

**PLACAS DE CELULOSA COMPACTADA PARA REVESTIMIENTO ACÚSTICO
DE MUROS**

**SANTIAGO BARRAGAN ENCISO
KATERIN RAMÍREZ MONTAÑEZ**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS –
PTCA
BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2015**

**PLACAS DE CELULOSA COMPACTADA PARA REVESTIMIENTO ACÚSTICO
DE MUROS**

**PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS**

**COORDINADOR PTCA
ARQ. NELSON RICARDO CIFUENTES VILLALOBOS
DOCENTE DE PROYECTO
ARQ. EDGAR ROA**

**SANTIAGO BARRAGAN ENCISO
KATERIN RAMÍREZ MONTAÑEZ**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS –
PTCA
BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2015**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Observaciones

Arq. Nelson R. Cifuentes Villalobos.

Coordinador PTCA

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá, Diciembre de 2015

Dedicatoria

Santiago Barragán Enciso

Este trabajo se lo dedico a Dios, ya que sin Él no estaría en este momento donde me encuentro; y a mi familia, por su constante apoyo emocional a lo largo de todo mi proceso académico que me ha motivado a seguir adelante para cumplir todos los proyectos que emprendo.

Katerin Ramírez Montañez

A mis padres, quienes con esfuerzo, dedicación y sabiduría me forjaron una personalidad y un futuro con su apoyo moral y económico para la realización de mis metas y proyectos. A hermanas quienes siempre han sido mis consejeras y ejemplos a seguir.

Agradecimientos

Santiago Barragán Enciso

En primera instancia, quiero agradecer a los profesores que me guiaron durante la realización de este proyecto, Edgar Roa y Andrea Lara, quienes me brindaron sus conocimientos, sus experiencias, sus opiniones y su constante apoyo para realizar un trabajo de calidad. Segundo, agradezco a mis compañeros y amigos Cristian Guerrero y Nathaly Piragauta, que además de su compañía incondicional, contribuyeron al contenido de este trabajo y a mi formación académica a lo largo de la carrera.

Katerin Ramírez Montañez

A Dios por darme la capacidad de comprender y analizar; al personal docente que me acompañó y enseñó el camino correcto y a mi familia por creer en mis sueños.

Tabla de Contenido

Introducción	14
Marco Conceptual	16
Sistemas de Construcción en Seco	16
¿qué son?	16
historia y antecedentes	17
componentes y características de los sistemas livianos.	18
ventajas	21
Aislamientos Acústicos	22
definición	22
tipos de aislamiento.	24
Marco Teórico	30
Sonido y Acústica.	30
definiciones.	30
Propiedades y Ramas	31
Celulosa en la Construcción	34
Antecedentes	34
Proceso.	34
Ventajas de la Celulosa	36
Marco Referencial	37
Aplicaciones de la Celulosa como Aislante.	37
Paneles de Celulosa Compactada Sistema Insucell Sheets	39
Definición	39
Dimensiones	40
Composición	40
Forma e Instalación	41
Caracterización del Material	42
compactación.	42
trabajabilidad.	44
secado.	47
Ensayos	49
Ensayo Informal	49
Ensayo Formal	52
Conclusiones y Recomendaciones.	57

Bibliografía	58
Cibergrafía	59
Anexos	61

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Muro convencional en Drywall _____	16
Ilustración 2. Sistema Balloon Framing _____	17
Ilustración 3. Fuentes habituales de ruido en una edificación residencial _____	22
Ilustración 4. Transmisión del sonido en muros con cámara de aire _____	23
Ilustración 5. Soluciones aislantes con Poliuretano _____	25
Ilustración 6. Espuma Flexible de Elastómero. _____	26
Ilustración 7. Vidrios de doble acristalamiento. _____	26
Ilustración 8. Difusores de madera. _____	28
Ilustración 9. Rollo de textil _____	28
Ilustración 10. Velocidad del sonido en diferentes espacios _____	30
Ilustración 11. Reflexión del sonido _____	32
Ilustración 12. Tipos de aplicación de la celulosa. _____	34
Ilustración 13 Panel Homatherm - BioHaus _____	37
Ilustración 14. Paneles CFAB _____	38
Ilustración 15. Laminas prototipo Insucell Sheets _____	39
Ilustración 16. Dimensiones y espesores de láminas _____	40
Ilustración 17. Tamaño probetas de compactación. _____	42
Ilustración 18. Remojado papel. _____	43
Ilustración 19. Pulpa resultante del papel, periódico y cartón. _____	43
Ilustración 20. Probetas resultantes. _____	44
Ilustración 21. Pulpa y molde de compactación. _____	45
Ilustración 22. Solución de pva con agua. _____	45

Ilustración 23. Compactación en molde de placa	46
Ilustración 24. Proceso de secado de láminas.	46
Ilustración 25. Secado en horno.	47
Ilustración 26. Probeta post-secada en horno.	48
Ilustración 27. Lámina ensayo para secado en horno.	48
Ilustración 28. Calibración de aplicación SoundmeterPRO	49
Ilustración 29. Medición de sonido en dB.	50
Ilustración 30. Medición de aislamiento con lámina de celulosa.	50
Ilustración 31. Variación de intensidad del sonido.	51
Ilustración 32. Cámara escala yeso-cartón	52
Ilustración 33. Cámara con láminas de celulosa.	54
Ilustración 34. Proceso de medición de sonido.	54

Lista de Tablas

Tabla 1. Tipo de perfiles usados en sistemas livianos tipo Drywall. _____	18
Tabla 2. Láminas de Revestimiento en sistemas livianos tipo Drywall _____	19
Tabla 3. Fijaciones para Drywall – Eterboard. _____	20
Tabla 4. Ventajas de sistemas en seco tipo drywall. _____	21
Tabla 5. Coeficientes de Absorción de materiales de aislamiento acústico. _____	24
Tabla 6. Soluciones acústicas con láminas de Yeso-Cartón. _____	27
Tabla 7. Aislamiento de espacios ante sonidos aéreos. _____	33
Tabla 8. Ventajas de la celulosa frente al poliuretano. _____	36
Tabla 9. Resultados de compactación _____	44

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Intensidad de diferente tipo de ruido	33
Gráfica 2. Intensidad límite de un sonido sin aislamiento.....	52
Gráfica 3. Nivel de ruido con láminas de yeso-cartón.	53
Gráfica 4. Resultados medición con láminas de celulosa.....	55
Gráfica 5. Comparación de resultados.....	55

Resumen

Según Ramos (2011. p.1), uno de los factores de mayor incidencia en el confort de una edificación radica directamente en el aislamiento acústico que presenta en relación con los sonidos y ruidos provenientes de construcciones aledañas o del exterior. Aun cuando el uso de materiales aislantes (como el poliuretano, la lana mineral, la fibra de vidrio, el corcho, la espuma, el poliestireno, entre otros), se ha incrementado con el auge de los sistemas de construcción livianos (tipo Drywall), las necesidades acústicas no se satisfacen a cabalidad por deficiencia en la instalación y omisión de estos en el elemento final. Tomando como referencia la implementación de la celulosa como material base en paneles de aislamiento en Estados Unidos y Europa, este trabajo investigativo plantea láminas de celulosa compactada que solucionen correctamente tanto la acústica como el revestimiento de un recinto, supliendo ambas necesidades con un solo elemento.

Palabras Clave: Aislamiento Acústico, Sistemas de construcción livianos, Celulosa, laminas, Bogotá.

Abstract

According to Ramos (2011, p.1), one of the most prominent issues on a building comfort lays directly in the acoustic insulation that it must face sounds and noises coming from surrounding constructions and from the outside. Although when insulation materials (such as polyurethane, mineral wool, fiberglass, cork, foam, polystyrene, among others) has increased with light construction systems boom (Drywall type), acoustical needs are not completely satisfied due to deficient installation or omission of this components in the resulting element. Taking as reference the implementation of cellulose as main material for insulation panels in United States and Europe, this research work proposes compacted-cellulose sheets that solve correctly acoustic insulation and facing of a space, supplying a double solution with one element.

Keywords: Acoustical insulation, light construction systems, cellulose, sheets, Bogota.

Introducción

La incidencia que tiene el sonido ya sea externo o interno, en los espacios de un edificio residencial, comercial, institucional o industrial puede alterar significativamente la percepción de confort de las personas que suelen habitar estos recintos. Esto se debe a que las fuentes emisoras pueden provenir de todos lados, ya sea desde el exterior (tráfico, construcciones, manifestaciones, personas, aviones) o desde el mismo edificio (pasos, golpes, obras, instalaciones, música), generando incomodidades y dando paso a buscar una solución que mitigue la propagación del sonido por toda la estructura.

Con base en esto, la construcción de muros con entramados metálicos tipo Drywall y la adecuación de los mismos con recubrimientos aislantes han sido las medidas más implementadas para mejorar el confort acústico de los espacios, usando factores como las cámaras de aire, la densidad de los materiales, la porosidad y el espesor de los muros, para que de cierta manera, actúen como barreras en la transmisión de la ondas sonoras y el sonido no se propague a los espacios contiguos, según lo podemos ver en el estudio Soluciones de Aislamiento Acústico realizado por la firma española ANDIMAT¹ (ANDIMAT, 2009. p. 4 – 6).

Sin embargo, materiales como la lana de vidrio, la fibra mineral, el poliestireno y el poliuretano presentan un buen comportamiento aislante que se ve opacado por factores como su facilidad de manipulación, el gran impacto ambiental, la vida útil, la incidencia en la salud de las personas y procesos complejos de fabricación evidenciados en los estudios de la firma ATEPA² frente a los materiales aislantes más tradicionales en el campo de la construcción (Aplicado, 2012, p. 1-4). Además, la instalación de estos elementos, ya sean en muros Drywall, cielos rasos y muros convencionales en mampostería o concreto representan un proceso adicional que se refleja en los tiempos de ejecución y en la cantidad de actividades a realizar y el gran mantenimiento que se genera posterior a este procedimiento.

Por otro lado, la celulosa inyectada surge como una nueva alternativa aislante al ser ligera, ignífuga, económica, reciclable y de fácil producción e instalación en comparación a otros materiales tradicionales como los mencionados anteriormente. Gran parte de la acogida de este material recae en sus características, entre las que encontramos su resistencia al fuego, la cual se obtiene al usar sales bóricas y permite mejorar en un 35% la resistencia del muro en

¹ Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes.

² Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado.

el que se instale; la reutilización del 85% de los materiales que la componen, y su densidad, la cual alcanza a ser mayor a los 45 kg/m³ tras expandirse en comparación a la máxima del poliuretano, que llega a los 40 kg/m³, haciéndola altamente reciclable como afirma el estudio realizado por la firma SOCYR³ (SOCYR, 2008, párrafo 1-2.).

Este trabajo investigativo plantea la posibilidad de diseñar una lamina, con la celulosa como material base, que funcione como aislante y como revestimiento en todo tipo de muros e instalaciones de cielo raso tomando como referencia algunas investigaciones realizadas por empresas europeas y norteamericanas como BIOHaus en el año 2008 , Acoustical Surfaces en 2009 y BioFib en 2010; y manteniendo los mismos metodos de fijacion de las placas de yeso-carton con tornilleria autoperforante y sistemas de revoque tipo Gyplac. Posteriormente, tras la elaboracion de varios prototipos, los cuales fueron sometidos a diversas pruebas técnicas acsuticas (cámara a escala para definir coeficiente acustico y transmision de ondas sonoras) para determinar su funcionalidad como aislantes acusticos y así, poderlas comparar con placas usadas comúnmente en revestimientos de muros como las de Yeso-carton y fibrocemento, permitiendo así obtener un material que mejore las condiciones acústicas de un espacio y omita la instalación de materiales adicionales aislantes acústicos.

³ Servicios Orientados Construcción Y Rehabilitación.

Marco Conceptual

Sistemas de Construcción en Seco

¿qué son?

Los sistemas de construcción en seco surgen como una solución constructiva compuesta de materiales ligeros prefabricados que permite una limpia y rápida ejecución sin requerimientos de agua. Con pocos componentes estándar, permite mayor flexibilidad de diseño y adecuación en espacios determinados, propiedades que diversifican su implementación para la elaboración de muros divisorios, recubrimientos de fachadas, cielos rasos y entresijos ligeros.

Como vemos en la Ilustración 1, el sistema se compone principalmente de un armazón metálico o de madera interno, el cual se recubre con placas de yeso-cartón, fibrocemento, láminas de PVC o paneles de MDF⁴ que se atornillan a los perfiles o parales y posteriormente, se tratan con masillas y cintas para lograr un óptimo acabado tanto en la superficie como en las juntas entre láminas. Como proceso adicional, suele incluir un aislamiento interno de diferentes tipologías (Lana mineral, fibra de vidrio, poliuretano, espuma, poliestireno) que mejore el aislamiento tanto térmico como acústico. Adicionalmente, representan una alternativa cambiante, que puede ser removida, modificada o renovada según las necesidades que se deseen satisfacer o la tendencia de diseño que esté en auge.

Ilustración 1. Muro convencional en Drywall



Ilustración 1. Muro convencional en Drywall con armazón interno de perfiles de acero y revestimiento en láminas de yeso-cartón. Fuente: Anónimo (2014) “La Era de las Construcciones Livianas.” Casa Feliz Mantenimiento. Consultado 13/08/2015. Recuperado de: <https://goo.gl/N7vcpG>

⁴ Tablero de fibra de Media Densidad

historia y antecedentes

La base del concepto actual de construcción en seco se inició durante los siglos XIX y XX en Norteamérica, donde las viviendas se construían con listones de madera y se recubrían con tablas del mismo material, dando como resultado la creación de dos sistemas conocidos como *Balloon* y *Platform Framing*, los cuales vemos en la Ilustración 2.

Para inicios del siglo XX, debido a la migración europea hacia los Estados Unidos y a la utilización de materiales regionales de fácil acceso, Augustine Sackett patentó la primera producción de láminas de yeso en el mundo (Gypsum Quito, 2011, párrafo 3). Con el estallido de la Primera y Segunda Guerra Mundial, los paneles de yeso se convirtieron en el material preponderante en las nuevas construcciones por sus propiedades frente al fuego y su rapidez de ensamble. Posteriormente, el uso masivo de articulados metálicos y de madera en edificaciones de dos pisos con revestimiento en pacas de yeso-cartón presentó un crecimiento acelerado en Estados Unidos, alcanzando un índice de 3.700 millones de m² de estructuras en drywall a la fecha (16 m² per cápita). (DecoDrywall S.A.S., 2012, párrafo 4 - 8)

Ilustración 2. Sistema Balloon Framing

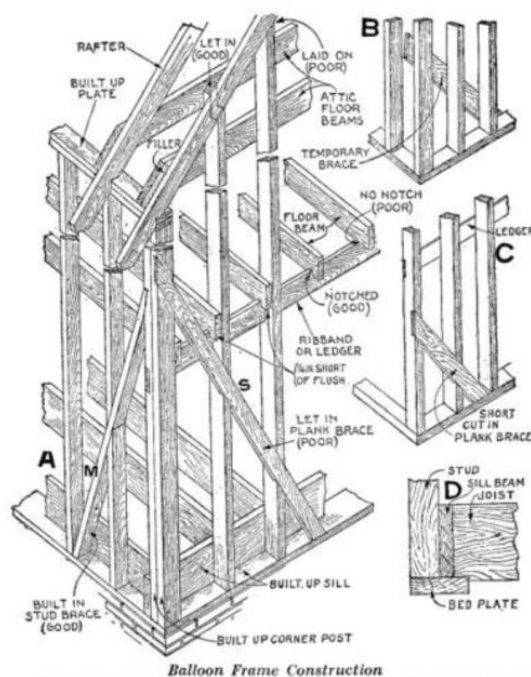


Ilustración 2. Entramado de madera (listones y tablas) para muros livianos durante los siglos XIX y XX tipo Balloon Framing. Fuente: Johnson, R. (2007) "The advantages of Balloon Framing." American Building Construction History. Consultado 15/08/2015. Recuperado de: <http://rljart.com/blog/wp-content/balloonframing.pdf>

componentes y características de los sistemas livianos.

Dentro de la diversidad de sistemas constructivos livianos y aislantes acústicos que existen en el mercado, se puede categorizar en general que la prefabricación de estos elementos es el proceso de producción que todas las partes de los sistemas comparten. Como se ha dicho anteriormente, la cantidad de elementos estándar de los materiales facilita el ensamblaje y la ejecución del procedimiento constructivo.

perfilería.

La estructura de los muros tipo Drywall y las estructuras en cielo raso más comunes se basan en un entramado metálico de soporte realizado con perfiles de acero galvanizados anclados entre sí con tornillería. En la siguiente tabla, se exponen los principales tipos de perfilería utilizados tanto en muros como en instalaciones de cielos rasos.

Tabla 1. Tipo de perfiles usados en sistemas livianos tipo Drywall.

PERFILERIA METALICA TIPO DRYWALL

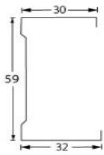
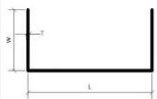
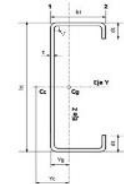

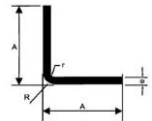
PERFIL	DESCRIPCION	GRAFICO	DIMENSIONES	LONGITUD	CA.
Paral	Soporte vertical del muro. Está anclado a las canales y es el punto de fijación de las láminas de revestimiento.		89 x 25 mm / 59 x 35 mm	2440 - 3050 mm	18 - 24
Canal	Perfil horizontal guía del muro y anclaje a la placa de entrepiso y contrapiso. Permite la instalación de los paralelos horizontales.		60/90 x 30 mm	2440 mm	18 - 24
Tipo C Estructural	Perfil de dimensiones variables según especificaciones. Permite reforzar muros y la construcción de entrepisos.		40 x 30 mm	2440 - 3000 mm	18 - 24
Omega	Perfil trapezoidal de uso primordial en estructuras de cielos rasos.		75 x 40 x 25 mm	2440 mm	18 - 24
Ángulos	Perfiles en acero galvanizado a 90° usados como cuelgas en estructuras de cielos rasos.		40 x 40 / 100 x 100 mm x 5 - 12 mm	2440 - 3000 mm	18 - 24

Tabla 1. Clasificación perfilería metálica según aplicaciones y usos es instalaciones de sistemas livianos en muros y cielos rasos. Fuente: Elaboración propia con datos recopilados de: Neptuno. (2008) "Perfiles Metálicos Estructurales.". Consultado 5/09/2015. Recuperado de: <http://neptuno-com.com/n/pperfil.htm>

láminas de recubrimiento.

El proceso de industrialización del sistema permitió desarrollar un tamaño estándar en la lámina de recubrimiento. Dado al proceso de industrialización que ha caracterizado a este sistema, las dimensiones están estandarizadas tanto para placas de yeso cartón como para las de fibrocemento o similares como lo podemos ver en la tabla N° 2.

Tabla 2. Láminas de Revestimiento en sistemas livianos tipo Drywall

LAMINAS DE REVESTIMIENTO EN SISTEMAS TIPO DRYWALL					
MATERIAL	DESCRIPCION	GRAFICO	DIMENSIONES		
			LONGITUD	ANCHO	ESPESOR
YESO - CARTON	Laminas que cuentan con un núcleo de yeso hidratado recubiertas en ambas caras con una película de papel multicapa de celulosa especialmente tratada. Hay estándar (ST), resistentes al fuego (RF) y a la humedad (RH).		1830, 2440, 3048, 3660 mm	1220 mm	6.4, 9.5, 11, 12.7 y 15.9 mm
FIBROCEMENTO	Placas planas de cemento texturizadas o lisas (según diseño) fabricadas bajo condiciones específicas de humedad y presión, las cuales cuentan con un óptimo comportamiento ante el fuego y la acción del agua.		2440 mm	1220 mm	6, 8, 10, 12, 14, 17, 20 mm

Tabla 2. Caracterización de láminas convencionales de revestimiento de fibrocemento y yeso-cartón usadas en muros tipo Drywall. Fuente: Elaboración propia con datos recopilados de: Gyplac (2014) “Manual Técnico Sistema Revoque Gyplac.” Consultado 10/08/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/1O7mCK>; Eternit. (2013) “Sistemas de Construcción Liviana Eterboard”. Consultado 10/08/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/IbdU8P>

Como lo menciona Andrés Acevedo en su presentación *Historia del Drywall (2014)*, tras descubrir los efectos del asbesto en la salud de las personas, su uso fue decayendo paulatinamente. Sin embargo, el cambio del material base a cemento portland con aditivos como las fibras de sílice permitió que su implementación fuera aumentando con el paso de los años.

tornillería.

El sistema funciona netamente bajo el anclaje de las piezas con diferentes tornillos que se adaptan a cada una de las superficies y componentes. Cabe aclarar que, si bien el muro se realiza bajo el mismo proceso constructivo, los tipos de tornillos son diferentes debido al cambio de material al ser yeso-cartón o fibrocemento. En la Tabla 3, se categorizan los tornillos utilizados, los cuales son, en la mayoría de los casos, zincados⁵ o de acero al carbono⁶ con características determinadas como punta broca o aguda, aletas en la cabeza para avellanar la superficie y evitar que quede algún relieve sobre la placa, y o de poca longitud

Tabla 3. Fijaciones para Drywall – Eterboard.
















Producto	Referencia	Usos
Tornillo 6X1" Punta Aguda Autoperforante		Fijar placa de yeso espesor= 1/2" o 12,7mm
Tornillo 7x7/16" Punta Aguda tipo pan Autoperforante		Fijar perfil con perfil en Cal. 26/24 cuando se usa placa de yeso
Tornillo 6X1 5/8" Punta Aguda Autoperforante		Fijar placa de yeso de espesor=5/8" o 15.9mm
Tornillo 6X2" Punta Aguda Autoperforante		Fijar doble placa de yeso de espesor = 1/2" o 12.7mm
Tornillo 6X1" Punta Broca Autoperforante		Fijar placa de fibrocemento de espesor máximo =10mm
Tornillo 7X1 1/4" Punta Broca Autoperforante		Fijar placa de fibrocemento de espesor máximo =14mm
Tornillo 8x1" Punta Broca Autoperforante		Fijar placa de fibrocemento de espesor máximo =10mm y en perfilera hasta Cal. 20
Tornillo 8X1" Punta Aguda Autoperforante con cabeza extraplana		Fijar placa de fibrocemento de espesor máximo=10mm y en perfil Cal. 22 o menores, cuando se avellana manualmente
Tornillo 8X1/2" Punta Broca Autoperforante con cabeza extraplana		Fijar perfil con perfil en Cal. 20 cuando se usa placa de fibrocemento
Tornillo 8X1/2" Punta Aguda Autoperforante con cabeza extraplana		Fijar perfil con perfil en Cal. 24 o menores cuando se usa placa de fibrocemento
Tornillo 8X3/4" Punta Aguda Autoperforante con cabeza extraplana		Fijar placa de fibrocemento de espesor máximo=8mm y en perfil Cal. 24 o menores, cuando se avellana manualmente
Tornillo 8X1/2" Punta Aguda Autoperforante con cabeza extraplana		Fijar placa de fibrocemento de espesor máximo=10mm autoavellan
Tornillo 8X1/2" Punta Aguda Autoperforante con cabeza extraplana		Fijar placa de fibrocemento de espesor máximo=20mm autoavellan
Tornillo 8X1/2" Punta Aguda Autoperforante con cabeza extraplana		Fijar placa de fibrocemento de espesor =6mm
Tornillo 8X1/2" Punta Aguda Autoperforante con cabeza extraplana		Fijar perfil con perfil en Cal. 20 o menores cuando se usa placa de yeso

Tabla 3. Tipos de tornillería usada en fijaciones de láminas de yeso-cartón y fibrocemento a entramados de perfilera metálica en sistemas tipo Drywall. Fuente: Multiobras, Sistemas Drywall (2015) "Tornillos Sistema Drywall." Consultado 01/12/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/AqdYnI>.

⁵ Tornillos tratados ya sea por inmersión o electrolisis, que cuentan con un recubrimiento de zinc para protección hacia la intemperie.

⁶ Tornillos templados y revenidos para lograr mayor resistencia.

materiales de acabados.

El muro divisorio o cielo raso elaborados bajo el sistema Drywall no presenta abolladuras, hundimientos, huecos o desniveles en su superficie ya que son láminas lisas. Adicionalmente, se utilizan ciertos componentes como la masilla (relleno de perforaciones de tornillería en láminas, alisado de superficie), cintas papel y metálica (tratamiento de juntas, protección de filos), fijadores (uso en junta flexible) y aislamientos internos para mejorar el comportamiento del muro frente a factores como el calor y el sonido, al igual que el acabado liso de este sistema.

ventajas

Los beneficios de este tipo de proceso constructivo son bastantes, entre los que se resalta su bajo peso, rapidez de ejecución, limpieza, protección ignifuga, economía y simplicidad, entre otras, las cuales se pueden detallar de forma más concreta en la tabla a continuación (Tab. 4).

Tabla 4. Ventajas de sistemas en seco tipo drywall.

CARACTERISTICA	CONDICION
Aislante	Si cuenta con la inserción entre paramentos de materiales aislantes como mantos de lana, mineral, fibra de vidrio u otros, disminuyendo ruido, temperatura y de vibraciones
Hidrófugo	Resistentes a la humedad por sí mismos y con el uso de otros mantos repelentes que aseguran la impermeabilidad.
Cortafuego	Retarda la expansión y transmisión de fuego. No genera humo en caso de incendio.
Liviano	Optimiza costos por su bajo peso al reducir la carga muerta en las edificaciones.
Sismo resistente	Al ser livianos, de poca masa y contar con una retícula metálica resisten movimientos sísmicos de mayor magnitud en comparación a sistemas convencionales.
Amortigua y Resiste	Resiste impactos típicos de labores de construcción. A mayor espesor, más resistencia mecánica.
Inerte	Los materiales no permiten la proliferación y crecimiento de hongos, algas y demás componentes biológicos.
Practico y Económico	Poco desperdicio y de fácil instalación.

Tabla 3. Ventajas que presentan las construcciones de muros en sistemas livianos tipo Drywall ante diferentes variables como incendios, humedad, aislamiento y sismo resistencia. Fuente: Eternit. (2013) "Sistemas de Construcción Liviana Eterboard". Consultado 10/08/2015. p. Recuperado de: <http://goo.gl/IbdU8P>

Aislamientos Acústicos

definición

El confort sonoro en un recinto cerrado es una de las principales variables que se analiza para determinar si el espacio es agradable o no para las personas una vez este ocupado. En la ilustración 3, se evidencia la afectación en espacios cerrados de ruidos provenientes de las unidades aledañas o del exterior y su incidencia directa en la tranquilidad y comodidad de las personas que habitan a diario un espacio determinado, especialmente en zonas residenciales. Cuando hay variables constantes que alteran esa tranquilidad, es necesario recurrir a soluciones arquitectónicas que mejoren la percepción del sonido externo y aislen el recinto de ruidos no deseados. El aislamiento es una medida que bajo una serie de procedimientos tiene como finalidad reducir el porcentaje de la transmisión de las ondas sonoras tanto a las edificaciones aledañas como del exterior al interior de la edificación. Si bien no es posible aislar del todo que los sonidos lleguen a los espacios contiguos, si se puede reducir considerablemente la cantidad de ruido que traspasa los muros dependiendo la fuente de este, ya sea aéreo (ambientales, viento, radio, voces) o de impacto (pasos, pisadas, movimiento de mobiliario).

Ilustración 3. Fuentes habituales de ruido en una edificación residencial

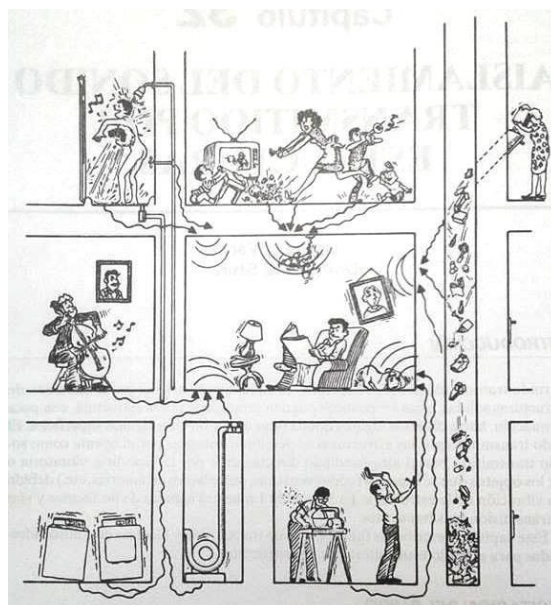


Ilustración 3. Incidencia de sonidos y ruido provenientes de espacios aledaños en una unidad residencial tradicional por bajantes, caída de basuras y tránsito de personas. Fuente: Harris, C. (1995) "Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido.". Madrid, España. p. 30.8.

El coeficiente de aislamiento es el resultado de la diferencia entre la intensidad sonora de las ondas emitidas y las transmitidas al otro lado del muro, factor que depende de ciertas características como el ancho del elemento, el material (propiedades como la masa y la densidad) y la intensidad del sonido mismo, lo cual se puede apreciar en la ilustración 4. (Ovallos, 2012).

Ilustración 4. Transmisión del sonido en muros con cámara de aire

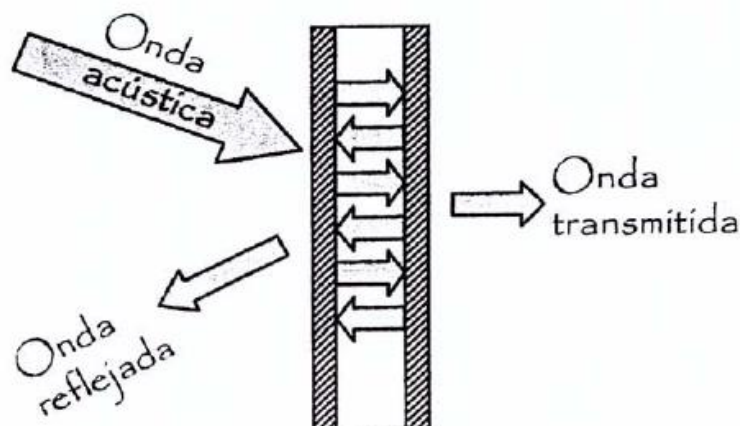


Ilustración 4. Comportamiento del sonido en un muro, presentando reflexión, absorción y transmisión de las ondas. Fuente: Ovallos, H. (2008) "Hotel del Aeropuerto Internacional Juan Pablo Pérez Alfonso del Vigía". Consultado 21/08/2015. p. 20. Recuperado de: <http://goo.gl/yFE3kT>

Por otro lado, como un complemento al aislamiento de los espacios, los materiales cuentan con un determinado porcentaje de absorción que va directamente relacionado con la porosidad del elemento y la densidad del mismo, información que se ve más detallada en la Tabla 7. Sin embargo, esta última debe manejarse hasta un aproximado de 80 Kg/m^3 , valor límite para que el aislamiento sea lo suficiente denso para absorber el sonido y no reflejarlo, según afirma Hector Ovallos en su trabajo (Ovallos, 2012. p. 23).

Por último, es válido resaltar el factor Multicapa con el que la mayoría de los aislantes cuentan y es que una disposición de capas, incluso del mismo material pero en diferentes proporciones, logra un aislamiento superior en comparación a un elemento aislante por sí solo, ya que la cantidad restante del sonido que atraviesa la primera capa como resultado de la resonancia será neutralizado por la segunda y así sucesivamente hasta que las ondas sonoras se absorban por completo.

Tabla 5. Coeficientes de Absorción de materiales de aislamiento acústico.

Material	Densidad (Kg/M3)	Espesor (Mm)	Coeficiente Max. De Absorción
Espuma de Poliuretano	40 kg/m3	75	0.97
Lana de Vidrio	35 kg/m3	50	1.00
Placa de Yeso- Cartón sin aislante.	-	13	0.20
Corcho	5,6	20	0.79
Vidrio	-	2 – 3 espaciados.	0.25
Madera	25	50	0.70
Celulosa Proyectada	48 – 65	25 - 70	1.19

Tabla 5. Descripción de coeficientes de absorción acústica de los materiales más tradicionales de aislamientos acústicos. Elaboración propia con datos recopilados de: Rocamora, M. (2011) “Apuntes de Acústica Musical. Cap. 4 Acústica Arquitectónica”. p. 47. Consultado 20/08/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/Tq4JnA>.

tipos de aislamiento.

Hay varios materiales que se utilizan como aislantes acústicos en instalaciones de muros divisorios y cielos rasos. Estos varían en cuanto a textura, presentación, forma de aplicación y capacidad aislante. A continuación, se reúne información básica sobre cada uno de los materiales de aislamiento más comunes en la industria de la construcción.

espuma de poliuretano: Se conoce convencionalmente como “icopor” y está conformado por perlas pre-expandidas rellenas de aire, que dan plasticidad y rigidez al elemento, haciendo que este sea ligero y de fácil manipulación. No permite la proliferación de hongos e insectos siempre y cuando este en las condiciones ambientales adecuadas. (Fenercom, 2012. p. 19 - 43).

espuma de poliestireno expandido: Este material es el de mayor uso en cuanto a aislamiento acústico en edificaciones. Su expansión se debe a una reacción química de sus componentes y puede ser aplicado por inyección o por colado. Por ser ligero y

de alta densidad, es utilizado tanto en muros como en cubiertas, ya sea directamente como recubrimiento o en sistemas multicapas, como se aprecia en la siguiente ilustración. (Fenercom, 2012. p. 47-57).

Ilustración 5. Soluciones aislantes con Poliuretano




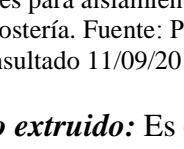
SOLUCIONES DE FACHADAS CON POLIURETANO PROYECTADO DE CELDA CERRADA			
	½ pie de ladrillo cara vista (216 kg/m ²)	RA=47 dBA	RAtr=44 dBA
	½ pie de ladrillo cara vista + 4 cm de poliuretano proyectado + tabique hueco doble enlucido (290 kg/m ²)	RA=58 dBA	RAtr=54 dBA
	½ pie de ladrillo cara vista + 4 cm de poliuretano proyectado + placa de yeso laminado (231 kg/m ²)	RA=52 dBA	RAtr=46 dBA
	4 cm de poliuretano proyectado + 1 pie de ladrillo cara vista + enlucido de yeso (450 kg/m ²)	RA=58 dBA	RAtr=56 dBA

Ilustración 5. Soluciones para aislamiento acústico usando poliuretano usando sistemas multicapa directamente en los muros de mampostería. Fuente: Pimentel, A. (2012) “Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética”. p. 50. Consultado 11/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/K6b4A9>.

poliestireno extruido: Es el resultado de someter el poliestireno a un proceso de extrusión con ayuda de un químico espumante resultando así en un elemento de celda cerrada tipo hermética con optimo comportamiento como aislante, alta resistencia a la humedad, reacción tardía al fuego, liviano, uniforme, higiénico e inodoro. (Fenercom, 2012. p. 79 - 90).

lana mineral: Conocida también como lana de roca, es un manto compuesto por fibras de materiales pétreos que se entrelazan y estructuran una red de filamentos altamente porosa, lo que le otorga un excelente comportamiento como aislante acústico. Como punto adicional, este es el único material que permite lograr un índice máximo de 70 decibeles dado a sus propiedades físicas, sin discriminar el origen del sonido, contribuyendo al confort acústico del recinto y de quienes lo habitan (Fenercom, 2012. p. 103 - 110).

espumas flexibles: Las espumas provenientes de elastómeros (derivadas del caucho) están compuestas por células cerradas que le dan un comportamiento hermético cuando se utiliza como aislante acústico al soportar condiciones ambientales de alta humedad.

Sin embargo, su uso es más limitado para mejorar el confort térmico según el espesor y la densidad requerida en el espacio como la que se aprecia en la ilustración 8. (Fenercom, 2012. p. 155 - 160)

Ilustración 6. Espuma Flexible de Elastómero.



Ilustración 6. Espuma de elastómero de 20 mm de espesor hecha a base de caucho sintético. Fuente: Armacell. (2015) “AP Armaflex SA, AP Armaflex FS SA”. Consultado 15/08/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/R049FO>

vidrios aislantes: Una de las nuevas alternativas, en especial para fachadas flotantes y divisiones internas que requieran mantener una entrada de luz fija, son los vidrios de doble acristalamiento. Como se aprecia en la ilustración 9, los cristales están enmarcados con perfiles de aluminio y generan una cámara de aire interna que es rellena con aire deshidratado o Argón para facilitar el paso de luz y disminuir tanto la energía calórica como el sonido que llegan al espacio. Sin embargo, este sistema predomina en las fachadas livianas y no como solución de divisiones por economía y estética.

Ilustración 7. Vidrios de doble acristalamiento.



Ilustración 7. Paneles de doble acristalamiento con separación en perfil metálico y cámara de aire Fuente: Ramos, E. (2012) “Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética”. p. 132. Consultado 18/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/K6b4A9>.

láminas de yeso-cartón: Su uso data desde edificaciones antiguas de las culturas egipcias, griegas, arábicas y romanas hasta la actualidad. Su producción en masa comenzó desde ser patentada gracias a características como su combustibilidad nula, bajo peso, facilidad de manipulación, instalación sencilla y la posibilidad de reutilizarse al ser desechada. Si bien por si sola genera un aislamiento, requiere ser complementada con otros materiales para que el recinto cuente con buen confort acústico como se muestra en los esquemas de la tabla 8, en donde se puede usar doble lamina o rellenar la cavidad interna de los muros.

Tabla 6. Soluciones acústicas con láminas de Yeso-Cartón.




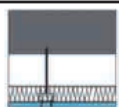
CROQUIS	DEFINICIÓN	AISLAMIENTO ACÚSTICO R _w (C;Ctr)dB R _A -dBA	PESO MEDIO APROXIMADO (Kg/m ²)	AISLAMIENTO TÉRMICO R(m ² K/W)
	Tabique 78/600 (48) LM 15+48+15	R _w = 45 (-2;-9)dB R _A = 43 dBA	26,34	0,53 + R _{At} *
	Tabique 146/600 (48+48) 2LM 12,5+12,5+48+... +48+12,5+12,5	R _w = 65 (-5;-10)dB R _A = 62,8 dBA	44,54	0,76 + R _{At} *
	Trasdosado autoportante 63/600 (48) LM ½ pie de ladrillo perforado cara vista	R _w = 66 (-5;-10)dB R _A = 64,8 dBA	239,30	0,51 + R _{At} *
	Losa de hormigón de 140 mm +Techo suspendido PYL 15 cámara 100 LM 50 mm espesor	R _w = 71 (-2;-8)dB R _A = 69,4 dBA	366	—

Tabla 6. Soluciones y coeficientes de aislamiento acústico en muros con láminas de yeso-cartón como revestimiento. Fuente: Fernández, F. (2012) “Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética”. p. 181. Consultado 18/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/K6b4A9>.

paneles de madera: Los elementos de madera suelen ser una de las principales opciones para el aislamiento de espacios de gran tamaño o de doble altura como salones de conferencias, auditorios, salas de conciertos, entre otros.

Su principal característica recae en la reverberación del sonido en paneles de madera, la cual es inversa al coeficiente de absorción que se ve incrementado por la porosidad natural de la madera y la longitud de sus fibras (García, 2006). En Estados Unidos, estos tableros de madera varían desde los 30 x 30 cm hasta los 61 x 122 cm y presentan espesores desde 1.3 a 3.8 cm. Estos permiten mejorar los coeficientes de absorción en sonidos de frecuencias menores a los 1000 Hz (Harris, 1995).

Para mejorar el aislamiento, los paneles son alterados morfológicamente dependiendo la longitud de onda, ya que generar paneles demasiado grandes, puede aumentar la intensidad

del sonido. Por otro lado, si se manejan superficies convexas o cóncavas con radios menores o superiores a 5 metros se logra la focalización o la dispersión de las ondas sonoras desde la fuente de emisión (Harris, 1995. p. 50).

Ilustración 8. Difusores de madera.



Ilustración 8. Panel de madera alterados morfológicamente con perforaciones y desniveles superficiales para la difusión del sonido. Fuente: Akustar (2015). Consultado 28/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/75x3Ui>.

Ahora, cómo se evidencia en la anterior ilustración, los paneles de madera también pueden ser modificados con relieves, desniveles o perforaciones, con el fin de generar una dispersión de las ondas sonoras al chocar con el elemento que causan una constante interferencia en el sonido y así se altere su transmisión, intensidad y magnitud. (ETSAC, 2002, p. 14)

alfombras y textiles: Con una instalación sencilla y un bajo peso, los textiles suelen ser soluciones efectivas para aislamiento acústico en muros y pisos ya sea para oficinas, viviendas o salones. De este tipo, el más usado es el tejido de fibras textiles tratado con resinas termoendurecidas en rollo con espesores desde los 16 mm como se aprecia en la Ilustración 9.

Ilustración 9. Rollo de textil



Ilustración 9. Rollo textil de fibras termo-endurecidas de 16 mm de espesor. Fuente: Techno Expres. (2007) “Textiles aislantes del ruido, en Construmat”. Consultado 25/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/yRC35e>.

Además de funcionar como revestimiento de los muros, es utilizada para insonorizar instalaciones internas de la edificación, especialmente bajantes de agua, las cuales son

emisoras de los uno de los ruidos más comunes en estructuras de uso residencial o comercial (Techno Expres, 2007)

Con base a los temas tratados anteriormente, se puede concluir de esta manera que el auge de los sistemas de construcción livianas recae principalmente en su rapidez y bajo peso, lo que optimiza los tiempos de ejecución, facilita el manejo y manipulación de sus componentes y permite una instalación más sencilla. Por otra parte, el aislamiento acústico de los espacios depende, en muchos casos, de la masa del elemento que esté actuando como barrera ante el ruido; a mayor masa, el sonido presentara mayor dificultad para transmitirse a otro espacio. Además, la porosidad y la densidad influyen en su comportamiento, ya que, si es demasiado denso, no presenta absorción alguna de ruido y las ondas pasan con menor intensidad, pero en mayor medida al espacio contiguo.

Marco Teórico

Sonido y Acústica. definiciones.

Según Pérez (s.f., p. 2), el sonido en términos generales es el resultado de una serie de ondas vibratorias que se desplazan por un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) comprimiendo las partículas del elemento y ocasionando una reacción audible para el ser humano o para algún instrumento programado para captar las alteraciones del espacio. Dependiendo la cohesión de las partículas en el espacio se determina la velocidad de propagación del sonido según como explica en la Ilustración 10, es por esto por lo que en sólidos la velocidad es mayor que en líquidos, y en estos últimos es mayor que en espacios gaseosos. (Junta de Andalucía, s.f.)

Ilustración 10. Velocidad del sonido en diferentes espacios

Estado	Medio	Velocidad (m/s)
Gaseoso	Aire (a 20°C)	340
	Hidrógeno (a 0°C)	1286
	Oxígeno (a 0°C)	317
	Helio (a 0°C)	972
Líquido	Agua (a 25°C)	1493
	Agua de mar (a 25°C)	1533
Sólido	Aluminio	5100
	Cobre	3560
	Hierro	5130
	Plomo	1322
	Caucho	54

Ilustración 10. Velocidad del sonido en los diferentes estados de la materia categorizado en elementos y materiales. Fuente: Estefani, G. (2013) "El sonido". Consultado 13/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/fSmTwt>.

Por otro lado, todo sonido cuenta con características aplicables, entre las que encontramos:

frecuencia, la cual determina el número de ondas en un periodo determinado. La medida de tiempo más usada es el segundo y de esta manera, se categoriza el sonido en tres regiones según la banda de frecuencia en la que se ubique (ETSAC, 2002):

Tono grave (125 Hz a 250 Hz⁷),

Tono Medio (500 Hz a 1000 Hz)

Tono Agudo (2000 Hz a 4000 Hz)

periodo, al igual que la frecuencia, se mide en segundos y es el tiempo en que dura una onda en completar un ciclo entero, es decir, una oscilación completa.

velocidad de propagación, que se determina por la transmisión de las ondas en un espacio con características específicas de elasticidad y densidad.

longitud de onda la distancia medida en metros recorrida por una onda en un periodo de tiempo limitado se denomina.

amplitud permite conocer el desplazamiento máximo alcanzado por las ondas sonoras teniendo como referencia el punto de reposo.

Ahora bien, la acústica es la ciencia que estudia justamente los fenómenos del sonido como la fuente de origen, la transmisión y los efectos ondulatorios por el medio en el que se propagan las ondas mecánicas, que pueden tener frecuencias desde los Hertz hasta los Giga Hertz, por lo tanto, la acústica abarca los sonidos audibles o los que se encuentran próximos a serlo según afirma Constantino Pérez, de la Universidad de Cantabria en su documento *Sonido y Audición*. (Perez, s.f.), clasificando el sonido en Infrasonido (<15 Hz), Sonido audible (Entre 15 y 2000 Hz) y Ultrasonidos (20 KHz)

Propiedades y Ramas

fenómenos y magnitudes del sonido.

La propagación es el comportamiento base de las ondas sonoras. Estas parten de un punto emisor o fuente, y se expanden por el espacio hasta encontrar barreras que las reflejen hacia la dirección de origen. Sin embargo, aunque el sonido reflejado mantiene la frecuencia inicial, su intensidad y amplitud iniciales disminuyen en promedio 10% al sonido original (Junta de Andalucía, s.f. p. 25).

Este fenómeno se conoce como reflexión, la cual es resultado de la propagación del sonido. Según las superficies que se encuentren en el espacio y la geometría del mismo, esta puede ser focalizada o dispersa como se ilustra en la siguiente ilustración.

⁷ Unidad de Medida de la frecuencia de las ondas del sonido en comparación al intervalo del tiempo. Puede ser Hertz, Kiloherz, Megahertz, Gigahertz o Terahertz.

Ilustración 11. Reflexión del sonido

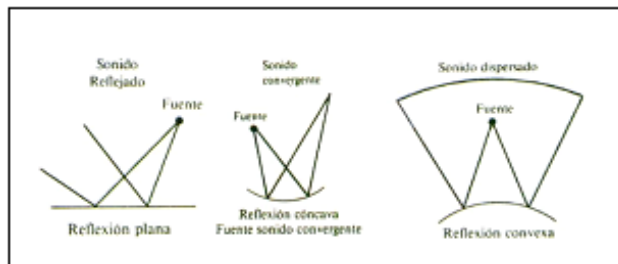


Ilustración 11. Reflexión de las ondas sonoras al chocar con superficies de diferente forma. Fuente: Junta de Andalucía. (s.f.) "Física del sonido". Consultado 5/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/PU9KnC>.

También encontramos otros fenómenos como:

difracción: Sonido envolvente cuando hay obstáculos en la transmisión de las ondas.

refracción: Cambio de dirección del sonido al pasar por materiales de distinta densidad que pueden absorber la onda sonora.

dispersión: Si las ondas son mayores al obstáculo que alcanzan sufren rotura al superarlo.

eco: El sonido regresa a su fuente de origen tras chocar con una superficie con un retraso de 1.15 segundos en comparación al emitido.

resonancia: Si la intensidad del sonido genera una vibración adicional en el objeto con el que choca y da como resultado nuevas ondas sonoras.

ramas de la acústica

La acústica cuenta con más 15 ramas según la tipología de sonido en el que enfocan sus análisis. Sin embargo, dado al contexto en el que la investigación se busca desarrollar, nos enfocaremos en una en particular, a la cual denominamos Acústica Arquitectónica.

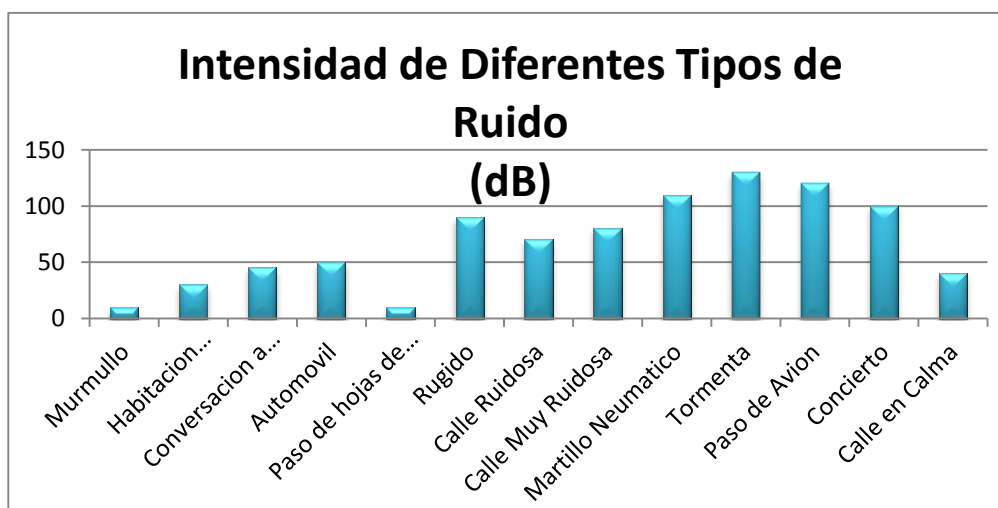
Esta rama considera netamente el sonido en recintos internos de edificaciones y otras características como el oyente y la fisiología de su oído. La reverberación de un sonido que sea generado dentro de un espacio cerrado se altera por los muros, los techos o el mobiliario. (Perez, s.f.). De igual manera, según el uso que tenga un espacio o las necesidades que busque satisfacer, el aislamiento debe cumplir con ciertos parámetros de acuerdo con el uso y características físicas del espacio (Tabla 7) y la intensidad del sonido generado (Gráfica 1) el cual se clasifica usando la escala de Decibeles (dB).

Tabla 7. Aislamiento de espacios ante sonidos aéreos.

RECINTO RECEPTOR	RECINTO EMISOR	REQUISITO AISLAMIENTO
Recinto Protegido	Recinto en la misma unidad de uso en edificio de uso residencial.	= 33 dB
	Recinto no perteneciente a la misma unidad sin puerta o ventana.	= 50 dB
	Recinto no perteneciente a la misma unidad con puerta o ventana.	Muro = 50 dB Puerta = 30 dB
	Recinto de Instalaciones o de actividad.	= 55 dB
	Exterior	= 30 - 51 dB
Recinto Habitable	Recinto en la misma unidad de uso en edificio de uso residencial.	= 33 dB
	Recinto no perteneciente a la misma unidad sin puerta o ventana.	= 45 dB
	Recinto no perteneciente a la misma unidad con puerta o ventana.	Muro = 50 dB Puerta = 20 dB

Tabla 7. Requerimientos de aislamiento en espacios según sus características físicas y la intensidad del sonido emitido. Fuente: Fernández, F. (2012) "Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética". p. 181. Consultado 18/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/K6b4A9>.

Gráfica 1. Intensidad de diferente tipo de ruido



Gráfica 1. Clasificación de sonidos de acuerdo con su intensidad según la escala de dB aceptable por la Organización Mundial de la Salud. Fuente: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (2007) "Laboratorio de condiciones de trabajo" *Niveles de Ruido, Protocolo 2007 – I*. p. 12. Consultado 20/10/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/QP2bcM>

Celulosa en la Construcción

Antecedentes

La celulosa ha cobrado fuerza en los últimos años como una alternativa ecológica para el aislamiento acústico de los espacios. El material se compone en un 85% de papel periódico reciclado y 15% de sales bóricas (ácido bórico y bórax) que le otorgan una protección ante incendios y, además, permite inmunizar la celulosa de roedores e insectos. (Mosch Servicios, S.f., p. 1)

Ilustración 12. Tipos de aplicación de la celulosa.

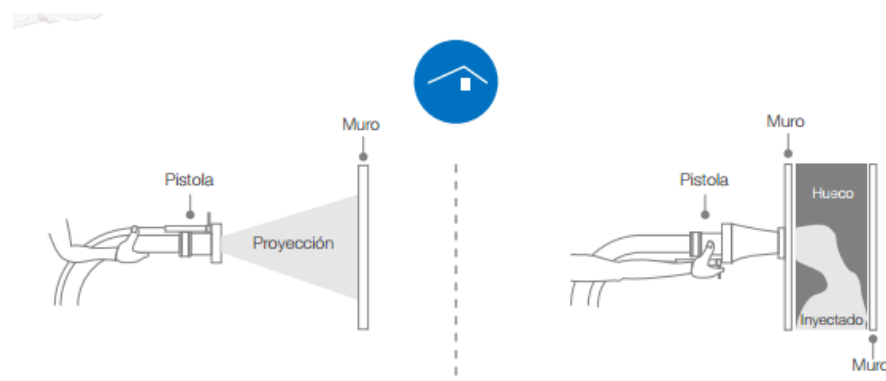


Ilustración 12. Métodos usados para la aplicación de celulosa en la cámara interna de un muro liviano: Proyectada (Izq.) e Insuflada (Der.). Fuente: EcoAislantes. (2014) “Llego la revolución en Aislantes acústicos”. p. 4. Consultado 28/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/1Ir6gW>.

Hay dos métodos que se utilizan para realizar la instalación de este material en los muros divisorios, la cual puede ser por Proyección (estado húmedo) o por Inyección (estado seco), los cuales quedan evidenciados en las imágenes anteriores (Ilus.12). La diferencia recae en el momento de la construcción del muro en que se implementa el aislante. En el primero de los casos, la proyección se realizaría al contar con una de las caras recubierta con la lámina de revestimiento y la otra cara completamente expuesta, permitiendo direccionar la aplicación en todas las cavidades entre paralelas. En el segundo tipo mencionado, la inyección se realiza por una cavidad del muro de tamaño suficiente para garantizar el ingreso de la celulosa en la capa de aire y su total cobertura (EcoAislantes Colombia, 2014, p. 4)

Proceso

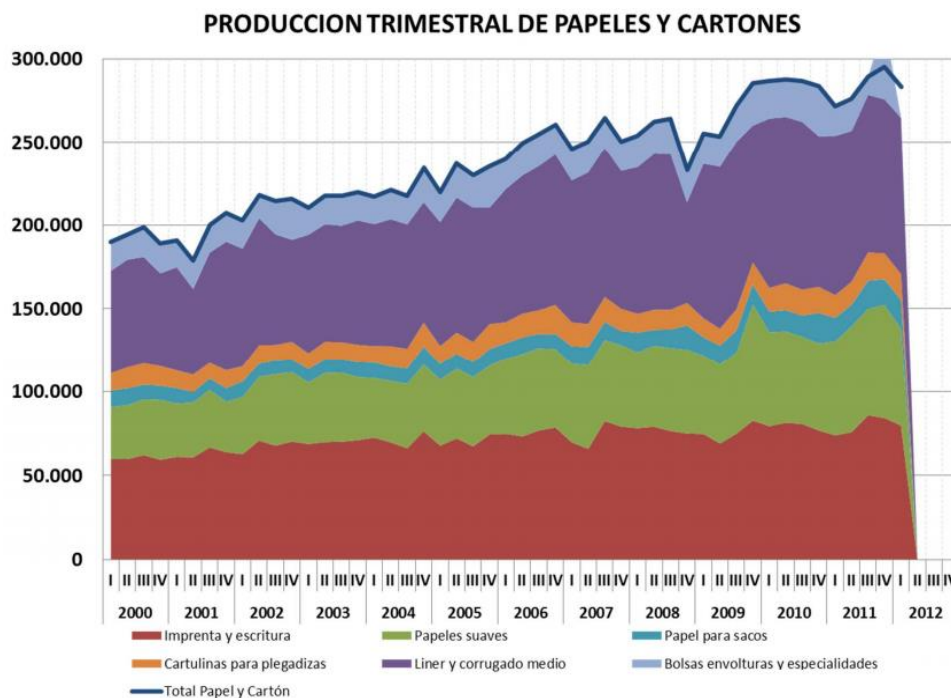
El proceso de obtención de la celulosa usada como aislante es bastante simple dada la abundancia de materia prima y la simplicidad del proceso. Según datos estadísticos del año 2010, los productos de papel (periódico, cartón, bond) presentes en los depósitos de basura de Estados Unidos superaban en promedio los 71 millones de toneladas, de los cuales solo 44 millones fueron recicladas (63%) (EPA, 2015). En el ámbito español, se generan 84 kg de

papel por habitante anualmente de un consumo total de 170 kg, dando más de 1'850.000 toneladas de papel desperdiciado, del cual solo 3.3 millones se reciclan en promedio en las fábricas de recolección (GreenPeace, 2004). Cambiando de enfoque hacia el campo colombiano, para el año 2012 se producían más de 300.000 toneladas de papel y cartón para diferentes usos comerciales e industriales según datos de la Asociación de Recicladores de Bogotá, representados en la siguiente gráfica y que equivalen a 900.000 toneladas anuales, de las cuales solo el 45% es recuperado para reciclar. (ARB, 2012)

Considerando la gran oferta de material existente, el proceso de producción de la celulosa se realiza de la siguiente manera:

- Se realiza la preselección del material, específicamente de papel periódico y en la mayoría de las ocasiones, proveniente de lotes no comercializados.
- El producto seleccionado se rasga en trozos y se sumerge en un contenedor de agua sin ningún tipo de aditivo por un tiempo aproximado de 12 a 24 horas.
- Transcurrido el tiempo, se realiza la trituration del papel hasta que se obtenga la fibra final de celulosa en forma pastosa y maleable.

Gráfica 2. Producción de papel y periódico en Colombia



Gráfica 2. Niveles de producción de diferentes tipos de papel en el país desde el año 2000 hasta 2011. Fuente: ANDI – Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. (2012) “Reciclaje de papel y cartón en Colombia”. p. 16. Consultado 30/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/8nVESU>

- La pulpa resultante del proceso anterior se sumerge en agua nuevamente, pero en esta ocasión, el agua es jabonosa y se comienza una inyección mecánica de aire que, al generar burbujas, desprende la tinta de las fibras recién trituradas.
- Terminada la limpieza, se trata con un porcentaje de 15% de sales bóricas respecto a la cantidad de material que se haya obtenido en el proceso.
- Como procedimiento final, se calcula el grado de humedad del material según el proceso por el que se piensa instalar en el muro (inyectado – proyectado)

Ventajas de la Celulosa

El principal material aislante con el que se puede comparar la celulosa en cuanto a desempeño y funcionalidad es el Poliuretano, el cual se ha mencionado anteriormente, es el más usado. En la siguiente tabla lo tomaremos como referencia para comparar las ventajas que presenta la celulosa y los beneficios que permite en el espacio donde se instala.

Tabla 8. Ventajas de la celulosa frente al poliuretano.

Factor	Poliuretano	Celulosa
Transpirabilidad	No	Si
Durabilidad	Desconocida	>50 AÑOS
Resistencia al fuego	Euroclase ⁸ A2 a E	Euroclase B
Protección Acústica	Desconocida	7dB más que otros aislantes.
Protección Incendios	No (Derivado Petróleo)	Si (3X del poliuretano)
Toxicidad	Si	No
Reciclaje	No	Si
Consumo Energético	Elevado	Bajo
Regulador de Humedad	No	Si
Limpieza de aplicación	Bajo	Alto

Tabla 8. Análisis comparativo entre el poliuretano y la celulosa, resaltando las ventajas que presenta el material reciclado sobre el aislante convencional. Fuente: Elaboración propia con datos tomados de Distribuciones Técnicas S.C. (2010) “Ventajas de la celulosa frente al poliuretano”. Consultado 30/09/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/fV7B1L>

⁸ Clasificación frente a su contribución en presencia de fuego siendo A1 el menos inflamable y F el de mayor riesgo durante un incendio.

Marco Referencial

Aplicaciones de la Celulosa como Aislante.

El contexto europeo es el que presenta mayor cantidad de procesos investigativos respecto a la celulosa. Encontramos trabajos de firmas alemanas y francesas como BIOHAUS y BioFib en las que se maneja la celulosa de una manera más rigidizada y solidificada que los procesos convencionales.

Tomando como referencia la firma BIOHAUS, se ha desarrollado un sistema denominado HomaTherm, la cual se compone por paneles flexibles de celulosa reciclada manejada con texturas similares a la espuma flexible de poliuretano. El panel en mención se puede evidenciar en la ilustración 13, en donde es notorio el espesor de este tipo de solución, la cual permite que funcionen por inserción entre las cavidades de los perfiles para lograr una cobertura total de la cámara de aire. Además de ser un material con óptimo aislamiento térmico, cada panel está diseñado para que alcance los 70kg/m³ y de esta manera se aplique el principio de mayor masa, mayor absorción de ondas sonoras de un espacio a otro.

(BIOHAUS, 2008)

Ilustración 13 Panel Homatherm - BioHaus

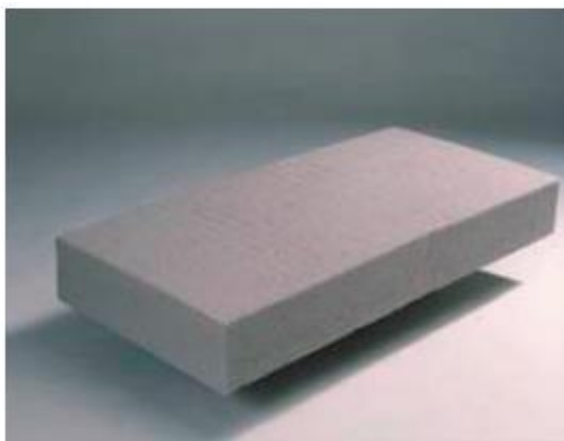


Ilustración 13. Panel del sistema Homatherm de 60 mm de espesor el cual se instala por medio de inserción entre cavidades de perfiles. Fuente: Biohaus (2008) "Características Técnicas Homatherm Flex CL". p. 1. Consultado 02/30/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/k0x3HJ>

Por otro lado, BioFib, una firma radicada en Francia de aislamientos ecológicos maneja el sistema BioFib' Guata. Este se compone de paneles flexibles que van desde los 40 hasta los 140 mm de espesor y están fabricados utilizando 30% de fibras de cáñamo con 55% de celulosa reciclada y un 15% de aglutinante de poliéster. (Biofib Aislamiento, S.f).

Sin embargo, en el ámbito norteamericano la firma Acoustical Surfaces, Inc. ha desarrollado el prototipo más cercano de láminas de celulosa compactadas que se encuentran disponibles en el mercado. El sistema se denomina CFAB Panels y son paneles de celulosa tratados con sales bóricas compactados en espesores de ½, 1 y 2 pulgada, como los que se muestran en la ilustración inferior. Son placas lisas implementadas para aislamiento en sistemas de construcción en seco y como revestimiento en muros de mampostería y madera para mejorar el comportamiento acústico del recinto.

Ilustración 14. Paneles CFAB



Ilustración 14. Paneles CFAB desde 15 mm hasta los 50 mm. Fuente: Biohaus (2009) “CFAB: Cellulose panels; Data sheet”. p. 1. Consultado 15/08/2015. Recuperado de: <http://goo.gl/veOXVn>.

Además, en comparación a los sistemas convencionales, presenta variedad en los formatos y dimensiones que se ajustan a las necesidades del espacio, sin que esto altere su composición o su densidad, la cual ronda los 70kg/m³, lo cual favorece directamente en el coeficiente de absorción del sonido.

Referenciando la información anteriormente desarrollada, los sistemas de aislamiento hechos a base de celulosa comparten la forma de instalación, al enfocarse en la inserción de los elementos entre cavidades de perfilera de los muros livianos tipo Drywall. En algunos casos, son también usadas en cubiertas, funcionando bajo el mismo principio y quedando insertadas en las cavidades entre viguetas, lo que reduce el ruido producido por lluvia o nieve.

Sin embargo, como punto a resaltar, se puede deducir que la celulosa no ha sido tomada como material base para laminas que no solo satisfagan necesidades aislantes, sino que también funcionen como elemento de revestimiento en muros huecos o macizos y en instalaciones de cielos rasos, lo que da un punto de partida para el planteamiento de la propuesta que se desarrolla en este trabajo investigativo.

Paneles de Celulosa Compactada Sistema Insucell Sheets

Definición

Los paneles de celulosa compactada planteados han sido denominados Insucell Sheets. Estos son elementos de revestimiento fabricados en celulosa compactada reciclada proveniente de papel periódico de recolección, tratada con sales bóricas para mejorar el comportamiento ignífugo del material y recubiertas con una capa de cartón para mejorar el proceso de acabado y darle mayor uniformidad a la superficie de la placa. Por otro lado, a diferencia de las láminas convencionales de revestimiento, éstas se caracterizan por estar hechas con un material poroso que mejora el aislamiento acústico de un espacio al mejorar el coeficiente de absorción de ondas sonoras y permite que sean más livianas y ligeras en comparación a las usadas como solución tradicional, hablando propiamente de las láminas de yeso-cartón y fibrocemento.

Ilustración 15. Láminas prototipo Insucell Sheets



Ilustración 15. Prototipo de láminas Insucell Sheets de 8, 12 y 15 mm de espesor. Fuente: Elaboración Propia (2015).

Por otro lado, aprovechando dichas características, los paneles cuentan con espesores desde los 15 mm hasta los 50 mm para brindar una amplia cobertura de espacios con diferentes necesidades, sean comerciales, industriales, residenciales, de educación, institucionales, entre otros. En la anterior ilustración se evidencian las primeras láminas prototipo de 21 cm x 29 cm con espesores de 8, 12 y 15 mm (el proceso de realización se explicará más adelante).

Dimensiones

Las dimensiones planteadas para las láminas se basan en las placas de revestimiento convencionales de yeso—cartón, fibrocemento y de madera, las cuales están estandarizadas en 1.22 x 2.44 m. Sin embargo, dado al material que estamos utilizando se indaga principalmente en medidas de menor tamaño que permitan una mayor flexibilidad en el diseño de los espacios y reducir el riesgo de fragmentación o fractura de la placa.

Ilustración 16. Dimensiones y espesores de láminas

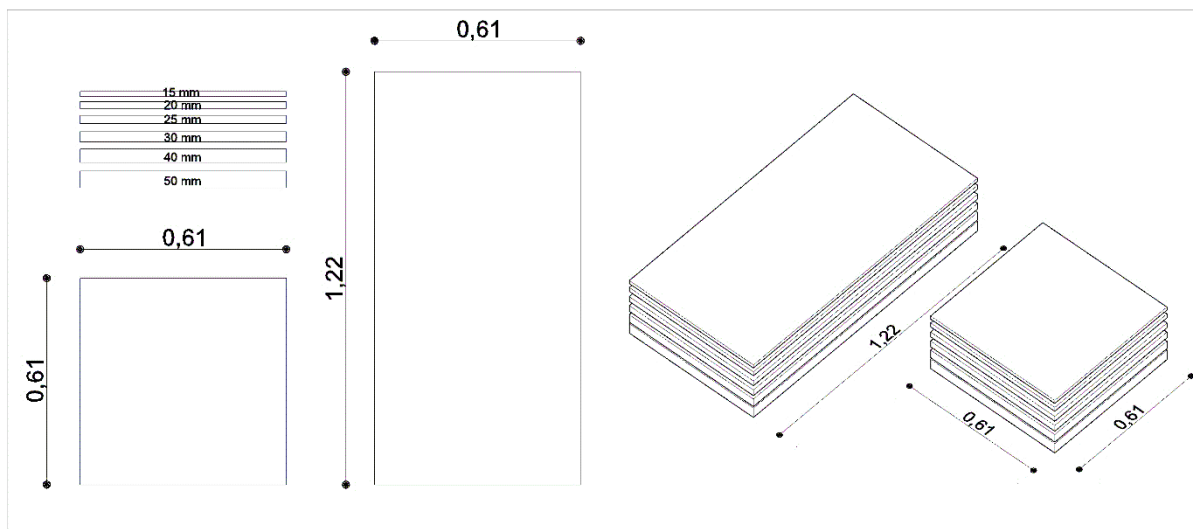


Ilustración 16. Dimensiones de las láminas una vez terminadas con los espesores a manejar. Fuente: Elaboración Propia (2015).

En la ilustración anterior se aprecian los diferentes tamaños y espesores que se manejarán en las láminas según los requerimientos de diseño y necesidades de aislamiento del espacio. Las medidas oscilan entre .61 y 1.22 metros de longitud y ancho, que además de permitir adaptabilidad a zonas con características dimensionales especiales, favorecen en la manipulación de los elementos, la instalación y el transporte de las láminas.

Composición

Las placas InsuCell Sheets están hechas, como se ha mencionado anteriormente, de celulosa compactada producto del reciclaje de papel periódico. Una vez se cuenta con la pulpa resultante del reciclado, se requiere componentes adicionales que permitan mejorar tanto su capacidad de compactación como su comportamiento al fuego una vez el elemento esté terminado e instalado, ya que este último está normalizado por la clasificación europea Euroclase y debe estar entre la clasificación A y B.

Para el primer de estos factores, se realiza una mezcla de agua con adhesivo convencional conocido como PVA⁹ o Colbón. La proporción es de 1:7, es decir, 7 ml de PVA por cada 1000 ml (litro) de agua que se utilice.

Para el comportamiento ignifugo, se utiliza sales bóricas o tetraborato de sodio, pero es común encontrar en el mercado de forma más sencilla el denominado Bórax, el cual es la sal de boro más comercial. Con este, el elemento de celulosa es protegido del fuego al inhibir la posibilidad de una fácil combustión y en caso de presentarse, entorpece la propagación de las llamas. Además, esta sal actúa como insecticida al evitar la proliferación de microorganismos y hongos en la lámina que esté en condiciones de humedad inadecuadas.

Por otro lado, según estudios hechos en el I.E.S Jorge Manrique¹⁰ de Palencia en España, la mezcla de estas dos sustancias genera una reacción química debido a su composición, la cual produce un enlace consecutivo de sus moléculas que da como resultado cadenas más largas de polímeros que son la base química de un producto comercial conocido como GAK, cuyas propiedades de elastómero pueden ser utilizadas para optimizar la permeabilidad de la placa, sobre todo al contar que el material es susceptible a la acción de la humedad. (IES Jorge Manrique, 2015)

Forma e Instalación

Las placas InsuCell Sheet son completamente planas en su superficie, uniformidad que se obtiene al colocar una lámina de cartón en cada lado para que la rugosidad natural de la celulosa no afecte el proceso de acabado y de instalación en el muro. Por otra parte, con los espesores mencionados en títulos anteriores, se busca aprovechar la característica porosa de la celulosa, la cual al contar con elementos de mayor masa mejora la absorción de ondas sonoras al aumentar la transformación interna del sonido en energía calorífica (ETSAC, 2002).

En cuanto a la instalación y fijación, los métodos usados en placas convencionales de yeso-cartón y fibrocemento son aplicables para las láminas de celulosa compactada. Los tornillos de punta aguda auto perforantes son los encargados en el momento de anclar la placa a perfiles de acero galvanizado. Cuando se busque recubrir muros convencionales macizos, ya sea en mampuestos o en concreto, se usará una pasta fijadora o pegamento tipo revoque, como el usado por la firma Gyplac para la adhesión de sus productos.

⁹ Acetato de Polivinilo

¹⁰ Instituto de Educación Superior Jorge Manrique

Caracterización del Material

Antes de abarcar los procedimientos de ensayos a los prototipos, se debe realizar una caracterización de factores que son cruciales para determinar antes de continuar la investigación. En estos encontramos la capacidad de compactación que presentan diferentes materiales reciclables como el papel periódico, el cartón y el papel blanco bond. Por otro lado, la trabajabilidad del mismo, con el fin de determinar qué tan vulnerable es el elemento una vez terminado ante la rotura o el pandeo según los espesores de lámina usados.

compactación.

El proceso por llevar a cabo para determinar la compactación se basa en la realización de probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro con 2.5 cm de espesor como las que se ven en la siguiente ilustración.

Ilustración 17. Tamaño probetas de compactación.

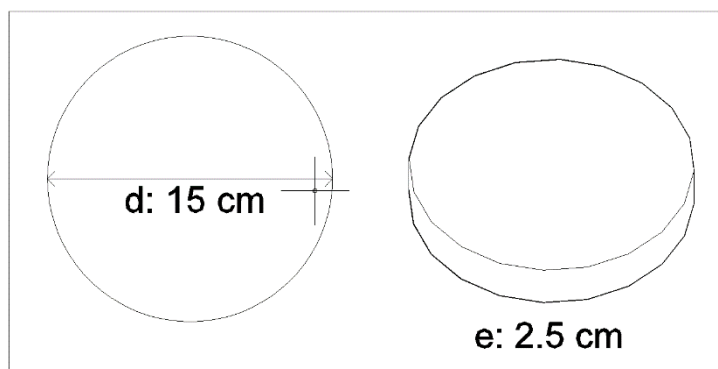


Ilustración 17. Tamaño probetas diseñadas para la prueba de compactación de material. Fuente: Elaboración Propia (2015).

Para su realización es necesario contar con los siguientes elementos:

- Envase plástico cilíndrico $d= 15$ cm.
- Elemento para compactar (Piedra 500 gr).
- 200 gr de papel periódico.
- 200 gr de papel blanco
- 200 gr de papel cartón
- Canecas con agua al clima.

El procedimiento por realizar es el siguiente:

- Como primer paso, se rasgan los tres tipos de papel en pedazos pequeños y se sumergen en las canecas con agua como lo vemos en la ilustración durante un periodo de 12 a 24 horas para facilitar la posterior trituración del material.

Ilustración 18. Remojado papel.



Ilustración 18. Remojo de los diferentes tipos de papel a comprobar: cartón (Izq.) periódico (Cent.) y papel blanco bond (Der.) Fuente: Elaboración Propia (2015).

- Acto seguido, se vacía el contenido de agua y se realiza el triturado manual del papel hasta obtener una pulpa semi-homogénea. El exceso de agua se retira hasta obtener un índice de humedad correspondiente al 15%, el cual se comprueba con el peso de la pulpa, en donde tomamos partes de 500 gr y se exprime el exceso de agua hasta que el peso final sea de 75 o 100 gr. Las pulpas resultantes están evidenciadas en la siguiente ilustración.

Ilustración 19. Pulpas resultante del papel, periódico y cartón.



Ilustración 19. Pulpas obtenidas del triturado del papel anteriormente s (Der.) Fuente: Elaboración Propia (2015).

- Tras la obtención de la pulpa, se realiza la compactación en un recipiente cilíndrico hasta obtener probetas el espesor determinado. Se desmoldan y se ubican en una superficie seca y al aire libre donde tenga incidencia a la luz solar como se muestra en la siguiente ilustración. No se realiza secado con uso de aparatos microondas o secadores de cabello, ya que agrietan el material.

Ilustración 20. Probetas resultantes.



Ilustración 20. Probetas resultantes de la compactación de periódico (Izq.), bond (Cent.) y cartón (Der.)
Fuente: Elaboración Propia (2015).

Tomando estos datos, se puede concluir que, a mayor cantidad de material requerido para obtener el grosor, presenta mejores condiciones de compactación, ya que hay mayor material en menos espacio.

Tabla 9. Resultados de compactación

Material	N° de Golpes	Pulpa Requerida	Grosor Final
Papel Blanco	30 – 40	260 – 280 gr	2.4 cm
Periódico	30 – 40	400 gr	2.7 cm
Cartón	30 – 40	180 gr	2.4 cm

Analizando la tabla anterior y la explicación previa, el papel que mejor compactación permite es el periódico. El blanco no logra una cohesión adecuada y el cartón, dado a sus características físicas, genera una pulpa bastante gruesa que no logra adherirse entre sí y no se logra una homogeneidad en la probeta.

trabajabilidad.

Para la realización de este ensayo se utilizará como base un marco de compactación en balsa de 19 cm x 29 cm para obtener láminas de tres espesores distintos (7, 10 y 15 mm). Los elementos necesarios son:

- Marco en Balsa 19 cm x 29 cm.
- Elemento para compactar (Cubo de Madera).
- 400 gr de Papel periódico.
- Canecas con Agua al clima.
- Colbón
- Como primer paso, se rasga el papel en pedazos pequeños y se sumerge en una de las canecas con agua durante un periodo de 12 a 24 horas para facilitar la posterior

trituración del material. Mientras tanto, se arma el marco base para la compactación de la pulpa usando puntillas en los extremos y fijándolos con adhesivo para madera para refuerzo adicional y se ubica en una superficie lisa sin ningún tipo de relieve como los que se aprecian en las siguientes imágenes.

Ilustración 21. Pulpa y molde de compactación.



Ilustración 21. Pulpa de periódico durante el triturado (Izq.) y molde de compactación (Der.) Fuente: Elaboración propia (2015).

- Transcurrido el tiempo, se vacía el contenido de agua y se realiza el triturado manual del papel hasta obtener una pulpa semi-homogénea. En otra caneca, en 1,5 Lt de agua se mezclan 10 ml de colón convencional (acetato de polivinilo) y con ayuda de un pincel se mezcla hasta que ambas sustancias queden homogéneas. La pulpa después de ser exprimida se sumerge de 15 a 20 minutos en la solución de agua con adhesivo y después se retira el exceso de agua hasta alcanzar el mismo porcentaje del ensayo anterior, entre el 15 y el 20% como se aprecia en la ilustración a continuación.

Ilustración 22. Solución de pva con agua.



Ilustración 22. Solución adhesiva de agua y acetato de polivinilo PVA (Izq.) e inmersión de la pulpa de periódico en la misma. (Der.) Fuente: Elaboración propia (2015).

Tras la obtención de la pulpa y ser tratada con la solución adhesiva, se ubica en el marco de madera y con ayuda de un bloque de madera, se realiza la compactación de manera

uniforme por todos los lados con intervalos de golpes repetitivos y presión focalizada en toda la lámina hasta rellenar el área total del marco de madera y alcanzar el espesor determinado. Este proceso esta esquematizado en las imágenes inferiores.

Ilustración 23. Compactación en molde de placa

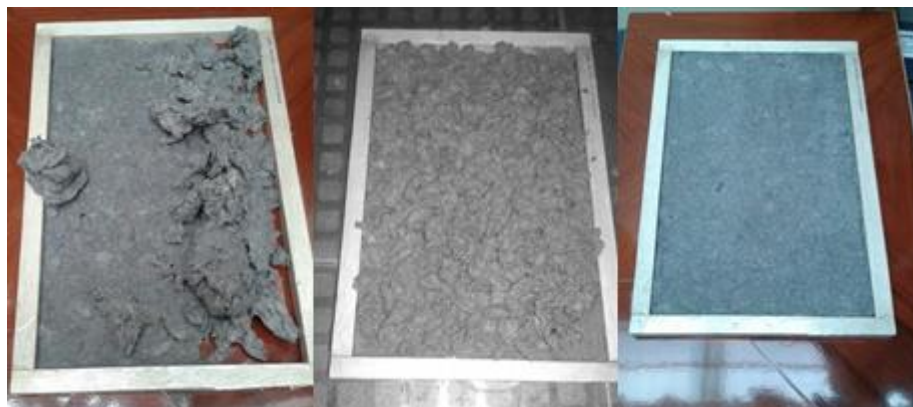


Ilustración 23. Proceso de compactación de láminas prototipo hasta alcanzar espesor determinado. Fuente: Elaboración propia (2015).

Como se aprecia en la siguiente ilustración, tras terminar la compactación del material, se retira el marco y se deja en una superficie al aire libre para que tenga un secado natural por acción de la luz solar. El tiempo de secado varía de 1 semana y media a 2 semanas según el espesor de la placa.

Ilustración 24. Proceso de secado de láminas.

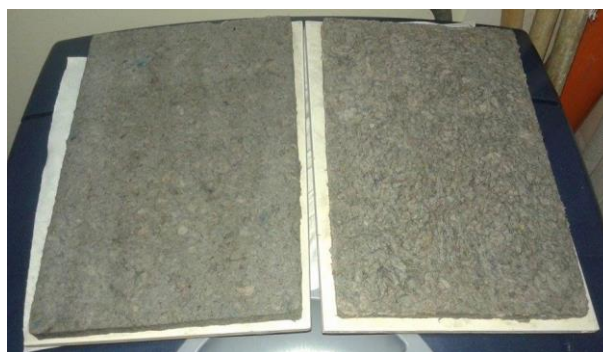


Ilustración 24. Ubicación de las láminas en una superficie lisa para el posterior secado de la placa. Fuente: Elaboración propia (2015).

Como resultado de dicho procedimiento, se puede concluir que manejar espesores de menos de 10 mm hacen que la placa sea más vulnerable a deteriorarse ante impactos y roturas ya que durante el proceso de secado, la lámina de 8 mm de espesor se agrieta en la parte media y en dos de las esquinas del material.

Además, con base en el estudio de la trabajabilidad, fue posible determinar las dimensiones finales de las láminas con la asesoría de los directores de proyecto. Las medidas

finales a trabajar mencionadas anteriormente (61 x 61 cm y 122 x 61 cm) permiten una fácil manipulación del elemento y, además, reduce las posibilidades de fractura durante su traslado al sitio de instalación.

Ahora, las placas resultantes del procedimiento anterior permiten evidenciar que la superficie de los elementos presenta cierta rugosidad que puede afectar los procesos de acabados de los muros en donde se instalen. Por esta razón, se opta por revestir la lámina con cartón para mejorar tanto la superficie final como para aumentar la resistencia de la misma ante esfuerzos que propicien su fractura durante los procesos de fijación e instalación.

secado.

Dado a que el proceso convencional de secado lleva mucho tiempo antes de que la lámina este completamente seca, se indaga en la posibilidad de realizar este proceso con la ayuda de un horno industrial, dado a que el poner la placa húmeda a altas temperaturas puede generar agrietamientos en la placa al presentarse una evaporación acelerada.

Para esto, se realizó una probeta de la misma dimensión a las anteriormente hechas para el ensayo de compactación. Dicha muestra fue puesta a secar en un horno del Laboratorio de Suelos de la facultad de Ingeniería de la Universidad La Gran Colombia, a una temperatura de 60 °C como se aprecia en la siguiente ilustración.

Ilustración 25. Secado en horno.



Ilustración 25. Secado en horno de la probeta con temperatura promedio de 50°C – 60°C. Fuente: Elaboración Propia. (2015)

La probeta permaneció en el horno un día completo y tras extraerla de la cámara, no presenta grietas en su superficie y presenta una solidez similar a la realizada inicialmente que seco a la intemperie. Sin embargo, ambas presentan completa uniformidad en su superficie y completa cohesión en el material como se puede observar en la siguiente ilustración.

Ilustración 26. Probeta post-secada en horno.



Ilustración 26. Probeta secada al horno (Izq.) y probeta secada a la intemperie. (Der.) Fuente: Elaboración Propia (2015)

Posteriormente, dado a que las dimensiones a trabajar son muy diferentes a la probeta ensayada y esto puede incurrir en el proceso de secado, se realizó una lámina prueba de 50 cm x 30 cm para corroborar que no se presentan fisuras o grietas en un elemento más esbelto. En este caso, la temperatura se mantuvo en el mismo rango ($50^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$) y el tiempo de secado fue el mismo. El acabado inicial y el final de la lámina no presento deterioro y presenta la misma estabilidad de las placas secadas a la intemperie, como se aprecia en la ilustración a continuación.

Ilustración 27. Lámina ensayo para secado en horno.



Ilustración 27. Lamina previo a secado (Izq.) ubicación en horno (Cent.) y resultado final tras tiempo de secado transcurrido (Der.). Fuente: Elaboración Propia. (2015)

Ensayos

El foco del proyecto se fundamenta en determinar la funcionalidad de las láminas de celulosa compactada como aislantes acústicas en un espacio. Para esto es necesario realizar pruebas que permitan captar la intensidad de un sonido generado al tener como obstáculo las láminas de celulosa. Este estudio se realizó en un principio de manera informal con la ayuda de aplicaciones de Smartphone que permiten obtener de forma sencilla la reducción o incremento de los sonidos en un espacio y posteriormente, se lleva a cabo de manera técnica con un sonómetro calibrado el uso de un software de medición propio del instrumento denominado HD600 con el cual se logran realizar gráficas y estadísticas para un resultado más aproximado.

Ensayo Informal

Para la realización de este ensayo se utilizaron las láminas realizadas para la trabajabilidad del material formando una cámara de aislamiento en donde se ubicaría el teléfono celular que mediría la intensidad del sonido. Para este se requirió:

- Fuente emisora de sonido (Celular)
- Aplicación Sound Meter PRO
- Láminas de celulosa.

Como medida inicial se realiza la calibración de la aplicación, dado a que los espacios están expuestos a constantes incidencias de sonidos externos. Para esto se ubica el teléfono en una superficie lisa y se deja por 15 segundos en modo calibrar hasta que alcance el nivel promedio del ruido ambiente.

Ilustración 28. Calibración de aplicación SoundmeterPRO

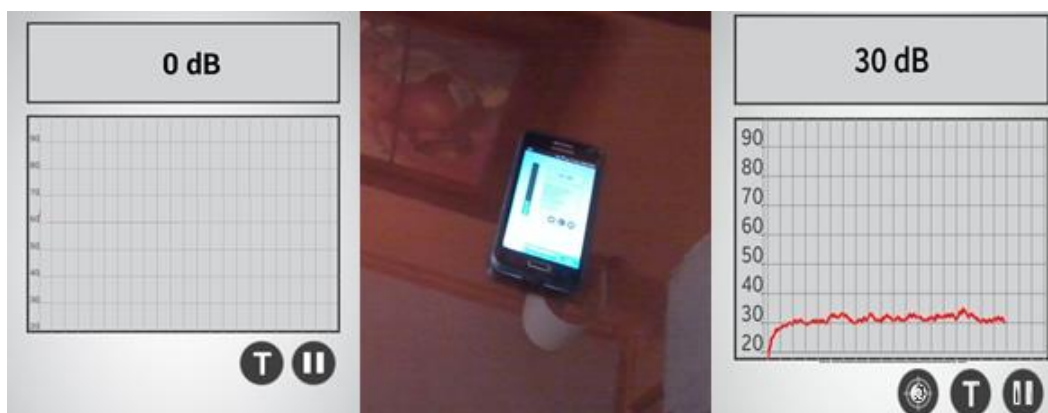


Ilustración 28. Calibración de la aplicación con el ruido ambiente para la medición del aislamiento con la lámina. Fuente: Elaboración propia (2015).

Como paso a seguir, se realiza la medición del sonido colocando el otro teléfono que actúa como fuente emisora directamente aledaño a la aplicación. De esta manera buscamos determinar el pico máximo del sonido que tiene incidencia en el espacio por encima del ruido ambiente tal como se muestra en la siguiente ilustración.

Acto seguido, usando la lámina de 15 mm que se realizó durante los procedimientos de análisis de trabajabilidad del material, se coloca intermedia entre ambos teléfonos como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 29. Medición de sonido en dB.

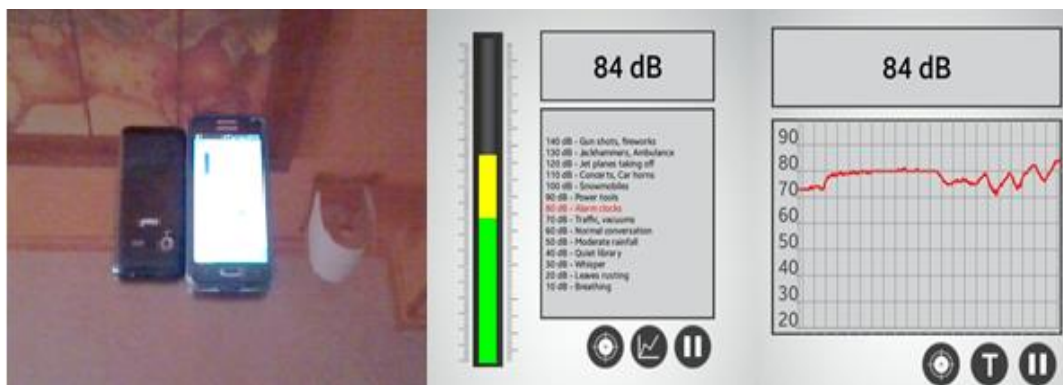


Ilustración 29. Calibración de la aplicación con el ruido ambiente para la medición del aislamiento con la lámina. Fuente: Elaboración Propia (2015).

Ilustración 30. Medición de aislamiento con lámina de celulosa.

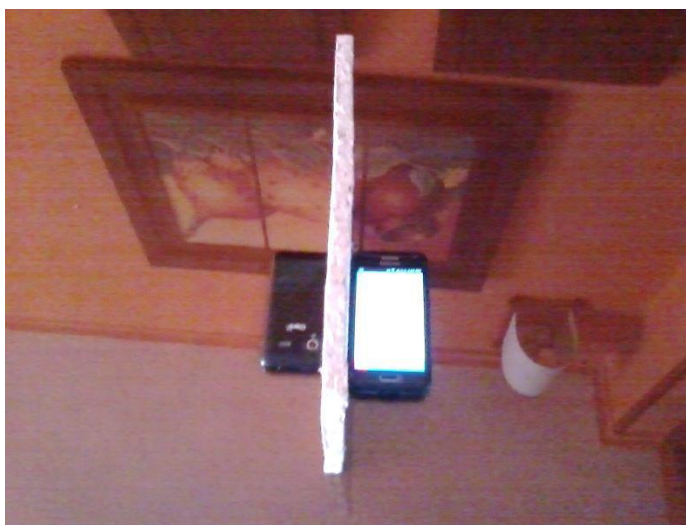


Ilustración 30. Medición de ruido al ubicar la lámina como un obstáculo entre ambos dispositivos. Fuente: Elaboración propia (2015).

Durante este paso, se realiza la medición correspondiente con la aplicación para identificar una alteración en la intensidad del sonido aun cuando solo hay una superficie que obstaculiza. Como resultado, se obtiene que el sonido pasa de registrar un pico máximo de 82 dB a un máximo de 75 dB, representando una reducción de un 9,1 % en el sonido emitido. Además, en el punto más bajo del sonido alcanza 70 dB, lo cual se traduce en 15% menos en comparación a los índices inicialmente registrados. Dicha reducción se puede evidenciar de forma más precisa en las gráficas arrojadas por la misma aplicación que se encuentran a continuación.

Ilustración 31. Variación de intensidad del sonido.

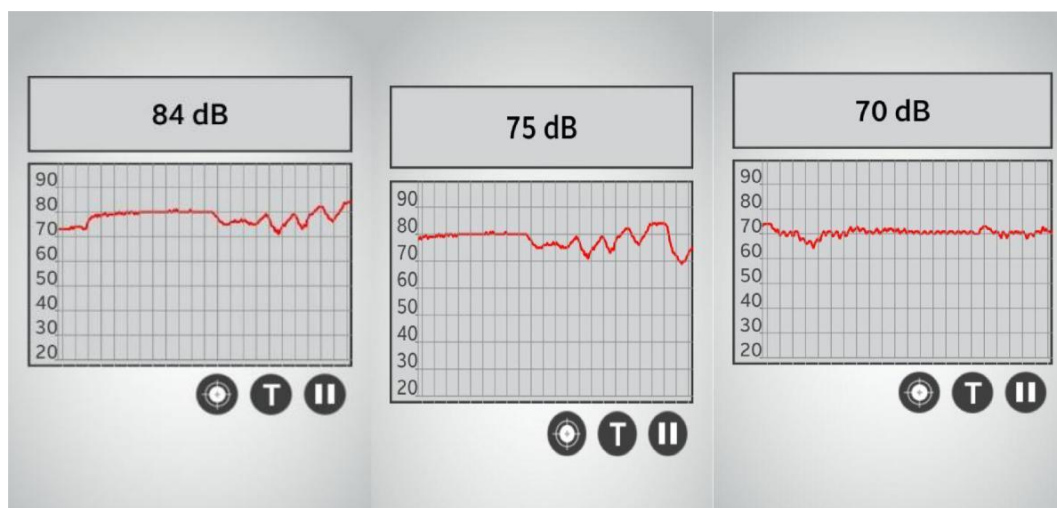


Ilustración 31. Imágenes graficas que evidencian la disminución de la intensidad sonora percibida por el sonómetro digital tras ubicar la lámina en medio de los dos dispositivos. Comienza con un pico de 84 Db (Izq.), alcanza un equilibrio de 75 Db(Cent.) y logra un punto bajo máximo de 70 Db (Der.) Fuente: Elaboración propia con imágenes generadas en la aplicación SoundMeterPRO (2015)

Con base en este ensayo realizado de forma superficial y con ayuda de herramientas electrónicas, se puede concluir que la celulosa presenta un buen comportamiento aislante incluso en procedimientos sin un protocolo normativo determinado. Además, es de resaltar que la reducción se presenta incluso cuando la lámina no se encuentra en un espacio completamente aislado del ruido y que, por ser dimensionalmente pequeño, la incidencia de las ondas en la aplicación de sonómetro puede ser mayor al generarse un fenómeno envolvente en el comportamiento de las ondas. Sin embargo, la presencia de una barrera directa permite que la intensidad del sonido disminuya y el registro final de los puntos máximos sea menor.

Ensayo Formal

Para la realización del ensayo formal se contó con un sonómetro calibrado que permitiría medir de manera más exacta la alteración en los niveles de sonido al usar las láminas de celulosa compactada como aislamiento y revestimiento. Para esto se dispuso inicialmente de una cámara de 50 cm x 50 cm recubierta con placas de yeso-cartón de 12 mm de espesor como se visualiza en la siguiente imagen.

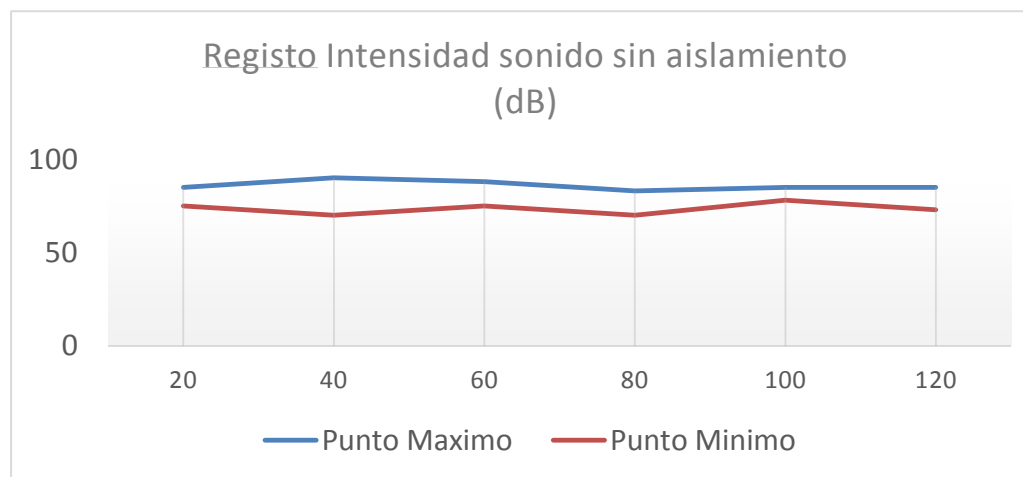
Ilustración 32. Cámara escala yeso-cartón



Ilustración 32. Cámara a escala de 0.25 metros cuadrados hecha con láminas de yeso-cartón de 50 cm x 50 cm. Fuente: Elaboración propia (2015).

Posteriormente, se realiza una medición con la fuente emisora por fuera de la cámara luego de que se calibre el instrumento con el nivel de ruido ambiente. Los datos se toman en intervalos 20 segundos por dos minutos en donde se analiza los puntos máximos y mínimos producidos por el sonido y se ven representados en la siguiente gráfica.

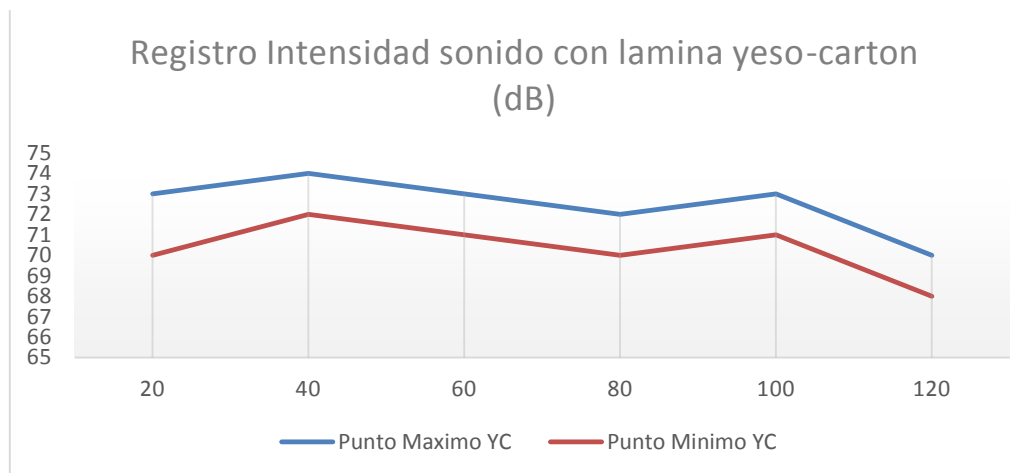
Gráfica 2. Intensidad límite de un sonido sin aislamiento.



Gráfica 2. Puntos máximos y mínimos alcanzados por un sonido durante intervalos de 20 segundos. Fuente: Elaboración propia (2015)

Acto seguido, se realiza el mismo ejercicio, pero esta vez la fuente emisora se ubica en la parte interna de la cámara y se toma el registro en la parte externa. De esta manera se determinan valores que oscilan entre los 75 y los 73 dB, demostrando así una reducción de un 2% en comparación al sonido inicial como se muestra en la siguiente gráfica.

Gráfica 3. Nivel de ruido con láminas de yeso-cartón.



Gráfica 3. Puntos máximos y mínimos alcanzados por un sonido durante intervalos de 20 segundos cuando este cuenta con una construcción tipo drywall. Fuente: Elaboración propia (2015).

Tras la medición de ambas formas y con base a las gráficas logradas, se concluye que las láminas de yeso - cartón no funcionan para aislamiento acústico ya que disminuyen solamente 3 dB en la lectura, lo cual no es una mejora considerable para afirmar que pueden actuar como elementos de aislamiento sin necesidad de un material adicional.

Luego de terminar el procedimiento con las placas de yeso-cartón, se arma la cámara de nuevo pero esta vez usando las placas de celulosa compactada tal y como se aprecia en la siguiente ilustración de manera tal que se logre un espacio pequeño o a escala de las placas para realizar la medición de sonido y sus intensidades.

Ilustración 33. Cámara con láminas de celulosa.



Ilustración 33. Cámara a escala de 0.25 metros cuadrados hecha con láminas de celulosa compactada.
Fuente: Elaboración propia (2015).

Como paso a seguir se realiza el registro de intensidad del sonido al igual que en el anterior procedimiento, colocado la fuente emisora en el interior de la cámara y el sonómetro en la parte externa de una de las caras del elemento. Durante el análisis de los datos tomados, en referencia a los primeros números arrojados por la primera medición, se presenta una reducción de más del 10% en los nuevos datos tomados, al igual que lo evidenciado en el ensayo informal realizado con teléfono celular.

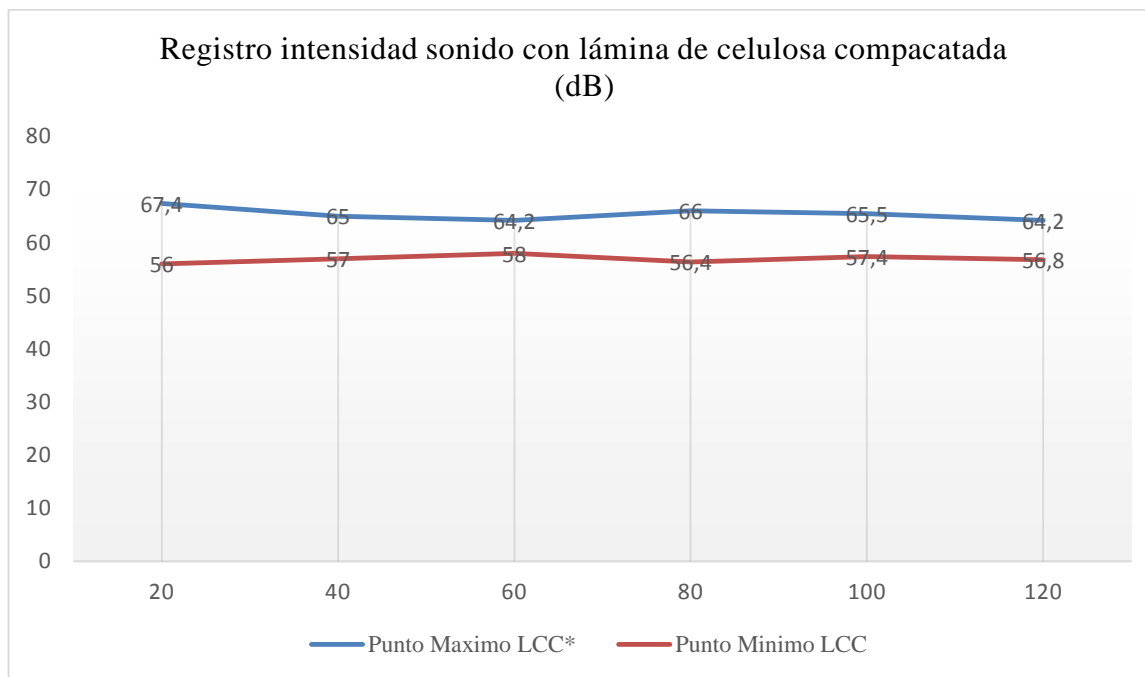
Ilustración 34. Proceso de medición de sonido.



Ilustración 34. Medición de sonido proveniente del interior de la cámara alcanzando el punto máximo de intensidad (Izq.) y el punto mínimo (Der.). Fuente: Elaboración Propia (2015)

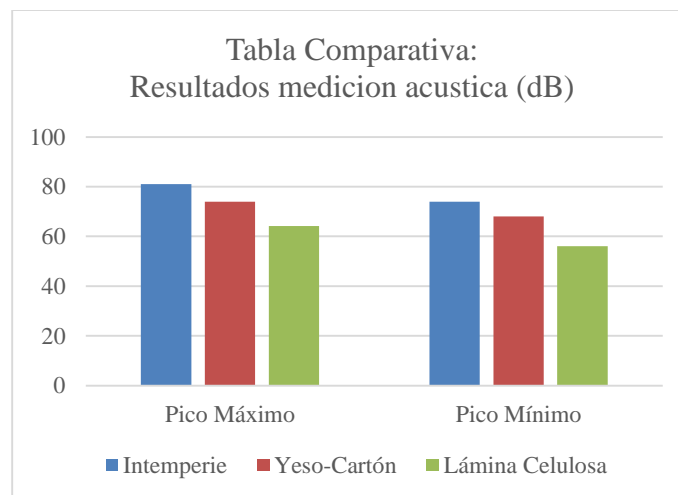
En este caso, el punto más bajo de una medición sin obstáculo alguno se convierte en el punto máximo al aislar la fuente con placas de celulosa compactada. Dicha alteración se evidencia en la imagen anterior y en la gráfica a continuación.

Gráfica 4. Resultados medición con láminas de celulosa



Gráfica 4. Puntos máximos y mínimos alcanzados por un sonido durante intervalos de 20 segundos cuando la fuente proviene del interior de la cámara hecha con placas de celulosa. Fuente: Elaboración Propia (2015)

Gráfica 5. Comparación de resultados



Gráfica 5. Comparación de los datos de medición que evidencia la reducción de la intensidad en las diferentes etapas de las pruebas. Fuente: Elaboración Propia (2015)

En la gráfica anterior, se muestran ambos picos de intensidad para evidenciar de manera más clara la reducción obtenida al usar la celulosa como aislante. De esta manera se realiza una comparación con los datos iniciales y los recopilados durante la medición y, al igual que en los ensayos informales, la reducción es notoria al usar placas de celulosa teniendo en cuenta que se utilizan láminas de 15 mm de espesor para acercarse a las dimensiones de la placa de yeso - cartón convencional.

Conclusiones y Recomendaciones

Con base a lo indagado en el anterior documento, es válido afirmar que, si bien la celulosa como se usa en la actualidad ya sea insuflada o proyectada, el convertirla en una lámina para revestimiento permite aprovechar al máximo sus características aislantes con el fin de reducir la necesidad de un material de aislamiento adicional y así poder simplificar los tiempos de ejecución y los procesos constructivos.

Además, es importante recalcar que el proceso de fabricación de la lámina debe ser riguroso ya que, por experiencias vividas durante el desarrollo de este trabajo, estas pueden presentar una pulpa más gruesa que en lugar de permitir una cohesión, genera un aglomerado de papel que no otorga ninguna resistencia y retrasa la planeación programada al requerir un reinicio de labores para generar nuevos elementos.

Por otra parte, el proceso de secado es crucial para que la lámina quede lo suficientemente rígida para que pueda ser trabajada. De lo contrario, esta puede presentar quemaduras superficiales (si el secado se realiza en horno) o incluso, una extensión del tiempo requerido para la liberación del contenido de humedad si el proceso se lleva a cabo en la intemperie y por acción directa de la luz solar.

También, en cuanto al aislamiento acústico, es válido recalcar que una reducción de un 10% de la intensidad del sonido es un porcentaje positivo si hablamos de evitar que un sonido se transmita a un espacio aledaño. Esto debido a que a mayor distancia se encuentre la fuente, la incidencia del sonido será mayormente bloqueada por el uso de las láminas de celulosa compactada, las cuales absorberán las ondas sonoras de poca magnitud y evitaran que lleguen al recinto aledaño.

Sin embargo, se recomienda indagar en la posibilidad de hacer una placa tipo sándwich con una capa interna de un material que contribuya a la resistencia de la placa como una malla textil sintética o un núcleo de otro componente (como el corcho) que permita mejorar el comportamiento acústico de este tipo de elementos.

Del mismo modo, aprovechando los beneficios que elementos morfológicamente modificados pueden otorgar en espacios que requieran disminuir la cantidad de sonido que se transmite, se presume que realizar placas con superficie ya sea convexa o cóncava puede incrementar en gran medida el comportamiento de las ondas sonoras los cuales podrían ser útiles según las necesidades del espacio a aislar al actuar como difusores de sonido.

Bibliografía

- Marzo, J., Roselló, G. (2002). "Introducción a la Acustica Arquitectónica". *Tectonica*, No. 14. Madrid, España. p. 1 - 39.
- Harris, C. (1995). Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control. En C. Harris, *Manual de Medidas Acusticas y Control del Ruido* (págs. 30.6-30.7). Madrid, España. McGraw Hill.

Cibergrafía

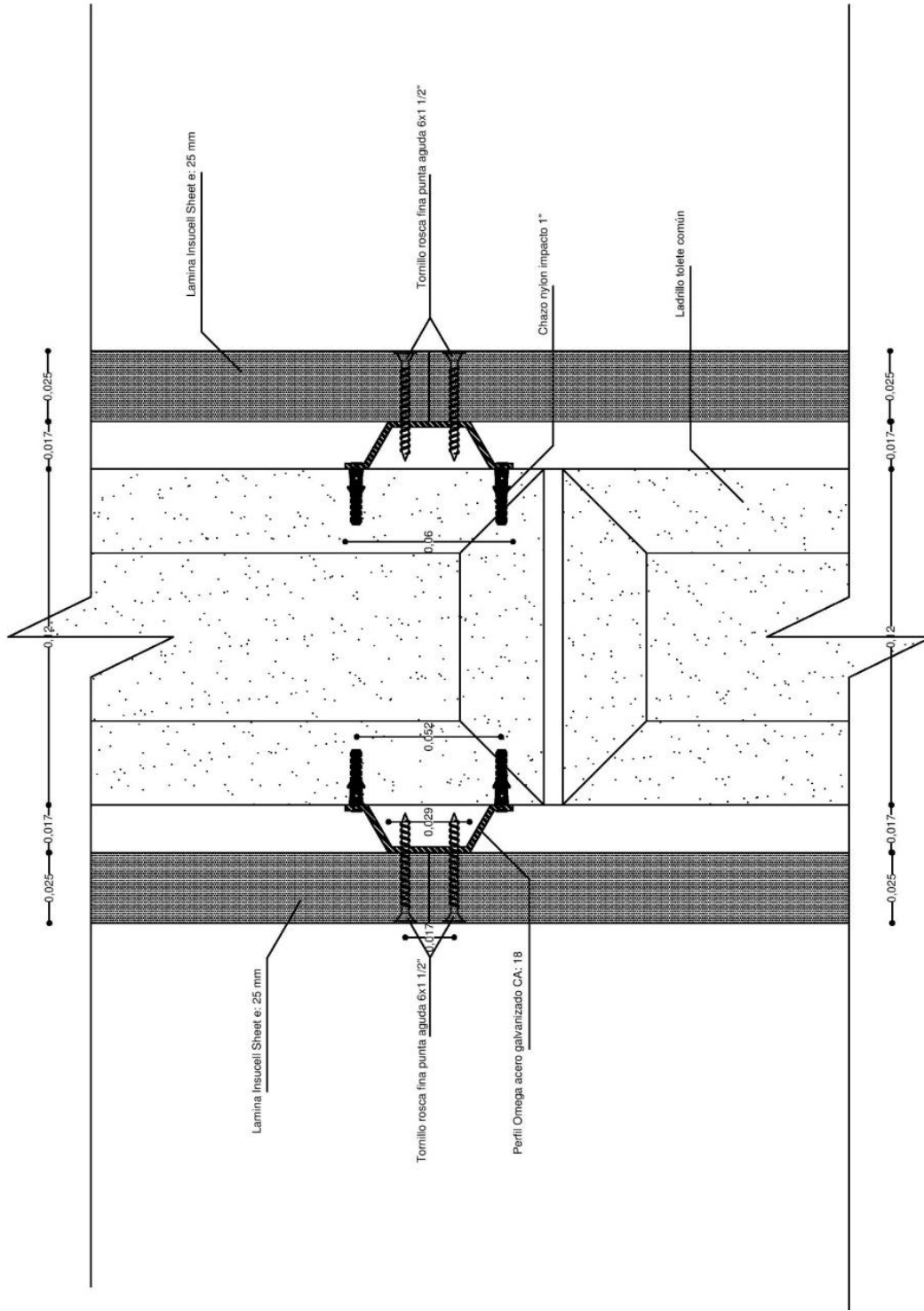
- ATEPA. (Octubre de 2012). Poliuretano y Salud. Consultado 5/08/2015. Recuperado de <http://www.atepa.org/pictures/pdf/57.pdf>
- ANDI. (Agosto de 2012). Reciclaje de papel cartón en Colombia. Consultado 30/09/2015. Recuperado de: <http://asociacionrecicladoresbogota.org/wp-content/uploads/2012/08/120822-Reciclaje-de-Papel-en-Colombia-v2-Modo-de-compatibilidad.pdf>
- Biofib Aislamiento. (2012). BioFit guata. Consultado 10/09/2015. Recuperado de <http://www.biofib-isolation.com/biofib-ouate.php?L=ES>
- BIOHAUS. (2008). BioHaus Isolation. Consultado 05/08/2015. Recuperado de: <http://www.biohaus.es/pdf/Ficha%20Homatherm%20Flex%20cl%202008.pdf>
- DecoDrywall S.A.S. (2012). Que es Drywall. Consultado 05/08/2015. Recuperado de: http://www.decodrywall.com.co/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=85:que-es-drywall&catid=14:sample-data-articles&Itemid=272
- Distritec S.C. (2010). Ventajas de la celulosa frente al Poliuretano. Consultado 20/09/2015. Recuperado de: <http://www.distritec.info/archivos/ventajas-de-la-celulosa-versus-poliuretano.pdf>
- EcoAislantes Colombia. (2014). "Llego la revolucion en aislantes ecologicos". Consultado 28/09/2015. Recuperado de: <http://ecoaislantes.com/descarga.pdf>
- Fenercom. (2012). Guia sobre Materiales Aislantes y la Eficiencia Energetica. Madrid, España. Consultado 11/09/2015. Recuperado de: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom-2012.pdf>
- GreenPeace. (2004). El Papel, como reducir el consumo y optimizar el uso y reciclaje del papel. Consultado 30/09/2015. Obtenido de <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/el-papel.pdf>
- Junta de Andalucía. (s.f.). Fisica del sonido. Consultado 28/08/2015. Recuperado de: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/consolidado/publicacionesdigitales/40>

-719-2_MENOS_RUIDO_MAS_VIDA-_CUADERNO_DE_APOYO/40-719-2/5_FISICA_DEL_SONIDO.PDF

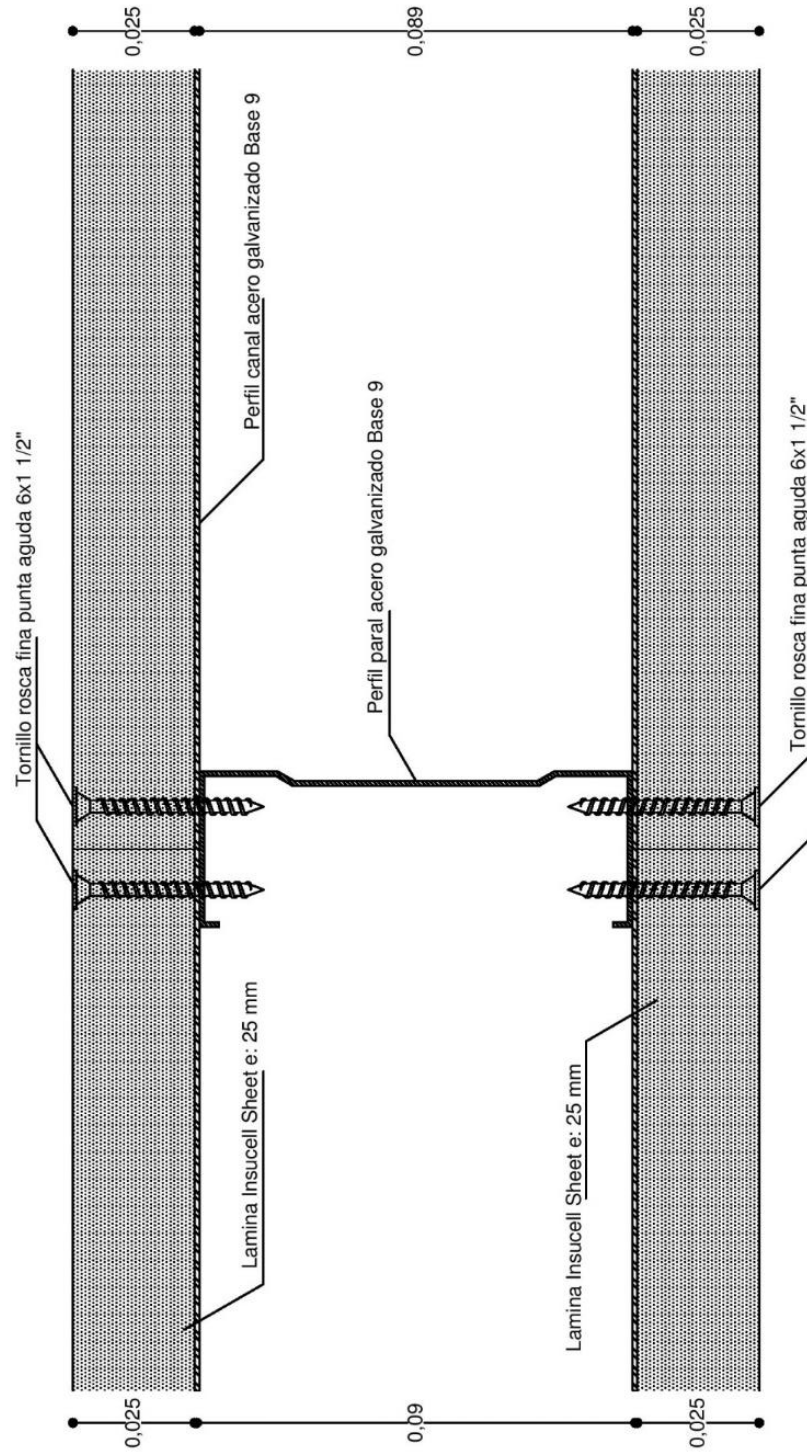
- Ovallos, H. (2012). 2.5- Concepto de Aislamiento Acústico (Aislamiento y Acondicionamiento). Táchira, Venezuela. Consultado 28/08/2015. Recuperado de http://tesis.ula.ve/pregrado/tde_archivos/14/TDE-2012-03-20T05:25:29Z-1517/Publico/ovalloshector_parte2.pdf
- Perez, C. (s.f.). Sonido y Audición. Cantabria, España. Consultado 20/10/2015. Recuperado de <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Sonido%20y%20Audicion.pdf>
- Torres, M. (2008). Propiedades, comportamientos, efectos y propagación del sonido. Consultado el 24/09/2015. Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos31/propiedades-sonido/propiedades-sonido.shtml>

Anexos

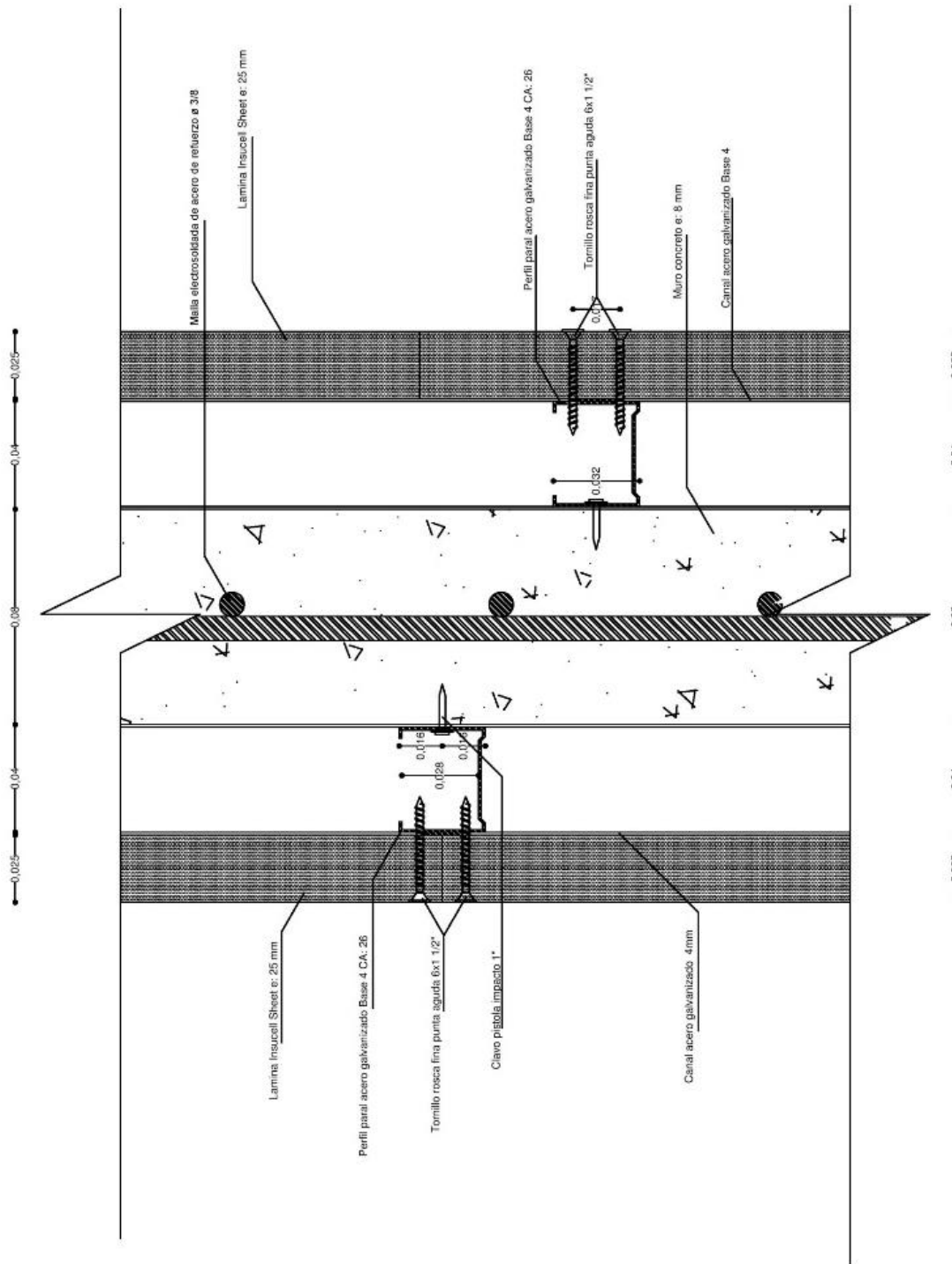
Detalle 1: Anclaje Panel – Muro mampostería (Chazo impacto)



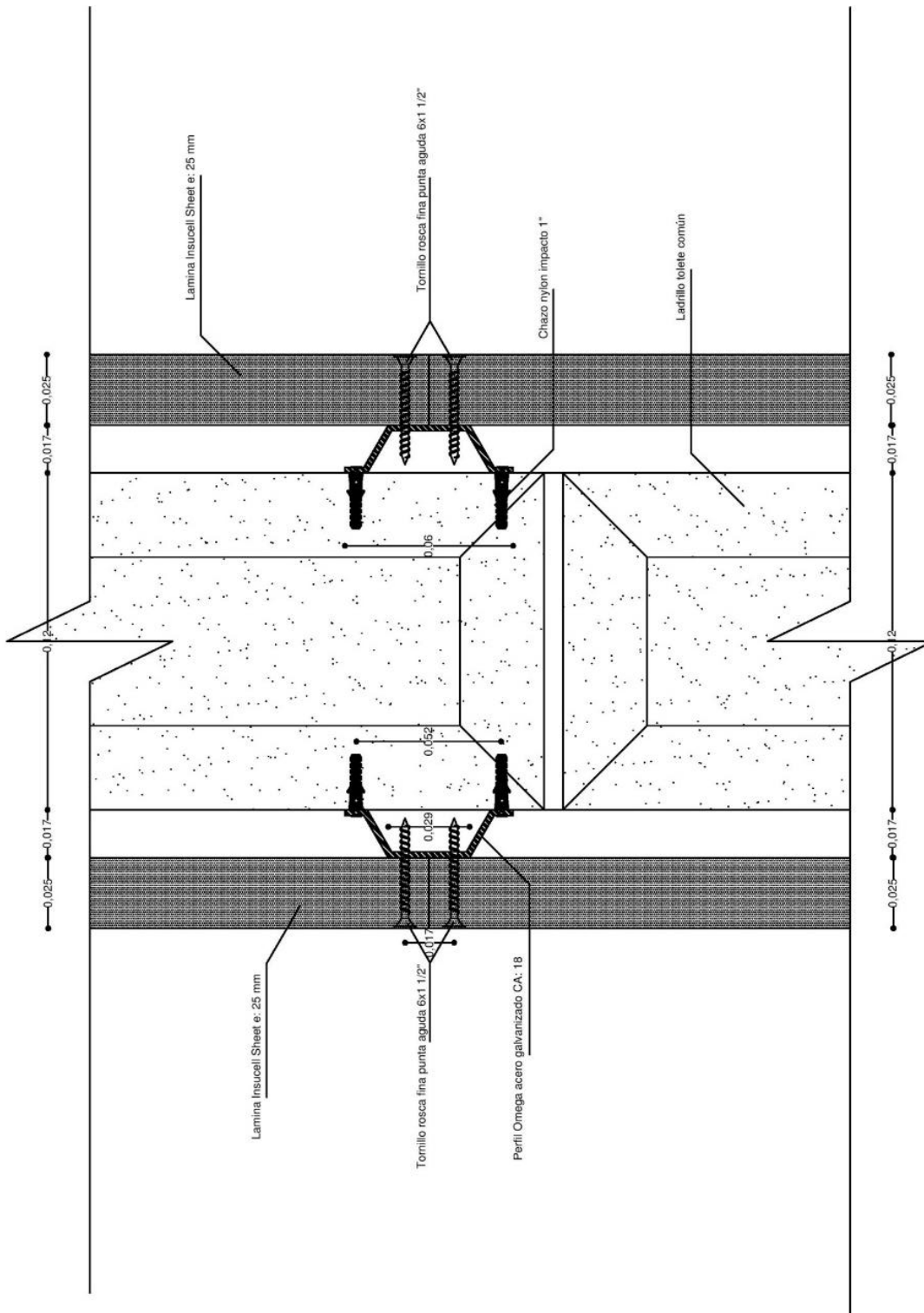
Detalle 2. Anclaje láminas – parales muro tipo Drywall



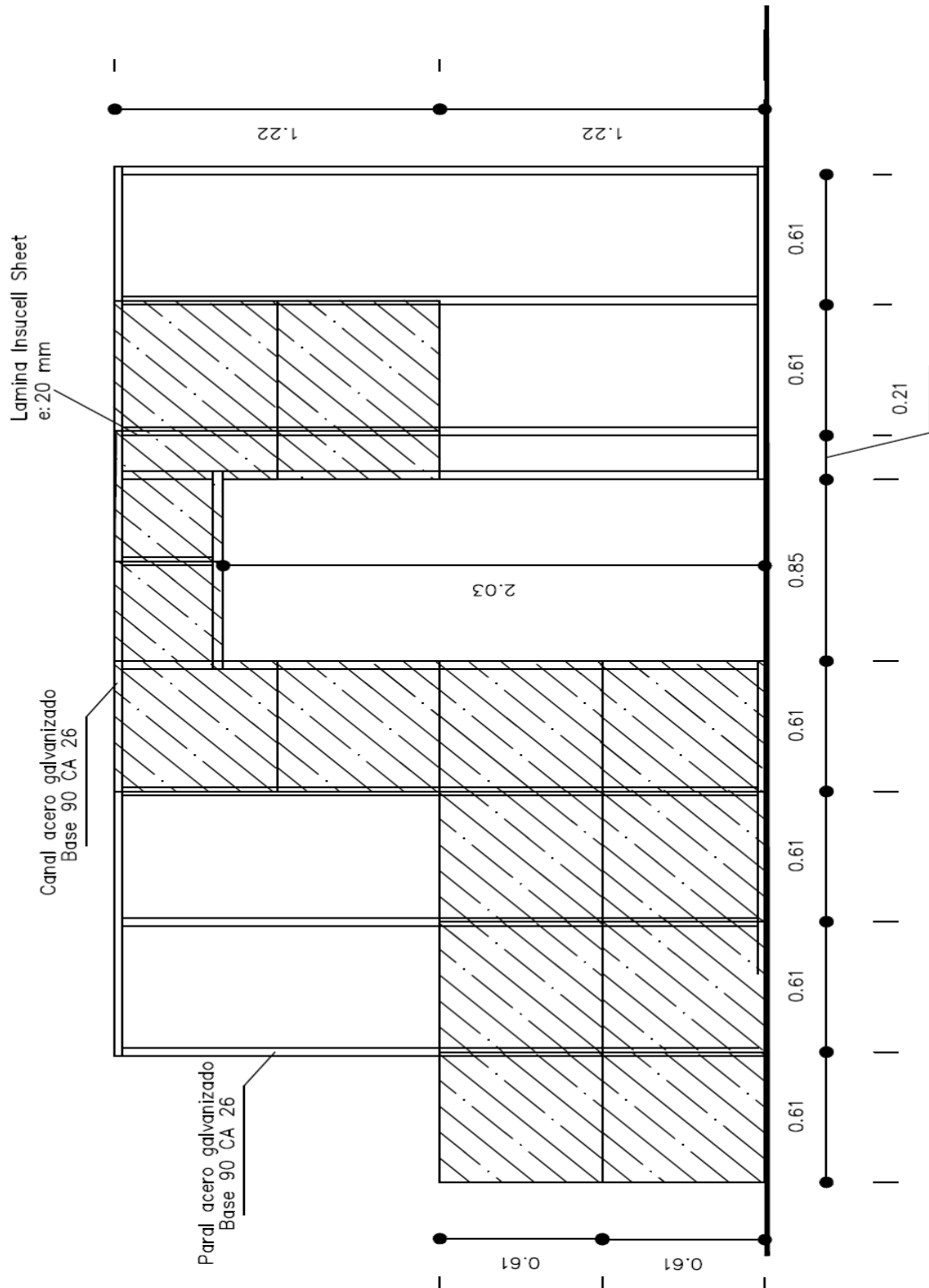
Detalle 3. Anclaje placa – perfil – muro concreto e:8cm



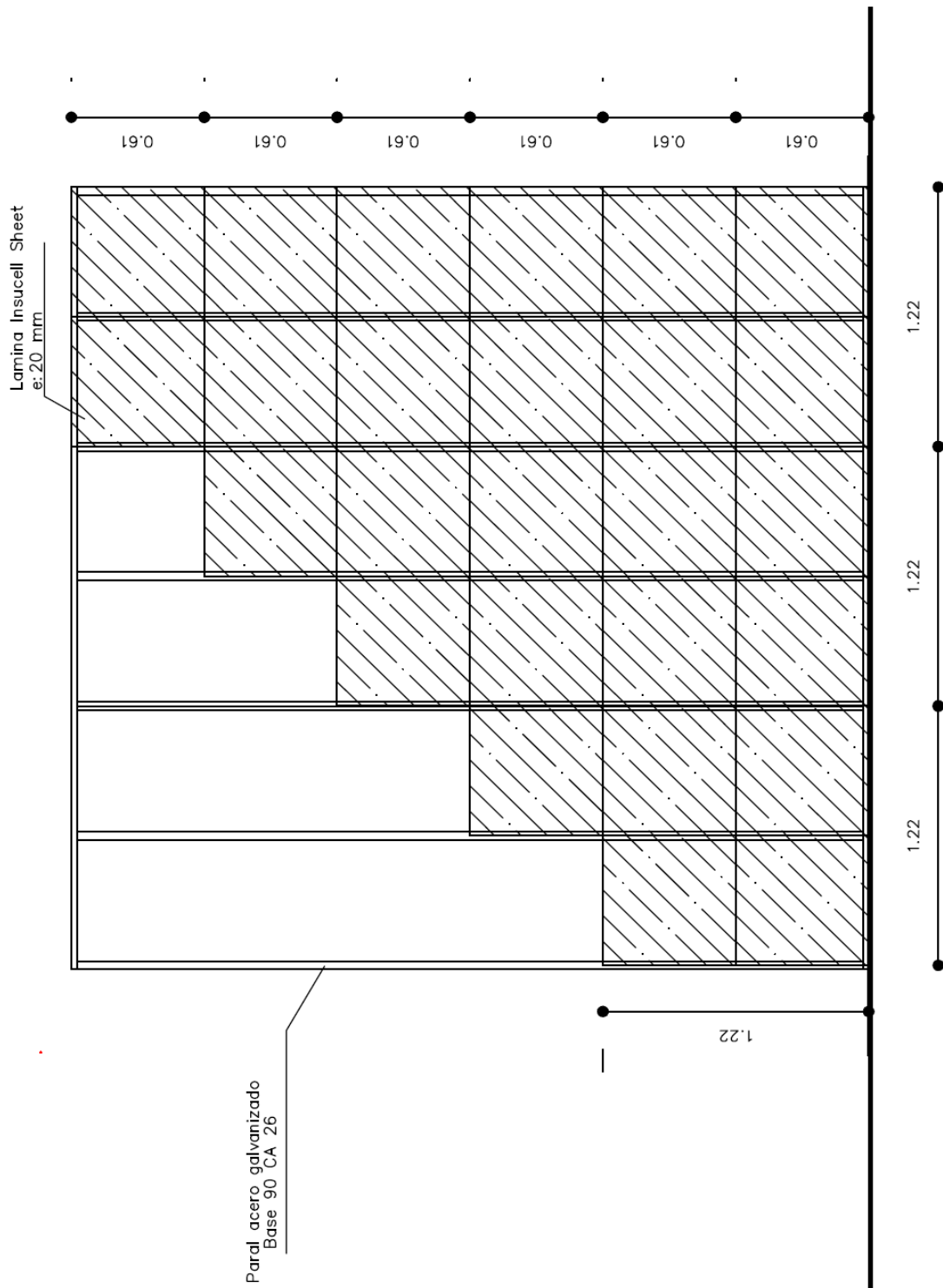
Detalle 4. Anclaje general muro liviano



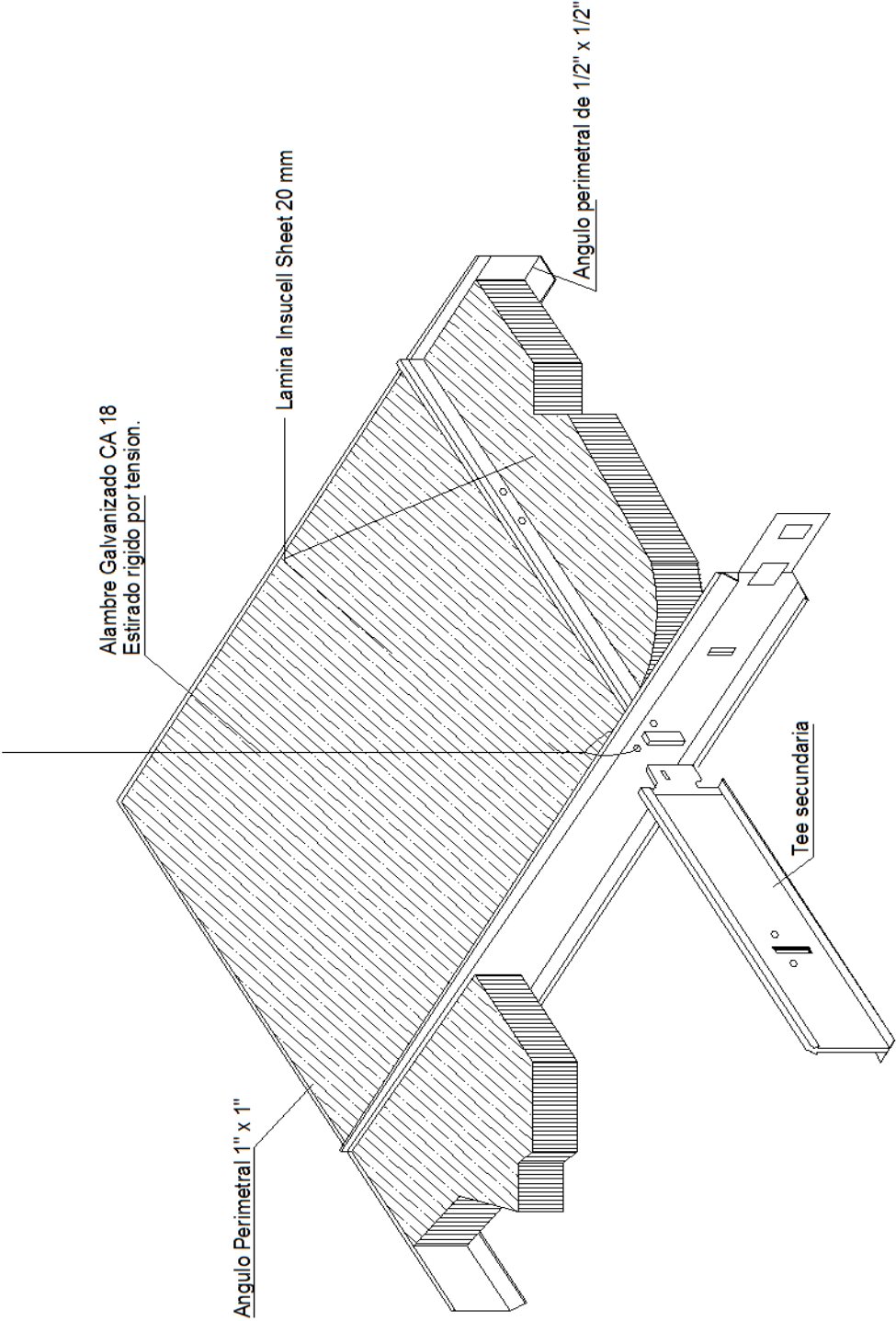
Detalle 5. Modulaci3n muro con vanos en l3minas Insucell Sheets



Detalle 6. Modulaci3n muro cerrado en l3minas Insucell Sheets



Detalle 7. Instalación de cielo raso con láminas Insucell Sheets



Detalle 8. Instalación de cielo raso con láminas Insucell Sheets – Remate muro

