17,0	72,8	14,6
Santa Isabel	19,5	74,2	15,1

6.1.10. Provincia de Loja

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Saraguro	12,9	83,3	18,9
La Toma	23,8	63,2	11,8
Loja	15,4	72,4	14,5
Catacoda	18,4	82,7	18,5
Malacatos	20,7	74,2	15,0
Célica	15,1	84,5	19,5
Gonzanamá	17,1	83,5	18,9
Vilcabamba	20,4	76,5	15,9
Cariamanga	18,1	79,4	17,2
Yangana	18,9	82,3	18,4
Macará	24,9	67,3	12,8

6.1.11. Provincia de Esmeraldas

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
San Lorenzo	25,5	86,0	19,8
Borbón	25,4	85,7	19,7
Esmeraldas	25,6	84,5	19,1
Cayapas	25,8	89,5	21,5
Muisne	24,7	85,8	19,7
Quinindé	24,6	90,5	21,9

6.1.12. Provincia de Manabí

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
El Carmen	23,7	86,6	20,1
La Concordia	23,8	86,4	20,1
Jama	24,8	82,7	18,3
Charapotó	25,3	83,1	18,5
San Vicente	24,6	81,2	17,7
Bahía de Caraquez	24,7	81,1	17,6
Pedernales	24,8	82,3	18,2
Chone	25,5	86,8	20,3
Tosagua	25,7	83,6	18,8
Calceta	25,6	76,8	15,8
Rocafuerte	25,2	79,5	17,0
Flavio Alfaro	24,6	85,5	19,7
Manta	25,0	77,6	16,2
Portoviejo	24,7	76,4	16,0
Poza Honda	25,3	82,1	18,0
Santa Ana	25,5	77,8	16,3
Jipijapa	21,6	80,8	17,7

6.1.13. Provincia de Los Ríos

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Quevedo	24,4	83,6	18,8
Vinces	25,2	79,6	17,0
Babahoyo	25,5	81,8	17,9
La Clementina	24,3	85,2	19,5
Isabel María	25,0	80,6	17,4

6.1.14. Provincia del Guayas

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Balzar	25,5	82,0	18,0
Daule	25,7	79,6	17,0
Milagro	24,6	80,9	17,6
Bucay	22,8	90,0	21,7
Salinas	23,2	80,9	17,6
Guayaquil	25,0	79,5	17,0
San Carlos	24,9	82,5	18,2
Ancón	23,7	89,1	21,3
Taura	25,4	78,1	16,4
Playas	24,2	79,0	16,8
Naranjal	25,0	85,8	19,7
Tenguel	25,0	88,2	21,0

6.1.15. Provincia de El Oro

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Machala	25,0	79,5	17,0
Pasaje	23,8	83,3	18,6
Arenillas	25,1	82,1	18,1
Zaruma	22,0	83,7	19,0
Marcabellí	23,0	83,5	18,8
Santa Rosa	25,0	87,8	20,8

6.1.16. Provincia del Napo

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Putumayo	25,3	85,3	19,5
El Coca	25,5	88,7	21,1
Limoncocha	24,6	89,0	21,3
Tiputini	25,3	87,4	20,5
Lago Agrio	25,4	84,9	19,3
El Chaco	18,3	88,2	21,1
Baeza	16,7	88,8	21,4
Tena	23,1	89,2	21,4
Rapallacta	9,4	92,4	23,6

6.1.17. Provincia de Pastaza

	Temperatura media anual	Humedad relativa promedio	Humedad de equilibrio de la madera (media
Localidad	°C	anual %	anual)%
Pastaza	20,1	85,8	19,8
Puyo	20,4	86,2	20,1
Curaray	24,9	88,0	20,9

6.1.18. Provincia de Morona Santiago

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Macas	20,9	86,7	20,3
Taisha	24,0	87,0	20,4
Sucúa	21,8	87,2	20,5
Méndez	24,4	94,5	24,9

6.1.19. Provincia de Zamora -Chinchi

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Zamora	21,0	83,4	18,8

6.1.20. Provincia Insular Galápagos

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual)%
Seymur	24,2	74,4	14,9
Santa Cruz	23,8	91,2	22,5
San Cristóbal	23,9	79,5	17,0
Isabela	23,5	85,4	19,6

Nota:

En este listado de Provincias, no constan como tales, las tres provincias nuevas que se crearon en los últimos años; ellas son: Sucumbíos, Santo Domingo de los Tsáchilas y Santa Elena. No obstante ello, sí consta la información que hoy interesa, la cual se encuentra dentro de la información de las Provincias a las que antes pertenecieron las tres Provincias en cuestión.

BIBLIOGRAFÍA:

ORBE VELALCAZAR, J. Contenido de humedad de equilibrio de la madera en varias localidades del Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Nacional Forestal, Sección Tecnología de la Madera, Centro de Capacitación e Investigación Forestal. Conocoto-Ecuador. 1989. 48.

6.2. Apéndice informativo: algunas especies maderables del Ecuador

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Caimitillo	<i>Chrysophyllum cainito</i>
Chanul	<i>Humiriastrum procerum</i>
Chimi	<i>Pseudolmedia laevigata</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>
Fernán Sanchez, Muchín	<i>Triplaris guayaquilensis</i> , <i>Triplaris</i> <i>sp.</i>
Guayacán pechiche	<i>Minquartia guianensis</i>
Jíbaro	<i>Pithecellobium latifolium</i>
Laguno	<i>Vochysia macrophylla</i>
Mascarey, Laguna	<i>Hieronyma chocoensis</i>
Moral fino	<i>Chlorophora tinctoria</i>
Pacora	<i>Cespedezia spathulata</i>
Piaste	<i>Guarea sp.</i>
Pino insigne	<i>Pinus radiata</i>
Pituca	<i>Clarisia resemosa</i>
Romerillo azuceno	<i>Podocarpus oleifolius</i>
Romerillo fino	<i>Podocarpus rospiglosii</i>
Sande	<i>Brosimum utile</i>
Seique	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>
Tangama	<i>Parkia sp.</i>
Yumbingue	<i>Terminalia amazonia</i>

Tabla 7: algunas especies maderables del Ecuador

6.3. Apéndice informativo: interacciones agua/madera

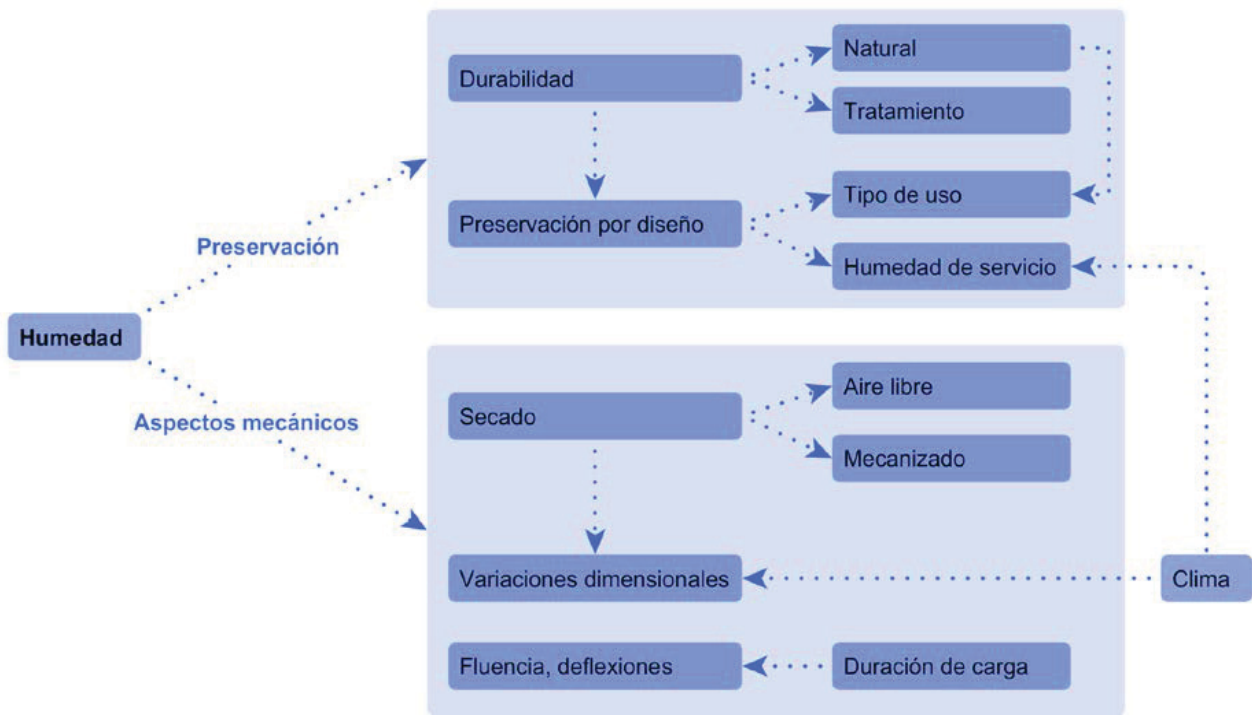


Figura 15: interacciones agua/madera

6.4. Apéndice informativo: solicitaciones mecánicas a comprobarse

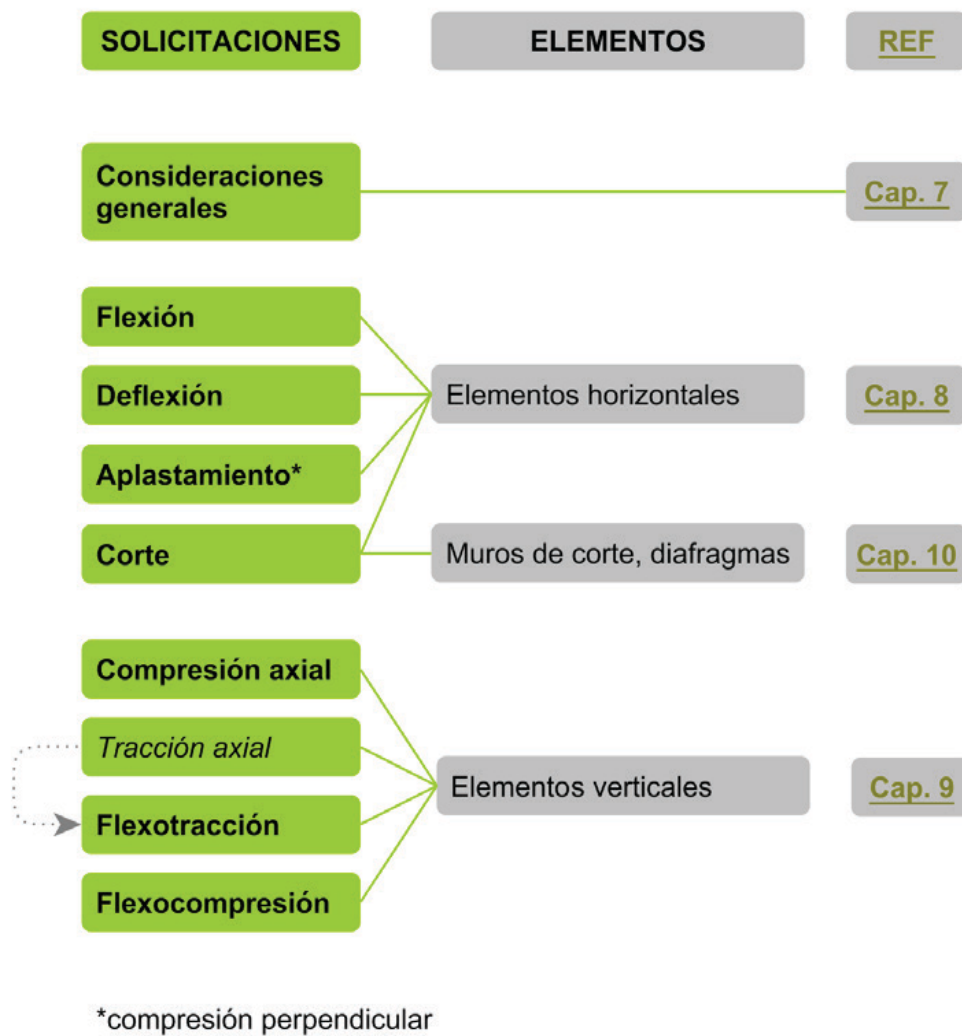


Figura 16: solicitaciones mecánicas del Manual de Diseño de la JUNAC

SOLICITACIONES	ELEMENTOS	REF	
Flexión ↓ Fuerzas axiales ↓ Combinaciones de fuerzas	Vigas, viguetas, entablados	8.2.1	
	Muros de corte	Ref.	
	Armaduras	11.5.4	
	Columnas	9.6	
	Tracción axial	Véase <i>Flexotracción</i>	
	Armaduras	11.5	
	Compresión axial	Columnas	9.7
	Muros de corte	Ref.	
	Armaduras	11.5	
	Flexotracción	Columnas, armaduras	9.9
Solicitaciones perpendiculares	Flexocompresión	Columnas, armaduras	9.8
	Armaduras	11.5.4	
	Corte	Vigas, viguetas, entablados	8.2.2
	Muros de corte	10.5	
	Aplastamiento	Vigas, viguetas, entablados	8.2.3
Condiciones de servicio	Deflexión	Vigas, viguetas, entablados	8.1
	Armaduras	11.4.2	
	Estabilidad	Vigas, viguetas, entablados	8.3
	Columnas, armaduras	9.7	
	Muros de corte	10.3	
	Armaduras	11.6	

Figura 17: solicitaciones mecánicas detalladas del Manual de Diseño de la JUNAC



Ministerio
de **Desarrollo**
Urbano y Vivienda

Para mayor información
puede contactar a
nec@miduvi.gob.ec

Síguenos en



[/ViviendaEcuador](#)



[@ViviendaEc](#)

www.habitatyvivienda.gob.ec



Ministerio
de **Desarrollo**
Urbano y Vivienda



Ministerio Coordinador
de **Seguridad**



Secretaría Nacional
de **Gestión de Riesgos**



Secretaría de
Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación



MIDUVI

Av. Amazonas N24 -196 y Luis Cordero
Código Postal: 170517 / Quito - Ecuador

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Jonnathan Paúl Rivas Peña** y **Inés Yuliana Torres Carrión** portadores de las cédulas de ciudadanía N. ° **0104702923** y **0706432721**. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Paneles de revestimiento acústico uso de materiales compuestos reforzados con fibras de Totorá adaptados al centro pedagógico de la ciudad de Cuenca”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 31 de Octubre de 2022

F:
Jonnathan Paúl Rivas Peña
0104702923

F:
Inés Yuliana Torres Carrión
0706432721