

# Reutilización de retazos de tableros de madera para la producción de un nuevo sistema de difusión acústica.

## Análisis en base a herramientas digitales (Grasshopper-PachyDerm).

**Estudiante:** Catalina Sacaan González.

**Profesor guía:** Cristián Muñoz Díaz.

### Resumen

En la presente investigación se analiza mediante herramientas digitales el uso de materiales descartados en un sistema de paneles de difusión acústica. Para ello se hará un breve repaso en torno a tipos de tableros de madera y la cadena de valor y/o procesos de fabricación en la que están insertos, con el fin de detectar el momento en donde se genera el "desecho"; posteriormente, se expone sobre el sonido y sus diferentes comportamientos para centrarse específicamente en la difusión acústica, la normativa en torno a esta y el testeado por el que pasa un elemento difusor; finalmente, se explica que programas se usarán, como funcionan y que simulaciones se usaran para descubrir si los retazos de tablero de madera son útiles para el nuevo sistema de difusión acústica.

La investigación se medirá mediante programas computacionales en torno al tiempo de reverberación, mostrando la comparación entre un tablero difusor corriente y un tablero difusor en base a retazos de tableros de madera, estandarizado según vigentes.

**Palabras clave:** Reutilización de materiales, Retazos de madera, Acústica, Herramientas digitales (Grasshopper).

### 1. Introducción

Esta investigación nace a partir de la inquietud en relación los desechos generados en la industria de la arquitectura y construcción, ya sea en su fase inicial de obra gruesa o la fase final. En base a eso, en este seminario se enfocó en uno de los materiales más comunes dentro de una obra, la madera.

Este material es usado en varias partes de una obra, pero poco se discute respecto a de cómo se fabrica, como se usa, como se termina su vida útil, o si se generan desperdicios dentro de cada proceso. En esta investigación, se busca detectar y utilizar estos residuos de material de tableros de madera con el fin de utilizarlo o disminuir su porcentaje de desecho como tal. Para esto, se caracterizará el origen de las pérdidas del material, buscando las respuestas dentro de empresas que producen los tableros y empresas productoras de muebles o dimensionados de tablero para casos particulares,

ya que son en estos lugares en donde se encuentra de maneras industriales el residuo a investigar: los **retazos**.

Los retazos corresponden a una porción de tablero que al momento de ser cortados o dimensionados queda de manera inutilizada, esto debido a que generalmente por sus dimensiones poco estandarizadas y de pequeña sección, debido a esto caen en la problemática de qué hacer con ellos. A partir de esto, el propósito de esta investigación será utilizar el material descartado estudiando acerca de sus posibilidades en torno al sonido y explorando sus capacidades como un sistema alternativo de revestimiento acústico.

De acuerdo a lo mencionado, como objetivo general de la investigación se buscara analizar las propiedades y posibilidades que podría otorgar los retazos de tableros de madera en cuanto a la difusión acústica de ondas de transmisión aérea, configurados mediante herramientas digitales (Grasshopper, PachyDerm), con el fin de darles un

nuevo uso y evitar de esta forma que se conviertan en desecho o al menos disminuir en gran medida sus cantidades.

### 1.1. Hipótesis

Como hipótesis, se tiene que las propiedades de los retazos de madera sumado a la geometría dada por las diferentes piezas descartadas poseen características adecuadas para difundir o reflejar las ondas acústicas de transmisión aérea para espacios interiores.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Contaminación en el sector de la construcción

En los últimos años el cambio climático se ha presentado como uno de los desafíos más grandes para la humanidad, debido a que este fenómeno genera variaciones en el ecosistema generando problemas ambientales que repercuten en nuestro día a día. Esto ha ido creciendo con los años y ha ido acentuándose cada vez más con los procesos industrializados. En vista de esto, se puede señalar que los procesos relacionados a la arquitectura y la construcción son uno de los principales productores de contaminación ya que corresponde a una de las actividades más comunes alrededor del mundo. En una investigación realizada por el MINVU el año 2018, se evidencia que el área de la construcción genera grandes impactos medioambientales debido a que es responsable de producir el 30% de gases de efecto invernadero (GEI), el 90% de material particulado y alrededor del **34% de los residuos totales generados en Chile**. Por datos como los anteriormente mencionados, surge la inquietud y la necesidad de encontrar la dimensión dentro de la construcción en donde se pueda intervenir, esto con el objetivo de fomentar la arquitectura y la construcción de bajo impacto. (Camara Chilena de la Construcción, 2019)

Para esto, es necesario mirar la arquitectura y la construcción desde esa óptica, desde la mirada de minimizar los posibles impactos y optimizar al máximo la utilización de cada recurso o material usado dentro de cada obra. Pero en la realidad, las construcciones siempre tienen un margen de pérdida que puede estar ligado a la de generación de desecho, de escombros y pérdidas de material, pudiendo ser este último ocasionado por temas de diseño, de uso y ejecución por parte de la mano de obra, o por el dimensionado de fábrica.

Esta última opción, genera pérdidas de material debido a que los productos vienen con dimensiones estandarizadas por el mercado regulado por normas a nivel mundial, como por ejemplo los tableros de madera<sup>1</sup>. Según las entrevistas que se pudieron realizar dentro de este seminario, las pérdidas de material para encargos particulares y en masa van de un 4% a un 26%.

### 2.2. Madera en la construcción

La madera es un material que se encuentra frecuentemente en las construcciones, pueden encontrarse ya sea en forma de moldaje, como estructura, terminaciones finales o inclusive en mobiliarios.

Pero, ante solo se construía con madera sólida, no fue hasta el siglo XX que empezaron a aparecer alternativas a la madera maciza, en forma de tableros en base a madera mezclados con diferentes elementos. Los tableros que actualmente son utilizados en la construcción se conforman de madera procesada que es mezclada con adhesivos y aditivos, donde estos últimos dos componentes son útiles para unir el tablero y otorgarle mayor resistencia. También, dentro de los aditivos se pueden incorporar materias como la cera para aumentar la capacidad de repulsión de la humedad, también retardantes para el fuego, "endurecedores" para darle mayor resistencia, entre otros.

### 2.3. Clasificación y tipos de tableros

Los tableros se pueden clasificar según sus componentes y sus características decorativas, siendo los principales: tablero desnudo, tablero recubierto y tablero acabado.

Según el consejo de arquitectos de Madrid junto a AiTim<sup>2</sup>, los tipos de madera se pueden categorizar según:

### 2.4. Tableros de madera maciza

Este tipo de tablero se basa en la madera pura (maciza), ya sea en forma de tablas o listones que son unidos por el encolado.



Fig. 1: Imagen tablero madera maciza. Fuente: Extraído de Estudio b76, 2020.

<sup>1</sup> Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2018

<sup>2</sup> Consejo de Arquitectos, Tableros estructurales derivados de la madera

## Tableros Aglomerados MDP

Estos tableros se componen en base a pequeñas virutas encoladas, que pueden ser de diferentes tamaños y que mediante a presión y adhesivos especializados para compactar generan la unión de las partículas.

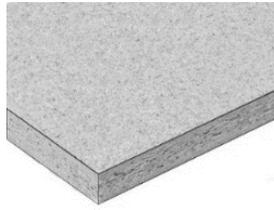


Fig. 2: Imagen tablero de aglomerado. Fuente: Extraído de Estudio b76, 2020.

## Tableros OSB

O bien llamados tableros de fibras, se componen de madera que ha sido reducida a elementos de pequeña sección y posteriormente unidas por resina sintética, y finalmente comprimidas por tensión y calor.

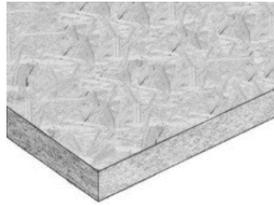


Fig. 3: Imagen tablero de OSB. Fuente: Extraído de Estudio b76, 2020.

## Tableros MDF

Son tableros que se encuentran conformados en su 85% por fibras de madera procesadas y/o reconstituida, y el 15% restante corresponde a resinas comprimidas que aporta densidad al tablero.

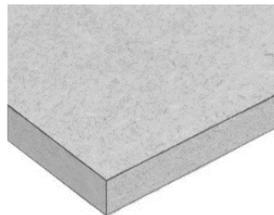


Fig. 4: Imagen tablero de MDF. Fuente: Extraído de Estudio b76, 2020.

## Tableros Contrachapados

Este tablero se conforma por laminas o chapas de madera que van siendo pegadas de manera transversal y adheridas con resinas a presión y calor, con el fin de otorgarle mayor resistencia.



Fig. 5: Imagen tablero Contrachapado. Fuente: Extraído de Estudio b76, 2020.

Para producir estos tableros, hay que entender que la madera esta inserta dentro de una cadena de valor.

## 2.5. Cadena de valor y proceso de fabricación de los tableros de madera.

Los tableros de madera se encuentran insertos en un modelo de cadena de valor, la cual en palabras simples muestra las diferentes etapas por las que pasa la materia para transformarse posteriormente en el producto final, en este caso la madera correspondería a la materia y el tablero de madera al producto final. (Secretaria de Política Económica y Planificación del Desarrollo, 2016)

### Etapas de la cadena de valor de la madera

#### - Producción primaria:

En esta fase de la cadena de valor consiste principalmente en la plantación artificial de árboles en viveros y se extrae la materia prima mediante maquinarias y personal capacitado.

#### - Primera transformación

Dentro de esta etapa se encuentra la fabricación y producción en base a la materia prima, obteniendo productos como: pasta celulósica, tableros reconstituidos madera aserrada, laminas y chapas de madera. Pero para efectos de esta investigación solo se tendrá en consideración y se profundizará en la fabricación de los tableros.

En el proceso de fabricación de los tableros de madera se pueden encontrar diferentes etapas que llevan a un producto final. Por ejemplo, a grandes rasgos para el caso de los tableros de MDF se deben pasar por los siguientes procesos: **1) descortezado y astillado**, en este proceso se deja la madera en forma de astillas; **2)** estas astillas pasa a una planta termina en donde se **procesa y evaporan las partículas de agua** presentes en la corteza, las astillas son lavadas y posteriormente separadas.; **3)** luego, las astillas y la corteza son **procesadas con resina** que son secadas y lavadas por gases; **4)** la masa resultante es prensada y enfriada para luego pasar por el proceso **de lijado y dimensionado** (o corte en otras palabras); **5)** para finalmente tener el producto listo, es decir los tableros de madera, y posteriormente ser **embalados y transportados**.

## - **Segunda Transformación**

En esta tercera etapa se toma el producto ya procesado (los tableros de madera) y se comienzan a convertir en objetos, muebles, partes de muebles, o como tableros compensados. Para producir estos objetos, nuevamente el producto debe pasar por una fase de modificación, puesto a que se dimensionan nuevamente y son cortados las veces que sean necesarias para confeccionar dichos objetos.

En síntesis, analizando las diferentes etapas de esta cadena se concluye:

- 1) En la etapa de primera transformación, en el proceso de fabricación del tablero se encuentra el primer indicio de pérdida (en el paso 4), fase en donde el material es cortado y lijado para dejar cuadrado el lote de tableros. Si bien en esta etapa se pierde material, la pérdida es mínima debido a que el rebaje es de solo 1mm por lado, debido a que solo es para cuadrar los tableros (que ya vienen cuadrados).
- 2) Por otro lado, en la segunda etapa de transformación es donde ya se observan pérdidas significativas, y donde se producen mayores cantidades de retazos. Esto se debe a que se vuelven a dimensionar y generalmente las medidas del tablero en conjunto con el diseño de mobiliario dejan pequeñas secciones inutilizadas a pesar de pasar por un software que optimiza su distribución para el mayor aprovechamiento del material.

## **2.6. La oportunidad de la utilización de retazos de madera para paneles acústicos**

Con el fin de evitar que aumente la generación de retazos de madera, se debe repensar la forma en que se intervendrá el tablero de madera en la etapa de la segunda transformación.

En las entrevistas, mencionan que podrían existir diferentes soluciones, como que los tableros vengan con medidas estandarizadas dependiendo del mueble, lo cual efectivamente puede ser posible, pero no es real debido que en el mercado de la mueblería si bien existen empresas que generan sus mobiliarios en masa, también existe una gran parte de mueblistas independientes que hacen diseños a pedido y exclusivos. Y a pesar de

realizarse diseños en masa o particulares, según los entrevistados se sigue teniendo un margen de pérdida del 4% al 10%.

Por lo que, dentro de esta investigación, más que buscar encontrar soluciones desde la transformación del tablero, se plantea trabajar con la problemática ya existente, en otras palabras, trabajar directamente con los retazos, viéndolos como una **gran oportunidad a explorar** más que un residuo inutilizado.

Para esto se plantea trabajar con la geometría dada en los retazos, centrándose específicamente a retazos de secciones rectangulares, ya que estas podrían resultar útiles dentro de un sistema de acondicionamiento acústico de interiores, debido a que la madera sólida presenta grandes ventajas en materias relacionadas al confort acústico.<sup>3</sup>

## **2.7. Sonido y acústica**

El sonido El sonido puede ser descrito de manera física y por sus propiedades, pero generalmente se entiende como una "vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire) y que es capaz de producir una sensación auditiva." (Isbert, 1998)

## **2.8. Propagación del sonido**

Para efectos prácticos, la vibración generada por la onda sonora se puede entender como una suerte de "causa y efecto", donde la onda sonora correspondería a la causa y lo percibido, el efecto.

Para propagar el sonido existen dos medios: 1) Vía aérea (gases), esta genera vibraciones a partir de una fuente sonora de materia generalmente sólidas, y la vibración generada por el contacto entre la materia y el aire genera sonido; 2) Por contacto: se generan vibraciones a partir del contacto entre dos elementos sólidos, por ejemplo, por el choque de dos objetos contundentes.

Además de estos dos medios, el sonido se propaga de manera diferente en espacios abiertos y en espacios cerrados, ya que en espacios abiertos las ondas viajan a través del aire sin tener resistencia u objetos que las repitan hacia la fuente; en cambio en espacios cerrados, las ondas estarán expuestas a diferentes superficies, como mobiliarios o texturas

---

<sup>3</sup> J. R. Sotomayor, G. Suárez, J. B. Olgún, (2015), Efecto del Tratamiento higr-térmico en las características acústicas de la madera.

de diferentes materialidades que irán reflejando las ondas repetidamente.

## 2.9. Tipos de comportamientos del sonido

### Absorción del sonido:

Se relaciona a contrarrestar y a absorber las ondas sonoras de un espacio, disipando la propagación del sonido. Para esto se requieren de materiales y elementos de carácter absorbente, generalmente porosos que faciliten la absorción adecuada del sonido.

### Reflexión del sonido:

La reflexión del sonido se da cuando las ondas sonoras son reflejadas con el propósito de aumentar la amplitud de la acústica dentro de un espacio. Para esto se disponen elementos que den las condiciones adecuadas para la reflexión de las ondas en espacios.

### Difusión del sonido:

Se utilizan elementos difusores para poder propagar las ondas sonoras de manera uniforme en diferentes direcciones en un espacio determinado. Esto implica que las ondas sonoras o energía dentro de un espacio, llegara de la misma manera al oído del sujeto en todas las direcciones.

## 2.10. Difusores Acústicos

Los difusores acústicos son materiales que ayudan a homogenizar la acústica dentro de un recinto redistribuyendo las ondas sonoras las cuales proporcionan mejoras en la calidad acústica del lugar. En los espacios cerrados además de elementos diseñados especialmente para la difusión acústica, se encuentran objetos tales como los mobiliarios y elementos ornamentales, estos también contribuyen en la difusión del sonido dentro del espacio.

Existen dos diferentes tipos de categorías de difusores, el primero de estos corresponde a difusores policilíndricos que consisten en superficies lisas de forma convexa posicionadas de manera secuencial, que generalmente son en base a madera. Por otro lado, se encuentran los difusores de Schroeder o difusores del tipo RPG (*Reflection Phase Grating*), que corresponden a superficies irregulares diseñadas en torno a un margen de frecuencia determinado, que son construidos al igual que los difusores policilíndricos, en base a madera sólida.

## Tipos de difusores de Schroeder

**Difusores MLS:** Se basan en una secuencia aleatoria periódica en forma de líneas. Se conforma por una base de superficie lisa reflectante y una parte de ranuras de igual ancho con diferentes separaciones y profundidad.

**Difusores QRD unidimensional:** Son los más eficientes en espacios públicos. Se conforma de una serie de ranuras paralelas y en dimensiones rectangulares que por lo general son de igual anchura que se hunden diferente a lo largo del tablero. La profundidad estará dada por una fórmula geométrica.

**Difusores PRD:** Estos difusores son a partir de madera y son similares a los QRD, con la diferencia que usan otra secuencia para encontrar las profundidades de cada una de las cavidades. Es común para ser utilizada para cancelar ecos.

**Difusores Bidimensionales:** Son los difusores más usados y eficientes, se compone de planos que están ubicados en una rejilla con una trama ortogonal la que va tapando o dejando abierto para alcanzar las profundidades necesarias para completar el difusor

## 2.11. Capacidad acústica de la madera ante la difusión acústica

Ante lo anteriormente explicado, los difusores acústicos de Schroeder representan una oportunidad ante la utilización de los retazos de tableros de madera para la producción de elementos de difusión acústica, puesto que en las tres categorías (MLS, PRD y QRD) se observa la constante de que estos se fabrican en base a madera y utilizan elementos geométricos de características ortogonales.

Es por esto que, con las dimensiones de los retazos rectangulares, se ven como una oportunidad en esta materia. Teniendo esto último en consideración, y analizando los diferentes tipos de tablero es que se decide optar por el uso de MDP para esta investigación ya que es de los tableros más utilizados.

### 3. Métodos

En esta investigación se abordó a partir de generalidades dentro las industrias relacionadas a la producción de la madera y los procesos en donde se descartan pedazos de este producto. Posteriormente, frente a dicha realidad, se elaboró un estudio mediante herramientas computacionales para descubrir si los retazos de tableros de madera eran eficientes en sistemas de difusión acústica.

Se tomó la decisión de ejecutar la investigación en base a un carácter cuantitativo, pero también de carácter exploratorio. Para realizarla, se recopiló la información en las siguientes etapas:

#### 1. DETECCIÓN DEL ORIGEN DEL PROBLEMA

En este punto, la investigación se enfocará en detectar el origen específico que genere más desechos dentro de la vida de un tablero de madera. Pasando por la revisión detallada de la cadena de valor en la que esta inserta la madera.

Además, en este punto se propone el tipo de tablero que se usara como objeto de investigación, en base a cuáles son los tableros más comercializados y/o usados en la industria de la arquitectura y construcción, pero no será hasta la siguiente sección del plan de investigación que se corroborara estas deducciones gracias a entrevistas realizadas con diferentes empresas que trabajen en el rubro de los tableros de madera.

#### 2. CATÁLOGO DE RETAZOS

Posteriormente, se realizó un catálogo con las tablas de corte de muebles estándar que son comercializados por madereras y oficinas que trabajan con el diseño de mobiliario, donde se buscó establecer patrones a partir del descarte de las diferentes secciones resultantes, y utilizando finalmente las opciones más óptimas y que más encajaban con el perfil de "retazo" que se estaba buscando para esta investigación (específicamente secciones rectangulares proporcionales).

Una vez obtenida esta información se da paso a la siguiente etapa, en donde se ingresan los datos a los programas.

#### 3. USO DE HERRAMIENTAS DIGITALES

Luego de haber encontrado las secciones necesarias, se buscó mediante herramientas digitales, específicamente Rhinoceros 6, Grasshopper y el plugin PachyDerm, generar:

- La definición en Grasshopper que permite generar el tablero difusor, sin alteraciones importantes en las geometrías del retazo, y que además dispuso de manera optimizada las piezas en cuanto a las alturas según un rango dado.
- Las pruebas y simulaciones acústicas para simular las condiciones acústicas a las que se verían enfrentados los tableros.
- Imágenes de apoyo, formato Gif, para observar de manera visual el comportamiento de las partículas del sonido.

#### 4. PARÁMETROS POR EVALUAR

Para esta parte del plan de investigación se tomó como referencia investigaciones como la de M. Carmen Crespo, de la Universidad de Sevilla (2020-2021), quien realizó un estudio en torno al uso de materiales reciclados frente a la acústica mediante herramientas paramétricas (las mismas utilizadas en esta investigación), y también la investigación de Guillermo Jiménez, de la Universidad Politécnica de Madrid (2013), en donde estudia las cualidades acústicas de sistemas absorbentes y difusores y la creación de un sistema mixto.

Los tableros experimentales en base a retazos de madera pasaron por un proceso de filtrado y selección, eligiendo los mejores evaluados en cuanto a la difusión acústica para luego ser comparados con un tablero PDR (en base a la fórmula de Schroeder) para medir que tan eficientes son en cuanto al tiempo de reverberación acústica y si significaron un aporte en esta materia.

### 3.1. CONCEPTOS PREVIOS

#### Arquitectura y diseño acústico

Un buen concierto, una exposición o simplemente una sala de clases requiere de espacios que estén ajustados a las características de dichas actividades, para que se puedan desenvolver de manera adecuada y cumplan con el propósito. La arquitectura y configuración de los espacios funciona como herramienta para acondicionar el confort acústico requerido según el programa. Sin embargo, muchas veces existen espacios que no son usados con dichos programas para los que fueron diseñados originalmente y es ahí cuando surge la necesidad de elaborar e integrar diferentes elementos especializados, con el fin de alcanzar el confort acústico que se quiere. Dentro de estos elementos podemos encontrar de diferentes categorías, siendo estas: absorbentes, aislantes y difusoras.

#### Reverberación acústica

La reverberación corresponde a *“la persistencia del sonido en un recinto después de que cesa la irradiación de energía acústica de la fuente”* (Beranek, 1961)

Para medir la reverberación de un espacio o elementos, se utiliza el tiempo de reverberación, parámetro que evalúa la calidad acústica mediante la medición del tiempo que transcurre luego de que la fuente dejó de emitir sonido hasta que se detiene. Este tiempo estará condicionado por las características de cada elemento, materialidad u obstáculo. Para el caso de los elementos más absorbentes el tiempo de reverberación será pequeño en comparación a elementos reflectantes o difusores los cuales potenciaran este parámetro.

Para poder testear elementos absorbentes, aislantes o difusores se requiere de una cámara reverberante, la cual permite medir las cualidades acústicas en relación con tiempo de reverberación (TR). Por lo que, para efectos de esta investigación, se decidió utilizar herramientas digitales que trabajaran con estas variantes (cámara de reverberación y tiempo de reverberación) para realizar el experimento con condiciones similares a las de un contexto real. Bajo esto, se llega al programa Rhinoceros el cual mediante plugins permite analizar y realizar diferentes simulaciones acústicas, debido a que trabaja con la cámara de reverberación y con el tiempo de reverberación en base a estándares internacionales descritos en la norma ISO 3382.

#### Diseño paramétrico: Rhinoceros 6, Grasshopper y PachyDerm

Rhinoceros 6 es un programa de modelación 3d comúnmente utilizado entre los arquitectos y diseñadores debido a que permite generar geometrías más complejas de las que usualmente se pueden generar. En este programa se pueden encontrar diferentes herramientas y extensiones y/o complementos que permiten realizar diseños complejos o de características paramétricas, dentro de los cuales destaca la herramienta de Grasshopper.

Grasshopper corresponde a un complemento que en las nuevas versiones de Rhinoceros ya viene integrado, el cual consiste en un editor de algoritmos que puede ser usado de manera tradicional con comandos programados, pero también otorga la opción de “programación visual”, la cual a grandes rasgos consiste en un sistema de nodos los cuales son conectados desde una entrada y una salida, lo cual genera un algoritmo o definición que puede ser visualizada en tiempo real en el programa Rhinoceros.

Un algoritmo o definición corresponde a una secuencia de órdenes para generar un producto final, donde cada orden debe ser definida y establecida por parámetros claros, además de una serie de condiciones previas (que deben ser cumplidas) en cada paso para que el resultado final sea visible. Cuando estas condiciones o instrucciones no son claras, el programa va dando advertencias o errores y no muestra cambios en lo que se está diseñando.<sup>4</sup>

Dentro de las grandes ventajas de este Grasshopper, es que funciona en base a un código abierto y en torno a una red de usuarios los cuales pueden tomar definiciones e ir mejorándolas, o ir desarrollando nuevos plugins para el mismo complemento, además de poder encontrar herramientas de simulación dinámicas, análisis estructurales y medioambientales.

---

<sup>4</sup> A. Tedeschi, AAD Algorithms Aided Design.

## Grasshopper

Para entender la interfaz de Grasshopper hay que entender que funciona solo si está conectado a Rhinoceros, debido a que este es el visualizador que usa para traducir los algoritmos visuales (Nodos). Para acceder a ella, hay que escribir "Grasshopper" dentro de la barra de comandos de Rhinoceros.

En *Grasshopper* se pueden encontrar las siguientes funciones:

- 1) Barra de menú: Funciona como una barra normal de un ordenador, en donde se pueden encontrar las acciones básicas y permitiendo abrir o guardar diferentes archivos (pudiendo trabajar en un algoritmo o en simultáneo).
- 2) Ventana de Plugin, en este espacio podemos encontrar los nodos ya de manera visual, se deben arrastrar a la mesa de trabajo o escribirlos como un comando.
- 3) Corresponde a la barra de operaciones del lienzo.
- 4) Este espacio es el lienzo, en donde se pueden poner nodos y conectarlos entre sí para crear los algoritmos.

## PachyDerm Acustical Simulation

Como anteriormente se mencionó dentro de Rhinoceros y *Grasshopper* se pueden encontrar diferentes plugins los cuales pueden venir por defecto o ser descargados desde la página de acceso libre *food4rhino*, siendo uno de estos *PachyDerm*.

*PachyDerm* es un plugin de simulación acústica que es capaz de medir y predecir el ruido, visualizar la propagación del sonido mediante volúmenes delimitados y calcular la reverberación del sonido dentro de ese espacio, además de dar la opción de poder personalizar las materialidades de los objetos o modelo.

Para usar esta herramienta se necesita usar las dos interfaces que anteriormente se explicaron, la de *Grasshopper* y *Rhinoceros*. En Rhinoceros se visualizará la simulación de propagación del sonido y dentro de *Grasshopper* se podrán obtener los resultados de forma numérica. Una desventaja de este plugin es que su interfaz al momento de

generar los cálculos se vuelve lenta por lo que se recomienda hacer modelos simples para pruebas como la que se realizó dentro de esta investigación.

En el caso de esta investigación se usará esta herramienta para recrear la visualización de la propagación del sonido y el tiempo de reverberación.

## Herramientas de PachyDerm en Rhinoceros

Dentro de Rhinoceros se genera el modelado del espacio a probar, este modelo debe tener configurado las unidades en metros para que el cálculo y experimento funcione (esto se debe a que el plugin *PachyDerm* lo requiere) y también se pueden dar ciertos ajustes en cuanto a las materialidades que estarían presentes dentro del modelo para hacer la simulación precisa.

Para abrir *PachyDerm*, se debe escribir en la barra de comandos "*PachyDerm*" y se abrirá directamente el plugin y mostrará la ventana de la figura \_\_\_\_

## PachyDerm Acustics Impulse

Con esta ventana es posible definir las características del medio y el modo de atenuación que se necesita para la simulación.

## PachyDerm Acustics Material Designer

En esta ventana se pueden asignar las materialidades en los diferentes elementos dentro del modelo, otorgándole su coeficiente de absorción y las frecuencias de cada octava.

## Glosario de herramientas de PachyDerm a utilizar dentro de Grasshopper



Fig. 6: Ventanas de trabajo de Grasshopper. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de *Grasshopper* podemos encontrar parte de las herramientas del plugin *PachyDerm*, las cuales están separadas por diferentes categorías: análisis, audio, modelo, calculo, visualización y utilidad. Pero en esta investigación se explicarán las que se usaron para realizar la investigación:

**Polygon Scene:** con esta herramienta se puede cargar una geometría realizada en Rhinoceros, pudiendo ser una sala de clases, una pared, un auditorio, etc.

**Geodesic Source:** con esta herramienta se puede posicionar un punto emisor del sonido.

**Visualize Pachyderm Rays:** esta herramienta sirve para representar de manera visual ondas sonoras dentro del espacio.

**Stationary receiver:** esta herramienta proporciona el dato del sonido recogido desde la perspectiva del receptor.

**Direct Sound:** esta herramienta da el cálculo del sonido directo, y es un condicionante de la simulación, debido a que sin este la simulación no funcionara. Los datos que arroja corresponden a una lista de datos con sonido directo.

**Image Source:** esta herramienta genera los datos con la ley de Snell, de este se arrojan los datos del sonido que son captados desde la perspectiva del receptor, además de otorgar una lista de curvas de reflexión que recorrerán las ondas sonoras según la ley de Snell.

**Ray Traicing:** con esta herramienta se pueden calcular los rayos desde el emisor hasta el receptor contando la pérdida absorbida del sonido, además de dar el dominio de las octavas a calcular según el programa.

**Energy Time Curve:** con esta herramienta se puede saber la curva de energía-tiempo por la que atraviesan las ondas sonoras dando datos del sonido directo, del receptor, sobre el trazado de rayos y el dominio de octavas.

**Reverberation Time:** esta herramienta se usa para calcular el tiempo de reverberación en base a la curva de energía-tiempo. Entregando los datos de la curva de energía y el rango de descenso de la densidad de la onda sonora, contado desde que fue emitida hasta que dejó de reflejarse en el espacio, es decir, quedando en T0 (valor predefinido en base a la normal ISO3382-2. Dando como resultado final los datos de la reverberación del sonido ordenados por el dominio de las octavas.

## 3.2. SIMULACIÓN Y CÁLCULO

Se hizo un catastro de retazos teniendo como herramienta el uso de las entrevistas a diferentes empresas que trabajan en el rubro de la madera y mueblería, teniendo en consideración grandes empresas nacionales y exportadoras a nivel internacional, hasta oficinas especializadas en mobiliario y en encargos particulares, siendo parte de estas empresas como Masisa, Arauco, (agregar datos de las demás empresas) etc.

Dentro de estas se pudo asistir de manera presencial a solo uno de estos recintos, y las demás encuestas se realizaron vía online debido a la pandemia que se mantuvo durante el primer semestre del año 2022 y algunas empresas no estaban recibiendo visitas de manera presencial.

En la entrevista realizada en terreno, se fue de visita al Placacetro Maipo, ubicado en la comuna de San Joaquín, en donde se entrevistó al dueño del recinto (encargado de la coordinación del lugar) y al jefe de Ventas, el cual fue señalando el recorrido por el que pasa un tablero de madera dentro de cualquier establecimiento que se dedique a dimensionarla y distribuirla. Dentro de esta visita, el jefe de ventas explico los procesos por los cuales pasa un tablero para pasar de un tablero a un mueble o producto final, los cuales están descritos a continuación.

### 1. Dimensionado en software:

Dependiendo del mueble o encargo, primero se pasa el tablero por un software llamado Lepton el cual dispone las piezas del mueble de la manera más optimizada para así aprovechar al máximo el material. Dentro de la hoja de dimensionado se pueden encontrar diferentes datos como las piezas que salen, los porcentajes de desperdicio de material, el desplazamiento por placa y los retazos restantes.

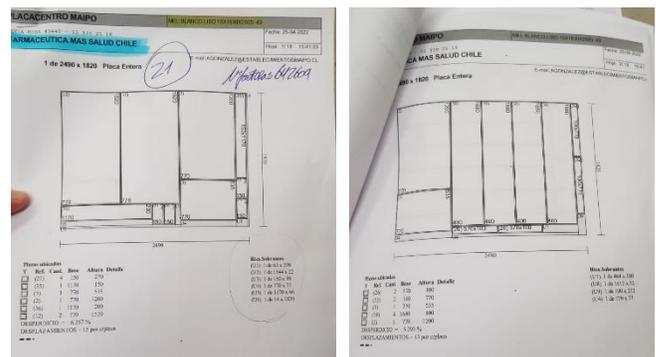


Fig. 7: Registro Fotográfico de las tablas de corte en Placacetro Maipo. Fuente: Elaboración propia.

## 2. Sectores dentro de la Planta

Dentro de los sectores dentro de la planta podemos encontrar las siguientes etapas por las que debe pasar un tablero de madera para llegar al producto final que pide el cliente, a continuación en la figura \_\_\_ se pueden ver a detalle.



**Sector de dimensionado,** aquí se cortan las piezas y se encuentran las maquinarias de dimensionado.



**Sector de acopio,** en este lugar se embalan las piezas dimensionadas y se descartan retazos.



**Sector de retiro,** en esta zona se dejan todos los pedidos ya embalados para que sean retirados a la brevedad por las empresas, mueblistas o particulares.

Fig. 8: Registro Fotográfico de las zonas por las que pasa un tablero en Placacentro Maipo. Fuente: Elaboración propia.

## 3. Restos de material

Dentro del sector de acopio, el cual se mencionó anteriormente, en este espacio es donde los restos de material se acopian. Estos se pueden producir tanto por error humano (al momento de manipular la maquinaria) como también por excedente dentro del corte. El excedente debe ser retirado por el cliente al momento de retirar su encargo/pedido de piezas, pero existen casos donde los dejan en la planta.

Dentro de estos dos tipos de excedentes, dependiendo de sus dimensiones o de sus características, se pueden categorizar entre:



Retazos que pueden usarse para hacer piezas de pallets de embalaje



Retazos que son de diferentes tamaños, que se pueden vender al valor unitario.



Retazos que quedan inutilizados y son desechados ya sea porque están dañados o debido a que son de dimensiones muy pequeñas para poder entrar a las otras dos categorías.

Fig. 9: Registro Fotográfico de las zonas por las que pasa un tablero en Placacentro Maipo. Fuente: Elaboración propia.

Luego, por motivos de coordinación las entrevistas a otros recintos se realizaron vía online las cuales se encuentran dentro de los anexos, pudiendo solo asistir a esta fábrica y luego al showroom de SISTEMA. Una vez terminadas, dentro de las respuestas dadas por las diferentes empresas relacionadas a este rubro, se demuestra lo que se planteó dentro del marco teórico, básicamente, que las empresas desperdician más material en la etapa de dimensionado de mobiliarios, por lo que, comprobado esto se comienza a trabajar en base al estudio de tablas de corte de modelos estándares de muebles de algunas de estas empresas, pasando por una etapa de descarte, en donde se

seleccionaron los retazos de dimensiones más homogéneas.

## CONDICIONES RECIENTO BAJO LA NORMATIVA

### Normativa

Ya que se trata de un caso de estudio de testeo de material, se realizó el experimento según algunos puntos de la normativa ISO 3382, en ella se especifican los métodos para medir el tiempo de reverberación del recinto, una de estas alternativas corresponde al método T30 el cual lo que hace evaluar el decrecimiento de un rango a otro menor, con el orden de 5db y 35 db, y es este el método que se usa en general dentro del programa Grasshopper. Además, dentro del recinto en donde se realiza la evaluación por normativa se requieren cierta cantidad de receptores para evaluar de manera precisa el tiempo de reverberación. Otros datos que se requieren según estos estándares internacionales para la realización de la simulación son especificar los datos del medio que corresponde a la humedad relativa con la que se ejecutó el experimento y del estado de ocupación de la sala según el punto 3.6.2 de la norma ISO 3382. Finalmente, para la presentación de datos, según esta misma normativa, se debe realizar el T30 mid representativo el cual consiste en un promedio de las bandas de octava de 500 Hz y 1000 Hz.

### Aplicación Normativa en el experimento

Dentro del experimento se tienen como datos:

Las **dimensiones del recinto** corresponden a 6 m de ancho 8 de largo y 3 de alto.

- Como **fuentes emisoras** se tiene a una mujer de 1.70 m de altura, cantando dentro del recinto mirando hacia los paneles difusores (ancho de la sala, que corresponde a una pared de 6 m).

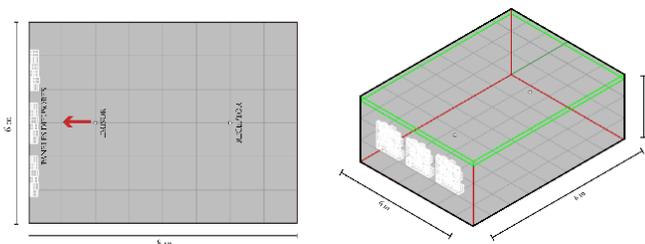


Fig. 10: Esquema sala a testear dentro del experimento. Fuente: Elaboración propia.

- El **porcentaje de absorción** dentro del **recinto**, es decir las murallas, estarán en un 80% de coeficiente de absorción (esto debido a que se busca testear la capacidad difusora de los paneles y no de la sala en si misma).
- Para definir qué punto se usaría como **receptor de los datos**, se realizó una prueba de 3 puntos dentro de la sala, con la misma fuente emisora (la que fue mencionada anteriormente), donde se compararon las bandas de octavas y se optó por el uso del punto más desfavorable dentro de la sala como punto receptor del experimento, el cual está ubicado al centro de esta.

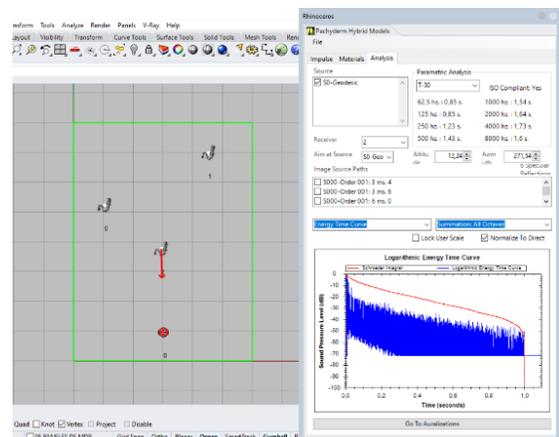


Fig. 11: Registro fotográfico pantalla ordenador, determinación del punto más desfavorable del recinto. Fuente: Elaboración propia.

- Y finalmente como **datos del medio**, se fijó a un 52% la humedad relativa, valor que correspondería a la temporada de invierno en Santiago de Chile.
- El **estado de ocupación** para efectos de esta investigación corresponde al estado desocupado según el apartado 3.6.1 de la norma ISO 3382.

Para realizar el experimento y poder comparar la eficiencia de los difusores propuestos, se tuvieron 3 tipos de situaciones: 1) la primera corresponde a la sala vacía, con el punto emisor y con el punto receptor mencionados anteriormente. 2) la segunda corresponde a la sala con difusores acústicos PDR de madera de pino en el ancho de la sala, con el punto emisor y punto receptor mencionados anteriormente, 3) la tercera corresponde a la sala



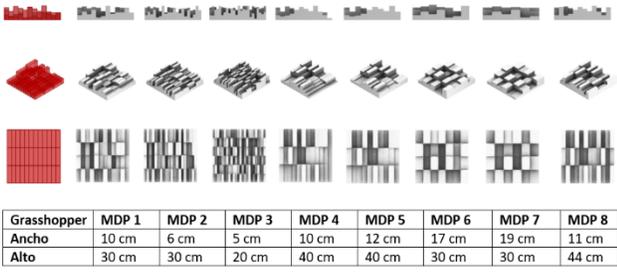


Fig. 15: Tabla de retazos, características y dimensiones. Fuente: Elaboración propia.

Luego de generarlos, se cargaron los datos de la banda de octavas al plugin PachyDerm para definir el coeficiente de absorción acústica de los tableros de MDP y así dar inicio al experimento como tal.

62.5 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,09

Fig. 16: Banda de octavas del material MDP. Fuente: Elaboración Propia. 5

### 3.4. ALGORITMOS

Para medir el experimento, se generaron dos algoritmos más dentro de Grasshopper para poder realizar el análisis. El primero de estos corresponde a la definición que nos proporcionara los datos necesarios para medir el tiempo de reverberación con el método T30 de la norma ISO 3382 mencionado en los puntos anteriores, en forma de panel, en el cual se pueden encontrar los datos específicos de la banda de frecuencias del tiempo de reverberación de cada octava.

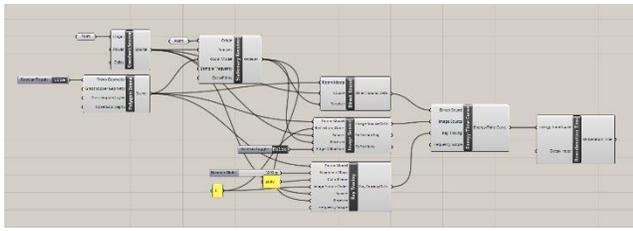


Fig. 17: Registro fotográfico pantalla ordenador, algoritmo utilizado para evaluar el tiempo de reverberación. Fuente: Elaboración Propia.

Y luego tenemos esta segunda definición o algoritmo que puede observarse en la figura n \_\_\_\_ , corresponde a una visualización del recorrido de las ondas sonoras dentro de la cámara de reverberación, la cual contempla un emisor con ciertas cualidades, y un receptor ubicado en el punto más desfavorable de la sala. Se tomo en consideración esta herramienta debido a que con esto se puede analizar de manera visual como la geometría de los retazos puede influir o no al momento de entrar en contacto con el sonido y por ende, en la acústica de un recinto mismo.

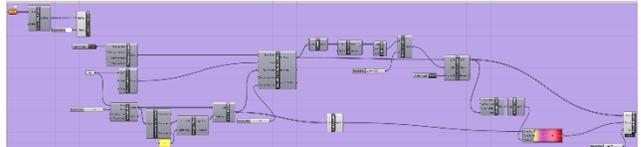


Fig. 18: Registro fotográfico pantalla ordenador, algoritmo utilizado para visualizar las ondas sonoras. Fuente: Elaboración Propia.

Una vez terminadas las definiciones se procede a testear la sala en las situaciones descritas con anterioridad, es decir, en primera instancia se hace una simulación con la sala vacía y con un emisor, luego la sala con los paneles PDR con un emisor, y por último la sala con cada opción de panel difusor en base a retazos de madera.

Debido a que las dimensiones de los tableros son reducidas en comparación a las de la sala, se opta por posicionar una franja de 3 paneles difusores frente a la fuente emisora.

<sup>5</sup> Datos extraídos del informe Propiedades de absorción acústica de paneles a base de madera.

## 4. Resultados

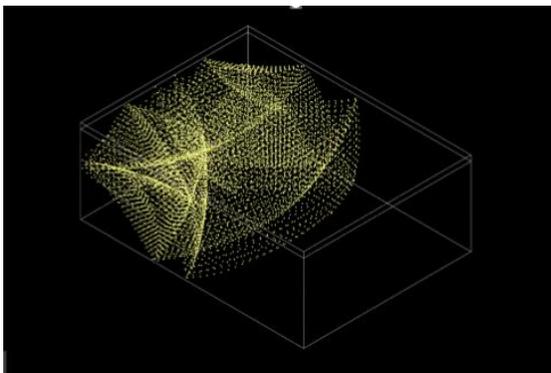
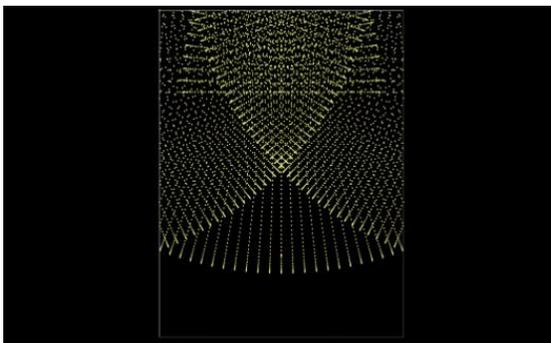
Luego de realizar las pruebas en las tres situaciones descritas, se procede a analizar los datos y a presentarlos, teniendo en consideración el punto 8.1 de la norma ISO 3382, apartado que indica el modo de presentación de los resultados.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la visualización de ondas sonoras para la primera situación:

Se observa que dentro de la sala que fue configurada con una materialidad hipotética al 80% de absorción, las ondas sonoras no se encuentran con ningún elemento dentro de su recorrido por lo que el tiempo de reverberación es mínimo y da las características de una sala "seca", esto puede verse reflejado en el tiempo de reverberación promedio, el cual corresponde a T30 mid de 0,12.

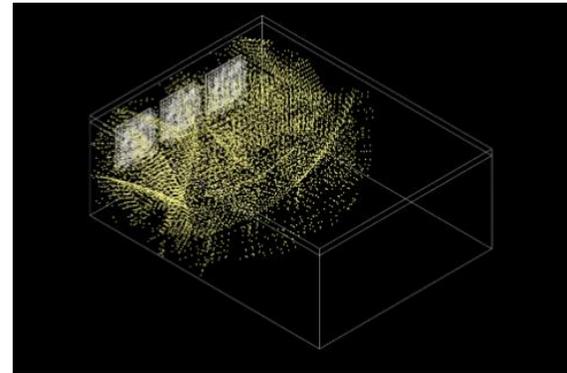
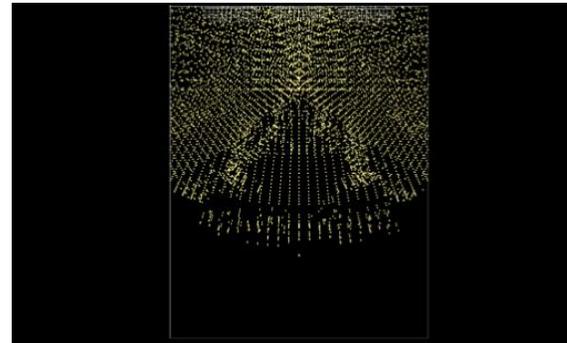
Luego de calcular el tiempo de reverberación y la visualización de las ondas sonoras de la sala en la situación 1, se procede a la simulación en la situación 2. En esta, la sala se encuentra en las mismas condiciones que en la situación uno, pero con la diferencia que se agregan los paneles difusores PDR. Una vez posicionados, presentan los resultados de la visualización sonora y los tiempos en la banda de octavas.

Se observa que el uso de estos elementos aumento considerablemente en la reverberación de la sala en un 58%. Esto se ve reflejado en que el tablero gracias a las diferencias de nivel entre una pieza y otra, generaron obstáculos para las ondas sonoras, las cuales por defecto chocan entre estos elementos y se reflejan. Esto es lo que produce que el nivel de reverberación haya aumentado considerablemente dentro del espacio. Finalmente, se hizo promedio entre las frecuencias de 500 Hz y 1000 KHz, dando como resultado T30mid de 0,19.



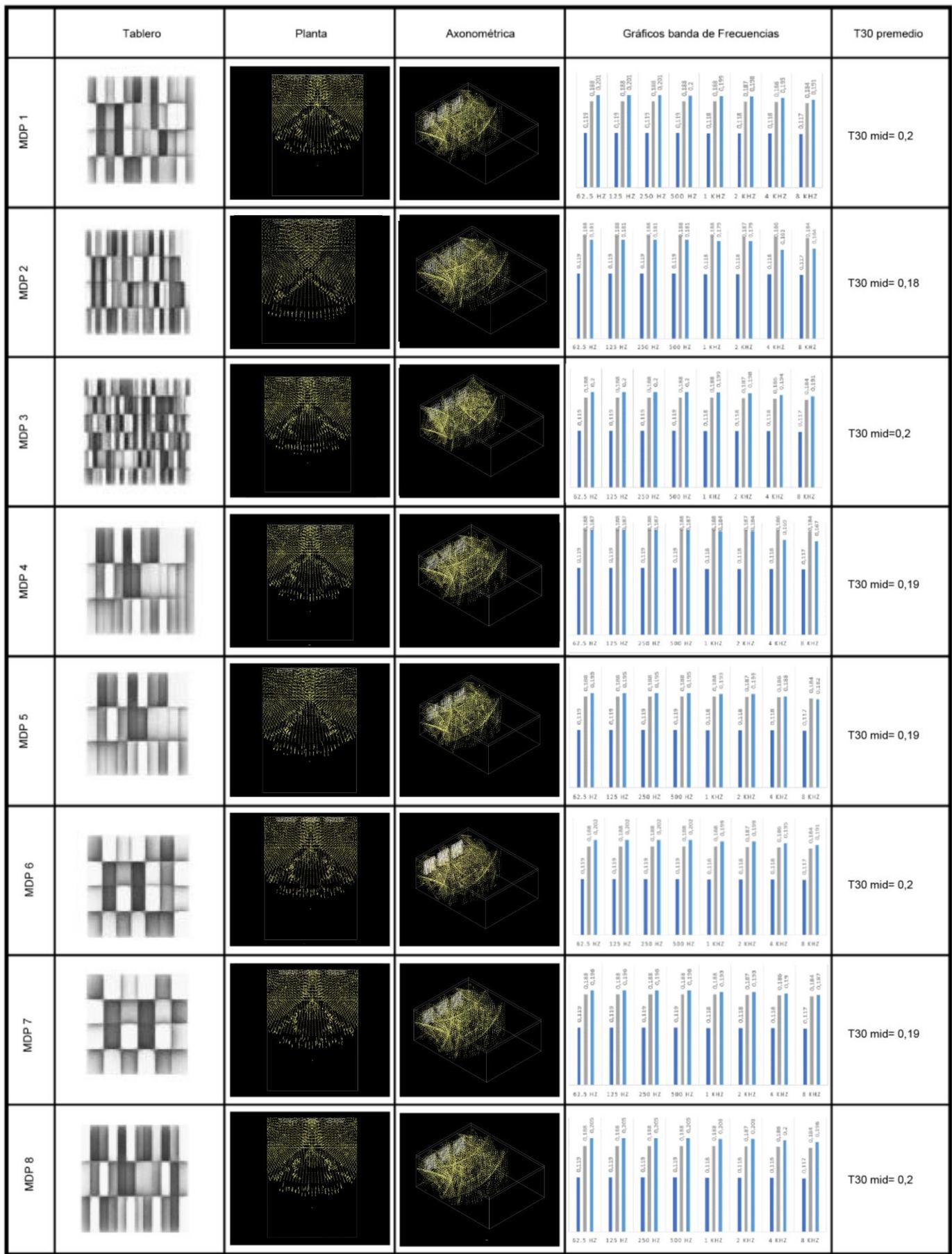
62.5 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,118	0,118	0,117

Fig. 19: Registro fotográfico pantalla ordenador, comportamiento del sonido en el recinto vacío. Fuente: Elaboración Propia.



62.5 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
0,188	0,188	0,188	0,1888	0,188	0,187	0,186	0,184

Fig. 20: Registro fotográfico pantalla ordenador, comportamiento del sonido en el recinto con un difusor PDR. Fuente: Elaboración Propia.



■ Valor promedio de T30    ■ Valor mínimo de T30    ■ Valor máximo de T30

Fig. 2 1: Tabla de datos recopilados durante las simulaciones en Grasshopper -PachyDerm . Fuente: Elaboración propia.

## 4.1. ANÁLISIS MATERIALIDAD

Se observa que los tableros propuestos de MDP en general cuentan con un alto nivel de difusión acústica, y en casi su totalidad, los T30 mid de estos igualaron o superaron al T30 mid del difusor PDR clásico.

6 de 8 de estos tableros mostraron leves mejoras en comparación a los difusores PDR en las frecuencias bajas. Esto significa principalmente que los difusores de MDP se aportarían a potenciar y mantener el sonido de personas que están llevando conversaciones, ya que las frecuencias bajas se relacionan al entendimiento del habla. Los mejores resultados se vieron en los tableros MDP 1, MDP 3, MDP 6 Y MDP 8, todos con T30 mid de 0,2. En comparación con el T30 mid del PDR, los tableros que se acaban de mencionar aumentan en un 5.3% la reverberación dentro de la sala.

## 4.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO

Se hicieron evaluaciones en torno a la geometría de los retazos, y se concluye que no hay evidencias suficientes y notorias como para afirmar que la geometría de los retazos de secciones rectangulares son superiores en comparación a las secciones cuadradas que son las que se usan para hacer difusores tradicionales PDR. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, si se evidencia que tienen comportamientos similares ante las ondas sonoras, por lo que el uso de **retazos de secciones rectangulares permite llegar al confort acústico deseado al igual que los difusores PDR.**

## 4.3. CONCLUSIONES

Para realizar esta investigación se optó por el uso de los programas *Rhinoceros-Grasshopper* y el plugin *PachyDerm*, los cuales permitieron evaluar de manera visual y el comportamiento del sonido ante difusores alternativos generados a partir de los retazos de madera, la que actualmente es el material en desuso.

Estos programas computacionales permitieron generar diferentes algoritmos los cuales representaron una herramienta útil tanto a nivel de medición como de diseño en el caso de los difusores alternativos, debido a la facilidad que entregan en cuanto al cambio de parámetros o a las diferentes combinaciones que pueden generarse en base a una misma definición.

Dentro del estudio se contemplaron diferentes factores para realizar la investigación, buscando encontrar los que tendrían influencia dentro del elemento difusor en cuestión y el tiempo de reverberación dentro de un recinto.

Para medir la calidad de los resultados se tomó en cuenta la norma ISO 3382 para el cálculo del tiempo de reverberación.

Dentro de la investigación se buscó hacer una comparativa entre difusores PDR tradicionales y difusores experimentales en base a retazos de madera, con el objetivo de ver en qué medida los difusores propuestos podrían significar un aporte o mejora para la reverberación dentro de un lugar.

En primera instancia al comparar la banda de octavas de la madera sólida y el MDP, se concluye que el MDP al igual que la madera solida se caracterizan por su baja absorción sonora, garantizando que exista poca pérdida de energía sonora ya que más que absorber, propagan de manera uniforme las ondas del sonido.

Luego de ver los resultados de las simulaciones en el apartado anterior, se evidencia un comportamiento similar entre los difusores propuestos (MDP) y uno diseñado con la fórmula de Schroeder (PDR madera solida). En ciertos tipos de retazo se iguala, y en algunos casos, se superó tanto el T30 promedio como también de manera particular en cada frecuencia. Lo que indicaría

Con esta investigación y análisis finales, se comprueba a nivel de modelos por computadora la hipótesis inicial con la que se trabajó durante el proceso de esta investigación.

Finalmente, se concluye que el uso de materiales en desuso es de vital importancia en nuestro rubro y se comprueba que pueden ser útiles y fiables en caso de ser de manera efectiva.

Dentro de las posibles líneas de investigación que podría nacer a partir de este seminario, sería ampliar este mismo ensayo llevándolo a la construcción de prototipos, evaluando tanto los retazos como las demás variables constructivas (adhesivos o ensamblajes, apoyos, etc.) para poder concretarlo, y finalmente utilizarlos en salas reales para ser evaluados con cargas de ocupación de la sala y elementos dentro de ella (como mobiliarios, cortinas, etc). También, sería interesante evaluar el plan de negocio que podría generarse si se llevara a empresas como las que fueron entrevistadas para este seminario, viendo los costos, el tiempo y la eficiencia que significaría producir uno de estos difusores.

Por último, como otra posible línea de investigación, se podrían realizar nuevas exploraciones para revestimientos acústicos con materialidades en desuso o recicladas generadas por el rubro de la arquitectura y construcción buscando reducir los desechos y siendo más consientes con el medio ambiente, esto a partir de la

metodología y herramientas puestas en práctica en este trabajo.

## Agradecimientos

Quisiera agradecer en primera instancia al Profesor Camilo Guerrero, por su disposición a ayudarme a comprender parte de las herramientas y elaboración de una definición en Grasshopper.

Agradecer también a la diseñadora María José González, por la ayuda que me brindo en cuanto a la gestión de contactos con diferentes empresas relacionadas a los tableros de madera. Y, por último, a las empresas que me recibieron en sus showrooms, oficinas y a los que a pesar de no poder coordinar un espacio físico se dieron el tiempo de responderme vía correo electrónico todas mis dudas para realizar esta investigación.

## Referencias

- (1) Jorge Luis Inche Mitma, (. R. (2010). *Diseño y desarrollo de nuevos materiales textiles para el aislamiento y acondicionamiento acustico*.
- AcustiMAX. (s.f.). *acustimax.com*. Obtenido de *acustimax.com*:  
<https://acustimax.com/product/difusor-prd-difup-60/>
- Adna Enshassi, B. K. (s.f.). Evaluacion de impactos medioambientales de los proyectos de construccion. *Revista de Ingenieria de Construccion RIC*, 234-254.
- Adnan Enshassi, B. K. (2014). *Evaluacion de los impactos medioambientales en los proyectos de la construccion*. Revista Ingenieria de Construccion.
- ARAUCO. (22 de Septiembre de 2020). *arauco.cl*. Obtenido de [https://www.arauco.cl/chile/ayuda\\_proyectos/como-darle-un-uso-a-los-retazos-de-tus-tableros/](https://www.arauco.cl/chile/ayuda_proyectos/como-darle-un-uso-a-los-retazos-de-tus-tableros/)
- Architects, A. O. (2014). *Foundations the Grasshopper Primer Third Edition*.
- Arief, A. (01 de Agosto de 2013). *technologyreview.es*. Obtenido de *technologyreview.es*:  
[technologyreview.es/s/3691/nuevas-formas-que-funcionan-mejor](https://technologyreview.es/s/3691/nuevas-formas-que-funcionan-mejor)
- Arquitectos, C. S. (2011). *Tableros esstructurales derivados de la madera*. Entidad Colaboradora AiTim.
- Arranz, G. J. (2013). *Estudio y diseño de sistemas para el acondicionamiento acustico*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Ashby, M. F. (2000). *MATERIALS SELECTION IN MECHANICAL DESIGN*. Cambridge: Butterworth Heinemann.
- Beranek, L. L. (1961). *ACUSTICA*. Buenos Aires: Hispano Americana S.A.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (12 de Septiembre de 2013). *bnc.cl*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNoRma=1054148>
- Bongiovanni, P., Cascino, M., & Sanso, M. (2011). *Analisis y diseño de difusores acusticos*. Cordoba: Universidad Tenológica Nacinal, Facultad Regional de Córdoba.
- Camara Chilena de la Construccion. (2018). *Infraestructura Critica Para el Desarrollo*. Chile: Camara Chilena de la Construccion.
- Camara Chilena de la Construccion. (Diciembre de 2019). *cch.cl*. Obtenido de [https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Fundamenta\\_45.pdf](https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Fundamenta_45.pdf)
- Cisneros, M. A. (s.f.). Optimizacion de estructuras de acero utilizando diseño parametrico y algoritmos geneticos en un entorno BIM. *Master en Ingenieria Estructural*. Escola de Camins, Escuela

- Tecnica Superior de Ingenieria de Camins, Cataluña.
- COSTA, J. C. (2012). *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE MATERIALES ABSORBENTES SONOROS POROSOS*. Cordoba.
- Davis, W. D. (1970). *Propiedades de absorcion Acustica de Paneles a base de Madera*. C.T.B.
- Dejtjar, F. (2017). *Plataforma de arquitectura*. Recuperado el Marzo de 2021, de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/878329/cuales-son-los-materiales-mas-utilizados-en-las-viviendas-sociales>
- Elen Ap.Morales(1), F. A. (2007). *Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de Tableros OSB utilizando Tecnica de ensayo no destructiva*. Sao Pablo.
- Elen Ap.Morales, F. A. (2007). Evaluacion de propiedades fisicas y mecanicas de tableros OSB utilizando tecnica de ensayo no destructiva. 89-94.
- Espumacustica. (15 de Diciembre de 1019). *Espumacustica.es*. Obtenido de <https://espumacustica.es/todo-sobre-los-difusores-acusticos-tipos-y-guia-de-compra/>
- Estudio b76. (20 de Febrero de 2020). *estudiob76.com*. Obtenido de <http://www.estudiob76.com/index.php/blog-menu/item/765-tableros-estudiob76>
- Fundacion de Santiago por Pedro de Valdivia*. (1900).
- Gallego, A. (s.f.). Acustica en construccion con madera contralaminada. *Acustica en construccion con madera contralaminada*. Universidad de Granada, Granada.
- Gehl, J. (2010). *Ciudades para la gente*. Bogvaerket: Edicion Infinito, Buenos Aires, Argentina .
- Instituto Forestal, M. A. (2019). *La industria de tableros y chapas 2019*.
- INTERNATIONAL STANDARD. (1997). *ISO 3382, Masurement o the reverberation time of rooms with reference to oder acustical parameters*.
- Isbert, A. C. (1998). *Diseño Acustico de espacios arquitectonicos*. Cataluña.
- J. R. Sotomayor, G. S. (2015). *Efecto del tratamiento higro-térmico en las características acusticas de la madera de Quercus scytophylla Liebm*. Michoacán, Mexico: Facultad de Ingenieria en Tecnologia de la madera. Universidad Michocana de San Nicolas de Hidalgo.
- Jewett, J., & Serway, R. (2008). *Fisica para ciencias e ingenieria*. Aprendizaje CENGAGE.
- Jimenez, G. (2013). *ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMA PARA EL ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO* . Madrid: Universidad de Madrid.
- M, G., & Silva, S. (2011). Comportamiento de tableros a base de madera durante ensayos de atenuacion ultrasonica. *Revista de la Construccion*, 41-51.
- Maderera Andina. (15 de Enero de 2021). *maderera-andina.com*. Obtenido de <https://maderera-andina.com/las-diferencias-entre-maderas-mdf-mdp-contrachapados-y-osb/>
- Michael Möser, J. L. (2009). *link.springer.com*. Springer.
- Ministerio de Agricultura. (2019). *La Industria de los Tableros*. Ministerio de Agricultura.
- Ministerio de Ciencia, Tecnologia, Conocimiento e Innovacion. (2019). *Evidencia cientifica y cambio climatico en Chile: Resumen para tomadores de decisiones*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). *Estandares de Construccion Sustentable para Viviendas de Chile*. MINVU.

- OGUC. (2018). *OGUC*.
- Perez, M. C. (2020/2021). *Impacto de materiales reciclados como absorbentes acusticos en auditorios. Analisis mediante herrramientas parametricas*. Universidad Tecnica Superior de Arquitectura de Sevilla, Sevilla.
- Pérez, M. C. (202-2021). *Impacto de materiales reciclados como absrobentes acusticos en auditorios*. Sevilla: Escuela Tecnica superior de Arquitectura de Sevilla.
- Rojas M., P. A. (2019). *Evidencia científica y cambio climático en Chile: Resumen para tomadores de decisiones*. Santiago: Ministerio de Ciencia, Tecnologia, Conocimiento e Innovacion.
- Salas, R. D. (2007). *MODELO DE DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO PARA EL PROCESO DE ELABORACION DE PANELES EN PLANTA NUEVA ALDEA*. Concepcion .
- Secretaria de Politica Economica y Planificacion del Desarrollo. (2016). *Informes de Cadena de Valor: Forestal, papel y muebles*. Ministerio de Hacienda y Finanzas Publicas, Presidencia de la Nacion.
- Sotomayor, J. R. (s.f.). Caracteristicas acusticas de la madera de 152 especies mexicanas. *Velocidad, ultrasonido, modulo de elasticidad, indice material y factor de calidad*. Facultad de Ingenieria en Tecnologia de la madera, Morelia, Michoacan.
- Souza, E. (15 de Octubre de 2019). *plataformadearquitectura.cl*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/926463/tableros-de-madera-diferencias-entre-mdf-mdp-contrachapado-y-osb>
- Tedeschi, A. (2014). *Parametric Strategies using Grasshopper*. AAD - Algorithms Aided Design.
- Urbano, C. N., & Desarrollo, P. d. (2018). *Sistema de Indicadores y Estándares de Calidad de Vida y Desarrollo Urbano*. Consejo Nacional de Desarrollo Urbano.
- USDA. (2010). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Madison, Winsconsin, Estados Unidos.
- Winkler, M. C. (2021). *Industria Forestal Chile*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

## Anexos

Anexo 1: Encuestas a personas relacionadas al rubro de los tableros de madera.

Anexo 2: Tablas de Corte/Dimensionado.

Anexo 3: Tabla de resultados con simulaciones visuales (GIF).

Todos los anexos están disponibles en la carpeta web:

<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1gZLjmEWiCFnPRUvEOryF-pxjL9XcnRXL>