



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA  
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MADERAS Y SUS BIOMATERIALES**

---

**COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE TRES TIPOS DE VIVIENDAS: UN  
PROTOTIPO DE VIVIENDA DE EMERGENCIA FABRICADO BAJO EL SISTEMA  
CONSTRUCTIVO SIP (Structural Insulated Panel), UNA VIVIENDA SOCIAL Y UNA  
VIVIENDA DE EMERGENCIA ACTUAL (mediagua)**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniera de la Madera

**NIDIA FERNANDA PINO GARAY**

Profesora guía: Sra. Rose Marie Garay Moena  
Magister en Ciencias Forestales con Mención en Ciencias e Industrias de la Madera

---

**Santiago, 2016**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y**  
**DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA MADERA Y SUS**  
**BIOMATERIALES**

**COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE TRES TIPOS DE VIVIENDAS:**  
**UN PROTOTIPO DE VIVIENDA DE EMERGENCIA FABRICADO**  
**BAJO EL SISTEMA CONSTRUCTIVO SIP (Structural Insulated**  
**Panels), UNA VIVIENDA SOCIAL Y UNA VIVIENDA DE**  
**EMERGENCIA ACTUAL (mediagua)**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero de la Madera

**NIDIA FERNANDA PINO GARAY**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sra. Rose Marie Garay Moena	....6,8....	.....
Prof. Consejero Sr. Ángel Navarrete	....5,7....	.....
Prof. Consejero Sr. Javier González Molina	.... 6,5....	.....

## INDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
1.- INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Antecedentes sobre aislación acústica en viviendas sociales.....	6
1.2 La Madera para construcción y aislación acústica .....	8
2.-MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1.- Materiales.....	14
2.1.1 Tableros a base de madera para revestimiento interior y exterior .....	14
2.1.2 Viviendas para la determinación del comportamiento acústico .....	16
2.2.-Equipos.....	18
2.3.-Método .....	20
2.3.1 Método de evaluación de índice acústico de tableros.....	20
2.3.2. Método de evaluación viviendas.....	21
2.3.3 Determinaciones del comportamiento acústico de las viviendas.....	22
2.3.3.1 Requerimiento para la correcta aplicación de la metodología.....	22
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
3.1.-Resultados de evaluación de Índice de reducción acústica de tableros .....	24
3.2.-Discusión del ensayo índice de reducción acústica de tableros .....	27
3.3 Resultados de Evaluación del Comportamiento acústico de Viviendas.....	28
3.3.1.- Muro pareado de panel SIP + yeso cartón vs Muro de ladrillo .....	29
3.3.2.-Pared divisor de ambiente de panel SIP vs Pared yeso cartón vivienda social ..	31
3.3.3.-Pared divisor de ambiente de la vivienda mediagua .....	32
3.4.1.-Soluciones constructivas para mejorar índice de reducción acústica.....	34
4.-CONCLUSION.....	39
5. BIBLIOGRAFÍA .....	40

## ÍNDICE

### Figuras

Figura 1. Emisión de ruido entre muros pareados.....	4
Figura 2. Esquema de prototipo de Vivienda de emergencia.....	9
Figura 3. Tabique ladrillo vs Tabique madera .....	11
Figura 4. Tabique entramado de madera y Tabique doble.....	12
Figura 5. a) Esquema de prototipo de vivienda de emergencia, b) Diseño Vivienda de Emergencia, c) Prototipo de viviendas pareadas instaladas en Santiago.....	17
Figura 6. Foto vivienda social de estudio.....	18
Figura 7. Foto mediagua de estudio.....	18
Figura 8. a) Sonómetro y principal función del instrumento, b) Parlante ocupado como fuente sonora, c) Calibrador para el sonómetro .....	19
Figura 9. Ficha detallada del elemento de estudio.....	21
Figura 10. Distribución de las posiciones del sonómetro y fuente sonora.....	23
Figura 11. Aislamiento acústico MDF 1 (9 mm) .....	25
Figura 12. Aislamiento acústico MDF 2 (5,5 mm). .....	25
Figura 13. Aislamiento acústico MDF 3 (12 mm) .....	25
Figura 14. Aislamiento acústico MDF 4 (15 mm). .....	25
Figura 15. Aislamiento acústico PLY 1 (9 mm) .....	25
Figura 16. Aislamiento acústico PLY 2 (15 mm) .....	25
Figura 17. Aislamiento acústico PLY 3 (9 mm) ranurado .....	26
Figura 18. Aislamiento acústico PLY 4 (12 mm) .....	26
Figura 19. Aislamiento acústico PB1 (18 mm).....	26
Figura 20. Aislamiento acústico PB2 (6 mm).....	26
Figura 21. Aislamiento acústico PB3 (8 mm).....	26
Figura 22. Aislamiento acústico POSB 1 (11,1 mm).....	26
Figura 23. Aislamiento acústico POSB 2 (15,1 mm).....	26
Figura 24. Aislamiento acústico PHB 1 (3,2 mm).....	26
Figura 25. Comportamiento del sonido a través del muro pareado (panel SIP + yeso cartón) en la vivienda de emergencia.....	29
Figura 26. Comportamiento del sonido a través del muro de ladrillo pareado en la Vivienda Social.....	30
Figura 27. Comportamiento del sonido a través de la pared divisora del ambiente (panel SIP) en la vivienda de emergencia.....	31
Figura 28. Comportamiento del sonido a través de la pared de yeso cartón divisor de ambiente en la vivienda social .....	32
Figura 29. Comportamiento del sonido a través de la pared divisor de ambiente en la mediagua .....	33
Figura 30. a) pared de doble perno, b) Pared Escalonada, c) Montado de pared solo de un lado, d) suelo típico/sistema de techo, e) Vías de transmisión del sonido.....	35

## **INDICE**

### **Tablas**

Tabla 1. NPS máximos permitidos por el decreto 38 para las distintas zonas.....	5
Tabla 2. Propiedades de tableros ensayo Índice de Reducción acústica.....	16
Tabla 3. Medición del índice de reducción acústica (RW) del tablero MDF .....	24
Tabla 4. Medición del índice de reducción acústica (RW) del tablero PLY.....	24
Tabla 5. Medición del índice de reducción acústica (RW) del tablero PB .....	24
Tabla 6. Medición del índice de reducción acústica (RW) del tablero OSB y HB .....	24
Tabla 7. Análisis Rw del muro SIP + yeso cartón pareado en la vivienda de emergencia..	24
Tabla 8. Análisis Rw del muro ladrillo pareado en la vivienda social.....	30
Tabla 9. Análisis Rw de la pared SIP separador de ambiente vivienda de emergencia.....	31
Tabla 10. Análisis Rw de la pared yeso cartón divisor de ambiente vivienda social.....	32
Tabla 11. Análisis Rw de la pared divisor de ambiente en la mediagua.....	32

## RESUMEN

El proyecto Fondef D09I1058, desarrolló una vivienda de emergencia en paneles SIP cumpliendo la reglamentación térmica, al fuego y mecánica de viviendas sociales. Esta vivienda no fue diseñada para cumplir la reglamentación acústica para no aumentar los costos, aunque este criterio técnico fue evaluado, los resultados de aislamiento acústico corresponden al que obtuvieron en virtud de cumplir los criterios prioritarios, que impactan positivamente en la aislación acústica. Se evalúa el aislamiento acústico de esta vivienda, una mediagua y una vivienda social fabricada en ladrillo. Los resultados obtenidos se comparan entre sí y con la normativa NCh 352 of 2000 contemplada en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción del MINVU para viviendas sociales, basada en atenuación mínima de 45 dB en muro pareado. Los ensayos se basan en la norma Chilena NCh 2785 of 2003 para las mediciones del sonido, mediante un sonómetro y un parlante que emite sonido constante a 107 dB y mide 12 posiciones de la habitación, centrando los resultados en la atenuación del muro divisorio entre viviendas. Las mediciones leídas por el software del sonómetro son llevadas a gráficos comparativos. La vivienda social cumple la normativa (42 dB). El prototipo de vivienda no cumple (39 dB), aunque se encuentra muy cerca realizando pequeñas modificaciones. La mediagua, no cumple (6 dB), siendo la que presenta atenuación más baja, evidenciando la precariedad de los materiales y su mal ensamblado, que impactan en la mala calidad de vida de sus habitantes.

Adicionalmente se mide índice de reducción acústica de tableros de madera de uso frecuente en construcción. Los tableros MDF, OSB, Plywood, Hardboard y de partículas fueron considerados, el software arrojó que el tablero de partículas y Hardboard presentaron el nivel más alto de índice de reducción acústica (20 dB), seguido del tablero OSB (19 dB) y los tableros MDF y Plywood son los índices más bajos (17 dB).

## ABSTRACT

The Fondef D09I1058, project developed emergency housing in SIP panels complying with thermal regulation, fire and mechanical social housing. This house was not designed to meet noise regulations to not increase costs. This technical approach is evaluated and the results correspond to that achieved under meet the priority criteria that impact positively on acoustic insulation. sound insulation of the dwelling, a mediagua and social housing made of brick is evaluated. The results obtained are compared with each other and with the NCH 352 of 2000 "*Ordenanza General de Urbanismo y Construcción*" of Ministry Housing (MINVU) regulations for social housing, based on minimum attenuation of 45 dB in paired wall.. The tests are based on the Chilean norm NCH 2785 of 2003 for measurements of sound using a sound level meter and a speaker that emits constant sound at 107 dB and measures 12 positions of the room, focusing results in attenuation of the separation wall between houses. Measurements are read by the sound level meter and software carried comparative graphs of the 3 houses. Social housing complies (42 dB). The prototype of housing does not meet (39dB), although it is very close to making minor modifications. The mediagua, does not meet (6 dB), the lower attenuation presented, demonstrating the precariousness of the materials and their evil assembly, which impact on the poor quality of life of its inhabitants.

Additionally sound reduction index of wood boards often used in construction is measured, the MDF, OSB, Plywood, hardboard and particleboards were include, the study was conducted under the Chilean norm NCH 2785 of 2003, as well as made in homes, fearlessness software that particle board and hardboard have the the highest level of sound reduction index (20 dB ), followed by the OSB (19 dB) and MDF and Plywood boards are the lowest levels (17 dB).

## 1. – INTRODUCCIÓN

La madera es el material de construcción que posee las mayores ventajas: es liviana, durable y ecológica. Su constitución en base a fibras de celulosa de una matriz de lignina, hemicelulosa y extraíbles, crean una estructura tridimensional que permite combinar dos cualidades importantes para su uso en la construcción. La primera, su densidad, es en la mayoría de los casos estructuralmente muy resistente, muy dúctil y puede soportar fuerzas extremas por corto tiempo sin fallar, es decir puede soportar deformaciones no permanentes.

Así mismo, su estructura fibrosa da al material ligereza y buen comportamiento como material aislante. Su baja transmitancia térmica aporta excelentes propiedades aislantes y ayuda a reducir el problema de puentes térmicos, que es más complejo en el hormigón y el acero. Sin embargo, hay criterios en que la madera requiere complementar con otros materiales, particularmente en la protección contra fuego, el comportamiento acústico y la poca inercia térmica, es decir la capacidad de activar la masa de almacenamiento de calor para prevenir un rápido efecto de calentamiento o enfriamiento. (Saleh, 2012 y 2013).

Debido a la interacción entre la arquitectura y la acústica, resulta útil, considerar la capacidad de la madera y materiales en base a madera como aislantes acústicos. Para estudiar el campo de las reacciones humanas ante el sonido. El umbral de la audición humana está limitado a 0 dB, el equivalente a una presión de  $2 \times 10^{-5}$  Pa o a una energía de  $10^{-16}$  W/cm<sup>2</sup>, el límite del dolor inducido por el ruido es a los 120 dB o 20 Pa o  $10^{-4}$  W/cm<sup>2</sup>.

Así, el rango de tolerancia al sonido por los humanos es muy amplio. Edificios construidos con una acústica satisfactoria se caracterizan por el control de la pérdida en la transmisión del sonido a través de los elementos de la construcción, la absorción del sonido dentro del recinto y la transmisión del ruido de una habitación a otra. La madera sólida y algunos compuestos en base a madera pueden ser considerados materiales acústicos por su habilidad de absorber una importante cantidad de sonido incidente en función de reducir el nivel de presión de sonido o el tiempo de reverberación en la habitación. Materiales de madera son aplicados a las superficies de paredes y cielos o a las plataformas de piso y son ocasionalmente suspendidos en el espacio de la habitación, dependiendo de los requerimientos de la habitación, para escuchar discursos y música, en oficinas, edificios industriales, hogares, etc.

Cremer y Muller en 1982, citado por Bucur 2010, demostraron que "es posible lograr algunos objetivos predeterminados de diseño acústico al seleccionar las superficies de cierre para absorber, reflejar o transmitir la onda incidente. Qué tan bien se logre este objetivo dependerá del conocimiento del diseñador y la habilidad del uso y selección de materiales".

Similares afirmaciones han sido propuestas por todos los acústicos involucrados en la acústica arquitectural. La eficiencia en la absorción y reflexión del sonido sobre el espectro audible están fuertemente relacionados a la estructura interna del material, el tratamiento de superficie, tipo de montaje, geometría, etc. por ejemplo, el contrachapado y el tablero de

partículas proveen absorción en las frecuencias bajas del espectro (<500 Hz) y materiales artificiales porosos son excepcionalmente eficientes como absorbentes en frecuencias de rangos medios y altos (2000-4000 Hz), como refiere Beranek en 1988, citado por Bucur 2010.

Aunque estos análisis son bastante comunes en arquitectura acústica, no lo son tanto a la hora de entregar conocimientos y ensayos específicos en el ámbito de las viviendas y menos aun cuando la madera y los tableros son los materiales predominantes. En este caso, la influencia de la organización estructural de la madera en las características de absorción de sonido, materiales en base a madera como aislantes de sonido y algunos aspectos de la utilización de la madera y compuestos en base a ella en la acústica de habitaciones resultan relevantes para aportar en la toma de decisiones para la construcción sustentable y la eficiencia integral esperada, o dicho de otra forma, la satisfacción de criterios múltiples.

Los estándares acústicos que deben poseer las edificaciones es un tema de creciente desarrollo, dado el explosivo crecimiento de las ciudades y de su actividad, que hacen de los centros urbanos lugares cada vez más ruidosos. Esto ha motivado el establecimiento de normas que regulen el nivel de ruido a medirse al interior de las edificaciones y el aislamiento que deben poseer sus paredes. En el caso de Chile, las construcciones de uso no habitacional se encuentran reguladas por la norma NCh 352.Of61: Condiciones Acústicas que deben Cumplir los Edificios. Esta norma data del año 1961 y regía sobre todas las edificaciones existentes y a construirse en el país. Desde el año 2000 tras la promulgación de la norma NCh 352/1.Of2000: Aislación acústica - Parte 1: Construcciones de uso Habitacional - Requisitos mínimos y ensayos. Las construcciones de uso habitacional se rigen por esta última. Esta norma está debidamente actualizada y corresponde a las necesidades actuales que requiere la población para las construcciones con fines habitacionales (Bustos, 2011).

En Chile cuando ocurre una catástrofe que afecta a las personas, el gobierno se encarga de que los afectados cuenten con un refugio o vivienda transitoria de emergencia en donde puedan permanecer mientras se soluciona el problema de su vivienda definitiva. (ONEMI, 2015).

La vivienda transitoria conocida como mediagua, está fabricada de tabiques de madera y planchas de zinc. En la actualidad, por su carácter de emergencia, la reglamentación que las rige es débil e incompleta, abordando sólo aspectos de especificaciones de materiales y superficies, pero no de cumplimiento a criterios técnicos como normas de confort térmico, resistencia al fuego.

Esto se debe a que este tipo de construcciones, básicas de emergencia tienen por fin resguardar a la familia afectada por un corto tiempo, Sin embargo, son ocupadas por mucho más tiempo del que debería ser, pudiendo llegar a pasar años en este tipo de vivienda. Como no existe un reglamento aplicable a este tipo de vivienda, por ser de carácter transitorio y básico, no cumple con la normativa chilena de confort acústico, la que sólo es aplicable y exigible a construcciones mayores tales como edificios. (Garay et al, 2014).

El proyecto Fondef D09I1058 “Desarrollo de bases técnicas y normativas para prototipos de vivienda modular, con énfasis en soluciones de emergencia, bajo criterios técnicos, geográficos y económicos que mejoren su eficiencia y funcionalidad”, ha diseñado y construido un prototipo de vivienda de emergencia en base a paneles OSB (*Oriented Strand Board*), empleando el sistema constructivo SIP (*Structural Insulated Panels*).

Por otro lado, las viviendas sociales, que nacieron por el incremento en la demanda de casas en los países en vías de desarrollo, en su mayoría son ocupadas por la clase trabajadora y están construidas con muros de ladrillo-cemento en su perímetro y tabiquería en madera con forro en yeso-cartón en divisiones, estas viviendas cumplen con condiciones mínimas de confort acústico normado por el MINVU.

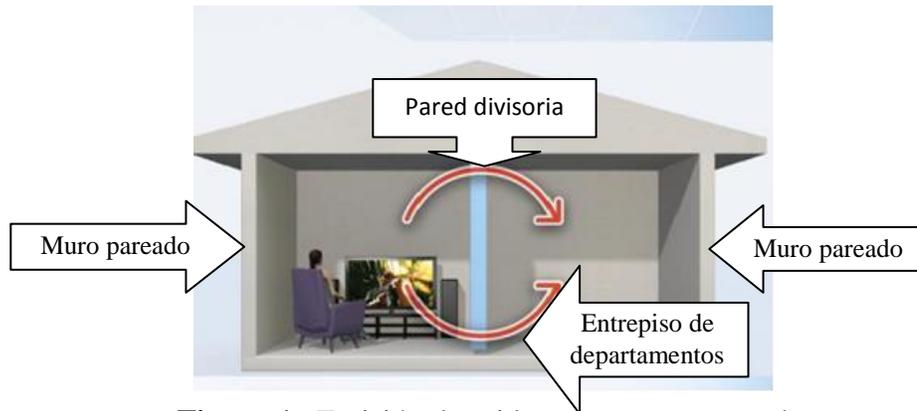
Para comprender la complejidad del ruido en una vivienda, es necesario en primer término identificar los aspectos normativos que los rigen. Según el MINVU, los ruidos molestos son aquellos que perturban la tranquilidad de una comunidad de personas. El decreto 38 del ministerio del medio ambiente del año 2012, entrega los niveles máximos permitidos de emisión sonora, los cuales se muestran en la tabla 1, identificando las diferentes zonas que se describen en el decreto, siendo prioritaria la zona I, que es la que corresponde a los territorios ocupados para viviendas.

**Tabla 1.** Niveles de Presión Sonora (NPS) máximos permitidos (Decreto 38).

Niveles máximos permisibles de Presión Sonora corregidos (NPS) en Db(A)		
Horarios de vigencia	De 7 a 21 hrs	De 21 a 7 hrs
ZONA I: Aquella zona definida en el Instrumento de planificación territorial respectivo y ubicada dentro del límite urbano, que permite exclusivamente uso de suelo residencial, incluye espacio público y/o área verde	55	45
ZONA II: Aquella zona definida en el Instrumento de planificación territorial respectivo y ubicada dentro del límite urbano, que permite además de los usos de la zona I, equipamiento de cualquier escala	60	45
ZONA III: Aquella zona definida en el Instrumento de planificación territorial respectivo y ubicada dentro del límite urbano, que permite además de los usos de la zona II, actividades productivas y/o infraestructura	65	50
ZONA IV Aquella zona definida en el Instrumento de planificación territorial respectivo y ubicada dentro del límite urbano, que permite sólo usos de suelo de actividades productivas y/ o de infraestructura	70	70

Fuente: Artículo 7. Decreto Supremo N°38/11 del Ministerio del Medio Ambiente - Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica. Publicado en el Diario Oficial el 12 de junio de 2012.

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo, consecuente con la política orientada a mejorar la calidad de vida de la población, introdujo hace algunos años una modificación a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) que establece exigencias acústicas para los elementos divisorios entre unidades independientes de viviendas (Figura 1), orientados a minimizar los efectos traumáticos del ruido aéreo y de impacto en edificaciones que presenten más de una planta en su construcción (MINVU, 2006).



**Figura 1.** Emisión de ruido entre muros pareados

Actualmente, el concepto de vivienda social según el MINVU es distinto a su concepto original, ya que la fabricación de estas viviendas es a mínimo costo y, a la vez, su precio en el mercado es reducido. Esto permite a personas de escasos recursos acceder a una vivienda básica mediante dos vías: una es a través de la compra de estas y otra a través de programas de beneficencia gubernamentales.

Una vivienda social es aquella construida con límites fijados por paredes, techos y puertas y que a la vez tenga acceso independiente, al cual se llega directamente desde la calle o áreas de circulación común. Es necesario dotar a tales viviendas de la infraestructura que permita una habitabilidad confortable para sus habitantes (MINVU, 2013).

Una vivienda de emergencia nace a partir de un suceso que requiere de una intervención inmediata que resuelva la situación actual y precaria de las personas, convirtiéndose así en una herramienta esencial para el habitar hasta conseguir una vivienda definitiva o, en su defecto, acondicionar o realizar mejoras a la misma vivienda de emergencia (MINVU, 2013).

### **1.1 Antecedentes sobre aislación acústica en viviendas sociales.**

El sonido es una perturbación que se propaga a través de un medio elástico produciendo variaciones de presión o vibración de partículas, que pueden ser percibidas por el oído humano o bien por instrumentos específicos para tal fin.

Los fenómenos relacionados con el sonido son la reflexión, absorción y transmisión, siendo la reflexión el fenómeno que ocurre cuando una onda de sonido topa con un obstáculo que no puede atravesar o rodear, esta se refleja, o sea vuelve de dónde provino, el fenómeno

más común que ocurre con este concepto es el de reverberación. La absorción ocurre cuando una onda sonora alcanza una superficie, la mayor parte de la energía se refleja, pero una parte de esta es absorbida por el nuevo medio, los materiales porosos y los materiales absorbentes en forma de panel o membrana son los mejores absorbentes de los sonidos agudos y graves. La transmisión del sonido en si es la parte del sonido que no es reflejada ni absorbida, o sea es la parte del sonido que pasa de una habitación a otra, por lo tanto la suma de la energía reflejada, absorbida y transmitida debe ser igual a la onda de sonido original.

Los ruidos son entendidos como sonidos molestos que ocasionan en las personas bajo rendimiento, estrés, e incluso provocan un deterioro de la salud poblacional. Por ello las exigencias acústicas están orientadas a establecer estándares mínimos de habitabilidad y correctos diseños, permitiendo a las viviendas, principalmente las más económicas, establecer niveles aceptables de confort acústico.

Las exigencias legales con respecto a la aislación acústica comprenden los ruidos aéreos y ruido de impacto, los cuales se aplican en mediciones a elementos de separación horizontal, fachada, elementos de separación vertical y tabiquería.

Según OGUC del MINVU - Artículo 4.1.6, los elementos constructivos vertical y horizontal tienen que ser capaces de atenuar o disminuir el ruido aéreo en 45 dBA, y para el ruido de impacto para elementos constructivos horizontales tienen que transmitir como máximo 75 dB frente a un impacto normalizado (CCHC, 2013).

Sólo las edificaciones de mayor tamaño poseen consideraciones acústicas al contemplar requisitos mínimos de aislamiento acústico, entonces, al no ser un requerimiento obligatorio, se deja en condición de vulnerabilidad a muchas familias. Por ello el Ministerio de Vivienda y Urbanismo incorporó a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C) una serie de modificaciones orientadas a establecer estándares mínimos de habitabilidad para todas las viviendas, sobre todo en aquellas más económicas (Colonelli y Rodríguez, 2000).

En Chile, la investigación en relación al comportamiento acústico de edificaciones o viviendas es escasa, es más común la asesoría acústica para aquellos recintos que requieren por disposiciones normativas dar cumplimiento a especificaciones más rigurosas, tales como salas de cine, teatros o salas de conciertos. En una investigación de Colonelli y Rodríguez (2000) efectuada en edificios habitacionales construidos con muros de albañilería (hormigón y ladrillo) y losas de entre piso del mismo material; se analizaron las fuentes más comunes de ruido tanto provenientes del exterior como del interior del edificio, seleccionando los ruidos de mayor frecuencia (dB). Las mediciones se realizaron en dos edificios ubicados en diferentes comunas de Santiago y se aplicaron en dos tipologías; en una se evaluó la fachada del recinto, la descarga de agua del sistema sanitario y el ruido de impacto de losas de entrepisos seleccionando puntos estratégicos dentro de cada recinto y en la otra sólo se evaluó la techumbre de una ampliación en dos viviendas, en la cual el ensayo se dividió en dos etapas, la primera incluyó la medición del nivel sonoro por el exterior de la ampliación y la segunda parte correspondió a la medición del nivel sonoro en el interior de la ampliación. Se concluyó que en la mayoría de los casos los elementos

constructivos de la vivienda no cumplen las disposiciones normativas, tanto para los ruidos provenientes del exterior como los ruidos generados en el interior del edificio; a la vez, las mediciones indicaron que dentro de un mismo edificio existen diferencias acústicas entre los departamentos, no existiendo un patrón de comportamiento claro que explique estas diferencias (Colonelli y Rodríguez, 2000).

Más alejado aún de evaluaciones del ámbito acústico están las viviendas de emergencia, que son construidas actualmente en base a paneles de madera aserrada; éstos no proporcionan una aislación acústica adecuada a los estándares mínimos estipulados por el MINVU para las viviendas sociales, lo que resulta preocupante, dado que las familias deben permanecer en condiciones de hacinamiento varios años, cuando han estado expuestas a catástrofes. Aunque el nivel de atenuación acústica puede no ser considerado prioritario, el impacto sobre la calidad de vida y salud mental de los damnificados puede verse afectado y por tanto, conocer la situación real de aislación acústica que permita la búsqueda de nuevas alternativas para mejorar dichos estándares acústicos se torna importante.

La implementación de paneles SIP, en base a paneles OSB y poliestireno se acerca más a cumplir estándares térmicos, sin embargo, como efecto secundario aporta al aislamiento acústico de mejor forma que el uso de una estructura compuesta sólo de madera sólida de bajo espesor y baja densidad. Puede ofrecer así ventajas respecto de otros materiales, tales como ladrillo y hormigón. Un estudio realizado para caracterizar el comportamiento acústico del panel siguiendo metodologías descritas en la norma NCh 352 Of 2000 concluyó que el grado de heterogeneidad en la estructura interna del tablero explica el comportamiento de atenuación ultrasónica, representando así mejores soluciones constructivas desde el punto de vista acústico (Garay y Silva, 2011).

Para construir o comprar cualquier tipo de vivienda, estas deben antes cumplir las normativas que el MINVU estipula, por lo que los responsables, arquitectos o ingenieros, realizan modelación y simulaciones a las viviendas, para comprobar que los materiales de construcción elegidos cumplan la normativa, en este sentido, existen diversos software con los cuales se realiza una simulación y se pone a prueba en los distintos tipos de ambiente posibles de la futura construcción, como ruido de transporte terrestre (camiones, autos, micros, etc.), transporte aéreo, lugares con alto afluente humano, etc, por ejemplo, los software Easy, Soundplan, Insul, Minerva y Sonarchitect son algunos de los programas que se ocupan para simulación y dependiendo de la función que tendrá la construcción hay un programa que se le adecue y demuestre con mayor precisión lo que se quiere efectuar.

## **1.2 La Madera para construcción y aislación acústica**

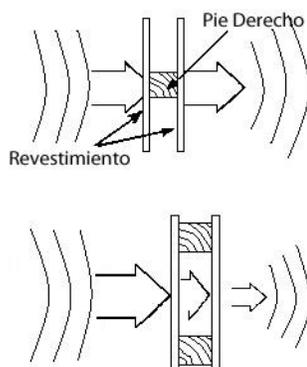
El sonido es una vibración en un medio. Es el resultado de la alternancia de presiones y movimientos de partículas dentro de este medio. Los medios elásticos para ser considerados en la arquitectura son aire, líquidos o fluido y sólidos (materiales de construcción y la tierra). Cuando las moléculas en medio elástico se mueven hacia atrás y hacia adelante en posiciones opuestas, en un circuito completo sencillo se llama un ciclo. La amplitud es la distancia desde la posición normal a un extremo. El número de ciclos completados en un segundo es la frecuencia (Hz, anteriormente cps). Medido por el tiempo, la perturbación

causada en el medio, se llama una onda, y la distancia entre una onda y otra produce un desplazamiento de tal molécula, que se conoce como la longitud de onda. Las moléculas dentro del medio sólo vibran, pero el efecto, o el sonido, de la vibración se mueve rápidamente y viaja grandes distancias (Kollmann, 1959).

La madera, como material de construcción, cumple un rol acústico importante en habitaciones y aislación de edificios, ya que tiene la capacidad de amortiguar las vibraciones sonoras. Su estructura celular porosa transforma la energía sonora en calórica, debido al roce y resistencia viscosa del medio, evitando de esta forma transmitir vibraciones a grandes distancias (CORMA, 2007).

La aislación acústica en la construcción no solo depende de los materiales que se ocupen sino también de la forma de construir con cada uno de ellos. Manejando los tres conceptos descritos anteriormente (Reflexión, Absorción y Transmisión) se puede diseñar diversas soluciones acústicas al construir con madera. Un aspecto importante al diseñar considerando la aislación acústica, es que el ruido pasa de un ambiente a otro por diversos caminos, como lo indican las flechas en la figura 2, por lo que no solo se debe considerar el elemento divisorio entre los dos espacios, sino que también las uniones de éste con los muros laterales, con el cielo y el piso del recinto.

Para la correcta construcción de tabiques se debe tener presente que los pies derechos y cadenetas transmiten fácilmente el ruido, por ser uniones rígidas. Esto se debe a que las ondas sonoras solo se ven afectadas cuando hay un cambio considerable de material, en este caso el cambio de densidad que va del aire a la madera. A este fenómeno se le denomina puente acústico ya que permite fácilmente el paso del ruido de una habitación a otra, al no existir un cambio de material que amortigüe el ruido, por otro lado los espacios de aire interior del tabique absorben gran parte del ruido, disminuyendo el paso de éste a la habitación contigua (MASISA, 2015).



**Figura 2.** Paso del sonido a través del tabique en la unión y entre pies derechos.  
Fuente: MASISA, 2015

El sistema constructivo SIP es una tecnología de construcción desarrollada en Estados Unidos, que permite construir todo tipo de diseño arquitectónico, pudiendo ser empleado en construcción habitacional, industrial y comercial (NCh 3393, 2016).

El sistema SIP es una evolución del sistema tradicional de *frame* o estructura de pies derechos y soleras, permitiendo generar muros con una sobresaliente resistencia estructural, fáciles de montar, empalmar, clavar y cortar (NCh 3393, 2016).

El panel SIP está compuesto por dos caras de OSB (Oriented strand Board) de 9,5 mm en ambas caras, más un “CORE” o centro de poliestireno expandido de 45 mm de espesor y densidad de  $15 \text{ kg/m}^3$ , todo esto unido o pegado con adhesivo de última generación con base de poliuretano de dos componentes. (NCh 3393, 2016).

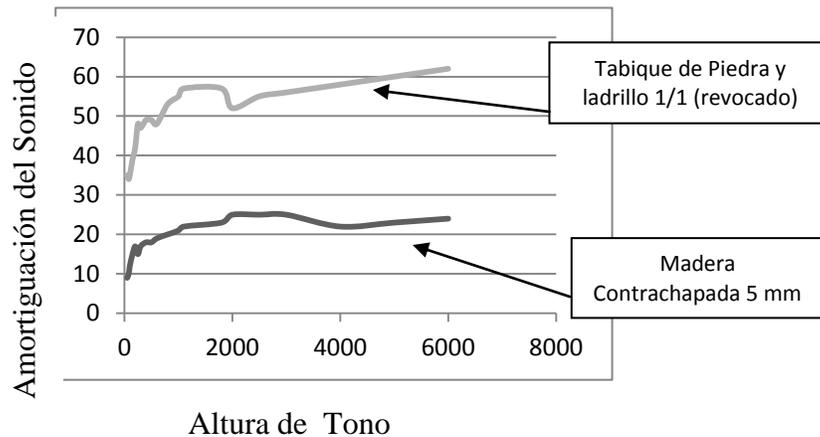
Los paneles SIP pueden ser ocupados en estructuras de techumbre, muros y pisos. Estos paneles se encuentran en el mercado con dimensiones de 1,22 m x 2,44 m. El peso de cada panel varía entre 48 y 50 kg, mientras que su resistencia térmica es  $2,23 \text{ m}^2\text{k/W}$ . El sistema SIP entrega un excelente desempeño a la flexión, compresión e impacto (LP Chile S.A, 2006).

Para conseguir adecuados niveles de confort en las viviendas se debe dar cumplimiento a varios requerimientos normativos, como la resistencia mecánica, la térmica, al fuego, además de la acústica. La existencia de puentes acústicos suele ser coincidente con puentes térmicos, por lo que los materiales que se escojan para dar cumplimientos normativos, idealmente debiesen ser útiles para varias de estas funciones, tanto técnica como económicamente, así un proyecto resulta ser lo más eficiente.

La transmisión del sonido de una habitación a otra, que no esté inmediatamente debajo ni encima de ella, se realiza por propagación de las vibraciones en cuerpos sólidos (no encontrándose puertas ni ventanas abiertas). El sonido corporal se origina no solo por el choque de dos cuerpos, sino también por la conversión del sonido transmitido por el aire, cuando este pone en vibración alguna parte de la construcción. Es muy escasa la disminución de la energía sonora por su transformación en calor, al propagarse a través de materiales sólidos. Los materiales de fábrica ordenados según su aptitud creciente para transformar la energía acústica en calor, son: hierro, ladrillo, hormigón y madera.

En tabiques sencillos, sin espacios de aire intermedios, la transmisión del sonido se realiza por vibraciones de flexión. Una sencilla consideración explica que, desde el punto de vista de la protección contra el sonido, es necesario disponer el muro de tal forma que oponga la mayor resistencia posible a la presión sonora, es decir que sea lo más pesado y rígido que se pueda.

Según la norma alemana DIN 4110, para tabiques sencillos impermeables al aire, correspondiente a  $450 \text{ Kg/m}^2$ , se exige un amortiguamiento medio mínimo de 53 dB para frecuencias entre 100 y 3000 Hz. En la Figura 3 se compara un tabique de ladrillo y piedra 1/1, con otro de madera contrachapada de 5mm de espesor, y este último, con un peso de  $2 \text{ Kg/m}^2$ , de un valor medio planimétrico del amortiguamiento del sonido de 19 dB, para la misma frecuencia antes mencionada. (Kolmann, 1959).

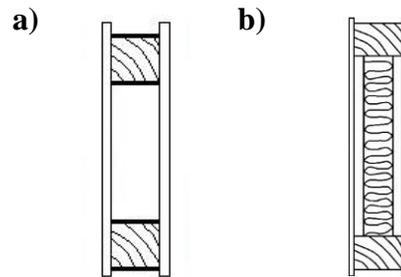


**Figura 3.** Tabique ladrillo vs Tabique madera

El sonido transmitido por el aire puede amortiguarse, aunque solo muy débilmente, mediante sencillas construcciones de madera, por ejemplo, con entramados de madera recubiertos por una parte con tablas o tableros de fibras, pues estas construcciones son muy ligeras y tienen gran aptitud para la vibración. Para tabiques de entramado, revestido por ambos lados con madera o planchas de fibras y revocados, pueden conseguirse valores de amortiguación entre 37 y 44 dB, correspondiendo a pesos de 50 a 100 Kg/m<sup>2</sup> (Kollmann, 1959).

El amortiguamiento viene determinado, principalmente, por las partes más permeables al sonido, o sea, no solo por las rendijas capilares, sino también por puertas, ventanas y otros accesos del aire.

Otro tipo de tabique es el múltiple que consta de varias paredes sencillas que encierran entre si espacios huecos llenos de aire que actúa como amortiguador; cuanto menor sea el espacio de aire, tanto menor será la amortiguación y tanto más intenso el efecto contrario. En este tipo de tabique el amortiguamiento al sonido propagado por el aire crece con el peso del tabique por m<sup>2</sup> y con el espesor de la capa de aire entre las paredes parciales. También hay que evitar entre tabiques parciales los puentes transmisores del sonido (uniones fijas) por conductos tubulares o morteros. El tabique de entramado de madera actúa como una pared doble, puesto que por el revestimiento rígido el armazón total vibra a la vez que las superficies parciales, siendo su amortiguamiento un poco mayor que el correspondiente a un tabique sencillo del mismo peso. La Figura 4 muestra también un tabique doble, de listones de madera, con un amortiguamiento acústico mayor del que le correspondería por su peso; tales tabiques pueden fabricarse rápida y sencillamente, y son adecuados también tanto como divisorio entre ambiente, como para la protección contra maquinas muy ruidosas. Resumiendo, hay que decir que la madera, junto con los tableros y planchas de madera de construcción ligera, son muy apropiados para tabiques múltiples ligeros de gran amortiguamiento acústico (Kollmann, 1959).



**Figura 4.** a) Tabique entramado de madera, b) Tabique doble

La pérdida de transmisión de sonido aumenta (con algunas irregularidades) con el aumento de la frecuencia del sonido; hay una frecuencia límite que es característico de una extraordinaria reducción de aislamiento acústico. Esta frecuencia límite está determinada por el cociente de la densidad de módulo dinámico de elasticidad del material en forma de una concha. Con respecto al aislamiento acústico exige que la escala de frecuencia límite sea 100 Hz a 3000 Hz. Los paneles de madera contrachapada, de 1 cm de espesor, con un peso de  $8 \text{ kg/m}^2$ , tienen una frecuencia límite de 1.800 Hz. No son adecuados para las paredes perimetrales en cuanto al aislamiento acústico. Paredes doble o multi - shell (o piel) pueden proporcionar aislamiento acústico eficiente. El arquitecto tiene que prestar especial atención a los múltiples problemas de aislamiento acústico en sus diseños. Los cálculos no siempre son posibles o confiables. El problema de la absorción del sonido es muy diferente al de aislamiento acústico. La absorción acústica requiere, materiales de poros suaves, tales como alfombras, telas pesadas, lana de madera y azulejos acústicos. El tablero contrachapado tiene en algunas circunstancias un máximo de absorción de sonido de aproximadamente 26% a una frecuencia de 512 Hz, por encima de aproximadamente 1000 Hz la absorción del sonido es casi constante con 10%. Sabine (1927) encontró para el tablero de abeto, de 20 mm de espesor, en el rango de frecuencias de 100 a 5000 Hz valores de absorción de sonido entre el 8 y el 11% (Kollmann, 1975).

Actualmente, se aprovechan los conocimientos de la cultura clásica para los recintos abiertos o cerrado en donde la arquitectura acústica es relevante, se construyen con paredes curvas abombadas en forma de concha o caparazón. Los materiales utilizados tienen propiedades reflectoras para facilitar el encaminamiento del sonido hacia donde se ubican los espectadores. En estas estructuras de gran tamaño, el empleo de vigas laminadas curvas resulta ser altamente eficiente al sumar propiedades. Este conocimiento que se aplica habitualmente en estas estructuras no se traspasa por lo general en arquitectura de viviendas, puesto que el nivel de importancia de las propiedades acústicas es distinto.

Los elementos constructivos de madera, de acuerdo con la ley de masa, no tienen un gran aislamiento acústico debido a su baja densidad. Los contruidos con maderas más densas proporcionan siempre mayor aislamiento acústico que los contruidos con maderas ligeras o livianas. Por ejemplo una puerta de madera de coníferas poco densa, de 35 mm de espesor, con una masa unitaria de  $21 \text{ kg/m}^2$ , tiene un  $R_w$  de 14 dBA; mientras que la misma puerta de madera de roble, de masa unitaria  $28 \text{ kg/m}^2$ , tiene una  $R_w$  de 16 dBA. Si la puerta es de tablero aglomerado  $R_w$  es similar al de la puerta de madera de coníferas.

En elementos constructivos de varias hojas, el aislamiento acústico no sigue la ley de masa ya que hay pérdida de energía por disipación de calor a través del sistema. Así uno de estos elementos formado por dos hojas entre las que se dispone un material elástico y poroso, por ejemplo lana de vidrio o fibras de coco (Zulkifli et al 2008), tiene un comportamiento acústico que responde al principio masa-muelle-masa. La estructura granular o fibrosa (en general porosa) absorbe parte de la energía mecánica transportada por las ondas transformándola en calor por el rozamiento. Por ello, dentro de un límite, cuanto más rígido es este material peor es el aislamiento (peor es la eficacia del sistema masa-muelle-masa). Por ejemplo un tabique formado por dos placas de yeso de 15 mm con lana de vidrio de 50 mm en su interior proporciona un aislamiento acústico  $R_w$  de 39 dBA, mientras que una pared de bloques de hormigón de 11 cm de espesor proporciona un aislamiento acústico de 38 dBA y una de ladrillo hueco doble de 1/2 pie, de 14 cm de espesor, proporciona un  $R_w$  de 38 dBA.

El aislamiento acústico a ruido de impactos de suelos, que es el caso más frecuente, se mejora con recubrimientos flotantes sustentados sobre soportes elásticos. Estos elementos pueden ser suelos flotantes o falsos techos. La reducción del nivel de ruido de impactos de un parquet multicapa colocado sobre una capa elástica es del orden de 20 dBA.

La madera en la construcción tiene dos funciones esenciales: estructural y decorativa. En algunos casos tiene exclusivamente función decorativa, correspondiendo la función estructural a otros materiales, pero en otros tiene las dos funciones simultáneamente, como ocurre en las casas de madera (AITIM, 2002).

El objetivo general de este estudio es evaluar el comportamiento acústico de tres tipos de viviendas: un prototipo de vivienda de emergencia construido en base a paneles SIP, viviendas sociales y en mediaguas. Para ello se desarrollaron los objetivos específicos siguientes: Determinar la capacidad de aislación acústica interna y externa de las viviendas; Determinar la capacidad aislante acústica del muro pareado en cada caso y Evaluar, para las tres viviendas, el cumplimiento de la normativa sobre confort acústico definido por el MINVU para vivienda social.

## **2.-MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1.- Materiales**

Antes de realizar el estudio correspondiente a la aislación acústica se llevaron a cabo ensayos del índice de reducción acústica en tableros a base de madera, para así comprobar que el material ocupado en el tablero SIP es el adecuado, o pueda ser reemplazado por otro material, con ello mejorar sus propiedades aislantes. Para esto se ocuparon 5 tipos de tableros diferentes, los que se describen a continuación.

#### **2.1.1 Tableros a base de madera para revestimiento interior y exterior**

##### **A. Tablero de fibra de Densidad Media MDF (Medium Density Fiberboard)**

Es un aglomerado elaborado con fibras de madera de pino radiata D. Don (que previamente se han desfibrado y aglutinado con resina sintética de urea-formaldehído y es formado mediante fuerte presión y calor, en seco, hasta alcanzar una densidad media de 600 a 800 Kg/m<sup>3</sup>.

Presenta una estructura uniforme y homogénea y una textura fina que permite que sus caras y cantos tengan un acabado liso. Se trabaja prácticamente igual que la madera maciza, pudiéndose fresar y tallar en su totalidad. La estabilidad dimensional es más alta que en la madera maciza, pero su peso es más elevado. Constituye una base para ser enchapado en madera. Se puede lacar o pintar. Se encola (con adhesivo PVA, tipo polivinil acetato) sin problemas. Suele ser de color marrón medio-oscuro y es un tablero de bajo coste económico en el mercado actual.

Las muestras empleadas en este estudio fueron 5 tableros MDF de distintos espesores 5,5; 9; 12 y 15 mm más un tablero de 9 mm con chapa de pino radiata ranurado de 1 mm. La densidad de las muestras varía entre 580 a 680 Kg/m<sup>3</sup>.

##### **B. Tablero de partículas (PB)**

Las muestras ensayadas corresponden a 3 tableros de partículas de espesores 6, 8 y 18 mm y densidades entre 506 a 714 kg/m<sup>3</sup> los cuales están formados por tres capas de partículas de madera de pino radiata (dos capas finas que dan al exterior y una capa gruesa en el interior del tablero). Las partículas provienen de residuos forestales tales como raleos, podas, cantos, lampazos, despuntes, viruta y aserrín, los que son procesados para ajustar el tamaño a una granulometría adecuada para conformar un entrecruce y unión con urea formaldehído, aumentando así las propiedades físicas.

El adhesivo es, junto con la madera, el constituyente más importante del tablero. En la fabricación de tableros de partículas el adhesivo se aplica en forma de pequeñas gotas sobre las partículas secas en movimiento a través de pulverizadores de presión. El 10% del peso del tablero es adhesivo.

### C. Tablero Contrachapado (PLY)

El tablero contrachapado es un tablero que se obtiene encolando chapas de madera de forma que las fibras de las chapas consecutivas forman un ángulo determinado, generalmente recto, con objeto de equilibrar el tablero desde su plano medio. El número de chapas o capas debe ser impar con el fin de equilibrar el tablero por la simetría de la sección. El concepto tradicional del tablero contrachapado, de chapas de madera o estándar se ha enriquecido al incorporar en el alma otros materiales. Éstos se diferencian de los paneles sándwich en que sus caras son sólo de chapa de madera.

Este tablero persigue el mejoramiento de las propiedades intrínsecas de la madera que lo componen, eliminando así sus defectos. Esta superposición de láminas hace que tenga las mejores propiedades físico-mecánicas en relación a los otros tableros. Las muestras ensayadas son 3 tableros de espesores de 9, 12 y 15 mm más un tablero de 9 mm ranurado redondo. Cuyas densidades fluctúan entre 470 a 560 Kg/m<sup>3</sup>.

### D. Tablero OSB (Oriented Strand Board) (OSB).

Los tableros OSB son paneles formados a base de partículas llamadas strands (hebras), las que se orientan en forma mecánica, formando capas delgadas dentro del tablero. Así el producto puede estar formado por tres a cinco capas dispuestas perpendicularmente entre sí. Las hebras son encoladas y prensadas en caliente, los adhesivos empleados son fenol formaldehído en las capas exteriores y metil disocianato en la capa central.

Como materia prima se usan diversas coníferas y latifoliadas, solas o en mezcla, pero los mejores resultados se han logrado con maderas de baja densidad, especialmente álamos y algunas coníferas. En Chile, se fabrican preferentemente en base a mezclas de especies nativas y pino radiata D. Don. Las muestras ensayadas poseen espesores de 11 y 15 mm, de densidades de 570 a 607 Kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

### E. Tablero HB (Hardboard)

Al igual que el tablero MDF, el HB también se fabrica con fibras, pero alcanzando una densidad superior a los 1000 kg/m<sup>3</sup>. Los tableros se fabrican con fibra de pino radiata D. Don obtenida por proceso de desfibrado termomecánico, se le adiciona una pequeña cantidad de resina y se prensa bajo altas temperaturas y presión. El proceso de fabricación es en húmedo. La muestra ensayada corresponde a una probeta de 3,2 mm de espesor.

La Tabla 2 muestra un resumen de las propiedades de los tableros ensayados

**Tabla 2.** Propiedades de tableros ensayo Índice de Reducción acústica

Probeta	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	CH (%)
PB1	13,9	18	596,311	6,79
PB2	5,5	6	707,851	8,26
PB3	7,4	8	714,286	7,99
MDF 1	8	9	686,401	6,58
MDF 2	6	5,5	642,401	6,48
MDF 3	9,2	12	592,021	6,69
MDF 4	11,4	15	586,873	6,22
PLY 1	6,5	9	557,701	7,98
PLY2	9,2	15	473,616	8,64
PLY 3	5,4	9	521,236	7,3
PLY 4	8	12	514,801	8,58
HB1	3,1	3	797,941	6,26
OSB 1	8,9	11,1	572,716	5,91
OSB 2	11,8	15,1	607,465	6,03

### 2.1.2 Viviendas para la determinación del comportamiento acústico

- **Prototipo de vivienda de emergencia propuesto en el Proyecto FONDEF D09I1058.** El prototipo está fabricado en base a paneles SIP. En el perímetro se encuentra el acceso principal conformado por una puerta y un ventanal fijo vidriado, como muestra la Figura 5 a). En la parte posterior se ubican dos ventanas contiguas. Adicionalmente, en la viga cumbreira se instalan dos ventanas de aproximadamente 40 cm x 60 cm, las que permiten ventilación e iluminación adicional a la vivienda.

La estructura del piso la conforman apoyos de hormigón sobre los cuales se distribuyen vigas de madera impregnadas de escuadría 2"x 6", adosadas a éstas se ubican entramados de piso en madera dimensionada en 2" x 4 "; al interior de la estructura hay un aislante de fibra Fisiterm, además una membrana impermeable aísla el piso por su parte inferior. Sobre el entramado de piso hay un tablero contrachapado estructural de 18 mm.

La estructura de la techumbre del prototipo evaluado posee un espesor total de 99 mm, correspondiente a los dos tableros OSB de 9,5 mm y el aislante interior de poliestireno expandido de 80 mm y 15 kg/m<sup>3</sup> de densidad (Figura 5 b)).

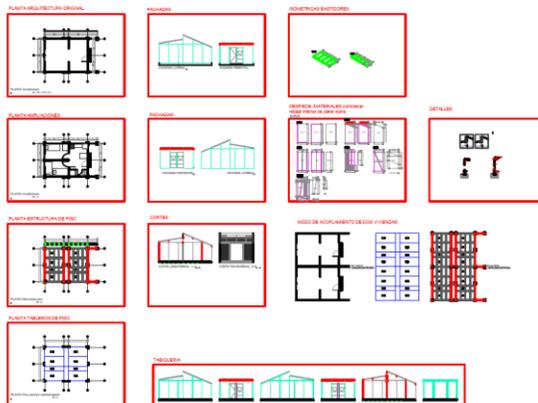
En la Figura 5 c) es posible observar los planos de las componentes de esta vivienda modular.

La separación entre muros colindantes está conformada por dos paneles SIP de 64 mm más una plancha de yeso cartón de 10 mm por lado; esta estructura representa la separación “muro pareado” entre dos viviendas contiguas.

a)



b)



c)



**Figura 5.** a) Esquema de prototipo de Vivienda de emergencia, b) Diseño Vivienda de emergencia, c) Prototipo de Viviendas pareadas instaladas en Santiago.

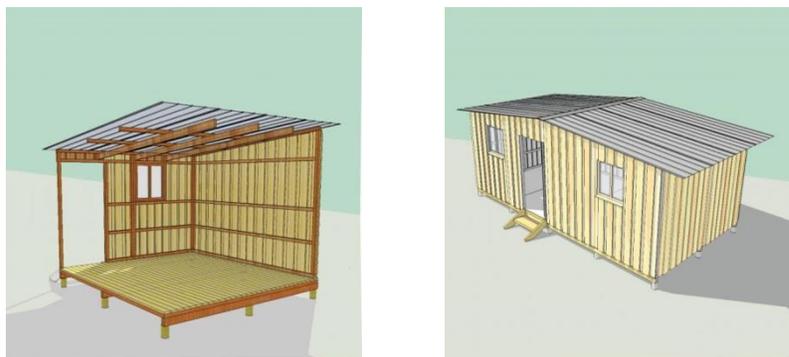
- Vivienda social ubicada en la comuna de Maipú, fue elegida en virtud de dar cumplimiento a la legislación vigente de acuerdo con la Ley N° 20.703 de 2013, está construida en su perímetro con ladrillo princesa de 29x14x7,1cm , presenta una densidad de 1006 Kg/m<sup>3</sup>, con un peso de 2,9 Kg, este material de construcción se ocupa en la mayoría de las viviendas actuales, el que aporta buena resistencia a la humedad, presenta un buen comportamiento al fuego, resistencia térmica de 0,56 m<sup>2</sup>K/W y una transmitancia térmica de 1,8 W/m<sup>2</sup>K. En el interior, la vivienda está dividida por tabiques de yeso cartón de 4,5 cm de espesor, este tabique está compuesto en su estructura interna por pies derechos de madera seca al 12% sin cepillar, en dimensiones de 2x1”, en las soleras superior e inferior junto con los cortafuegos, cuyas dimensiones son 1x1”, el relleno entre los espacios corresponde

a yeso, dando un espesor de dos tapas de yeso cartón, es decir 15 mm de espesor, densidad  $800 \text{ Kg/m}^3$ , conductividad térmica  $0,19 \text{ W/Mk}$ . El yeso presente en el tabique se encuentra entre las tapas de yeso cartón de espesor 1,5 cm, y presenta una conductividad térmica de  $0,2015 \text{ W/Mk}$  y una densidad de  $854,23 \text{ KG/m}^3$  (Volcan, 2015). El techo está conformado por pizarreño sobre cerchas de madera y vigas sin cepillar secas de  $4 \times 6''$ , en el cielo solo existe una plancha de yeso cartón.



**Figura 6.**Foto vivienda social de estudio

- Mediagua: se encuentra ubicada en la comuna de La Pintana, representa la condición más habitual para este tipo de vivienda en la cual todos sus tabiques están fabricados por paneles cuya estructura está compuesta por madera de Pino radiata D. Don con dimensiones  $2 \times 2''$  y forro exterior de pino  $1/2 \times 6''$  traslapados, en el piso la estructura tiene pino de  $2 \times 2''$  y revestimiento de pino  $1 \times 6''$ , la cubierta está compuesta por pino de  $1 \times 4''$ , costanera  $2 \times 2''$ , fieltro 10LB y zinc 5V 35mm, la vivienda tiene un alto de 2,20 m, la densidad seca o anhidra de la madera de pino es  $480 \text{ Kg/m}^3$ .



**Figura 7.**Foto mediagua de estudio

## 2.2.-Equipos

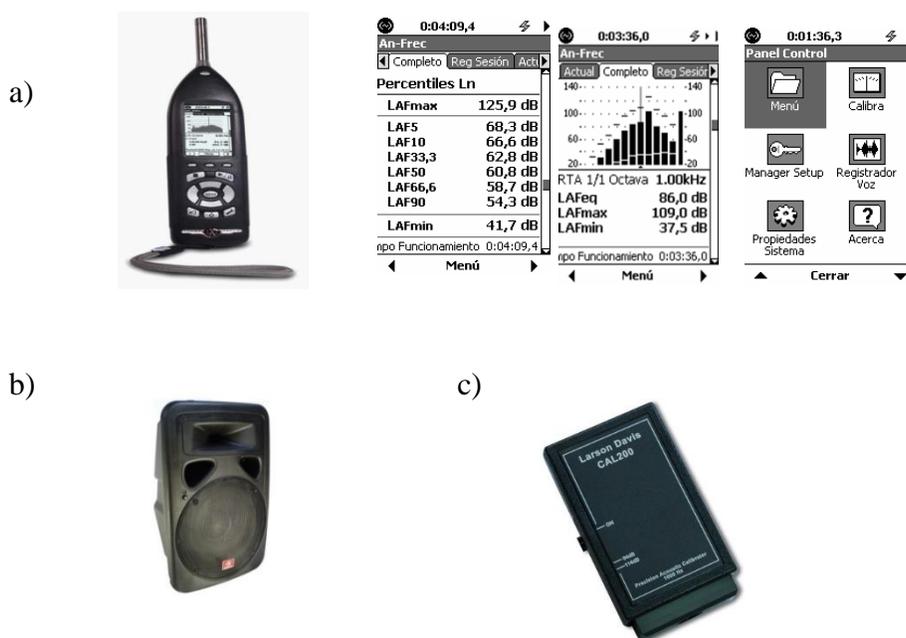
- Sonómetro Larson Davis LTX1– Modelo 831, realiza las funciones de varios instrumentos. Pone las características combinadas de una clase de precisión del medidor de nivel de sonido 1, analizador de ruido ambiental, dosímetro de ruido personal y un analizador de frecuencia en tiempo real. Este instrumento es un medidor de nivel de sonido, diseñado para la operación con una sola mano, pero está completamente equipado, con una plataforma de firmware más amplio.

Dentro de sus funciones esta la evaluación del ruido ambiental, la acústica de medición y construcción del tiempo de reverberación, análisis en tiempo real del sonido en 1/3 de banda de octava, etc.

- Parlante 12" 250w con USB
- Calibrador de nivel sonoro Larson Davis CAL 200  
Es un calibrador de nivel de sonido de precisión para micrófono, utilizado para calibrar los medidores de nivel de sonido u otros equipos de medición de sonido. Se puede proporcionar un nivel de salida de 94 o 114 dB a una frecuencia de 1 kHz.

Ha sido diseñado tanto para uso en laboratorio y campo, y la precisión se ha calibrado a referencia del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST). Cuenta con un sonido independiente de la presión estable del estado de la batería. Además, se apagará automáticamente una vez finalizada la calibración

Una imagen de estos equipos se presenta en la Figura 8.



**Figura 8.**a) Sonómetro y principal función del instrumento, b) Parlante ocupado como fuente sonora, c) Calibrador del Sonómetro

## 2.3.-Método

### 2.3.1 Método de evaluación de índice de reducción acústica de tableros

Se determinó el Índice de Reducción Acústica (R): diferencia de niveles entre el recinto de emisión sonora y el recinto de recepción, corregidos por la relación entre el área del elemento constructivo ensayado y el área de absorción equivalente del recinto receptor. Se determinó experimentalmente en laboratorio según la norma NCh 2786.

El panel SIP con OSB es una buena opción acústica, entendiendo que la aislación acústica estará dada, en principio, por materiales más bien densos y no por materiales de baja densidad como es el poliestireno expandido. En cuyo caso la responsabilidad de aislación acústica recaería especialmente en el tablero que compone esta estructura, es decir el OSB. Por lo anterior, es válido realizar una evaluación del índice acústico de diversos tipos de tableros que eventualmente podrían ser utilizados, solos o en combinación con otros materiales para conformar tabiques de viviendas.

Los ensayos de aislamiento acústico se realizaron en el Laboratorio Acústico del Centro de Investigación, desarrollo e innovación de estructuras y materiales (IDIEM) de la Universidad de Chile, ubicado en Plaza Ercilla #883, Santiago. Este laboratorio de ensayo está constituido por un recinto que cuenta con un marco porta-muestras el cual recibe a la probeta de  $0,7\text{m}^2$  aproximadamente. Una vez montada la solución constructiva, el laboratorio queda dividido en dos recintos adyacentes, denominados recinto emisor y recinto receptor, los cuales cuentan con un volumen aproximado de  $210\text{ m}^3$  y  $39,2\text{ m}^3$  respectivamente. La separación de estos recintos la conforma el elemento bajo ensayo.

Cada probeta fue colocada en el vano de la puerta y sujeta con pernos a la pared de hormigón. Las dimensiones de las probetas son de 1,85 m de alto x 0,70 m de ancho, pero en este caso la probeta posee dimensiones más grandes que el orificio correspondiente por lo que se considera la superficie que coincida con el vano que corresponde a 1,65 m de alto x 0,43 m de ancho lo que es equivalente a  $0,7\text{ m}^2$ , aproximadamente de superficie.

Las mediciones se hicieron según el procedimiento indicado en la norma ISO 140-3. Se generó ruido rosa en la sala de emisión, estableciendo el nivel de presión sonora (NPS) de emisión en 106 dBA promedio en banda ancha. Luego se midió el NPS en ambas salas por medio del sonómetro, considerando 6 posiciones de micrófono fijo y 2 posiciones de fuente (12 mediciones en total por sala). Se determinó el tiempo de reverberación de la sala receptora, según el método de la fuente interrumpida, usando para ello 4 posiciones de sonómetro fijas, una posición de fuente y 2 decaimientos por posición (8 mediciones en total). El nivel de ruido de fondo en la sala receptora, resultó ser 39,5 dBA.

Todas las mediciones se hicieron en bandas de tercio de octava, entre las bandas de 100 Hz y 5000 Hz. En todas las mediciones acústicas realizadas, la relación señal/ruido fue mayor a 15 dB.

El estudio se basó en la norma Chilena NCh 2786, la cual indica los procedimientos a seguir, se considera también la norma chilena NCh 352, la cual se refiere a la toma de datos

de aislación acústica, pero esta última se enfoca en mediciones realizadas en laboratorios, en cambio la norma NCh 2786 es para mediciones en terreno.

### 2.3.2. Método de evaluación viviendas

Se desarrolló un programa de software de interpretación de datos de aislamiento acústico. Este software consistió en una plantilla de cálculo Excel para la obtención del índice de reducción acústico del ensayo. Ingresando el archivo Excel *\_RW SOFTWARE.xlsx* junto con los archivos en Excel de las mediciones extraídas del sonómetro correspondientes a Emisor1, Emisor2, Receptor1, Receptor2, RF, TR1 y TR2.

Para determinación acústica de los otros dos tipos de vivienda, primero se eligió las viviendas que cumplieran con los requisitos descritos en los materiales, o sea que la vivienda social cumpliera con la ley N° 20.703 y la vivienda de emergencia conocida como mediagua fuera lo más parecida a la entregada por el estado para este fin por lo que se contactó a la Fundación Vivienda, quienes facilitaron el acceso a una vivienda habitada de esta tipología.

Las mediciones se realizaron de igual manera que se describió anteriormente bajo la norma chilena NCh 2785 OF 2003.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "Resumen ensayo de aislamiento Acústico". It contains the following elements:

- Header:** "Resumen ensayo de aislamiento Acústico", "Departamento Ingeniería de la Madera y sus Biomateriales - Universidad de Chile".
- Form fields:** "Ensayo:", "fecha:", "Dirección de los recintos de ensayo:", "Comuna:".
- Table 1:** A table with two columns: "Frec. 1/3 de Octavas" and "R'w". Values range from 100 to 3150 Hz.
- Table 2:** "Descripción de la solución constructiva bajo ensayo". It has three rows: "Cara expuesta a la sala emisora", "interior", and "cara expuesta a la sala receptora".
- Form fields (right side):** "Volumen Sala Emisora (m³)", "Volumen Sala receptora (m³)", "Superficie del elemento divisorio (m²)", "Espesor de la solución constructiva (mm)", "Densidad por espesor (Kg/m²)".
- Table 3:** A table with three rows: "R'w (C; Ctr) #<sub>i</sub> DIV/0! dBA", "R'w + C #<sub>i</sub> DIV/0! dBA", "R'w + Ctr #<sub>i</sub> DIV/0! dBA".
- Grid:** A large grid titled "Aislamiento Acústico" with frequency bands on the y-axis (75, 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 5) and a grid of columns for data entry.

Figura 9. Ficha detallada del elemento de estudio

Luego que el software interprete y analice los datos, este arroja una hoja de cálculo en Excel como muestra la figura 9, con la descripción completa del tabique a rellenar, como volumen de la habitación, área de la superficie del tabique que es objeto del estudio, espesor del tabique y densidad de la misma. Además se describe los componentes que

conforman este tabique desde las capas externas hasta las internas. Al finalizar la ficha se guarda en distintos tipos de formato (como Word, PDF, etc.) eligiendo el formato que más acomode al usuario.

### **2.3.3 Determinaciones del comportamiento acústico de las viviendas**

Las determinaciones se realizaron en el prototipo de vivienda desarrollado por el proyecto Fondef D09I1058 ubicada en Av. Santa Rosa 11.315 (Figura 5), en las dependencias del Campus Antumapu de la Universidad de Chile. Se determinó la aislación acústica en el muro pareado y en el muro divisor de habitación para lo cual el recinto se dividió en dos habitaciones. Una fue la habitación emisora, en donde se ubicó la fuente sonora y la otra fue la habitación receptora.

Las determinaciones se hicieron según el procedimiento indicado en la norma NCh 2785.Of 2003, la cual señala que se debe generar un ruido rosa, que es un ruido cuyo nivel sonoro está caracterizado por una densidad espectral inversamente proporcional a la frecuencia, en la sala de emisión, estableciendo en el recinto un promedio espacial de niveles de presión sonora (NPS) en banda ancha igual a 107 dBA. Posteriormente, se midió el NPS en ambas habitaciones con el sonómetro; se consideraron 6 posiciones de micrófono fijo y dos posiciones de fuente (12 mediciones en total por habitación). Se determinó el tiempo de reverberación de la sala receptora según el método de la fuente interrumpida, usando para ello 4 posiciones de sonómetro fijas, una posición de fuente y 2 decaimientos por posición (8 mediciones en total). Además se registró el nivel de ruido de fondo en la sala receptora, para así calcular la diferencia de dBA antes y después del ruido; el tiempo mínimo que se ocupó fue de 30 segundos o hasta que el NPS sea constante.

Las determinaciones se realizaron en bandas de tercio de octava, entre las bandas de 100 Hz y 5000 Hz.

Después de tomados los datos, estos son ocupados para determinar el índice de reducción acústica aparente ( $R'$ ), que corresponde a 10 veces el logaritmo en base 10 de la razón entre la potencia acústica  $W_1$ , la cual incide sobre el elemento de construcción bajo ensayo, y la potencia acústica total transmitida en el recinto de recepción si, a la potencia acústica  $W_2$  que traspasa a través del elemento de separación se le suma la potencia acústica  $W_3$  que fluye por las construcciones laterales o por otros componentes, y  $R'$  se expresa en decibeles (dB).

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3} \quad (1)$$

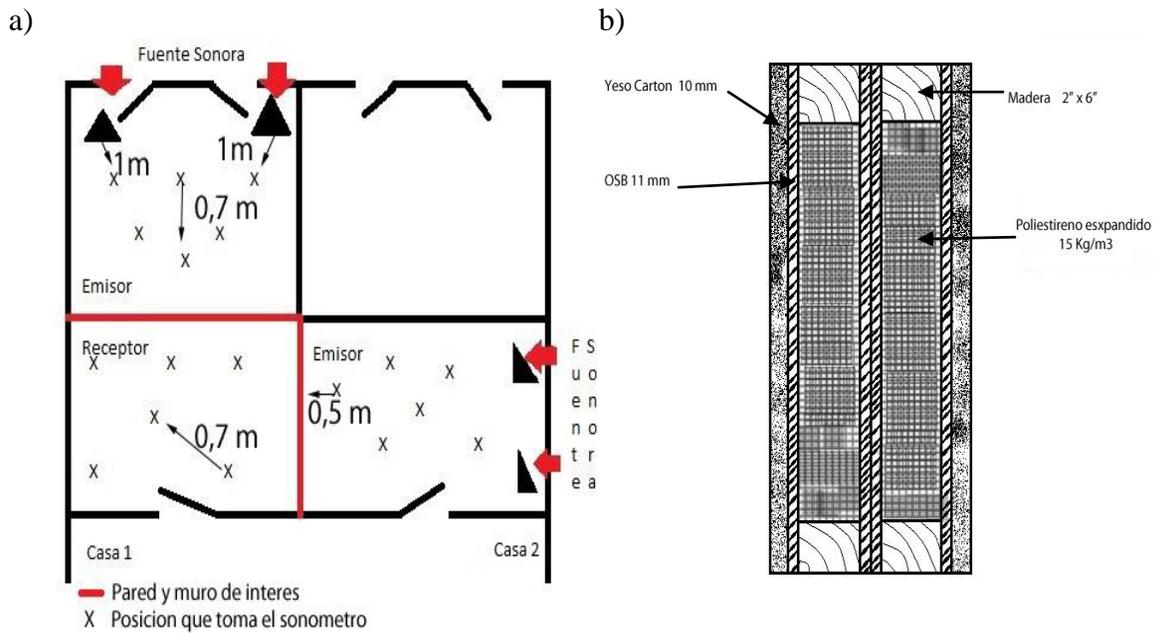
#### **2.3.3.1 Requerimiento para la correcta aplicación de la metodología.**

Con respecto a las distancias mínimas que tomó el micrófono en las habitaciones, según la norma chilena NCh 2785 son:

- 0,7 m entre las posiciones del micrófono.

- 0,5 m entre cualquier posición del micrófono y bordes o difusores del recinto.
- 1 m entre cualquier posición del micrófono y la fuente de ruido.

Con respecto a las fuentes de sonido, estas se ubicaron en la habitación emisora de manera que generen un campo acústico difuso a una cierta distancia del borde de la habitación y no debe ser menor a 0,5 m. Para la ubicación de la fuente emisora en el exterior, esta debe estar a 5 m de distancia desde la fuente emisora hasta el centro del muro a determinar.



**Figura 10.** a) Distribución de las posiciones del sonómetro y fuente sonora, b) Representación interna del muro pareado SIP de la sección roja de la figura 10a

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1.-Evaluación de Índice de reducción acústica de tableros

Las tablas 3, 4, 5 y 6 muestran los resultados obtenidos de la medición del RW según tipo de tablero a diferentes espesores.

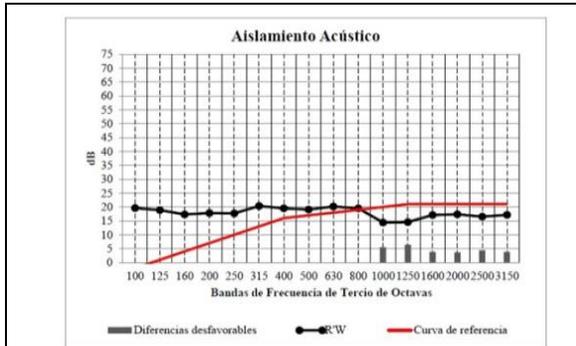
<b>Tabla 3.</b> Medición del índice de reducción acústica (RW) del tablero MDF				<b>Tabla 4.</b> Medición del índice de reducción acústica (RW) del tablero PLY			
Probeta	RW (C; Ctr) [dB]	RW + C [dBA]	RW + Ctr [dB]	Probeta	RW (C; Ctr) [dB]	RW + C [dBA]	RW + Ctr [dB]
MDF 1	17 (0; 0)	17	17	PLY1	16 (0; 0)	16	16
MDF 2	17 (-1;-1)	16	16	PLY 2	16 (-1; 0)	15	16
MDF 3	17 (0; 0)	17	17	PLY 3	17 (-1;-1)	16	16
MDF 4	16 (0; 0)	16	16	PLY 4	16 (0; 0)	16	16
<b>Tabla 5.</b> Medición del índice de reducción acústica (RW) del tablero PB				<b>Tabla 6.</b> Medición del índice de reducción acústica (RW) del tablero OSB y HB			
Probeta	RW (C; Ctr) [dB]	RW + C [dBA]	RW + Ctr [dB]	Probeta	RW (C; Ctr) [dB]	RW + C [dBA]	RW + Ctr [dB]
PB 1	16 (0; 0)	16	16	OSB 1	19 (-1;-1)	18	18
PB 2	20 (-1;-1)	19	19	OSB 2	15 (0; 0)	15	15
PB 3	16 (0; 0)	16	16	HB1	20 (0;-1)	20	19

Donde RW es el Índice global de reducción acústica. Basada en la frecuencia de 500 Hz, Rw(c, ctr): Índice que caracteriza las propiedades acústicas de cada material. Indica la diferencia de niveles sonoros existentes entre un lado y otro de un tabique, para un espectro de ruido establecido para sonidos con puntos de energía inferiores a 500 Hz, se debe corregir el Rw. Siendo C= corrector para el ruido rosa y Ctr= corrector para el ruido del tráfico.

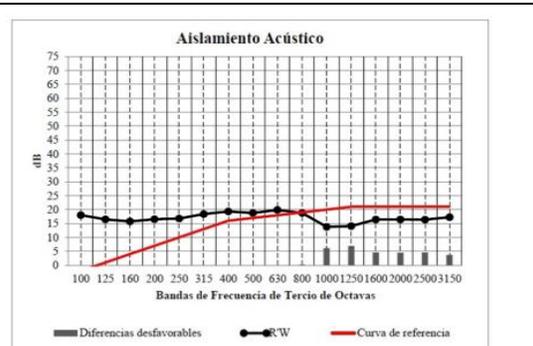
Numéricamente los resultados no varían en un rango muy grande, solo se mueve entre 15 y 20, pero al ser medidos en decibeles esto cambia, como el decibel es una expresión logarítmica, no indica una cantidad, sino expresa una razón entre estas cantidades, por lo que una diferencia de una unidad no es muy relevante, pero si cuando esta es una diferencia de 5 a 10 unidades, por lo que no hay un tablero mejor que el otro.

Las siguientes gráficos del 1 al 15 corresponden a la interpretación de las tablas anteriores y muestra el comportamiento de cada tablero.

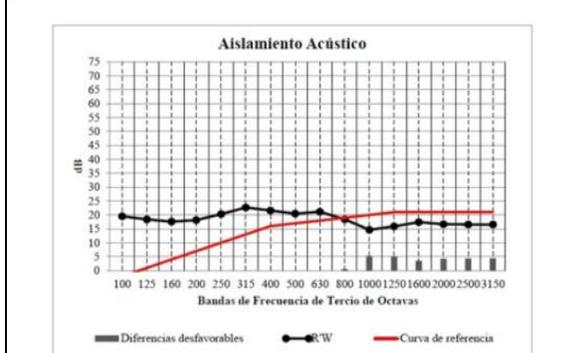
- Tablero MDF, PLY, PB, OSB y HB



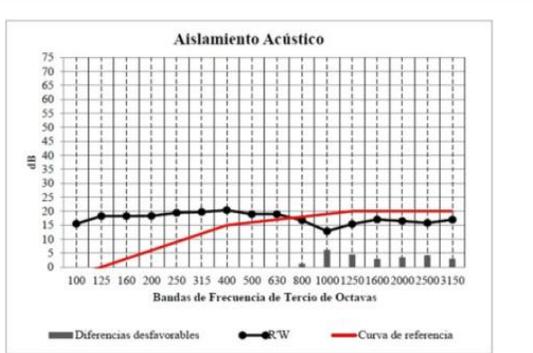
**Figura 11.** Aislamiento acústico MDF 1 (9 mm).



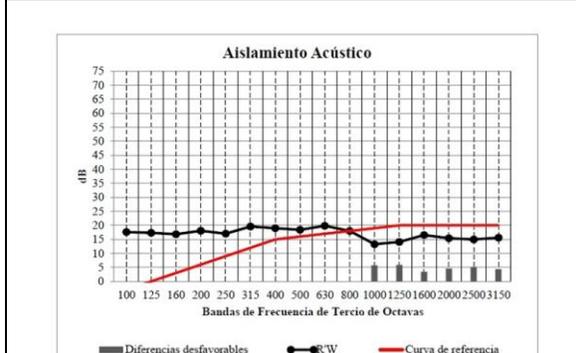
**Figura 12.** Aislamiento acústico MDF2 (5,5mm).



**Figura 13.** Aislamiento acústico MDF 3 (12mm).



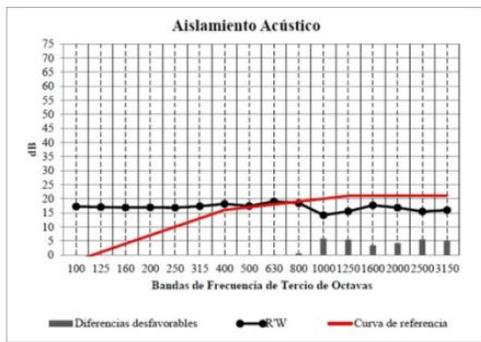
**Figura14.** Aislamiento acústico MDF 4 (15 mm).



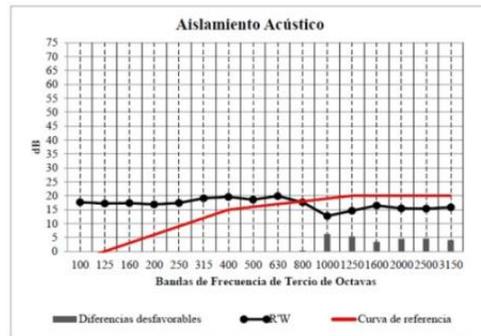
**Figura15.** Aislamiento acústico PLY 1 (9 mm).



**Figura16.** Aislamiento acústico PLY 2 (15 mm).



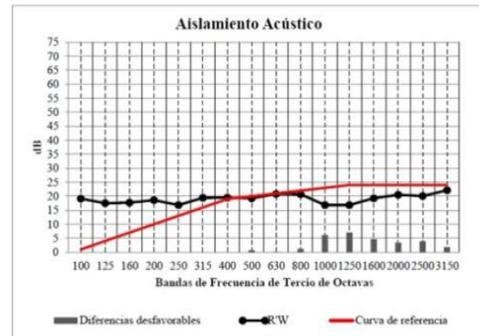
**Figura 17.** Aislamiento acústico PLY 3 (9 mm) ranurado.



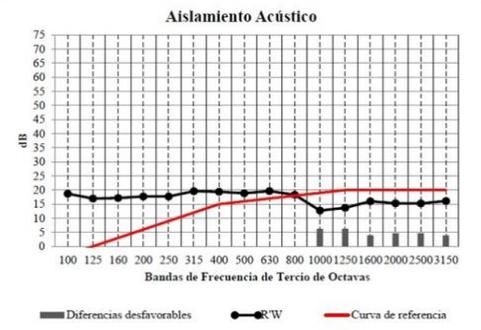
**Figura 18.** Aislamiento acústico PLY 4 (12 mm).



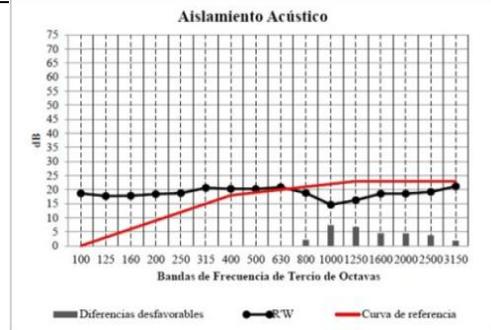
**Figura 19.** Aislamiento acústico PB1 (18 mm).



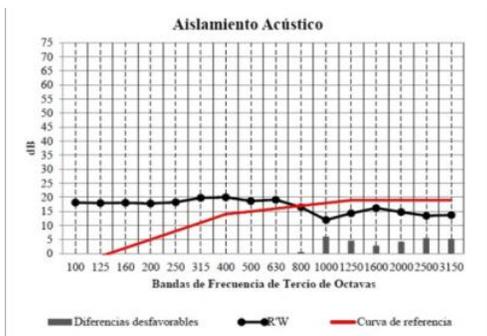
**Figura 20.** Aislamiento acústico PB2 (6 mm).



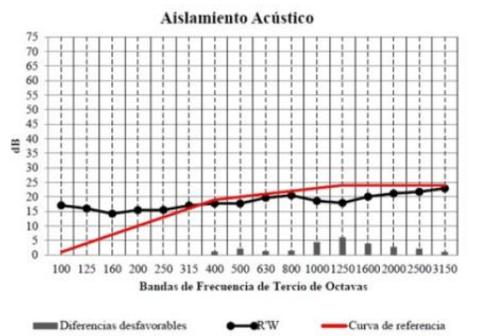
**Figura 21.** Aislamiento acústico PB3 (8 mm).



**Figura 22.** Aislamiento acústico OSB1(11,1mm).



**Figura 23.** Aislamiento acústico OSB2 (15,1mm).



**Figura 24.** Aislamiento acústico HB 1 (3,2 mm).

### 3.2.-Discusión del ensayo índice de reducción acústica de tableros

Según los datos obtenidos el Tablero de fibras HB de 3,2 mm y el tablero de partículas de 6 mm presentaron un RW correspondiente a 20 dB, el tablero OSB de 11,1 mm presentó un RW de 19 dB, los tablero MDF de 5,5, 9 y 12 mm y el tablero contrachapado de 9 mm presentaron un RW de 17 dB, por último los tableros de partículas de 18 y 8 mm, los tableros contrachapados de 9, 12 y 15 mm y el tablero MDF de 15 mm presentaron un RW de 16 dB. El tablero OSB de 15,1 mm fue el que presentó el menor RW con 15 dB. Los resultados que se obtuvieron tienen relación con la fabricación de estos tableros. Los tableros de OSB y Plywood tienen una estructura de caras contrapuestas y compuestos por segmentos de madera de mayor tamaño que impiden el paso del sonido, en cambio el resto de tableros solo presentan un sentido de capas, distribución de fibras más uniformes y compuestos por elementos de madera de menor tamaño, por lo que el sonido puede traspasar con mayor facilidad. La densidad de los tableros es un factor directamente relacionado con la aislación acústica, a mayor densidad mayor aislación, por lo que los tableros con densidades más altas son los que presentaron mayores RW. El espesor en el caso de los tableros de madera, no influyen en los resultados antes indicados, más bien lo que influye en el índice de reducción acústica es la densidad más que el espesor.

Una propiedad de estos tableros, que no fue considerada, fue el módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de ruptura (MOR) ambos relacionados con la elasticidad y dureza del tablero y según estos datos se podría correlacionar la aptitud del tablero para la aislación, entre más altos sean estos valores de módulos mayor será la rigidez de los materiales en este caso de los tablero, y así la transmisión del sonido será mínima.

Los tableros evaluados que presentaron el RW más alto (HB y PB) muestran características similares de densidad, mayores a  $700 \text{ Kg/m}^3$ , pesos inferiores a 6 Kg, CH en el rango 8 a 9%. Esto se debe a su composición, la cual consiste en partículas de madera con adhesivo, formando una masa moldeable que al pasar por las prensas para obtener el producto final, son más compactas y así forman una barrera que impide el tránsito del sonido a través del tablero.

Los tableros que presentaron el RW de 20 dB presentan características de formación parecidas, ya que ambos están constituidos por partículas de madera las cuales son mezcladas con adhesivo y se comprimen, estos tableros poseen una estabilidad y consistencia uniforme, lo que le otorga estabilidad y rigidez mayor a los demás, entonces por esta estructura la transmisión del sonido es menor, ambos tableros son de espesor menor, lo que permite presumir que no por presentar un mayor espesor, se pueden obtener mejores resultados, de hecho en el ámbito de la arquitectura de aislación es común el empleo de láminas de goma de alta densidad y bajo espesor para mejorar la aislación en tabiques divisorios, de manera que si el propósito es lograr aislación de ruido una combinación de tablero y goma es recomendable.

Los tableros MDF están constituidos por fibras más pequeñas que las fibras del tablero HB y que las partículas del tablero de partículas, lo cual indica que el tablero MDF es más compacto que los anteriores, hecho que a priori podría indicar un mejor índice de reducción acústico, lo que no sucedió, una posible explicación a esto puede ser que las fibras en su

mayoría están enteras y en su centro se encuentra el lumen, espacio por donde transitan sustancias dentro del árbol, quedando hueco en su totalidad cuando estas sustancias se pierden al formarse el tablero y la dosis de adhesivo no alcanza a llegar hasta el lumen por lo que al prensarlos quedan diminutos espacios de aire en los cuales el ruido se mueve con mayor facilidad, es decir el sonido transita fácilmente en una carretera de ductos uniformes, con menos obstáculos que los que ofrecen las chapas contrapuestas, las hojuelas de diversas direcciones y densidades, entre otros.

Los tableros ubicados entre 16 – 17 dB de RW están formados por componentes de madera de dimensiones más grandes que los demás tableros, en el caso de los OSB su componente son las virutas y en Plywood son chapas de madera. En OSB las virutas de madera se mezcla con adhesivo y son orientadas de tal manera que cada manto de viruta está en forma perpendicular con respecto al manto superior e inferior, los tableros contrachapados formados por chapas de madera de espesor  $\pm 1$  mm se juntan desde tres chapas hasta nueve, pero solo en número de chapas impares. Estos tableros son fabricados con el fin de ser ocupados en la construcción por su estabilidad y resistencia, pero no son aptos para la aislación acústica por sí solos.

### **3.3 Resultados de Evaluación del Comportamiento acústico de Viviendas**

Los muros y paredes en estudio no presentan las mismas dimensiones y condiciones en las viviendas evaluadas, lo que puede afectar en que el sonido se demore más en viajar por un espacio más grande, en consecuencia, no llega con la misma fuerza que si la habitación fuese pequeña. Por ello, y para que el estudio sea válido, se escogieron habitaciones de similar tamaño.

En el prototipo de vivienda construida con paneles SIP, la pared que se decidió utilizar es la que divide el espacio común (living + comedor) con los dormitorios, posee una superficie de  $11,85 \text{ m}^2$  de espesor 64 mm y densidad de  $97 \text{ Kg/m}^3$ . La pared genera un ambiente con dos espacios; uno es el sector del dormitorio en donde se colocó la fuente sonora, por lo tanto, se ha denominado “sala emisora”, cuyo volumen es de  $34 \text{ m}^3$ . El espacio común fue el que recibió el sonido, siendo la “sala receptora”, y su volumen es de  $28,68 \text{ m}^3$ .

El muro pareado SIP + yeso cartón es un elemento divisor compuesto por dos paneles SIP, más una plancha de yeso cartón de terminación por cada lado, cuya función principal es mejorar la resistencia al fuego del muro pareado, ya que es la pared divisoria entre dos viviendas. Cabe destacar que para este estudio se consideró solo la sección que separa los espacios comunes de las casas y no la pared completa, esta sección de pared tiene un espesor de 128 mm, una superficie de  $6,95 \text{ m}^2$  y densidad de  $194 \text{ Kg/m}^3$ , siendo la casa 1 la sala emisora con un volumen de  $62,68 \text{ m}^3$  y la casa 2 la sala receptora con un volumen de  $28,68 \text{ m}^3$ , como muestra la Figura 10.

La vivienda social de tipo pareada, consta en su totalidad de muros exteriores de ladrillos, al igual que la pared divisoria, de la misma manera que en el caso anterior solo se consideró la sección de pared que divide los espacios comunes y que posee una superficie de  $11 \text{ m}^2$  y espesor de 60 mm, la sala emisora es la casa cuyo espacio común se encuentra ampliado y se denominó la casa 1 y consta de un volumen de  $62,68 \text{ m}^3$ , en tanto la sala receptora es la

propiedad que conserva su espacio original, denominada casa 2 y tiene un volumen de 28,68. Como son espacios de diferentes dimensiones, para no interferir en los resultados, la fuente sonora se colocó a una distancia que respetara las dimensiones originales de la vivienda, así ambas casas tuvieron igualdad de condiciones.

En la segunda parte del estudio se midió la pared de yeso cartón que presenta un espesor de 60 mm y una superficie de 6,6 m<sup>2</sup> de la casa 1, la cual divide las dos habitaciones dormitorios que esta posee. Ambas salas emisora y receptora tienen un volumen de 19,8 m<sup>3</sup>.

A continuación se presentan las tablas y gráficos que muestran los resultados que se obtuvieron, una vez ingresadas en el software las determinaciones tomadas con el sonómetro (siguiendo el instructivo indicado y descrito anteriormente).

### 3.3.1.- Muro pareado panel SIP + yeso cartón (128 mm) vs Muro de ladrillo (60 mm)

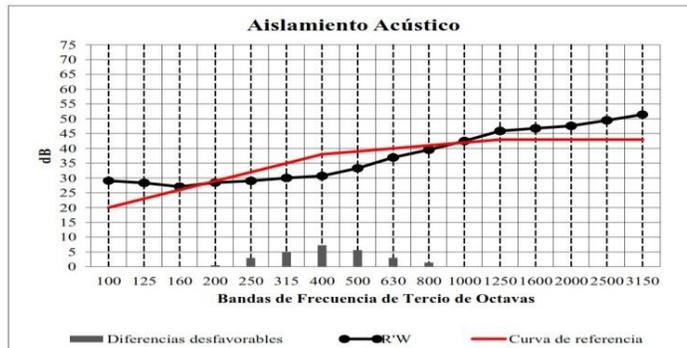
La curva en color rojo presente en todos los gráficos, representa una curva de referencia o índice de reducción acústica aparente, el que corresponde a la diferencia de niveles entre el recinto de emisión sonora y el recinto de recepción, corregidos por la relación entre el área del elemento constructivo ensayado y el área de absorción equivalente del recinto receptor. Se determina experimentalmente en laboratorio según la norma NCh 2786.

El índice de reducción acústica aparente ( $R'$ ) de un elemento constructivo (por ejemplo pared separadora entre dos viviendas) se mide in situ e incluye las transmisiones indirectas. Por el contrario el índice de reducción acústica ( $R$ ) de un elemento constructivo se mide en laboratorio y no incluye transmisiones indirectas. Cuando lleva el subíndice A significa que los valores se han ponderado a la curva A (ruido incidente rosa). No existe relación matemática entre ellos, se trata de comparar los valores obtenidos in-situ respecto a los previsto por ensayo de laboratorio.

- SIP + yeso cartón: El índice de reducción Acústica Aparente Ponderado,  $R'w$  resultante fue de 39 dB. Su ponderación en dBA,  $R'w+C$  es de 38 dB(A), los resultados para el análisis en tercio de octava se muestran en la tabla 7 y figura 25.

**Tabla 7.** Análisis  $R_w$  del muro SIP + yeso cartón pareado en la vivienda de emergencia

$R'w (C ; C_{tr})$	39(-1;-4)	dB
$R'w + C$	38	dBA
$R'w + C_{tr}$	35	dB



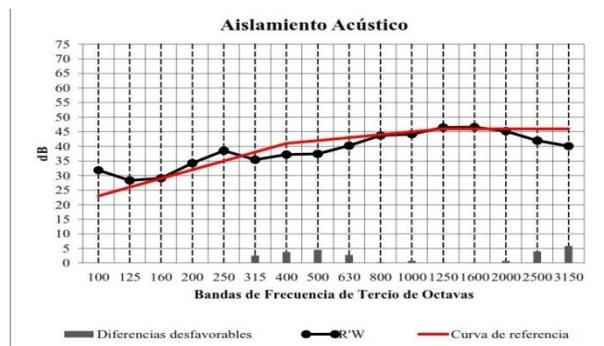
**Figura 25.** Comportamiento del sonido a través del muro pareado (panel SIP + yeso cartón) en la vivienda de emergencia

El gráfico anterior muestra el comportamiento que presenta el sonido al enfrentarse al muro SIP+ yeso cartón, el cual indica que la curva de color negro tiene un comportamiento creciente, por lo que a mayor aumento de la banda de frecuencia de 1/3 de octava aumenta también el R'w, solo en el intervalo entre los 250 Hz a 800 Hz, muestra una alteración demostrando un decrecimiento, el cual coincide con las diferencias desfavorables indicadas por las barras plomas, las que indican una perturbación relacionada con un ruido con otra frecuencia distinta a la ocupada según la norma, pero en este caso no afecta al estudio del aislamiento.

- Muro de ladrillo pareado: El índice de reducción Acústica Aparente Ponderado, R'w del muro de ladrillo pareado de la vivienda social medido fue de 42 dB. Su ponderación en dBA, R'w+ C es de 41 dB(A), los resultados para el análisis en tercio de octava se muestran en la tabla 8 y figura 26.

**Tabla 8.** Análisis Rw del muro ladrillo pareado en la vivienda social

R'w (C ; Ctr)	42(-1;-3)	dB
R'w + C	41	dBA
R'w + Ctr	39	dB



**Figura 26.** Comportamiento del sonido a través del muro de ladrillo pareado en la vivienda social

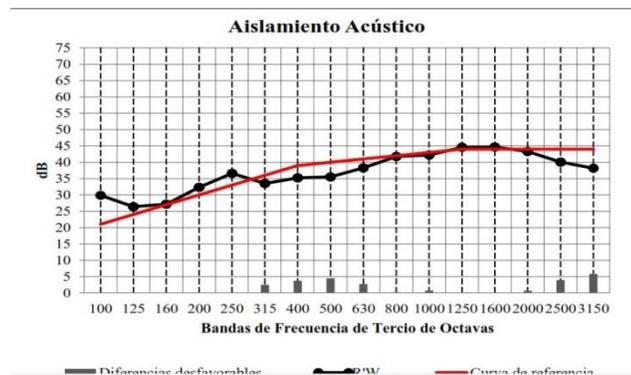
En el muro de ladrillo el paso del ruido por esta pared es similar al de la pared SIP, pero en ésta se notan más los cambios que sufre el sonido a través de la pared, llama la atención que la recta presenta notorias subidas y bajadas. El decrecimiento se nota en tres sectores, de los cuales solo dos coinciden con las diferencias desfavorables, solo al comienzo de la recta muestra un decrecimiento, esto se debe al cambio de materiales.

**3.3.2.-Pared divisor de ambiente de panel SIP vs Pared yeso cartón vivienda social**

- Panel SIP: El índice de reducción Acústica Aparente Ponderado,  $R'w$  de la pared de panel SIP de la vivienda prototipo de emergencia medido fue de 30 dB. Su ponderación en dBA,  $R'w + C$  es de 30 dB(A), los resultados para el análisis en tercio de octava se muestran en la tabla 9 y figura 27.

**Tabla 9.** Análisis  $R_w$  de la pared SIP separador de ambiente en la vivienda de emergencia

$R'w (C ; Ctr)$	30(0;-1)	dB
$R'w + C$	30	dBA
$R'w + Ctr$	29	dB



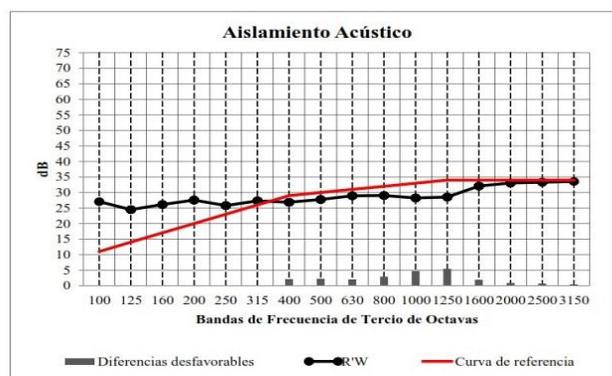
**Figura 27.** Comportamiento del sonido a través de la pared divisora del ambiente (panel SIP) en la vivienda prototipo de emergencia

El grafico muestra el comportamiento aislante de la pared SIP, la cual indica que el sonido no presenta variaciones notorias, más bien es una recta cercana a ser constante, las diferencias desfavorables en este caso, ocurren en una ocasión, la diferencia en comparación con el grafico anterior recae, en que en el muro SIP el espesor es mayor y además tiene incluida una capa de yeso cartón entre los Paneles SIP, por lo que el ruido al viajar por el panel SIP + yeso cartón presenta mucho más obstáculos que la pared divisor de ambiente.

- Pared Yeso cartón: El índice de reducción Acústica Aparente Ponderado,  $R'w$  de la pared de yeso cartón de la vivienda social medido fue de 40 dB. Su ponderación en dBA,  $R'w + C$  es de 39 dB(A), los resultados para el análisis en tercio de octava se muestran en la tabla 10 y figura 28.

**Tabla 10.** Análisis  $R_w$  de la pared de yeso cartón divisor de ambiente en la vivienda social

$R'w (C ; Ctr)$	40(-1;-3)	dB
$R'w + C$	39	dB(A)
$R'w + Ctr$	37	dB



**Figura 28.** Comportamiento del sonido a través de la pared de yeso cartón divisor de ambiente en la vivienda social

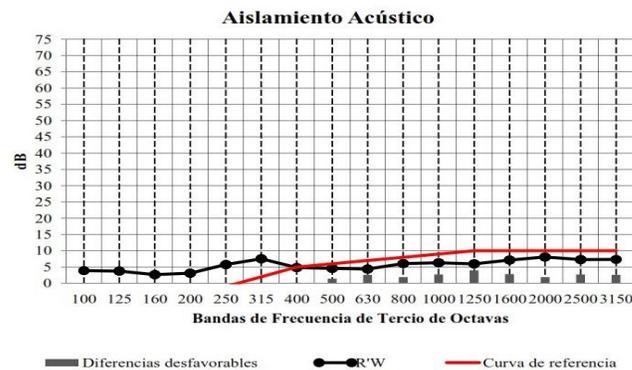
El comportamiento del ruido a través de la pared de yeso cartón es similar al muro divisor de ladrillos, la diferencia radica en que esta recta se mueve en números de  $R'W$  más bajos que la anterior, en esta pared el material ocupado no presenta mejores características de aislamiento que el ladrillo (diferente densidad), porque ambas presentan misma dimensión y espesor.

### 3.3.3.-Pared divisor de ambiente de la vivienda mediana

El índice de reducción Acústica Aparente Ponderado,  $R'w$  de la pared divisora de ambiente de la mediagua medido fue de 6 dB. Su ponderación en dBA,  $R'A$  es de 6 dB(A), los resultados para el análisis en tercio de octava se muestran en la tabla 11 y figura 29.

**Tabla 11.** Análisis  $Rw$  de la pared divisor de ambiente en la mediagua

$R'w (C ; Ctr)$	6(0;0)	dB
$R'w + C$	6	dBA
$R'w + Ctr$	6	dB



**Figura 29.** Comportamiento del sonido a través de la pared divisor de ambiente en la mediagua

En esta pared divisora de ambiente, se nota el déficit y decadencia de esta, ya que no presenta un espesor ni densidad adecuada para la correcta aislación, la recta se muestra muy cercana a ser constante lo que indica que el ruido no tiene barreras que impidan su transmisión por el medio.

### 3.4.-Discusión

De los cálculos realizados se puede decir, que las paredes que obtuvieron los mejores resultados fueron las viviendas sociales construidas de ladrillos y yeso cartón, el resultado está directamente relacionado con la densidad que poseen dichos materiales, siendo sus valores superiores a los  $500 \text{ Kg/m}^3$ , lo que le da más cuerpo a las paredes e impide el paso del ruido hacia la otra habitación. Otro factor determinante del resultado es el tipo de unión entre elementos los cuales se encuentran totalmente sellados con estuco y pintura, lo que impide la fuga de ruido. Estas características presentes en las paredes le dan un mayor aislamiento, por lo cual los niveles de atenuación, se acercan bastante a la reglamentación que estipula el MINVU.

Los muros de Panel SIP presentaron resultados cercanos a las paredes de la vivienda social, ya que, la densidad del tablero es similar a la densidad del ladrillo y yeso cartón, además en su composición de hojuelas de madera dispuestas de forma perpendicular, representa un obstáculo para las ondas de sonido, así no pueden cruzar libremente entre un lado al otro, el

problema más desfavorable en este tipo de muros son las uniones (puerta, ventanas y piso), por la importancia que adquieren las terminaciones, como una unión adecuada y bien hecha evitando puentes acústicos, para evitar que el ruido escape hacia las otras dependencias de la casa, en estas condiciones es posible aseverar que el panel SIP sea un excelente aislante, teniendo en cuenta las propiedades antes descritas, se puede catalogar como aislante acústico.

En cambio la pared divisoria de ambiente de la mediagua es la que presentó los resultados más bajos, puesto que su construcción no es la adecuada y no presenta normativas que ayuden a su correcta construcción. Las condiciones en que se emplea la madera para la construcción de la mediagua no resulta apta para cubrir ningún aislamiento acústico, presenta diversos defectos como curvatura, torcedura y mal dimensionado e incluso partes faltantes en la pieza, además el tabique en si no presenta ningún tipo de forro interior, por lo que solo se tiene como protección las tablas de madera entreabiertas, lo que no da un aislamiento mínimo necesario.

Para poder construir o comprar cualquier tipo de vivienda, estas deben antes pasar por certificaciones o cumplir las normativas que el MINVU estipula, por lo que los encargados en este caso los arquitectos o ingenieros, deben realizar simulaciones a la vivienda que se va a construir, para comprobar que los materiales de construcción elegidos cumplan la normativa, para ello existen diversos software en los cuales se realiza esta simulación y se pone a prueba con los distintos tipos de ambiente expuestos de la futura construcción, como ruido de transporte terrestre (camiones, autos, micros, etc.), transporte aéreo, lugares con alta densidad poblacional, etc.

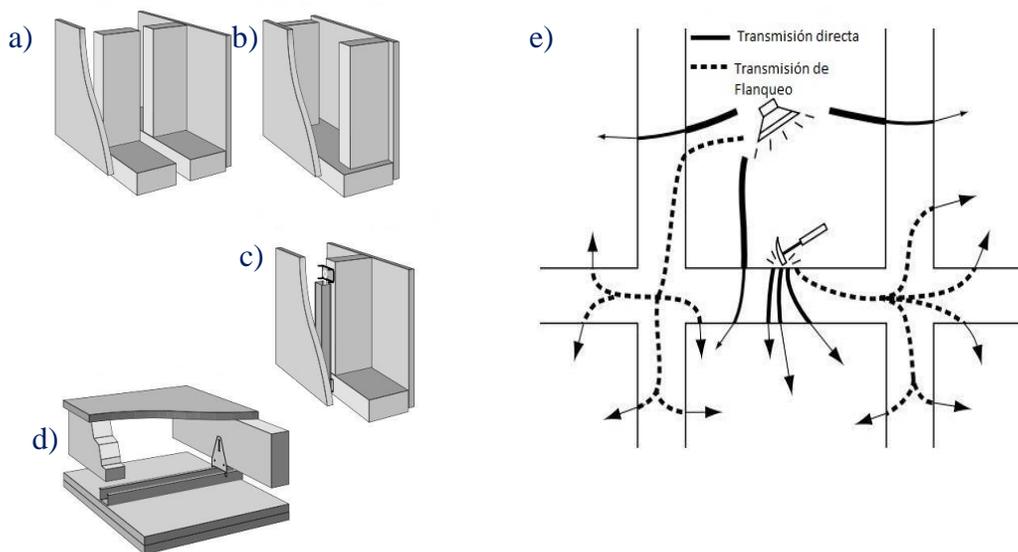
### **3.4.1.-Soluciones constructivas para mejorar índice de reducción acústica**

Cualquier pared o el suelo, que separa una vivienda o unidad de otra, debe tener una resistencia adecuada al paso del sonido. Como ha quedado claro, hay dos tipos de sonido que deben ser resistidos. Estos son a partir de fuentes tales como el aire, el habla, instrumentos musicales y altavoces y otras son fuentes de impacto, tales como huellas y la el desplazamiento de muebles. Es necesario, entonces abordar los métodos que pueden ayudar a lograr el aislamiento acústico adecuado ó la pérdida de transmisión de sonido. En situaciones prácticas, la diferencia más pequeña que la gente puede detectar fácilmente es de tres decibeles. Cuando se comparan diferentes sistemas, una variación de una o dos decibeles es poco detectable (MRTFC, 1999).

Un aumento en la pérdida de transmisión se espera lograr con aumentos de la masa del sistema de pared o el techo debido a que elementos más pesados vibran menos en respuesta a ondas de sonido, por lo tanto, tienen menos radiación de energía de sonido (MRTFC, 1999). En el caso de la madera, aquellas de densidades más altas tendrán una mejor atenuación que aquellas de menor densidad. Lo mismo respecto a los tableros, en donde no sólo influye la densidad, sino que se agrega el que los materiales menos homogéneos ofrecen más dificultad de tránsito del sonido desde un punto al otro, es decir deben atravesar más obstáculos. (Garay et al, 2011). Por otro lado, una de las maneras más eficaces de lograr la pérdida de transmisión del sonido es el uso de la construcción de doble

capa, es decir, dos capas de material separadas por un espacio de aire. Este sistema ideal no tendría conexión estructural entre las capas. La cavidad de aire proporciona una mayor reducción de ruido, ya que sólo una fracción de la energía del sonido se transmite a través de la superficie, a continuación viene la cavidad y de nuevo otra superficie.

Sin embargo, la pérdida de transmisión puede reducirse si hay acoplamiento estructural entre las capas, lo que permite vibraciones sonoras para transferir a través de la estructura. Esto es el equivalente acústico de un cortocircuito eléctrico. Para la construcción de muros de peso ligero, hay varias formas prácticas de reducir las conexiones mecánicas entre las capas de partición. Estos incluyen - de doble perno (paredes dobles o individuales), que son de dos cuadros de pared independiente (figura 30a); tacos escalonados que son separados de las filas; pernos prisioneros que comparten placas de pared comunes (Fig 30b); o una sola hilera de postes con canales de metal elástico que se montan o apoyan a los revestimientos de las paredes en un lado (Fig 30c). Con configuraciones de revestimiento equivalente, de pared doble de los sistemas de soportes se realiza la mejor solución, ya que tienen capas independientes, como lo aconseja el Multi residential Timber Framed Construction (1999). La pérdida de transmisión de sonido generalmente se obtiene con paredes de entramado escalonados, ya que eliminan la transmisión de sonido directo a través de los pernos prisioneros, pero comparten las placas superior e inferior, por lo tanto permiten algunos 'Cortocircuito' de la energía sonora. Las paredes de montantes individuales con un revestimiento elástico montado son sistemas que generalmente no se realizan, así como los de doble perno o sistemas de bajantes. Para los sistemas de suelo / techo, la separación entre el suelo y el techo se logra mejor mediante el apoyo a los forros de canales resistentes o monturas. (Figura 30d).



**Figura 30.** a) pared de doble perno, b) Pared Escalonada, c) Montado de pared solo de un lado, d) suelo típico / sistema de techo, e) Vías de transmisión del sonido

Llenando la cavidad con material de aislamiento de absorción (Fibra de celulosa, fibra de vidrio o lana mineral) se puede lograr la pérdida de transmisión sustancialmente, sobre todo cuando la cavidad es grande.

El material de absorción de sonido debe ser de un mínimo de 50 mm de espesor y una densidad mínima de  $12 \text{ kg / m}^3$ , o sea debe ser más grueso que dos tercios de la pared o cavidad del piso / techo. La adición de material absorbente a la cavidad sólo es beneficiosa si las conexiones estructurales entre las superficies no lo hacen transmitir la energía de vibración. Por ejemplo, la adición de aislamiento entre los postes de madera de una sola pared de postes (una pared de postes de madera con forros conectados directamente a ambas caras de la espárragos) tiene poco efecto, ya que no altera la dominancia de la transmisión de vibraciones directa a través de los postes de madera. En un edificio en el que todos los componentes están rígidamente conectado, la energía del sonido puede ser transmitido a través de la techo, pared y las estructuras del suelo a las salas adyacentes. Las vibraciones dentro de la estructura de sonido causan que se irradian desde todas las superficies como se muestra en la Figura 30e. Esto se produce para todos los materiales utilizados en la construcción (ladrillo, hormigón, madera, acero, etc.).

Esos caminos que no son directamente a través del suelo o paredes se denominan “flanqueando los caminos”. Cuando las particiones o pisos son probados en laboratorios acústicos, se toma gran cuidado para asegurar que la única ruta de transmisión del sonido significativo sea a través del espécimen a prueba. Uniones sólidas entre el espécimen y la estructura circundante se eliminan o se hace suficientemente elástico.

Para abordar el mismo rendimiento acústico de los edificios que se alcanza en las pruebas de laboratorio, la transmisión de energía a lo largo de los caminos de acompañamiento debe ser minimizado. Esto se consigue mediante la introducción de roturas en la construcción, tales como conexiones resistente.

Una buena forma de mejorar más la aislación acústica en estas tres tipos viviendas es realizándoles acondicionamientos o soluciones constructivas para mejorar el Índice de Reducción Acústica, para lo cual el MINVU tiene publicado un listado con diversos tipos de mejoramiento para los tabiques y muros presentes en las viviendas, a continuación se entrega una selección de las soluciones que mejor se ajustan a los muros presentes en las viviendas estudiadas.

A.-Muro Albañilería titán reforzado estructural de 29 x14 x7, 1 cm

- Estucado 1 cara: El muro divisorio está construido con ladrillos cerámicos y por una de sus caras se debe colocar un estuco de 20 cm de espesor. El incremento en el índice de reducción acústica va de 39 dB(A) a 45 dB(A).
- Estucado 2 caras: El muro divisorio construido con ladrillos cerámicos y por ambas caras del muro se debe colocar un estuco de 20 mm de espesor, el índice de reducción acústica pasa de 39 dB(A) a 47 dB(A), si el estuco se reduce a la mitad, o sea a 10 mm, el índice de reducción acústica baja de 47 dB(A) a 46 dB(A), pero sigue siendo un aumento significativo.

- Estuco acústico T28 (ambas caras): El muro divisorio construido con ladrillos cerámicos industriales, espesor de cantería vertical y horizontal de 15 mm (mortero de pega cumple norma chilena NCh2256/1.Of2001) y por ambas caras se debe colocar el estuco acústico T28 de 320 mm de espesor cuya resistencia a compresión es de 60 Kg/m<sup>2</sup>, el espesor total del muro es de 180 mm, el aumento de índice de reducción acústica es de 39 dB(A) a 48 dB(A).

#### B.-Panel SIP

- Paneles que se construyen con planchas de poliestireno expandido de 53 mm de espesor, recubiertos por cada cara con un panel OSB de 11,1 mm, estos se ensamblan entre si y en las uniones se sellan con yeso, se debe colocar dos planchas de yeso cartón de 10 mm por cara, el aumento del índice de reducción acústica en de 40 dB(A) a 46 dB(A).

#### C.-Tabique yeso cartón

- Los tabiques de yeso cartón requieren de una doble estructura y recubrimiento de planchas de yeso cartón, aumenta de 40 dB a 47 dB, también mejora la estructura si a lo anterior se le adiciona otra plancha de yeso cartón, lo que aumenta a 49 dB.
- El tabique revestido con doble plancha de yeso cartón aumenta su Rw de 40 dB a 45 dB, el cual en su interior presenta una estructura de madera y en los espacios de aire se le aplica yeso.

Las soluciones constructivas nombradas y descritas anteriormente, son soluciones que pueden ser aplicadas a muros ya construidos, con materiales que en el mercado se pueden encontrar fácilmente y en el aspecto económico no son de difícil acceso.

La aislación acústica mejora en la medida que los revestimientos del tabique estén menos unidos y que las uniones necesarias se hagan con materiales flexibles, que amortigüen las vibraciones, evitando que las uniones rígidas se produzcan por ambos lados del tabique, un ejemplo es colocar una goma en cada pie derecho de forma intercalada ( en un pie derecho se coloca la goma en el lado izquierdo en el siguiente pie derecho se coloca en el lado derecho y así sucesivamente), esto evita las vibraciones de los materiales y hay un cambio de densidades en la unión. Para procurar una adecuada aislación acústica entre dos habitaciones se debe trabajar también la unión del tabique separador con los tabiques laterales, mediante uniones no rígidas, o sea, el ruido no debe pasar a través del muro lateral que ofrece poca resistencia al paso del sonido, en cambio el sonido se debe enfrentar a diversas resistencias acústicas que hacen que su transmisión sea menor.

En esta lista publicada por el MINVU no figura soluciones constructivas para piso y techumbre de viviendas de solo una planta, ya que los ruidos de impacto generados por el tránsito son transmitidos por el piso propiamente tal y también a través de los muros o tabiques que lo soportan. Este efecto se puede aminorar construyendo un sobrepiso de materiales como corcho, poliestireno expandido o caucho, que no estén sujetos a los tabiques laterales, conformando un piso flotante. Esta forma de construir permite además dejar el envigado a la vista, además de que puede ayudar a la atenuación del ruido referente

al piso es colocar elementos que absorban el sonido, como alfombras o piso flotantes, las capas con que se construya el piso aportan al mejoramiento de la aislación acústica, como colocar gomas en las uniones en donde se encuentren la viga y el tablero, si la parte inferior del entrepiso se reviste para formar un cielo raso, se puede aminorar la transmisión sonora colocando listones perpendiculares al envigado, sobre los que posteriormente se clavará el revestimiento.

En el caso de techos en el listado de MINVU solo se enfocan en los entrepisos de edificaciones con más de un piso, no concorde a lo estudiado en las viviendas, pero una solución constructiva recomendada es colocar materiales aislantes del ruido, como lana de vidrio o similares, por otra parte en la construcción de la vivienda se debe tener cuidado con los puentes acústicos más comunes que son en las uniones.

En el caso de la mediagua se deben realizar mucha más inversión para mejorar cada muro desde el relleno hasta el forro que se ocupara, por ejemplo en el relleno es recomendable colocar fibra de vidrio o lana de vidrio de 50 mm de espesor o superior, en el forro se puede tener como buena opción los tableros descritos anteriormente y recomendar la mejor opción que sería entre los tableros de OSB y contrachapado, considerando su aporte en el sentido estructural que requieren estas viviendas, cabe mencionar que todos los materiales de construcción también son un aporte positivo en la aislación térmica de los muros, por lo que son una buena opción para ser aplicado.

Como se dijo anteriormente existen materiales que ayudan a la mejora de la aislación, estos materiales que existen en el mercado son ocupados esencialmente a la aislación de recintos que reciben público masivo en donde no debe entrar el ruido (salas de clases, auditorios, teatros, etc.), pero no enfocados hacia hogares, aun así algunos de estos productos pueden ser ocupados para la aislación en hogares. En el anexo 1, se detalla algunos productos aislantes termo acústico, los que ayudan no solo en la aislación acústica sino también en la aislación térmica.

#### 4.-CONCLUSIONES

Para los distintos tipos de tableros ensayados en laboratorio se determinó que a mayor densidad, mayor es el índice de reducción acústica, como es el caso de tablero HB de 3,2 mm y el tablero PB de 6 mm, en cambio los otros tableros presentaron un índice de reducción acústica entre los 16 y 17 dB, esto es por sus componentes de madera de mayores dimensiones que ofrecen más espacios de aire entre sí que facilitan el movimiento del sonido dentro del tablero y es fácil la transición de este a través de ellos.

Aunque los tableros presentaron valores positivos para la aislación acústica, aún falta para poder satisfacer los requerimientos normativos de aislación, es por esta razón que se deben emplear adicionalmente materiales aislantes de ruido.

Referente a las viviendas sociales que el MINVU regula, solo los muros perimetrales cumplen las condiciones mínimas de confort acústico, como lo indica en la Ordenanza, en cambio las paredes internas de la casa están algunos decibels por debajo del mínimo que estipula la norma.

El panel SIP arrojó resultados muy cercanos a la normativa, pero no llega a cumplir lo que indica, una mejora importante a considerar es cambiar el poliestireno expandido por algún material termo acústico, para así cubrir simultáneamente varios criterios técnicos de habitabilidad en una vivienda.

Las viviendas de emergencia llamadas mediaguas, son soluciones de corto plazo, no para ser habitadas de forma permanente, puesto que estas no cumplen una normativa básica de confort para sus habitantes, esto se debe a que los resultados para la mediagua fueron los valores más bajos en comparación de las otras dos viviendas y su estructura no es la adecuada para cumplir la normativa de aislación acústica.

En ambas viviendas (el prototipo y la social) los muros externos presentaron un mejor índice de reducción acústica que las paredes internas de las mismas, ya que las densidades y espesores de las mismas difieren, por lo que muros más densos y con mayor espesor, pueden ofrecer mejor aislación acústica.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Bucur, V. 2010. Acoustics of Wood. Springer Series in Wood Science. ISBN 3540305947, 9783540305941.

CIA Industrial El Volcan S.A. 2015. Ficha volcanita (disponible en <http://www.volcan.cl/imagenes/productos/fichas/ficha-volcanita-st.pdf>)

CITEC – UBB. 2015. Manual de hermeticidad al aire de edificaciones. Concepción, Chile.(Disponible en:[http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?gls\\_cod\\_nodo=20070402125030&hdd\\_nom\\_archivo=Manual%20Hermeticidad%20al%20Aire%20de%20Edificaciones.pdf](http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?gls_cod_nodo=20070402125030&hdd_nom_archivo=Manual%20Hermeticidad%20al%20Aire%20de%20Edificaciones.pdf). Consultado el 20 de septiembre de 2015)

Colonelli, P y Rodríguez, G. 2000. Fundación Chile. Características acústicas de viviendas sociales. Santiago. Chile

CORMA 2007. Manual de construcción de viviendas en madera. Chile. Corporación Chilena de la Madera. P 23.

Instituto Nacional de Normalización. 2003. Norma Chilena Oficial NCh 2785. OF 2003. Acústica. Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción. Mediciones en terreno de la aislación acústica aérea entre recintos. Chile.

Instituto Nacional de Normalización. 2016. Norma Chilena Oficial 2016 NCh 3393. Paneles estructurales aislantes (SIP) - Requisitos de fabricación. Chile.

International Organization for Standardization (ISO). 1998. Standard ISO 140-5: Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building element. Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and facades. Suiza.

International Organization for Standardization (ISO). 1996. Standard ISO 717-1: Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: airborne sound insulation. Suiza.

Garay, R.; Pfenniger F.; Tapia R.; Larenas J. 2014. Proyecto FONDEF. DO9I1058: Desarrollo de bases técnicas y normativas para prototipos de vivienda modular, con énfasis en soluciones de emergencia, bajo criterios técnicos, geográficos y económicos que mejoren su eficiencia y funcionalidad. Universidad de Chile. Santiago, Chile. (Descargable en: <http://www.forestal.uchile.cl/investigacion/proyectos/114518/proyecto-fondef-d09i1058>).

Garay, M. y Silva, R. 2011. Comportamiento de tableros a base de madera, durante ensayos de atenuación ultrasónica. Revista de la Construcción 10(3). 41-51

Kollmann, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo I. Instituto Forestal de investigaciones y experiencias y servicio de la madera. Madrid. 610 – 617.

Kollmann, F. 1975. Principles of Wood Science and Technology. II Wood Based Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Alemania. 584 p.

Lousiana Pacific Chile S.A. 2006. Manual Práctico de Construcción. Santiago. 349 p.

MASISA. 2015. Arquitectura de Interiores. Aislación acústica. Chile (Disponible en : <http://old.masisa.com/chi/productos/recomendaciones-practicas/arquitectura-de-interiores/aislacion-acustica.html>).

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). 2013. Vivienda social (Disponible en: <http://www.minvu.cl>).

Ministerio del medio Ambiente. Decreto Supremo N°38/11 del Ministerio del Medio Ambiente - Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica. Publicado en el Diario Oficial el 12 de junio de 2012.

Multi residential Timber Framed Construction (MRTFC). 1999. Information Bulletin N°3, Understanding and Improving Sound Transmission Loss– National Timber Development Council with support from the Forest and Wood Products Research and Development Corporation (FWPRDC). Septiembre 1999. IB3.6837.0999.

ONEMI. 2015. Requerimientos técnicos viviendas de emergencia ONEMI. (Disponible en:[http://siac.onemi.gob.cl/documentos/REQ\\_TECNICOS\\_VIVIENDA\\_EMERGENCIA\\_2015.pdf](http://siac.onemi.gob.cl/documentos/REQ_TECNICOS_VIVIENDA_EMERGENCIA_2015.pdf). Consultado 5 de agosto de 2015)

Peraza, F. 2002. Comportamiento acústico, Estudio para Elementos de Carpintería de Madera. Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera, AITIM. Madrid, España. Revista n° 219. 52-54

Ruedlinger, E. 2013. Soluciones constructivas y vicios en la construcción que afectan la calidad acústica de recintos. Conferencia tecnológica - aislación acústica en la construcción. Cámara Chilena de la Construcción. Santiago. Chile.

Saleh Pascha; Construcciones de madera compuestas para cerramientos autoportantes / Wood's composite constructions for free-standing enclosures. in: ARQ84 - estructuras de madera / wood structures, revista ARQ (Thomson ISI), Santiago de Chile, September 2013, ISSN 0716-0852, p.76-83.<http://www.edicionesarq.cl/2013/arq-84-estructuras-de-madera/K>.

Saleh Pascha, S. Jeska; »Emergent Timber Technologies. Materials, Construction, Engineering, Architecture«, Edited by R. Hascher. Book publication for Birkhäuser / Walter de Gruyter, Berlin. Expected release date: autumn 2014

Multi residential Timber Framed Construction (MRTFC). 1999. Information Bulletin N°3, Understanding and Improving Sound Transmission Loss– National Timber

Development Council with support from the Forest and Wood Products Research and Development Corporation (FWPRDC). September 1999. IB3.6837.0999.

Saleh Pascha K. 2006. »Hören lernen – Zur Akustik des städtischen Raums« (»Learn tohear – about the acoustic of the urban space«), in : sonambiente berlin 2006.klang kunst sound art, edited: de la Motte-Haber et al., Kehrer 2006, p. 276-281 K. Saleh Pascha, S. Jeska; »Emergent Timber Technologies. Materials,Construction, Engineering, Architecture«, Edited by R. Hascher. Book publicationfor Birkhäuser / Walter de Gruyter, Berlin. Expected release date: autumn 2014

Saleh Pascha; Lectura Crítica. La construcción en madera en Chile y el mando.in: CA - Ciudad y Arquitectura. April 2012;(150), Santiago de Chile, p.32-36.<http://www.al-dia.uchile.cl/sistema/tablas/listar.asp?r=2994K>

Sánchez, C; Dujovne, L; Poo, C. 2006. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Manual de Aplicación Reglamentación Acústica. Santiago. Chile.

Zulkifli, R.; M. J. Mohd Nor ; M. F. Mat Tahir ; A. R. Ismail ; M. Z. Nuawiet al. 2008. Acoustic properties of multi-layer coir fibres sound absorption panel.Jorunal of applied sciences 8(20): 3709-3714.

## ANEXO 1

- **Bicapa:** Aislante acústico multipropósito compuesto por una lámina de vinilo de alta densidad al que se le fusiona una espuma de poliuretano poliéter que actúa como desacople. Posee un elevado índice de aislación sonora para un amplio rango de frecuencias.
- **Barrier:** Aislante acústico multipropósito hecho en vinilo de alta densidad. Posee un elevado índice de aislación sonora para un amplio rango de frecuencias, por ser un material compacto y de gran masa. El aislante Barrier se presenta en placas para cielorrasos armados o suspendidos y en rollos para paredes, tabiques y cerramientos.
- **Fonodan bajantes:** Banda acústica autoadhesiva desarrollada para aislar acústicamente ductos y cañerías.
- **Fonodan:** es una banda acústica autoadhesiva compuesta por una membrana de alta densidad, un polietileno químicamente reticulado, termosoldado a la membrana y un film protector de poliéster siliconado.
- **Corfondan:** Aislante acústico para piso flotante de madera. Al igual que el Impactodan se utiliza para aislar el ruido generado por pisadas, caídas de objetos y cualquier tipo de ruido de impacto en general.
- **Impactodan:** es una membrana de polietileno químicamente reticulado obtenido mediante un proceso de fabricación que da al producto una estructura de célula cerrada, consiguiendo propiedades mecánicas, físicas y acústicas excepcionales.
- **sistema SATE:** Es un método reciente por el cual se aísla una vivienda por el exterior, en obra nueva como en rehabilitación, es más eficiente que aislar por el interior. La principal ventaja de este sistema es que toda la envolvente del edificio queda aislada, eliminando los puentes térmicos, protegiendo la estructura del cerramiento de la variación de temperaturas exterior e interior, generando así una menor demanda energética y consecuentemente un mayor ahorro económico y ambiental, sin reducir la superficie útil del edificio o vivienda al intervenir exteriormente.
- **Lana Mineral Natural Ultracoustic P:** por sus características intrínsecas, como son su estructura porosa que retiene fuertemente aire en su interior, el tamaño y diámetro de sus filamentos y su elasticidad, entre otras, son aislantes termo-acústicos idóneos para ser aplicados en elementos divisorios y trasdosados interiores, especialmente en sistemas de tabiquería seca con entramado autoportante y placas de yeso laminar.

- Supafil 034 es un aislante de Lana Mineral virgen sin ligante, servido en sacos, no combustible y de muy baja conductividad térmica, desarrollado especialmente para el aislamiento termo-acústico de cavidades mediante insuflado mecánico.
- Lana Mineral Natural Ultracoustic R: por sus características intrínsecas, como son su estructura porosa que retiene fuertemente aire en su interior, el tamaño y diámetro de sus filamentos y su elasticidad, entre otras, son aislantes termo-acústicos idóneos para ser aplicados en elementos divisorios y trasdosados interiores, especialmente en sistemas de tabiquería seca con entramado autoportante y placas de yeso laminar.
- Panel de Lana Mineral aglomerada con resinas: incombustible, aislante térmico y acústico, imputrescible, dimensionalmente estable e inalterable en el tiempo.
- Ultracoustic Absorción: es un aislante termo-acústico de Lana Mineral Natural con textura uniforme, que se presenta en forma de paneles revestidos de un velo de vidrio de color negro, el cual cumple una función estética.
- Panel de Lana Mineral aglomerada con resinas: de alta resistencia a la compresión, incombustible, aislante térmico y acústico, imputrescible, dimensionalmente estable e inalterable en el tiempo.
- Panel aislante rígido de Lana Mineral aglomerada con resinas: incombustible, aislante térmico y acústico, imputrescible, dimensionalmente estable e inalterable en el tiempo.
- Barrera Fónica DP8 2AluRPanel rígido de Lana Mineral, revestido por ambas caras con aluminio reforzado.
- Rollo Kraft: es un aislante termo-acústico de Lana Mineral Natural con textura uniforme, a base de rollos de 0,60 m de ancho y 45 mm de espesor, revestidos en una de sus caras de una barrera de vapor constituida por un complejo papel kraft / polietileno.