
El cartón corrugado como difusor acústico

Trabajo de grado
Licenciatura en Diseño Industrial
Irene Costa I Analía Pereira

Escuela Universitaria Centro de Diseño
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de la República
Año 2022

El cartón corrugado como difusor acústico

Trabajo de grado de Licenciado en Diseño Industrial opción producto

Tesistas:

Irene Costa y Analía Pereira

Tutora:

Lic. Alejandra Martínez

Asesor:

Téc. Nicolás Panzl

Escuela Universitaria Centro de Diseño

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo

Universidad de la República

Montevideo, Uruguay - 2022

Resumen

Este trabajo propone explorar el cartón corrugado como material para el desarrollo de productos que contribuyan a minimizar la contaminación sonora, teniendo en cuenta sus características físicas, su accesibilidad y su posibilidad de reuso.

Con base en los difusores acústicos QRD, ya utilizados y probados en todo el mundo, principalmente realizados en madera y sus derivados, se pensó en la viabilidad del cartón corrugado que cuenta con una cara lisa (reflejante) y otra corrugada (absorbente).

Estos difusores unidimensionales tienen ranuras paralelas de forma rectangular e igual anchura, varían su profundidad según un margen de frecuencias de difusión, perfectamente realizables con planchas de cartón.

Este trabajo está en sintonía con la corriente de economía circular, que busca mejorar el uso de recursos, fomentar el reciclaje y la reducción de residuos, y al mismo tiempo propone contribuir a mejorar el acondicionamiento de sonido y ambiente con el desarrollo de un producto sostenible.

Índice

1

1· Presentación y justificación del problema	6
Introducción	7
Objetivos	8
Alcance de la propuesta	4
Metodología	5
<i>Metodología proyectual</i>	11
Planteamiento del problema	12
Fundamentación del proyecto	13
Análisis de las condiciones	14

2

2· Marco teórico	15
Introducción	16
Economía circular	17
Rol del Diseño	19

3

3· Análisis técnico	21
Introducción	22
Sonido	23
Acústica	25
<i>Acústica en un recinto</i>	25
<i>Tiempo de reverberación</i>	26
<i>Inteligibilidad de la palabra</i>	26
<i>Acústica en un recinto</i>	26
<i>Confort y calidad acústica</i>	27
Difusores acústicos	28
<i>Tipos de difusores</i>	29
Cartón Corrugado	37

4

4· Desarrollo y pruebas de estudio	40
Desarrollo del difusor	41
Diseño y construcción del modelo	43
Ensayos en sala	50
Resultado de las pruebas	54
Conclusiones	56
Trabajos futuros	57

5

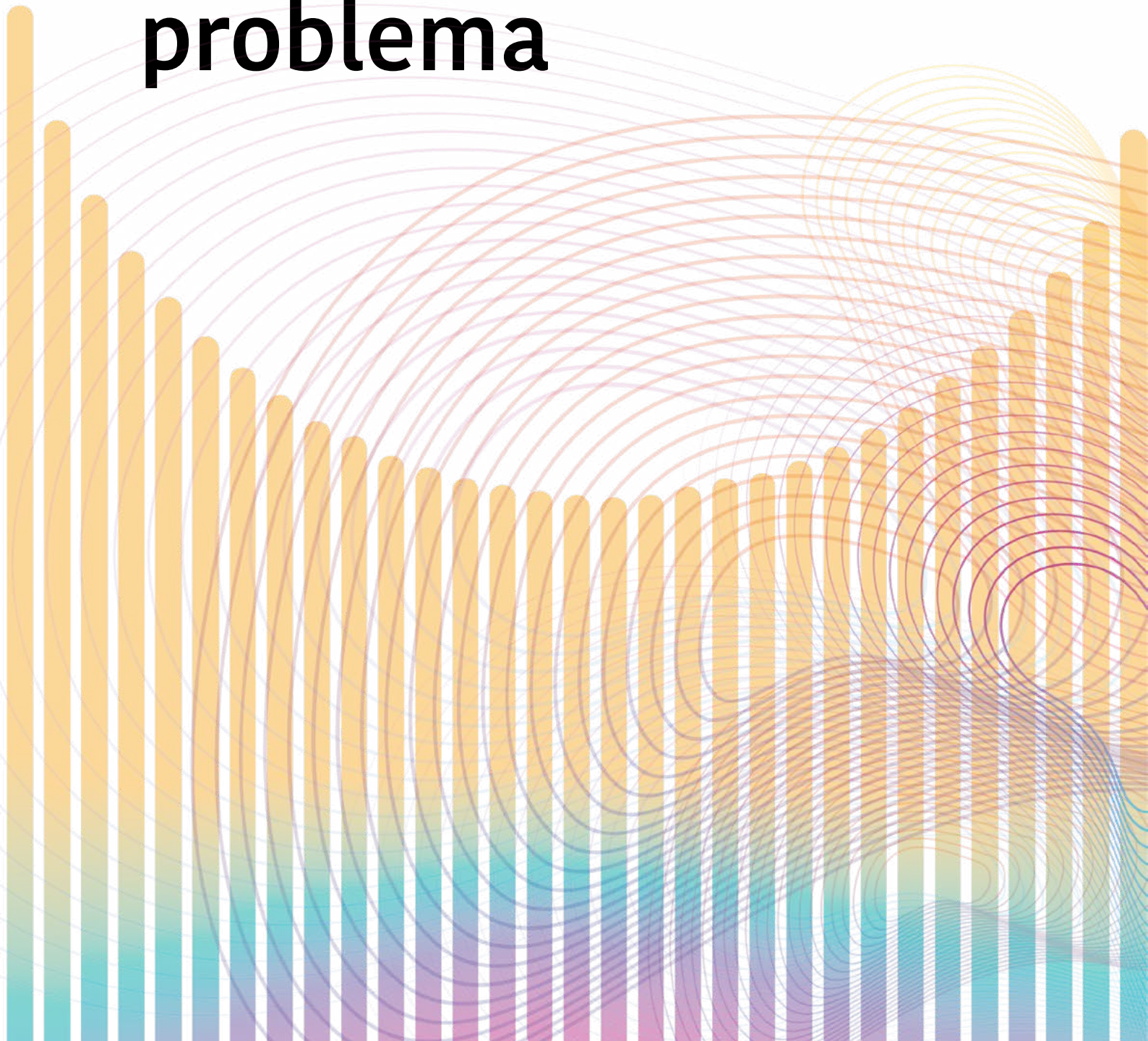
5· Bibliografía	59
Lista de figuras	61

6

6· Anexos	63
Gantt inicial	64
Láminas técnicas	65
Moodboard	74
Estado del arte - Difusores acústicos	75
Cuestionarios y contactos	76

1

Presentación y justificación del problema



1.1

Introducción

El cartón corrugado es un material accesible de producción nacional, que se utiliza prácticamente para embalaje y su vida útil es muy corta, se desechan muchas cantidades en muy buen estado. Más allá de ser reciclable, entendimos que podía ser reutilizado y destinado a otros productos.

Vivimos un momento histórico crítico. Las actividades humanas están poniendo en peligro la vida como la conocemos. Uruguay no es ajeno a esta realidad. El deterioro ambiental afecta a toda la población y en forma más pronunciada a los más vulnerables.

Esta situación cuestiona profundamente los patrones y actividades de extracción, producción, distribución y consumo de bienes y servicios en nuestra sociedad. Para lograr un desarrollo verdaderamente sostenible y justo hacen falta cambios en las actividades sociales y económicas, que involucran desde aspectos tecnológicos y de conocimiento hasta cambios estructurales más profundos (MVOTMA y Sistema Nacional Ambiental, 2019, p. 25).

Como futuras profesionales entendemos que el campo de la investigación y la acción debe tener una mirada cuestionadora, cons-

ciente y crítica hacia los patrones de producción y consumo actual.

Desde nuestra trayectoria como estudiantes, a lo largo de la carrera, luego de probar el cartón en diferentes aplicaciones en variados proyectos y en consulta con expertos en la materia, surge la inquietud por generar algo diferente, proyectando utilizar el cartón corrugado como difusor acústico. Probar el material de manera de generar distintas situaciones con parámetros ya existentes y ver cómo se comporta.

Esto nos motivó a presentar este trabajo de grado, cuya finalidad es poder probar el cartón de manera física con ciertos parámetros predeterminados. Aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera, sumándole el conocimiento de un profesional en sonido en el marco de un proceso de iniciación de investigación.

Algunas de las preguntas que guían este trabajo son:

¿El diseño como disciplina, podría contribuir a mejorar el acondicionamiento de sonido y ambiente, optimizando recursos, y mejorando la imagen y funcionamiento? ¿Es posible desarrollar una nueva solución que mejore la calidad de vida de las personas en algún aspecto? ¿Se podría pensar en reutilizar desechos de cartón para la generación de un difusor?

1.2

Objetivos

Objetivo general

Indagar la viabilidad del cartón corrugado como material para el desarrollo de productos que contribuyan a minimizar la contaminación sonora y ambiental, teniendo en cuenta sus características físicas, su accesibilidad y su posibilidad de reuso.

Objetivos específico

- Elaborar un difusor QRD de cartón reciclado.
- Determinar si el difusor creado en cartón, funciona como tal, y aporta al bienestar auditivo en la vida de las personas.
- Proponer un material alternativo para la creación de difusores, que contribuya a la sostenibilidad ambiental.

1.3

Alcance de la propuesta

El proyecto plantea explorar la viabilidad del cartón corrugado como material para la generación de un difusor acústico.

Para esto, se propone explorar las propiedades del cartón corrugado en un estudio de sonido.

Para esta exploración se trabajan con maquetas de control, en cartón corrugado, un

difusor QRD N7 de 60cm x 60cm, y se toman diferentes muestras de sonido.

Este trabajo busca ser un estímulo a la aplicación del cartón corrugado en otras aplicaciones y en caso de funcionar queda abierta la posibilidad de generar un producto comercializable.

1.4

Metodología

Para lograr los objetivos planteados se utiliza una metodología mixta; una aproximación cualitativa a través de entrevistas a actores relevantes, una exploración tecnológica sobre las características físicas y formales del material, y una aproximación cuantitativa a través del testeo de las propuestas y sus resultados en cuanto a las posibilidades de acondicionamiento acústicos.

Para el desarrollo proyectual, se aplica la metodología de Bruno Munari. Esta fue seleccionada porque cuenta con determinados pasos a partir de la determinación de un problema, pero permite modificarse en

función de mejorar el proceso de diseño. En este sentido, el autor afirma: “El método proyectual para el diseñador no es algo absoluto y definitivo; es algo modificable si se encuentran otros valores objetivos que mejoren el proceso” (Munari, 1983, p. 19).

Este método nos permitió desarrollar un proceso de diseño dinámico y flexible. Ordenando las ideas y pasos a realizar, además de estimular a buscar una solución desde la experiencia y la creatividad ante cualquier tipo de problema, para lograr un mejor resultado.

1.4.1

Metodología proyectual

Se plantea un cuadro organizativo cruzando la información a modo de visualizar y dar orden al proyecto.



Figura 1. Diagrama del proceso de trabajo adaptado al método Munari (Munari, 1983, p. 63)

1.5

Planteamiento del problema

El cartón corrugado es una materia prima reciclable que ha sido sometida a diversas pruebas de resistencia, ya que la inmensa mayoría de los productos embalados y transportados en el mundo utilizan cartón.

¿Qué otras posibilidades ofrece el cartón? Además de su resistencia, ¿se podrían estudiar otras propiedades?

Este sistema de mercado actual genera una gran producción de cartón corrugado y al mismo tiempo un residuo diario. ¿Qué sucede con estos residuos?

Consideramos este un problema actual en el que el diseño puede aportar valor en la generación de un nuevo producto, así como alargar su ciclo de vida.

Proponemos mediante la reutilización del cartón generar un difusor acústico y estudiar su viabilidad como tal.

Muchas veces, somos poco conscientes de cuanto afecta la acústica de un recinto en una conversación, de cómo los sonidos que llegan a nuestro sistema auditivo tienen un factor estresante, cuando en distintas circunstancias tendemos a subir el volumen o hablar más alto para que se entiendan nuestras palabras. ¿Cuánto de lo que percibimos

se ve afectado o favorecido por la acústica del espacio?

Los difusores acústicos permiten eliminar ruidos indeseados en un ambiente, sin disminuir el tiempo de reverberación, permitiendo que la onda acústica se disperse en el espacio y tiempo, generando un sonido envolvente.

Los difusores son utilizados comúnmente en salones de eventos, estudios de grabación, teatros, oficinas, fábricas, entre otros. En Uruguay suelen ser caros, con materiales importados o realizados de forma artesanal.

Por otro lado, el cartón corrugado es un material reciclable y biodegradable, producido en Uruguay mayoritariamente para embalaje. Por lo cual, se pretende innovar en su aplicación. ¿Sería posible que el cartón corrugado actúe como difusor acústico?

Cuenta con una cara lisa y otra corrugada. ¿Podría actuar como reflejante su cara lisa y como absorbente la cara corrugada, impactando en el sonido ambiente?

En este trabajo se pretende estudiar si los difusores acústicos (policilíndricos, PRD y QRD, ya utilizados y probados en todo el mundo) son factibles de realizarse en cartón.

1.6

Fundamentación del proyecto

La importancia de reutilizar el cartón que fue creado con otro fin y generar algo significativo a partir de un desecho, puede contribuir al cuidado del medio ambiente y a la promoción de la economía circular.

Por otro lado, el problema de la acústica, nos afecta todo el tiempo, y nos condiciona sin darnos cuenta. Indagar sobre la introducción del cartón corrugado como un material más accesible y posiblemente más económico en esta problemática, podría dar solución al cartón como desecho.

Mediante la recopilación de datos que obtuvimos de distintos informes, así como de los cuestionarios realizados a especialistas en el tema de sonido y de papeleras, obtuvimos información necesaria para evaluar el estado de situación en nuestro país. (Ver en anexos Cuestionarios y contactos p. 74).

En Uruguay los difusores que existen en su mayoría son importados o realizados de forma casera. Suelen ser en madera, plástico, espuma plast.

Los más económicos rondan entre 50 y 70 euros de 60x60 cm son realizados en espuma plast.

Dicho difusores principalmente suelen ser utilizados para mejorar la acústica en estudios de grabación y salas de concierto, dado que la inquietud de las personas está focalizada en el aislamiento de los ruidos, por un tema legal, y no en la perturbación que los ruidos generan en sus vidas.

El cartón puede adaptarse a los difusores conocidos y tiene la ventaja de ser liviano, con lo que se pueden generar grandes estructuras.

A su vez, el cartón en Uruguay, en su mayoría, es producido en plantas que realizan y reciclan distintos tipos de papeles y cartón. Esto lo hace un material accesible de producción nacional, pudiendo ser un eslabón en una futura cadena de producción circular.

1.7

Análisis de las condiciones

Según datos recogidos en El Observador: “Se generan en Uruguay cerca de 500 Toneladas de papel y cartón de residuo al día” (CEMPRE, Observatorio de Reciclaje en El Observador, 2018). A su vez,

De estas se recuperan aproximadamente 150 toneladas diarias y las restantes 350 van a disposición final, es decir, se transforman en ‘basura’. Las 150 toneladas que verán nuevos usos significan mucho. Se calcula que una tonelada recuperada, evita el consumo de 17 árboles, 26.000 litros de agua y 1.750 litros de aceite (Environmental Protection Agency en El Observador, 2018).

El consumo de papel y cartón en Uruguay genera residuos diariamente, del cual una parte es recolectado por clasificadores, que posteriormente fábricas de papel los reutilizan para la fabricación de nuevo papel o cartón.

Hay un circuito armado en cuanto al reciclaje del cartón, con producción nacional en funcionamiento, pero así y todo, se utiliza solo un tercio de la capacidad instalada en las plantas de reciclaje, hay mucho más que termina en basura que perfectamente podría reusarse o reciclarse para continuar su uso.

A nivel gubernamental en el año 2019 se creó el Comité Nacional en Economía Circular, que lidera el proceso de promoción, con énfasis en la adopción en proyectos públicos. Está integrado por los ministerios de Industria, Energía y Minería, de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, de Ganadería, Agri-

cultura y Pesca y de Economía y Finanzas, así como por la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (Presidencia de la República, 2019).

Desde el gobierno hay una iniciativa, esto refuerza la idea que ese residuo diario puede reutilizarse con otros fines. Se necesitan políticas de Estado, donde participen diversos grupos y actores, pero está claro, que esto lleva tiempo.

Hay que educar a la gente, lo cual puede llevar generaciones, dependiendo del tipo de incentivos y conciencia de responsabilidad que se lleven a cabo a toda la sociedad. También está claro que debe funcionar un buen diseño del plan de reciclaje en todo el país, que hasta ahora parece no haberlo.

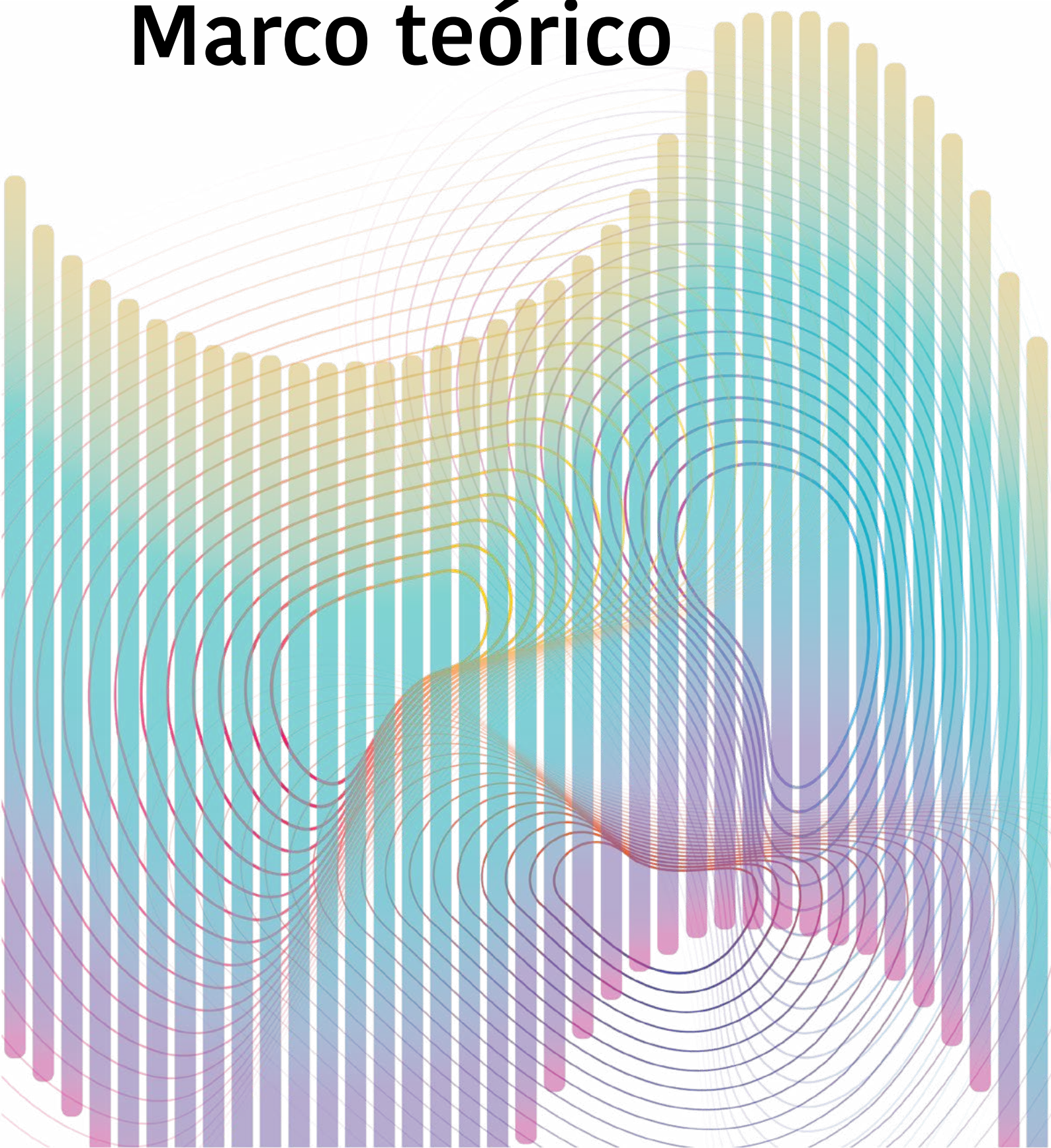
A nivel de antecedentes de proyectos comerciales realizados en cartón en Uruguay, encontramos algunos objetos de decoración y otros volcados al juego infantil. Como proyecto formal que trabaja con cartón en otras formas de uso que el embalaje encontramos a “Amo cartón”, que es una empresa de diseño que realiza a partir de cajas de cartón recicladas, juguetes y escenarios de cartón para empresas y eventos.

En otros países hay empresas que se dedican a la realización de objetos (lámparas, muebles, juguetes, accesorios, etc.) así como a grandes estructuras para ferias y locales de venta, entre otras cosas totalmente novedosas.

Así es que reforzamos la idea que el cartón se puede reutilizar en perfectas condiciones y generar un objeto, en este caso un difusor, que forme parte de la conciencia colectiva de los residuos que generamos y los productos que consumimos.

2

Marco teórico



2.1

Introducción

En este apartado de marco teórico, luego de consultar investigaciones previas, libros, proyectos, entrevistas a especialistas, queremos plasmar algunas consideraciones teóricas que dan sustento a nuestro proyecto. La economía circular, como modelo de producción y consumo que enmarca un diseñador comprometido con una nueva manera de pensar y sentir.

A su vez, esto nos lleva a investigar sobre la generación de nuevos conceptos, las posibles aplicaciones y propiedades del cartón corrugado y sobre la acústica en general, contenidos desarrollados en el siguiente apartado de análisis técnico.

El entrecruzamiento de las variadas posibilidades ofrecidas por avances tecnológicos (cartones corrugados de gran calidad, máquinas de corte de alta precisión) y vincularlo con una demanda que plantea la sociedad (generación de desechos de cartón en buen estado), nos lleva a reflexionar sobre su aplicación y uso. Así es que identificamos una posibilidad en tomar conciencia sobre

cómo percibimos el sonido innovando desde el diseño para generar un aporte a la sociedad.

"El diseño para la innovación social es todo aquello que el diseño experto hace para activar, mantener y orientar los procesos de cambio social que llevan a la sostenibilidad". (Manzini, 2015, p. 81)

Entendemos que es un aporte novedoso dentro del área de conocimiento no solo en cuanto a las condiciones físicas que pueda tener el cartón, sino también simbólicas. Este es un caso de estudio que aporta a una nueva forma de pensar y vivir. Poder modificar lo que percibimos con un diseño que promueva un cambio social, moviliza el área de conocimiento, los recursos y habilidades que se pueden generar en la comunidad.

Palabras clave:

Resiliencia, sustentable, responsabilidad, calidad de vida, mercado saturado, basura, ruido, diseño.

2.2

Economía circular

La economía circular ha generado un creciente interés en su implementación por parte de gobiernos, industrias y la sociedad organizada, cuyo objetivo es generar sustentabilidad en el sistema económico, para el bienestar de la sociedad y protección del medioambiente.

Cuando se habla de sustentabilidad, se refiere a un cuestionamiento de los patrones que llevan a cabo la extracción, producción, distribución y consumo de bienes y servicios tal cual lo conocemos. Es necesario un cambio de paradigma en las actividades económicas y sociales, involucrando todo tipo de estructura de conocimiento y tecnología.

Este trabajo se enmarca dentro de la economía circular y sus campos de acción al desarrollar un producto sustentable. Se plantea mejorar la calidad de vida de las personas generando una solución a un aspecto/problema cotidiano de las mismas, la contaminación acústica. Por medio de la reutilización de desechos de cartón para la generación de un difusor acústico. En sintonía con esta corriente se propone un producto, cuyo diseño apunta a una mejora en el uso de recursos, fomenta la reutilización del cartón y la reducción de residuos. Todo proceso implica la generación de residuos, por lo tanto un diseño restaurativo reduce la cantidad de desechos y costos productivos, brindando la mayor utilidad y valor a los materiales y sus productos en todo momento del ciclo.

Qué se hace en Uruguay

Uruguay ha desarrollado una serie de estrategias y acciones sostenidas que apuntan a la mejora de la calidad de vida de sus ciudadanos con una clara aspiración de alcanzar la transformación hacia una economía verde a través de la innovación, incorporación de tecnología y el desarrollo de políticas públicas concretas. En este contexto, la economía circular representa una interesante e importante oportunidad para cambiar nuestro modelo de producción y consumo (Presidencia de la República b, 2019, p. 12).

Un ejemplo de estrategia es el proyecto que lleva a cabo la ANDE y Biovalor. “Para ello, desde 2018, la Agencia Nacional de Desarrollo (ANDE) y el proyecto gubernamental Biovalor promueven este programa que impulsa la validación de ideas, la puesta en marcha de nuevas líneas de negocios y prototipos, y la implementación de proyectos que tengan un fin de lucro claro pero que contribuyan al desarrollo productivo sostenible” (El País, 2019).

Para llevar adelante este modelo es necesario que el gobierno genere políticas públicas que fomenten el desarrollo de negocios que durante todo el ciclo productivo logren cuidar del medioambiente y la sociedad, empresas que optimicen y maximicen el uso de sus recursos, a la academia que forme técnicos y profesionales con mirada crítica y conocimiento sobre el tema, así como consumidores responsables. Es indispensable el rol de cada uno, ya que este nuevo paradigma de economía circular invita a la innovación dentro de un trabajo multidisciplinario.

Por ejemplo, la Udelar cuenta con la Red Temática de Medio Ambiente (RETEMA) en su página web se definen como un espacio de trabajo sobre temas ambientales multidisciplinario. Esto genera entre las distintas propuestas y redes fomentar cursos de formación e intercambio desde las distintas disciplinas. Este tipo de programas permite potenciar un abordaje de profundización de

conocimientos y experiencias que posibilitan un cambio en la formación de las futuras generaciones (RETEMA, 1999).

Así como RETEMA, poco a poco se van fomentando distintos proyectos que involucran a la sociedad desde diferentes ámbitos, en busca de generar este cambio de mentalidad y funcionamiento.

2.3

Rol del Diseño

El diseño ha ido cambiando en el correr del tiempo acompañando cambios sociales, económicos y ambientales. Según Loschiarvo dos Santos citando a Bonsiepe,

“Por mucho tiempo el diseño ha sido considerado una disciplina menor, un ‘non-issue’ según Bonsiepe (2007, p. 30). En su trayectoria, el concepto sufre también un proceso de **yuppieficación** y popularización, con un ‘uso inflacionario’ (Bonsiepe, 2007, p. 26). Sin embargo, el diseño es considerado actualmente como un campo de alcances más amplios, entretelado con otras disciplinas en una óptica inter-multi-trans-disciplinar”. (s.f, p.180).

Para continuar con estos cambios ha sido necesario una apertura del diseño hacia otras disciplinas, trabajo en equipo, un cambio en el rol del diseñador volcado a la búsqueda de soluciones que aporten a los problemas cotidianos y al cuidado de los recursos.

Este cambio en el concepto como disciplina también se ha hecho presente al definir lo que es el diseño, sus principios y atributos, y el rol que cumplen.

Al momento de plantear el problema de diseño, se hicieron presente algunos de sus principales atributos. La transdisciplinariedad al fusionar los saberes de la ingeniería (de sonido) y el diseño con su particular

fragmentación de conocimiento, genera un enriquecimiento de saberes, permitiéndonos pensar dicho proyecto.

Por otro lado, se visualiza el principio de eticidad al buscar la mejora de la calidad de vida de las personas, pretendiendo generar espacios más saludables auditivamente, satisfaciendo así sus necesidades. Del mismo modo, el atributo de ubicuidad, nos muestra una oportunidad de diseño de carácter ético, de responsabilidad social y ambiental al pensar en prolongar la vida útil del cartón en pro de una mejora.

Como dice Adela Cortina (2003), en el sistema de mercados está en juego la ética del consumidor y la del vendedor. Por lo tanto el diseñador es el principal responsable de promover un diseño eficiente en su proceso y uso, de la decisión en la elección de la materia prima y proceso productivo, como de la vida útil y posterior reutilización. De manera tal de tomar consciencia en las conductas de consumo donde todos somos responsables y siendo esta la manera que tome fuerza la economía circular como modelo regenerativo.

“Ya sea desde el rol de diseñadores o ciudadanos, crecientemente nos veremos confrontados a la necesidad de hacer elecciones más responsables con el medio ambiente y nuestra salud. Además de las decisiones tradicionales de diseño en cuanto a forma, funcionalidad, materialidad, color, estética y otras, cada vez más los dise-

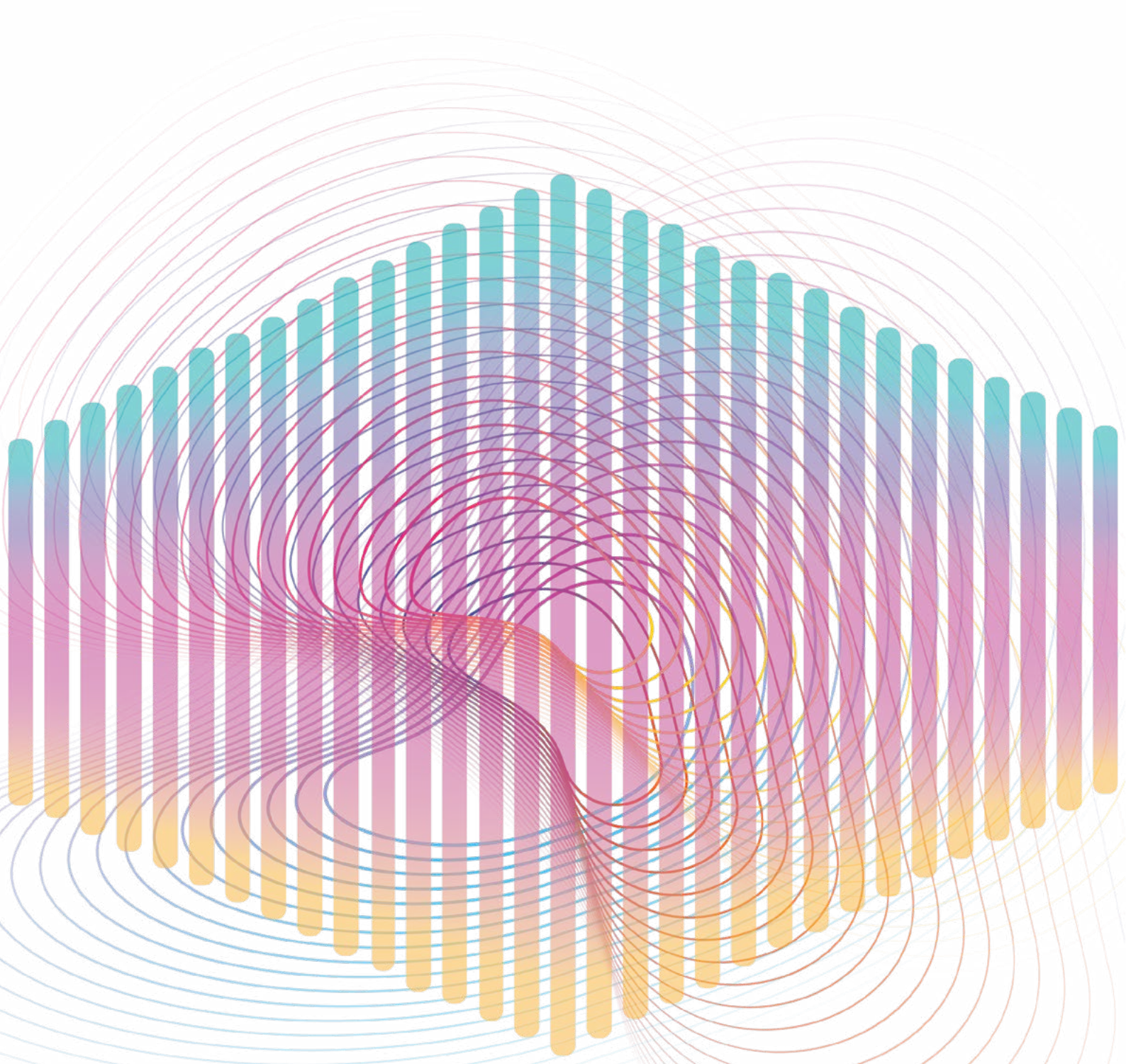
ñadores deberemos considerar los impactos ambientales derivados de los productos que creamos”. (Oscar Huerta, s.f., p. 70).

Este trabajo de grado tiene en su proceso de diseño los atributos antes mencionados, fruto de una formación profesional que viene incorporando una preocupación ante la sociedad y el medioambiente. En el trabajo realizado por Paula Cruz (2017),

se muestra cómo se ha ido desarrollando un diseño que ha implementado cambios hacia el desarrollo humano, la inclusión social y la responsabilidad medioambiental. Vale señalar que esto ocurre de la mano de un cambio de varios paradigmas en la sociedad, que se centran más en las personas y no tanto en una economía productiva, así como el avance en tecnologías que ayudan en la utilización de recursos y cuidado del medioambiente.

3

Análisis técnico



3.1

Introducción

Es imprescindible explicar brevemente cómo funciona el sonido y sus efectos físicos sobre las personas y los recintos. Este conocimiento permite entender algunas decisiones tomadas a la hora de realizar este trabajo. Entender cómo influyen ciertos parámetros en propagación y recepción de las ondas de sonido.

Del mismo modo, comprender la acústica y los elementos que la intervienen; el recinto,

la reverberación del sonido, la inteligibilidad de la palabra y, el confort y calidad acústica. En la medida que varían cambian completamente la forma en que se percibe el sonido.

Todo este conjunto de definiciones plasmadas en este capítulo son una recopilación de los materiales seleccionados que se presentan en la bibliografía. (Principalmente Avilés y Perera; Miraya; Salinas; Bongiovan, Cascino y Sanso).

3.2

Sonido

El sonido “consiste en la propagación de una perturbación en el aire” (Miraya, 2000, p. 2), es por tanto, “el resultado de las vibraciones provocadas por cuerpos sonoros. Al vibrar un cuerpo produce una alteración física del medio, que es el sonido propagándose en forma de ondas a través de un ambiente material (sólido, líquido, gaseoso) hasta llegar al sentido auditivo, donde nuevamente se producen vibraciones y como consecuencia de ello las sensaciones sonoras” (Salinas, s.f., p. 1).

Basándonos en Avilés y Perera (2017), en **la propagación del sonido** intervienen tres elementos: una fuente sonora, que es quien emite un sonido, un medio transmisor y un receptor, quien detecta el sonido.

En este proceso el sonido es iniciado por una perturbación provocada por la fuente sonora, la cual se va propagando por el medio transmisor, perdiendo en el transcurso parte de su energía inicial, hasta llegar a un receptor, quien lo transforma en otra señal, como el oído humano. Esta propagación de la perturbación, se conoce con el nombre de movimiento ondulatorio. Este movimiento ondulatorio se caracteriza por ser cíclico, es decir, se repite de forma periódica.

Como todo movimiento ondulatorio, la onda sonora se caracteriza por las siguientes magnitudes: amplitud, período, frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación.

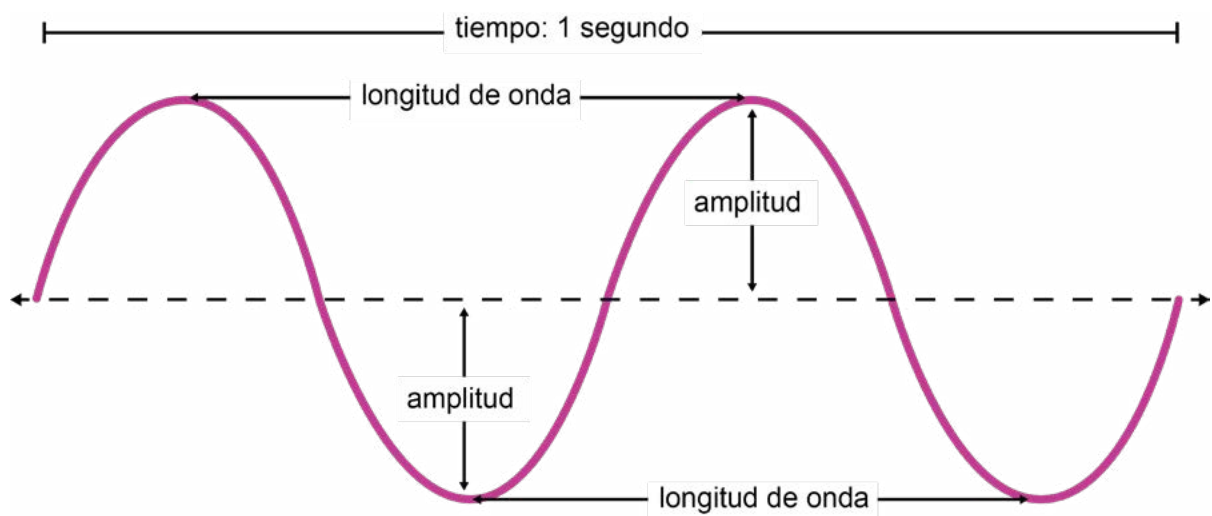


Figura 1.1. Frecuencia de la onda sonora (Avilés y Perera, 2017, p. 6)

“La amplitud (A) se corresponde con las variación máxima de la presión que se produce. Cuanto mayor sea este valor, mayor diferencia de presión se habrá producido, y mayor será también la sensación que se percibe.” ... “Se define la Frecuencia (f) como el número de ciclos que se producen en la unidad de tiempo (generalmente un segundo). Se mide en hertzios (Hz), y es lo que caracteriza el tono con el que distinguimos el sonido”.(Avilés y Perera, pág. 7)

El oído humano es capaz de percibir ondas sonoras con frecuencias comprendidas entre los 20 Hz y los 20.000 Hz (20 kHz), aunque este rango varía con las personas y depende de la edad.

“ Los sonidos con frecuencias inferiores a los 20 Hz se denominan infrasonidos, mientras que los que tienen una frecuencia superior a los 20 kHz se denominan ultrasonidos” (Avilés y Perera, 2017, p. 7).

Teniendo en cuenta estas características del sonido y del oído humano, se definió realizar las pruebas de los difusores contemplando el rango de la voz humana, como puede ser una conversación. El rango de la voz humana, contempla un rango bastante amplio de sonidos, principalmente los medios y parte de graves y agudos. En la Unidad 4 se detalla el desarrollo y ejecución del difusor.

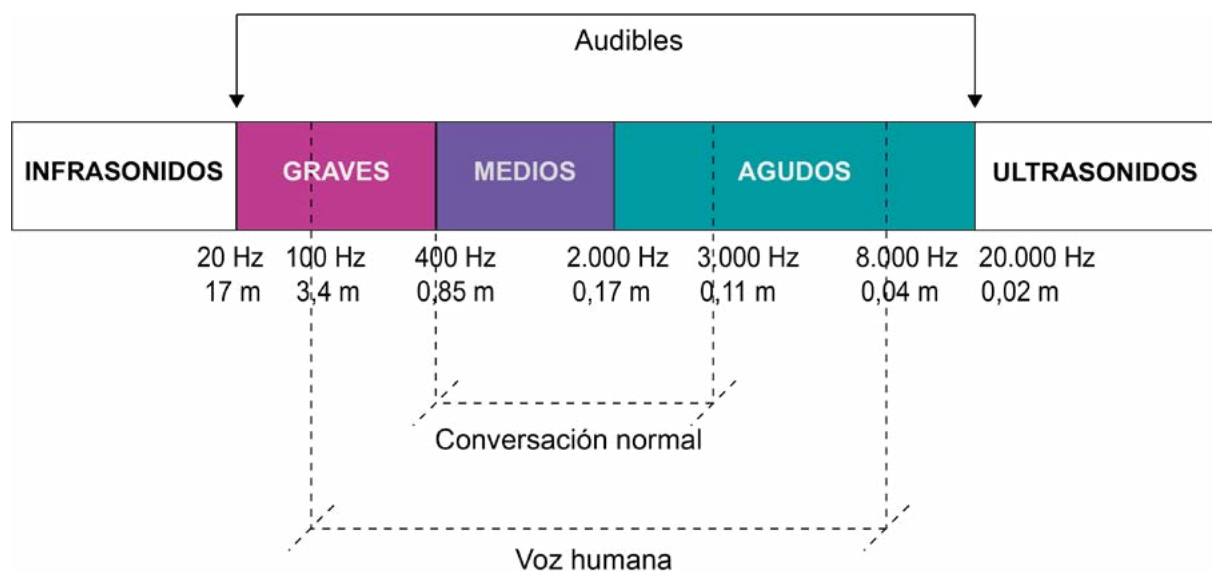


Figura 1.2. Frecuencias audibles y no audibles de la audición humana. (Avilés y Perera, 2017, p. 6)

3.3

Acústica

La acústica se ocupa del estudio de fenómenos físicos, cuantificables o medibles del sonido percibidos por el oído humano. Es aplicada al medio ambiente, urbanismo y la edificación de manera de lograr un en-

torno sonoro confortable a los habitantes o usuarios, esto dependerá de las distintas percepciones de los mismos, de lo que es agradable o deseable.

3.3.1

Acústica en un recinto

Según Avilés y Perera, cuando el sonido se propaga dentro de un recinto si bien la situación es un poco más controlada como las condiciones meteorológica, o incluso la ab-

sorción del aire se puede despreciar, toma relevancia las reflexiones que se producen directamente de la fuente sonora (campo directo) como las procedentes de los distintos parámetros que limitan el recinto (techo, paredes, piso y demás superficies reflectantes presentes), definido como campo reverberante (2017, p. 60).

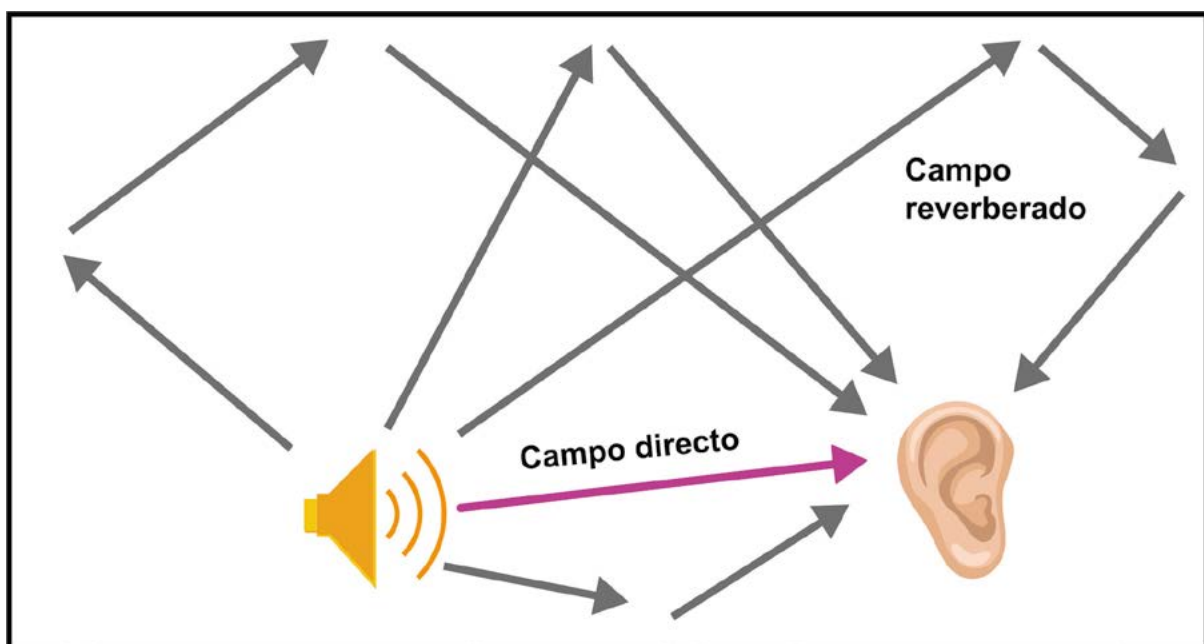


Figura 1.3. Acondicionamiento acústico. (Salinas, s/f, p. 12)

“Las características del campo directo dependen únicamente de la fuente sonora y la distancia que nos encontremos de ella (de la misma forma que en el exterior). Sin embargo, el campo reverberante queda condicionado principalmente por el volumen del recinto, y la capacidad de absorción o reflexión de las distintas superficies que lo definen”. (Avilés y Perera, 2017, p. 61).

Es por lo tanto muy determinante que tipo de objetos se encuentran en los recintos, dependiendo de las características de estos, el modo en que se propagan las ondas. El nivel sonoro dependerá de los campos reverberantes más el campo directo, generado por la o las fuentes sonoras.

A su vez, la calidad acústica dependerá del uso al que está destinado el recinto y depende directamente del tiempo de reverberación, inteligibilidad de la palabra y confort acústico.

3.3.2

Tiempo de reverberación

Según Miraya la reverberación es un fenómeno acústico donde el sonido permanece levemente en un recinto, producto de las reflexiones del techo, paredes, suelo y objetos que en ella se encuentren. (2000, p. 46)

Se puede calcular el tiempo de reverberación, de manera de obtener un parámetro de la calidad de respuesta acústica en un recinto.

El tiempo de reverberación es el tiempo que tarda en hacerse inaudible el sonido en un recinto a la millonésima parte de su valor inicial, que es lo mismo a que disminuya 60 decibelios por debajo del valor inicial del sonido.

Si se realizan medidas en un mismo recinto con diferentes sonidos iniciales, el resultado va a ser similar. En cambio, si se estudia el mismo sonido en distintos recintos, el tiempo varía mucho más, ya que depende de las dimensiones del lugar, los materiales de construcción, etc.

Existe una fórmula, conocida como la Fórmula de Sabine que evalúa en un campo sonoro difuso el tiempo de reverberación.

$$T_{60}=0,161 (V/A)$$

(V) es el volumen de la habitación analizada (expresada en m³)

(A) es el área de absorción acústica equivalente (expresada en m²)

3.3.3

Inteligibilidad de la palabra

Es importante considerar todos estos factores para una buena recepción del sonido. Es fundamental el mensaje del emisor quien va a condicionar, junto con el recinto, el mensaje recibido.

Citando a Avilés y Perera,

“...al hablar, somos capaces de emitir sonidos con frecuencias compren-

didadas entre 50 Hz y 10 kHz, que cubren buena parte del espectro al que responde nuestro sistema auditivo, definido entre 20Hz y 20kHz. Casi toda la información del mensaje oral está incluida entre las frecuencias de 200Hz y 7kHz (entre 400Hz y 3kHz para una conversación normal) y dentro de este rango es precisamente donde nuestro oído responde de forma más sensible, concretamente entre 1kHz y 5kHz.” (2017, p.72).

Por lo tanto, este es el rango de frecuencia en el que comúnmente transcurre una conversación. Sin embargo,

“Los sonidos vocales son más ricos en bajas frecuencias, mientras que los consonantes tienen una mayor contribución de las altas. Aunque la duración promedio y el nivel sonoro de

los sonidos vocales son mayores que el de los consonantes (unos 12dB), el grado de inteligibilidad de la palabra y la comprensión del mensaje oral dependen principalmente de la percepción de las altas frecuencias, es decir, precisamente de los sonidos consonantes“. (Avilés y Perera, 2017, p. 72).

3.3.4

Confort y calidad acústica

El confort acústico es una situación donde el campo sonoro en el cual se encuentra inmerso un individuo genera bienestar, en relación a la actividad que esté realizando.

El confort acústico está determinado por la reverberación acústica y el espacio donde se encuentra. Si el tiempo de reverberación es demasiado largo, y el sonido decae lentamente, tiende a perjudicar el nivel de comprensión de la palabra o claridad de la música.

En cambio, si es demasiado corto, el sonido se percibe silenciado, se pierde calidad y matices de la palabra o la música.

La calidad acústica va a estar dada en función de las propiedades de absorción, reflejo y difusión del sonido de las superficies que revisten el recinto y sus dimensiones. (International Acoustic, 2008).

Para realizar un acondicionamiento acústico adecuado de una sala se utilizan difusores acústicos, que redistribuyen la energía acústica que incide sobre una superficie, pudiendo preservar el sonido. Estos se complementan con paneles absorbentes, contruidos con materiales que tienen la capacidad de absorber la energía sonora, de manera de reducir los tiempos de reverberación. Así se logra una mayor uniformidad en el sonido de una sala.

3.4

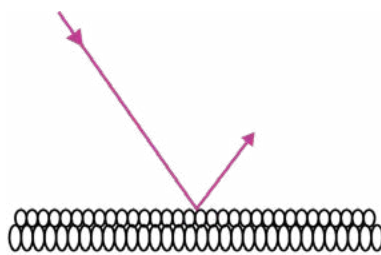
Difusores acústicos

Los difusores acústicos permiten una mejor distribución de la energía sonora dentro de un recinto en un determinado tiempo. Generan una reflexión en múltiples direcciones al incidir sobre una superficie irregular, y así, la energía sonora se esparce de manera más o menos uniforme contribuyendo a crear un sonido envolvente, así como a reducir fenómenos acústicos (ecos, sonido focalizado, etc).

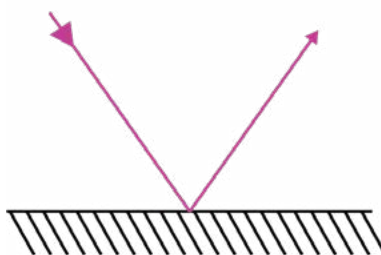
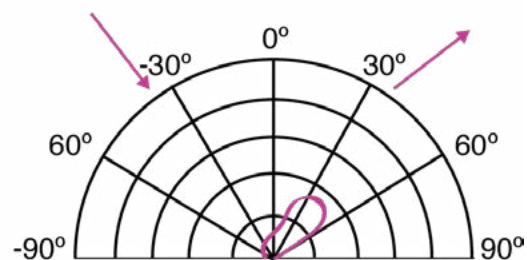
Los difusores acústicos son muy utilizados en recintos musicales porque contribuyen a que el sonido tenga un mayor alcance en la audiencia de los espectadores desde todas las direcciones. Su material y volumen definen su efectividad, estas variantes determi-

nan el coeficiente de absorción para dispersar la energía uniformemente. También son muy útiles para corregir defectos acústicos al eliminar las reflexiones indeseadas que estos generan, sin disminuir el tiempo de reverberación

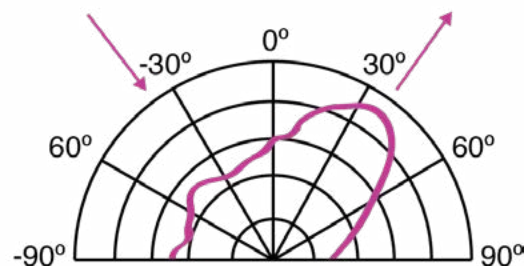
La ley de reflexión sonora muestra que el sonido incidente en una superficie rígida es reflejado en una sola dirección y cuyo ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión (Ley de reflexión). La utilización de difusores busca que el sonido reflejado sea homogéneo aportando una sensación sonora tridimensional o envolvente, y creando una acústica más real y agradable.



Material absorbente



Reflector



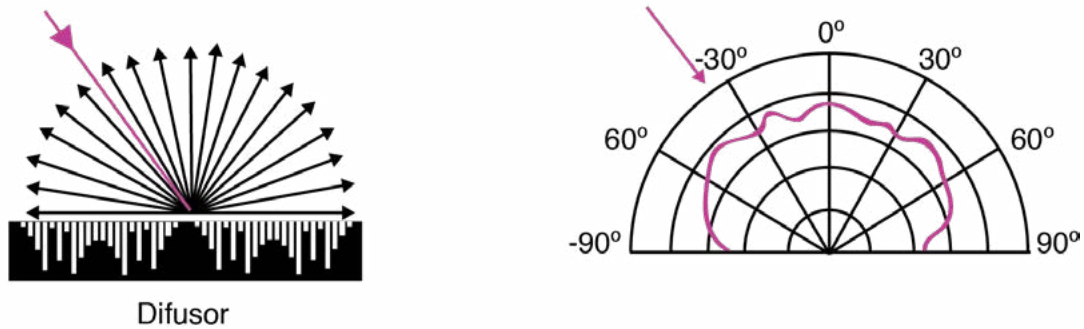


Figura 1.4 Diferencia entre material absorbente, reflector y difusor. (Rodríguez, 2018, p. 19)

3.4.1 Tipos de difusores

Existen distintos tipos de difusores, los más representativos son los policilíndricos y los de Schroeder.

Los policilíndricos consisten en superficies lisas de forma convexa dispuestas secuencialmente, y dependiendo el grado de la curvatura actúan como reflectores.

Dentro de los difusores Schroeder existen los MLS, PRD, QRD (unidimensional y bidimensional). Estos difusores se basan en distintas secuencias matemáticas previamente fijadas, que determinan una serie de elementos diseñados para generar superficies difusoras del sonido, en un margen de frecuencias también determinado.

“Para que la energía sonora incidente sobre una superficie se refleja en múltiples direcciones es necesario que cuente con ciertas irregularidades y qué dimensiones

sean comparables con la longitud de onda del sonido que se pretende difundir” (Avilés y Perera, 2017, p. 540).

A partir de lo planteado por Avilés y Perera (2017) sostenemos que si las irregularidades son pequeñas, la difusión actuará sobre los sonidos agudos, con longitudes de onda pequeñas. Para los sonidos graves, con longitudes de onda mayores, se necesitan mayores irregularidades. Y si se quiere incrementar el número de frecuencias afectadas por los difusores, se generarán irregularidades de distintos tamaños.

Este trabajo se centra en el estudio de paneles difusores QRD unidimensionales. Su diseño va formando estructuras repetitivas (periódicas), que producen dispersión o difusión del sonido.

A continuación se describen las variantes que existen dentro de los difusores de Schroeder que son los que se tienen la misma base matemática utilizada en estos ensayos.

Difusores QRD (difusores de residuos cuadráticos, Quadratic-Residue Duffusor)

Son muy utilizados en salas de concierto y estudios de grabación. Resultan muy versátiles y prácticos de construir, además de obtener buenos resultados.

Existen dos tipos de difusores QRD los unidimensional y los bidimensional.

Unidimensionales

Se basan en una serie de ranuras o concavidades paralelas de forma rectangular del mismo ancho y distintas profundidades, separadas por aletas o divisores delgados y rígidos.

Las profundidades de cada ranura se obtienen a partir de una secuencia matemática prefijada, generando estructuras repetitivas (periódicas) que producen dispersión o difusión del sonido incidente, en el plano per-

pendicular a las ranuras, en un determinado margen de frecuencias.

La secuencia de profundidades adimensionales para este tipo de difusores se basa en la siguiente ecuación:

$$S_n = n^2 \bmod N$$

Donde:

P= número primo (3,7,11,...)

N= número entero que va desde 0 hasta p-1

mod= operación matemática módulo, iniciativa de que cada valor de S_n se obtiene como el resto o residuo del cociente entre n^2 y p.

La secuencia es periódica y de período p.

P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
3	0	1	1																
5	0	1	4	4	1														
7	0	1	4	2	2	4	1												
11	0	1	4	9	5	3	3	5	9	4	1								
13	0	1	4	9	3	12	10	10	12	3	9	4	1						
17	0	1	4	9	16	8	2	15	13	13	15	2	8	16	9	4	1		
19	0	1	4	9	16	6	17	11	7	5	5	7	11	17	6	16	9	4	1

Tabla 1. Secuencia de residuos cuadráticos S_n correspondiente a los números primos comprendidos entre p=3 y p=19 (1 período). (Bongiovan, Cascino y Sanso, 2011, p.7)

Un vez fijada la secuencia se calcula el ancho de las ranuras W, que se encuentra ligada a la frecuencia de diseño donde normalmente es el límite de la frecuencia más baja, la primera frecuencia en la cual se pueden obtener lóbulos de difracción de

energía uniforme, si se quiere partir de una profundidad máxima

$$W = \frac{c - T}{2f_{\max}}$$

Donde:

W = anchura de las ranuras (mm)

c = velocidad de propagación del sonido en (mm/s)

T = espesor de los divisores (mm)

$f_{\max}$ = frecuencia máxima para la cual se desea una óptima difusión

Su profundidad está relacionada con la frecuencia mínima que difunde, así como el ancho de sus ranuras está relacionado con

la máxima frecuencia que difunde. Cuanto mayor sea la $f_{\max}$, más estrechas serán las ranuras.

El espesor de las ranuras (T) cuanto más fino sea, y más rígido, menos altera las propiedades difusoras. Cuanto más delgados sean, mayor será la absorción a baja frecuencia

Estos difusores generan un diseño simétrico en cada período. Sus diseños varían al alterar la cantidad, profundidad y ancho de las ranuras utilizando las ecuaciones matemáticas antes mencionadas.

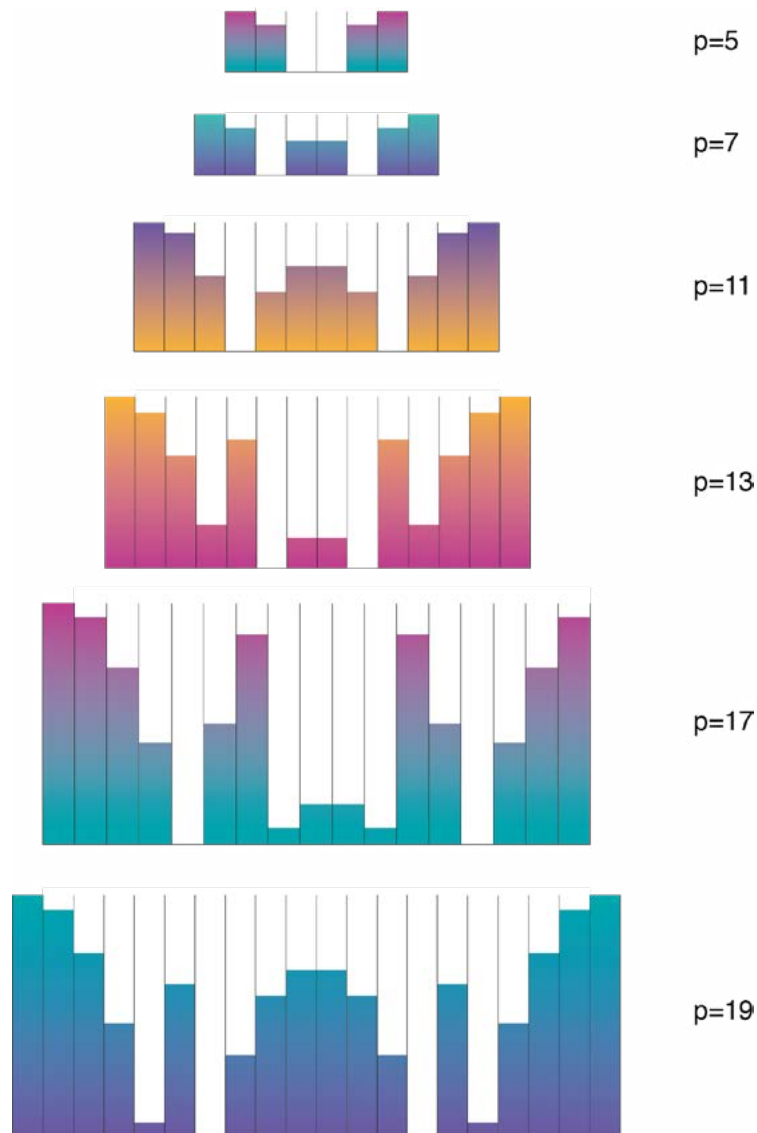


Figura 1.5 Diseño de un período en difusores QRD al variar p (número de ranuras). (Bongiovan, Cascino y Sanso, 2011, p.7)

El sonido lo difunden en forma de semicilindro, en un plano de simetría y dos simetrías de rotación. Esto genera que sea igual

a difusión en el plano vertical y horizontal dentro de un margen de frecuencias determinado de manera óptima.

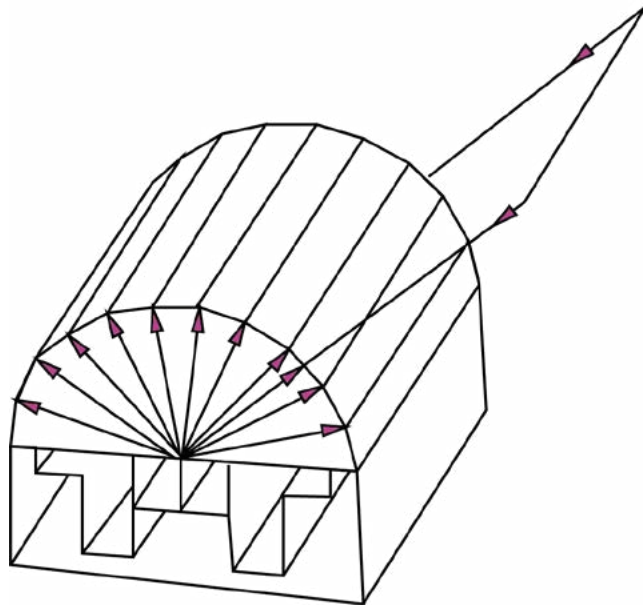


Figura 1.6. Padrón de difusión de un QRD unidimensional semicilindro. (Bongiovan, Cascino y Sanso, 2011, p.3)

Esta relación tiene un límite máximo donde las ranuras si son demasiado estrechas y muy profundas producen exceso de absorción acústica, o si supera las tres octavas se comporta como una superficie plana, produciendo reflexiones prácticamente especulares (Vargas, s/f).

En este trabajo se opta por este tipo de difusor, ya que como se dijo anteriormente, son muy versátiles y prácticos de cons-

truir. Realizarlo en cartón no plantea ningún problema desde su parte constructiva, al ser aletas planas y de forma rectangular.

El software QRDude permite calcular todas las medidas para su construcción en base a los parámetros definidos, por lo tanto, con la orientación de los técnicos resultó una opción válida para llevar a cabo estos ensayos.



Figura 1.7 Difusor QRD Unidimensional fabricado en madera. © 2021 Stradivarius Music Center

Bidimensionales

Estos difusores aparecen como una generalización de los unidimensionales, cuyo obje-

tivo es lograr una difusión óptima de energía sonora en todas las direcciones y no solo en un plano.

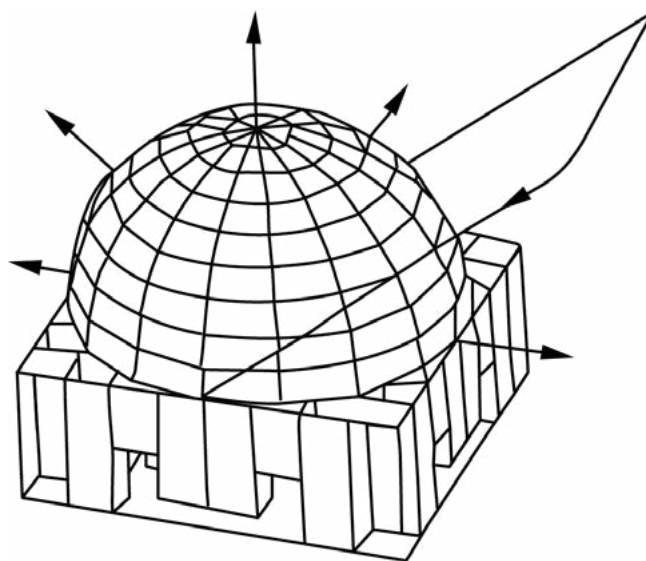


Figura 1.8. Padrón de difusión de un QRD bidimensional semiesfera. (Bongiovan, Cascino y Sanso, 2011, p.4)

Estos difusores sustituyen las ranuras por pozos con configuraciones simétricas de forma cuadrada y con profundidad variable.

Las profundidades de los huecos se dan por la siguiente ecuación:

$$d_{h,k} = \{h^2 + k^2\}_{\text{mod } N} \lambda / 2N$$

Donde:

h y k representan los índices de la matriz bidimensional, o sea la posición del hueco (h,k) .

El difusor bidimensional tiene dos planos verticales de simetría y cuatro simetrías de rotación. Esto da forma a un patrón de simetría.

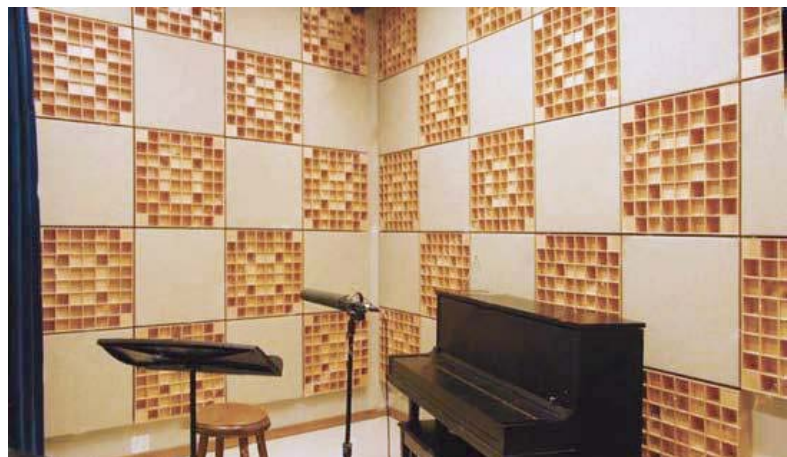


Figura 1.9 Difusor QRD Bidimensional fabricado en madera. © 2021 Stradivarius Music Center

Difusores PRD

Los difusores de raíces primitivas (Primitive root difusor) son prácticamente iguales a los QRD unidimensionales con la diferencia de que utilizan otra secuencia S_n generadora para hallar las profundidades de cada una de las cavidades, la ecuación de diseño varía.

$$S_n = (r \cdot S_{n-1}) \text{ mod } N$$

Donde:

r = la raíz primitiva de N y el difusor tendrá $N-1$ hendiduras por período.

A diferencia de los QRD no existe simetría dentro de cada período.

Los PRD se utilizan para reducir la energía reflejada en la dirección especular y por tanto produce un “notch diffuser”, es posible que

tenga lóbulos de energía constante en otras direcciones de difracción. Por esto es común su utilización como cancelador de ecos.

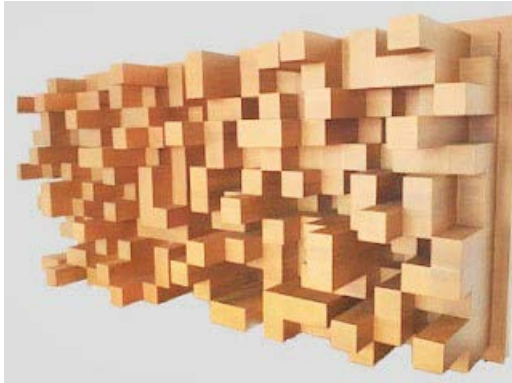


Figura 1.10 Difusor PRD fabricado en madera. © Acusticmax.

MLS

Los difusores MLS (Maximun Length Sequence) están basados en unas secuencias pseudoaleatorias periódicas, denominadas de longitud máxima, que solo pueden adquirir dos valores diferentes: -1 y +1.

El diseño de estos difusores adquiere una forma dentada. Partiendo de una superficie lisa y reflectante, se subdivide en tramos de igual ancho, y se crean ranuras de igual profundidad. A cada tramo se le asigna un valor de la secuencia pseudoaleatoria, de acuerdo con el siguiente procedimiento (el proceso inverso es igualmente correcto):

Si el valor es -1, el correspondiente tramo de la superficie queda inalterado

Si el valor es +1, se crea una ranura en el espacio ocupado por el correspondiente tramo.

La anchura W de cada tramo y la profundidad d de cada ranura deben valer:

$$W = \lambda / 2$$

$$d = \lambda / 4$$

Donde λ es la longitud de onda correspondiente a la frecuencia de diseño del difusor (Vargas, s/f).



Figura 1.11. Difusor MLS fabricado en madera. © *Interaudiigital*

3.5

Cartón Corrugado

Nuestro trabajo se centra en el estudio de las características físicas del cartón corrugado.

El mismo, resulta ser un material muy conocido y utilizado de diversas maneras, dependiendo de su materia prima, su proceso de producción y su terminación. Es el material más ampliamente utilizado para la fabricación de embalaje, debido a su resistencia y aislamiento. La fabricación se lleva a cabo acorde con normas de calidad estricta y exactas.

Está compuesto por la combinación de capas conocidas como liner (gruesa lámina plana) y onda o flauta (lámina acanalada) que se adhiere al liner mediante goma, presión y calor.

Tipos de cartón

Dentro de la gran variedad de posibilidades que el cartón corrugado ofrece, se distinguen principalmente los siguientes tipos:

- Cartón sencillo (Single Face). Es una estructura flexible, formada por un elemento ondulado (onda) pegado a un elemento plano (liner).

- Cartón simple (Single Wall). Es una estructura rígida, formada por un elemento ondulado (onda) pegado en ambos lados a elementos planos (liners)

- Cartón doble (Double Wall). Es una estructura rígida, formada por tres elementos planos (liners), pegados a dos elementos ondulados (ondas) intercalados.

- Cartón triple (Triple Wall) Es el resultado de cuatro liners (láminas de papel planas) más tres láminas acanaladas pegadas en medio de las cuatro primeras.

El doble y triple corrugado son cartones muy resistentes y son usados generalmente para el embalaje de artículos de peso considerable hasta pesos extremos (Cyecsa, s.f.).

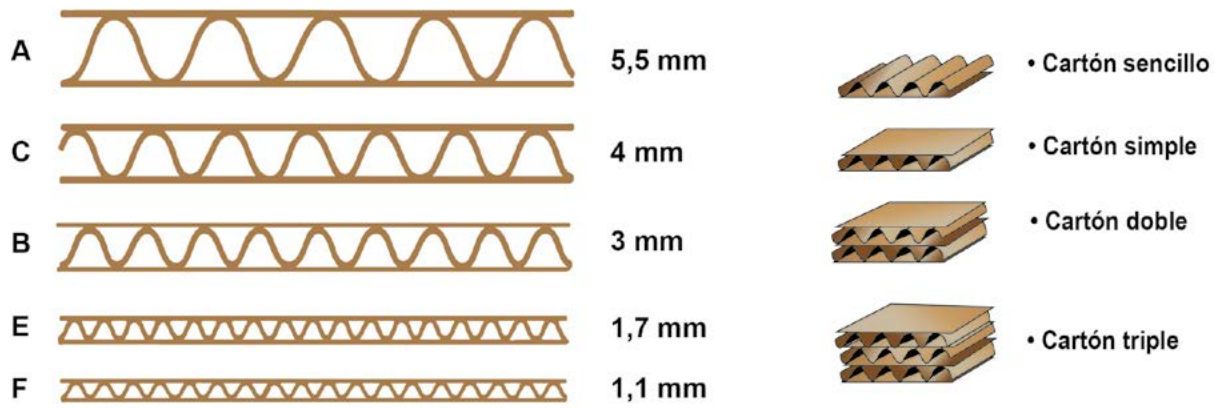


Figura 2.1. Ilustración de variedades y composición del cartón corrugado. (Cartonlab, 2021)

Calidades del cartón

La calidad del cartón corrugado lo define su materia prima.

Las caras exteriores e interiores del cartón corrugado (liners) se fabrican generalmente a partir de las fibras largas de maderas suaves de coníferas, que poseen las propiedades de resistencia necesarias. Estos papeles se producen por medio del proceso de cocción al sulfato, se conocen como cartón-liner, o papel-liner (kraft-liners), y su color natural es café o marrón. También pueden blanquearse completa o parcialmente (moteados), pero el proceso de blanqueo reduce la resistencia del material entre un 5% y un 10% (Centro de comercio internacional, 1993, p. 1).

Otros cartones de menor calidad, contienen fibras recicladas (papel de desecho), estas fibras debilitan considerablemente su resistencia.

En Uruguay se producen de todo tipo de calidad, con fibras celulosa virgen y con fibras reciclables. Esto define el tipo de uso que se le va a dar en el mercado, ya que la calidad también determina el precio.

“El mejor cartón corrugado generalmente se obtiene produciendo una “hoja balanceada”, es decir, en la cual la cara exterior y la cara interior presentan la misma composición (es decir, cuyo peso básico es idéntico)” (Centro de comercio internacional, 1993, p. 2).

Existen distintas combinaciones típicas de calidades de cartón que responden a los pesos mínimos requeridos y resistencia al estallido para el embalaje, esto está regido por una clasificación de normas estadounidenses.

“Al papel ondulado entre las caras del cartón corrugado se le llama flauta, acanalado, o corrugado simplemente. La mejor calidad de flauta se obtiene a partir de las fibras cortas de maderas duras por medio de un proceso especial de cocción. Este acanalado se llama semi-químico y contiene solamente una pequeña cantidad de desperdicio industrial limpio de papel kraft”. (Centro de comercio internacional, 1993, p. 2).

Además de las materias primas, las nuevas tecnologías y procesos químicos han contribuido a generar cartón de mejor calidad, más allá de su materia prima.

Otra materia prima importante en el cartón corrugado es el adhesivo usado para unir papeles. La aplicación incorrecta del pegamento es la causa más frecuente del mal comportamiento de las cajas de cartón corrugado. El silicato de sodio, que fue el pegamento más usado, se ha sustituido casi totalmente por diversos tipos de almidones, principalmente de maíz. A los adhesivos se les puede añadir productos químicos para aumentar su resistencia en condiciones tropicales.

El cartón corrugado internacionalmente es sometido a distintas pruebas de resistencia,

que son punto de referencia para el empaque óptimo, dado que se usa principalmente con este fin. De hecho, existen medidas que definen el límite de peso soportado por grosor (Gross Weight Limit), la cantidad de presión por pulgada cuadrada que soporta (Minimun Bursting Test) o de la cantidad de peso en sus puntos de apoyo (Edge Crush Test) (Cyecsa, s/f).

No así se encontró pruebas sobre el cartón como difusor acústico, que tanto incide en cantidad de cartón con relación en un espacio cerrado o algún tipo de medición similar.

4

Desarrollo y pruebas en estudio



4.1

Desarrollo del difusor

La elección de los difusores QRD (difusores de Residuos Cuadráticos) surge por ser uno de los más usados y tener mucha versatilidad, como por ejemplo poder construirse en cartón.

Para este ensayo, se realizan difusores acústicos en cartón corrugado de 0,6 cm de espesor, modificando de esta manera la materialidad con la que son construidos generalmente dichos difusores, los cuales son fabricados en madera o espuma plast.

Materia prima

Recolección y selección

Una vez recolectados los cartones, de diferentes lugares se decide utilizar únicamente cartón doble corrugado. Esta elección se debe a que comprobamos que es lo suficientemen-

te rígido como para realizar cortes prolijos y posteriormente generar encastres firmes. Es un material que consideramos que está al alcance para su reutilización, dado que es muy usado en embalaje y suele ser desechado.

Más allá de su espesor de 6 mm o 4 mm se clasifican las cajas acorde a su calidad (depende de la materia prima seleccionada con que fue realizado el cartón), debido a que ciertos embalajes que poseen una calidad inferior, y al realizar los encastres correspondientes no generan firmeza y resulta necesario algún pegamento u otro insumo. En cambio, los de mejor calidad se encastran sin problema, prescindiendo de otros insumos.

Para estos ensayos se utilizó principalmente cartón de embalaje de aires acondicionados, televisores y bicicletas.



Figuras 2.1.a.

Figura 2.1.a. Cartón recolectado en buen estado. Se selecciona y toma como bueno el cartón que no tenga humedades ni quebraduras en las planchas, ya que le quita rigidez. Otro requisito a la hora de seleccionar el cartón es su dimensión, de manera de aprovechar al máximo cada caja y lograr piezas enteras



Figuras 2.1.b.

Figuras 2.1.b. Se consultó en distintos locales comerciales de la ciudad de Montevideo si tenían cartón como desecho, coordinando su retiro. Algunos negocios cuentan con personas que semanalmente pasan a retirar los cartones para luego venderlos en recicladoras. Otros entregan los productos con sus embalajes que luego terminan en contenedores de la ciudad, como por ejemplo, las cajas de los televisores que pudimos recolectar en muy buen estado

En el caso de los aires acondicionados, consultamos si podíamos ir al depósito donde realizan la logística de la mercadería, (almacenan, distribuyen y entregan) debido a que son los técnicos quienes instalan los aparatos y ese cartón se tira posteriormente a la colocación

Preparación

Una vez seleccionado el cartón, se agrupa según el espesor (4mm, 6mm) dependiendo el producto que transportaran, se chequea

y quita las imperfecciones que podrían presentar, zonas dobladas o en mal estado, objetos extras como grampas o precintos, dejando de esta manera un cartón continuo y sin imperfecciones listo para ser dibujado.



Figuras 2.1.c.

4.2

Diseño y construcción del modelo

Partimos de la idea que lo que genera la calidad acústica de un difusor QRD principalmente son las formas, dimensiones y frecuencias que lo conforman, más allá del material con que esté realizado.

Diseño

Para los cálculos de nuestro diseño, nos apoyamos en el software QRdude que nos facilita las dimensiones del difusor, acorde a los parámetros definidos.

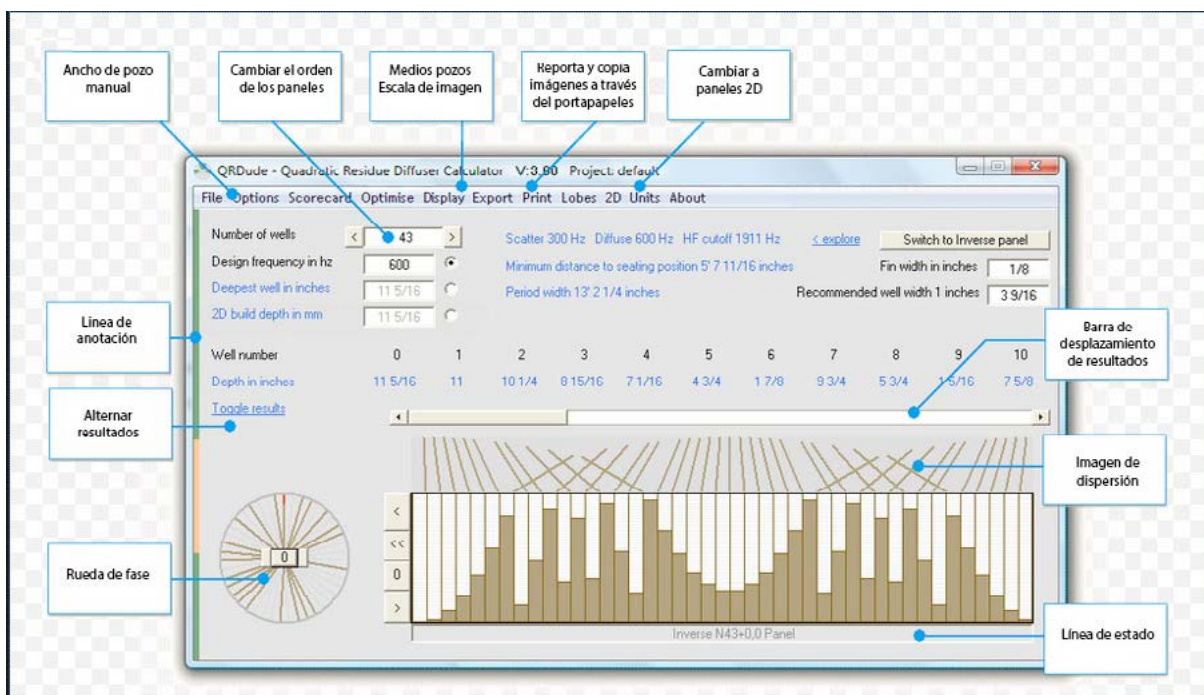


Figura 2.2. Imagen de los parámetros que arroja el software QRdude. Herramienta utilizada para la realización de cálculos para difusores.. © QRdude

Lo primero que se hizo fue valorar el uso que se le quería dar y rango de frecuencias a utilizar, ya que los difusores solo son óptimos para un rango de frecuencias.

Los parámetros que se seleccionaron para la construcción del difusor fueron el rango

de **frecuencias**, (en el trabajo importaba comprender a la voz humana, 300 hertz hasta los 8k) y **N número de ranuras**, (se consulta a los especialistas y se opta comenzar por un N7). El software permite modificar ciertos parámetros mientras que otros son calculados por el programa.

La altura de los difusores puede variar independientemente de las ecuaciones de estos cálculos, por lo que fue definida considerando el tamaño de las cajas y las medidas estipuladas con los especialistas.

Las siguientes tablas, muestran todos los cálculos realizados para la creación de los difusores, volcados por el software QRdude.

Parámetros de diseño de los difusores			
Frecuencia de diseño (Hz)	900	600	400
Frecuencia superior (Hz)	450	300	200
Anchura ranuras (cm)	2,9	16,4	1,2
Ancho del difusor (cm)	38,5	58,1	86,8
Altura difusor 98 (cm)	98	55	55
Largo del difusor (cm)	17,5	24,6	24,6
Número de ranuras (N)	11	7	7

Tabla 2. Parámetro de diseño de los difusores. En una primera prueba se realizaron dos difusores de siete ranuras; uno de 600 Hz y otro de 400 Hz. En una segunda prueba se realizaron dos difusores de 11 ranuras y 900 Hz.

N (11)	Secuencia (900 hz) (mm)	N (7)	Secuencia (400 hz) (mm)	N (7)	Secuencia (600 hz) (mm)
1	0	1	0	1	0
2	17	2	62	2	51
3	70	3	246	3	205
4	157	4	123	4	102
5	87	5	123	5	102
6	52	6	246	6	205
7	52	7	62	7	51
8	87				
9	157				
10	70				
11	17				

Tabla 3. Secuencia utilizada para el diseño de los difusores. Esta tabla muestra las distintas profundidades (en mm) que debe llevar cada ranura en cada difusor; en frecuencia de 900 Hz y 11 ranuras, y en frecuencia de 400 Hz y 600 Hz con siete ranuras

Construcción

Una vez definido el modelo QRD, la cantidad de ranuras, el espesor del cartón y la altura, realizamos varias pruebas para definir de qué manera se realizaría la construcción de dicho difusor. La posición de las planchas y el tipo de unión, teniendo

en cuenta las características físicas del sonido y el cartón.

Posición del cartón

Se prueba la construcción del difusor generada por una sumatoria de cartones, donde cada pieza de cartón está contigua a la siguiente y de esta manera se genera el volumen.



Figura 2.3. Primer prueba sumando cartones en los distintos compartimentos del difusor

Si bien se obtuvo un difusor con adecuada estructura y rigidez, el cartón de canto y las ondulaciones del mismo expuestas visiblemente, generan absorción de las ondas de sonido, efecto no deseado para la generación del difusor. Se busca que el cartón haga rebotar las ondas para generar la difusión.

Para evitar la absorción de las ondas, se realiza una maqueta como alternativa donde se prueba plegando el cartón. Tiras con dobleces específicos, respetando las dimensiones de cada ranura.

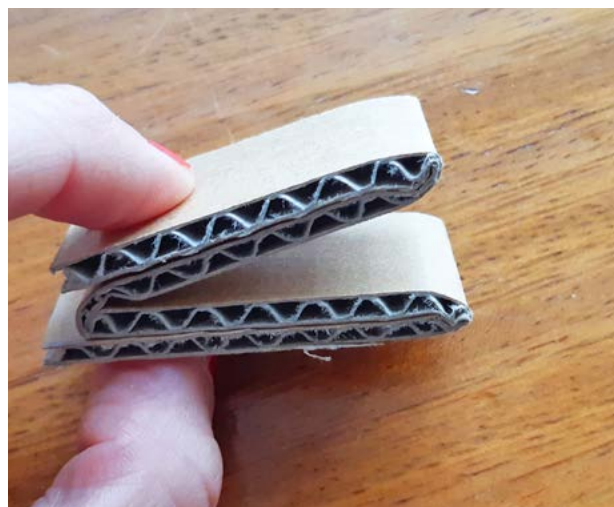


Figura 2.3.a. Prueba plegando cartón

Debido a la complejidad para generar medidas exactas en los pliegues; la prolijidad y la forma del difusor se vió alterada, quedando así descartada esta opción.

Además de los motivos de prolijidad y absorción de las ondas de sonido, se observó que, la sumatoria de planchas generan un difusor muy denso y bastante pesado, por la gran cantidad de materia prima que se necesita para su construcción. Esto motivó a descartar la idea de posicionar el cartón de esta manera para generar el difusor.

Se define que en los cantos del difusor debe estar el cartón con su cara lisa de manera de generar rebote (reflexión) en las ondas de

sonido. Esto lleva a que no haga falta tanta cantidad de planchas sino una tapa por cada ranura. Definido esto, se comienza a probar diferentes maneras de unión.

Uniones

Se prueba unir cartones con pegamento. Esto queda firme, puede ser una opción pero se necesitan grandes cantidades al ser muchas piezas y se debe tener mucha precaución para obtener uniones perfectas y seguras, ya que los difusores suelen estar colgados.

Otra posibilidad que surgió fue coser con hilo, quedó firme el cartón pero resulta un trabajo innecesario y podría generar complicaciones en ciertas uniones del difusor.

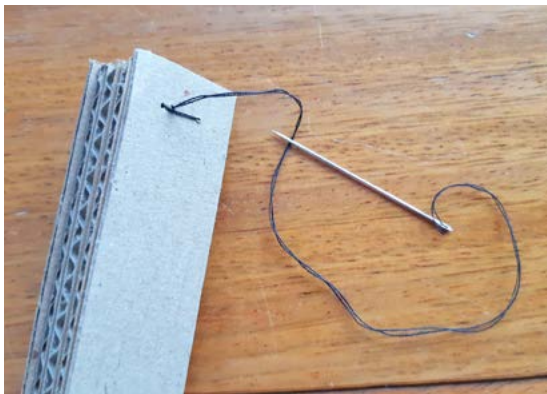


Figura 2.3.b. Prueba de cartón cosido



Figura 2.3.c. Prueba de cartón pegado

Por último se investigó realizar encastrés. Mecanismo con el que resolvimos trabajar

finalmente. Logra una unión firme y compacta, que no requiere de otros insumos.



Figura 2.3.d. Prueba de encastre en cartón

Prototipo final

Luego de analizar las diferentes opciones estudiadas, y con las conclusiones obtenidas, consultamos al especialista en sonido, quien estuvo de acuerdo en las decisiones tomadas.

Se realizaron en una primera oportunidad dos difusores en cartón corrugado doble uno de 600 Hz de 58,1 cm x 55 cm, y otro de 400Hz de 86,8 cm x 55cm, ambos N7. Para el segundo muestreo se realizan dos difusores de 900 Hz de 38,5 x 98 cm y N11.

Con los cartones ya limpios y preparados, se dibujan todos los cálculos realizados para cada pieza del difusor y así realizar los cortes que deben ser precisos. Generar ángulos rectos, para posteriormente lograr planos paralelos y perpendiculares que permitan que los encastrés sean firmes.

Luego de tener todas las piezas cortadas y numeradas se realizó el armado mediante los encastrés correspondientes.



Figura 2.4. Cálculos y dibujos para realizar los cortes



Figura 2.5. Construcción en cartón de los difusores. Cuentan con una base, una tapa de arriba y una tapa posterior. Luego las aletas (todas iguales) que definen cada ranura o celda, y su correspondiente tapa (varían la posición acorde a los cálculos realizados por el software QRDude

Se obtiene un difusor firme de fácil armado y no requiere de ningún otro insumo. La cantidad de cartón utilizado es muy inferior a

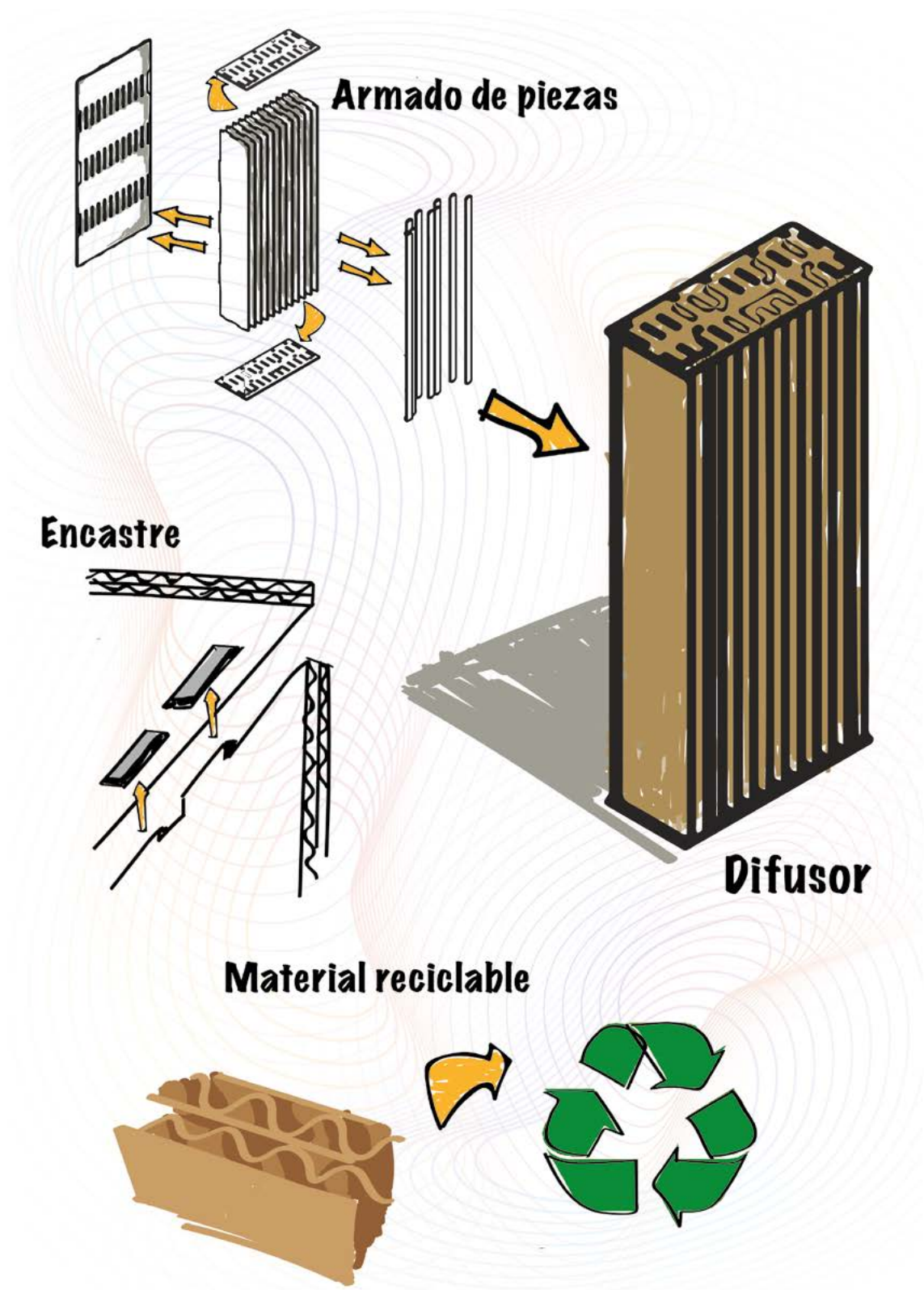
la primera disposición probada y se logra un peso muy liviano. Deben ser cortes de precisión para lograr un resultado óptimo y simple.



Figura 2.6. Difusores QRD contruidos por encastre. Modelo N7 y N11

Lámina de presentación

Difusor 900Hz - N 11



4.3

Ensayo en sala

En conversación con los especialistas en sonido, se plantean distintas opciones para recoger muestras que permitan visualizar alteraciones en la energía del sonido en presencia de un difusor.

Por un lado se pueden variar las fuentes de sonido; pudiendo ser un ruido rosa (que tenga los mismos componentes energéticos en todas la frecuencias, pero que a su vez sea direccional), otra opción consiste en reproducir un ruido direccional, como ser de una trompeta, que sea fuerte y vaya en una dirección y una tercera opción consiste en reproducir una conversación grabada la cual presenta variadas frecuencias.

Independientemente de la fuente que emite el sonido, se evalúa que sucede en el ambiente en presencia del difusor. Para ello, se coloca detrás de la fuente (un parlante) un micrófono que registra el sonido luego de rebotar ya sea en la pared o en el difusor. En las muestras con difusor, el mismo se encuentra apoyado en la pared.

Cualquiera de estas muestras permiten registrar las variaciones de energía del sonido. Para visualizar la difusión del sonido, se toman muestras en diferentes ángulos del difusor, las cuales deberían ser similares en los distintos registros.



Figuras 2.7. Estudio de grabación con los materiales dispuestos para realizar la primera prueba. Difusor QRD 400 Hz dispuesto contra la pared a la altura de los paneles absorbentes. Por frente, a la misma altura, se encuentra el parlante que va a reproducir el sonido y un poco por detrás el micrófono que toma el sonido que rebota en el difusor. Por detrás de todos estos elementos se encuentran los paneles absorbentes que buscan eliminar sonidos ambientes que puedan intervenir en el sonido que reciba el micrófono, así como las alfombras en el suelo generan mayor absorción del sonido

Pruebas realizadas en sala de estudio de sonido

Los diferentes ensayos se llevaron a cabo mediante el siguiente procedimiento:

- Una computadora que emite un sonido y que posteriormente recibe y lee la información que el micrófono capta.

- Una fuente (parlante) que reproduce el sonido.

- Un micrófono que capta el sonido reflejado ya sea en la pared o en el difusor.

Se piensan distintos escenarios en la sala variando la disposición y distancia entre los elementos. Se hacen diversas pruebas en cada ensayo, en la medida de mejorar la medición y obtener resultados claros.

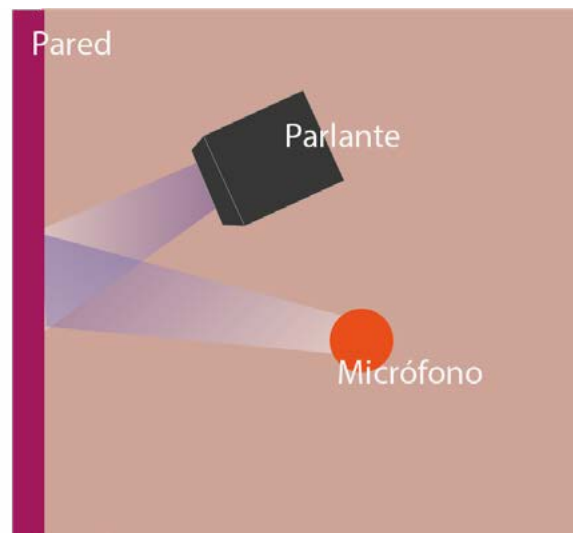
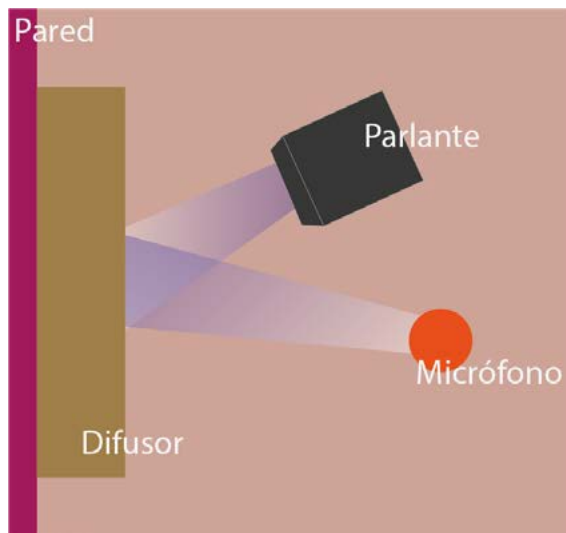


Figura 2.8. Disposición de los elementos en la sala de grabación

Estudio: Isla de Flores 1357, Montevideo.
A cargo del Tec. en Sonido Nicolás Panzl

• Prueba 1 _ 1 de Marzo 2021

En esta primera oportunidad se utilizaron dos difusores en cartón corrugado doble uno de 600 Hz de 58,1 cm x 55 cm, y otro de 400 Hz de 86,8 cm x 55cm, ambos N7.

En este ensayo se seleccionó como fuente de sonido la grabación de una conversación, la cual se repitió en las distintas muestras de este día.

1- Lo primero fue **situar el difusor contra la pared**. Se colocó el parlante a un metro del difusor y se fue variando el ángulo del micrófono, siempre por detrás del parlante para que éste capte los sonidos reflejados en el difusor.

2- Este **mismo procedimiento** se llevó a cabo **sin difusor**, generando la reflexión contra la pared.

3- Se realizan las mismas **pruebas en la sala de control**, como variante, ya que tiene menos reverberación que la sala de grabación.

4- Se analizan los resultados en el software Room EQ Wizard.

A partir de estos resultados se decide realizar un segundo ensayo variando las dimensiones, frecuencias, disposición en sala y toma de resultados. Estos ajustes posibilitan captar de forma más clara los resultados del ensayo.

• Prueba 2 _ 6 de abril 2021

Se realizaron dos difusores en cartón corrugado de 900 Hz de 38,5 cm x 98 cm

Al ser dos difusores del mismo rango, se pueden usar al mismo tiempo y potenciar su área. En la primera prueba al tener un difusor de 400 Hz y otro de 600 Hz se utilizaron por separado para poder analizar resultados de forma clara.

Se cambia a 900 Hz, de manera que permita un mayor rango de frecuencias.

La altura también se modificó al doble, aumentando el área de difusión.

Como sonido esta vez se opta por reproducir un impulso y un tono puro.

“Un impulso es el caso límite de un pulso infinitamente corto en el tiempo pero que mantiene su área o integral (por lo cual tiene un pico de amplitud infinitamente alto)”. “Respuesta a impulso.” Wikipedia, La enciclopedia libre. [actualizado el 12 de enero de 2020; consultado el 26 de mayo de 2021]. <https://es.wikipedia.org/wiki/Respuesta_a_impulso>.

“Se llama tono puro a un sonido sinusoidal simple -privado de armónicos-, tal como puede producirlo el aparato utilizado en

música con el nombre de diapasón. La experiencia demuestra que el timbre de un tono puro permanece invariable cualesquiera que sean las condiciones en las que se haya producido el sonido”. (J-J, Matras, 1988).

La elección de estos sonidos se debe a que ambos siguen dentro del rango de la voz humana y generan un pico de energía que permite una lectura más fácil.

1- Se colocan los **difusores de 900Hz de forma modular** contra la pared.

2- Por delante se coloca un **semicírculo** en el centro de la base de los difusores.

3- Se coloca un **parlante a -30°** de los difusores, a una distancia fija de 85 cm.

4- Se realizan **muestras con el micrófono a 90°, 60° y 30°** desde la base del centro de los difusores. Siempre a una misma distancia.

5- Se repiten estas muestras sin presencia de los difusores, refractando el sonido en la pared.

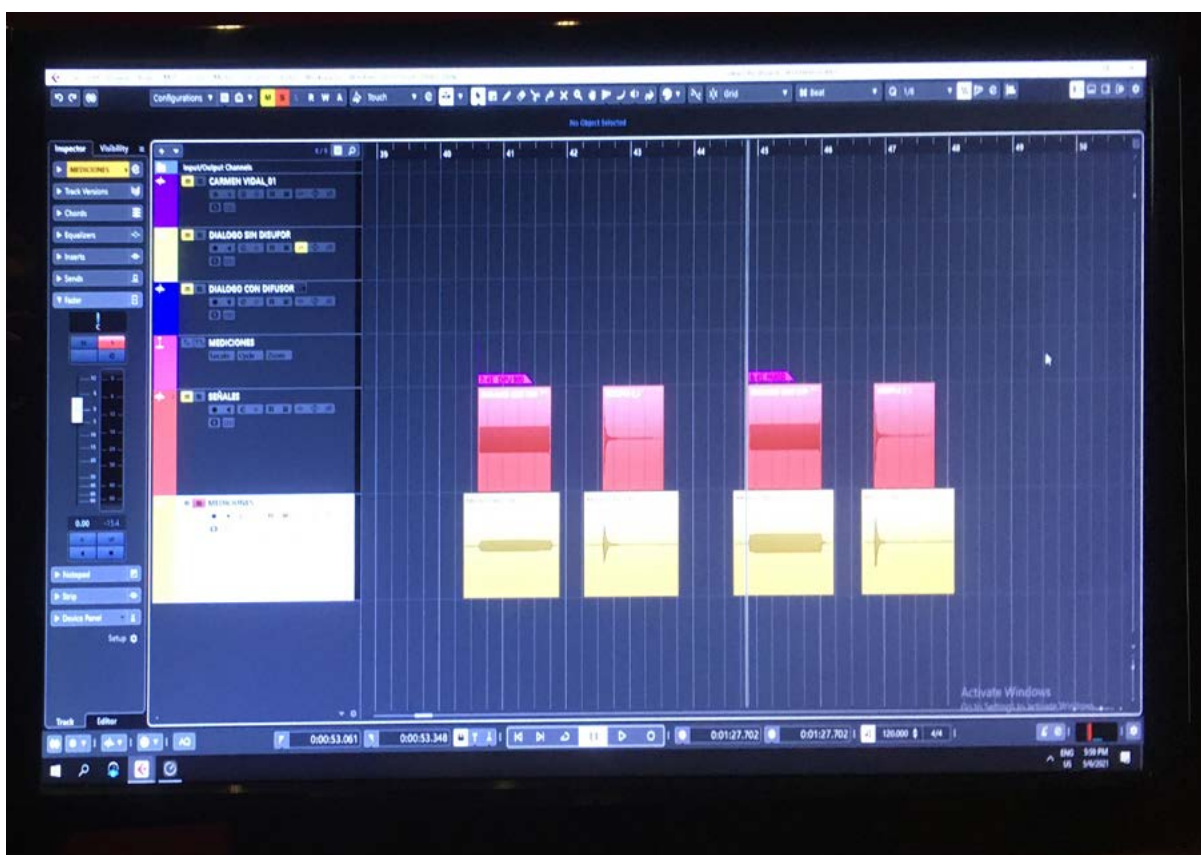
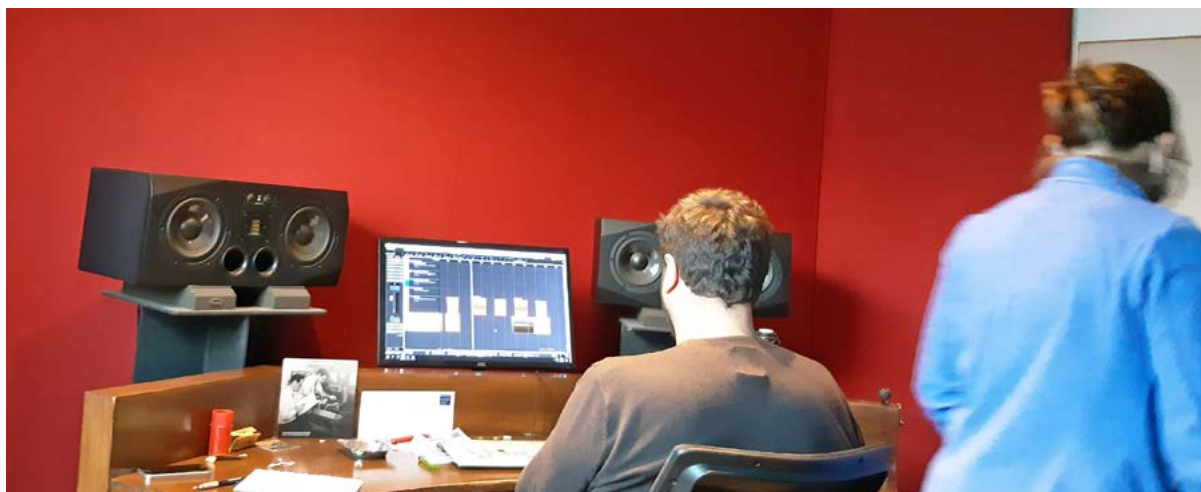
De esta forma se puede medir los niveles de energía al variar los ángulos de la fuente de sonido respecto al difusor. Si se registran similares niveles de decibeles en los distintos ángulos, eso mostraría que está difuminando de forma correcta.



Figuras 2.9. Disposición de los elementos en la sala de grabación para el segundo ensayo. El semicírculo permite modificar la posición del micrófono receptor, de manera de controlar los grados a los que se encuentra, siempre a una distancia fija del difusor de 85 cm. El parlante no varía de posición y se encuentra también a 85 cm

Posteriormente se compara en la computadora la energía que capta el micrófono en cada uno de estos ángulos. Se utiliza el software

Cubase que permite editar y reproducir audio digital, entre otras cosas.



Figuras 2.10. Comparación de las pistas de audio en Cubase. Este software fue utilizado en ambos ensayos. Muestra las frecuencias de los audios (de graves bajos a agudos altos) elegidas para tomar las pruebas con y sin difusor. En rojo y amarillo se visualizan los audios con los que trabajamos; el impulso y el tono puro. A mano izquierda se encuentran los medidores que muestran los niveles de la señal en decibeles. Esto fue clave en el segundo ensayo donde se observó claramente que al variar los ángulos de la fuente de sonido respecto al difusor los niveles se mantenían, en cambio cuando el sonido refractaba en la pared eran niveles más altos y diversos como se puede ver en el cuadro de resultados del segundo ensayo

4.4

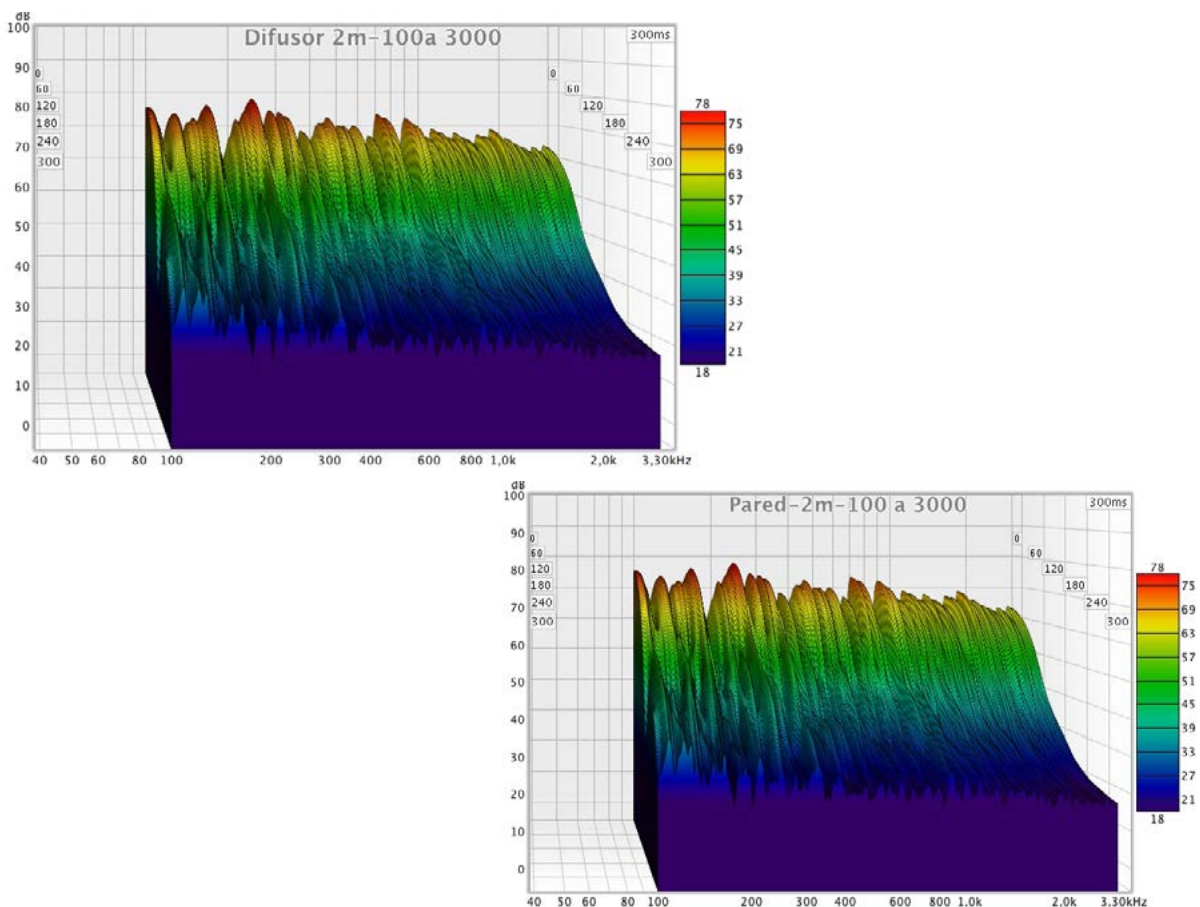
Resultado de las pruebas

Prueba 1

Luego de finalizados los primeros ensayos se intenta comparar las gráficas que arroja el software Room EQ Wizard, quien nos permite analizar y medir de izquierda a derecha de graves hasta agudos (eje x), en el eje vertical (y) la intensidad de esa frecuencia y el correr del tiempo (z).

La lectura que se realizó fue ver si las reflexiones reflejadas en el difusor eran de menor energía en el rango en que actúa.

Dando por resultado que la diferencia que se visualizaba con y sin difusor, no eran significativamente apreciables.



Figuras 2.11. Muestras de las gráficas obtenidas del primer ensayo variando distancias y barrido. No se encontró un efecto visible, que tuviera la suficiente relevancia, del comportamiento del sonido reflejado en la pared y en el difusor

Dado estos resultados es que se propone por parte del especialista la creación de los nuevos difusores.

Prueba 2

Se registra los niveles de energía con y sin difusor en los distintos ángulos y esto permite la realización del siguiente cuadro.

	30	60	90	(grados entre parlante y difusor)
PARED	-15,4	-21,4	-22,4	(dBfs)
DIFUSOR	-16,2	-18,9	-19,8	(dBfs)

Tabla 4. Resultados del segundo ensayo. Disposición vs. decibeles. Este cuadro permite visualizar lo que se recabó en las mediciones. Compara los decibeles de cada muestra. Se muestra que hay una disminución de decibeles y mejor distribución de la energía en presencia del difusor

Reflexiones

Una vez realizadas estas pruebas, podemos asegurar que en este proceso tuvimos aciertos y desafíos que enfrentar, desde lo técnico y desde la construcción de los difusores.

En el primer ensayo realizado, visualizamos errores como parte de la experimentación a la hora plasmar las mediciones, se probaron programas, sonidos, ángulos.

Todos estos factores fueron ajustados y mejorados para la segunda prueba, lo que

llevó a obtener resultados más claros y concretos, pudiendo visualizar de forma clara parte de los objetivos.

Seguramente si se continuara con la realización de pruebas se seguirán presentando nuevas modificaciones y ajustes que mejorarían las muestras.

De manera general también podemos decir en cuanto al proceso de armado de los difusores, que se fueron presentando algunos pequeños detalles en el cortado de encastrés y bordes, que se lograron solucionar para la creación de los difusores.

4.5

Conclusiones

A modo general se logró desde la aplicación del cartón corrugado en otros usos, poder testear sus posibilidades físicas, en este caso para la generación de un difusor acústico que cumple con las características de difusores ya existentes en otros materiales. Comprobando que es posible la creación de difusores en cartón, logrando llegar a medir y concluir resultados, comprendiendo que los propios ensayos son el camino a seguir en una investigación.

Pese a consultar a profesionales de la Udelar, facultad de Ingeniería y FADU, no se logra obtener un apoyo concreto o seguimiento en el proyecto. Pensamos que un trabajo interdisciplinario podría haber llegado a resultados más concisos pero no quita que más adelante se pueda generar nuevos ensayos y lograr mejorar la calidad de los difusores o resultados más claros.

Entendemos que este trabajo abre una línea de investigación en la cual se podrían seguir realizando pruebas y ajustando lineamientos para un producto de mayor calidad, incluso comercializar.

Se puede profundizar en la estética de los difusores, ya que el cartón corrugado genera un diseño interesante con su onda y su lado liso. Incluso con corte láser se pueden generar nuevas formas. Además su peso liviano permite generar grandes estructuras y colocar en techo o paredes sin generar sobrecarga en las estructuras del lugar.

Con una mirada más social, también podemos concluir que este proyecto permite la

reutilización de un material muy accesible y de fácil construcción, el cual podría tener un gran alcance en centros educativos, salones comunales y todo tipo de recinto que tenga problemas acústicos, promoviendo espacios de mejor comunicación.

Los difusores minimizan la distorsión acústica que puede generarse en algunos recintos e incrementa la inteligibilidad de la palabra, enriqueciendo el material sonoro. Esto mejora en cierta forma la calidad de vida de las personas y por lo tanto estos difusores realizados con bajo costo y muy accesibles al tratarse de material de desecho, podría ser un producto de mayor uso, pero falta promoción y conocimiento por parte de la sociedad.

Pudimos comprobar que el cartón sigue siendo un material descartable y de empaque prácticamente. Si uno comienza a buscar en muchos lados, comercios chicos o medianos, desechan cartón en buen estado. Solo las empresas más grandes mandan a reciclar. Hace falta un cambio de paradigma en nuestra economía. Una tendencia a mayor preocupación medioambiental no solo del estado o empresas sino la sociedad en general y las nuevas generaciones como la academia misma.

Este trabajo es una oportunidad que se presenta para promover el uso de este material, pudiendo ser explotado con otros fines.

4.6

Trabajos futuros

En el presente trabajo se propuso investigar sobre el cartón corrugado y sus características físicas como difusor de sonido.

A partir de los resultados obtenidos y como suele suceder en otros proyectos de investigación, surgen nuevas y diversas preguntas.

Estas inquietudes, podrían habilitar diferentes líneas de investigación a futuro dando continuidad y enriqueciendo este trabajo.

Por un lado, visualizamos importante continuar investigando sobre la acústica de los ambientes, sobre la posibilidad de cuantificar algunos parámetros para poder calcular de manera más estandarizada la relación de los espacios y los difusores. Consideramos que este conocimiento escapa nuestro campo de acción siendo necesario un trabajo en conjunto con otros profesionales.

Otras líneas de investigación están relacionadas más directamente con el cartón como material en desuso. Hemos podido comprobar durante nuestro proceso de investigación, que hay mucho cartón de desecho en muy buen estado, lo que habilita a continuar investigando sobre sus características físicas para otras posibles aplicaciones.

Por último, la idea de pensar en un difusor en cartón como producto comercializable y sustentable que participe de la economía circular.

A continuación se describirán algunos de los posibles trabajos que pueden continuar desarrollándose como resultado de la inves-

tigación. Entre los posibles caminos a seguir en el ámbito de la acústica:

- Indagar las cualidades físicas del cartón, (absorción, difusión) comparando estas pruebas con otros materiales como plástico, espuma plast, madera, vidrio. Estableciendo un registro que considere las diferentes calidades.

- Obtener valores cuantificables sobre el espacio en relación con los difusores acústicos. Definir ciertos parámetros, el tamaño del difusor, la cantidad de difusores según superficie del espacio, considerar los materiales que constituyen los recintos, la cantidad de personas y tipo de actividad que se desarrolla.

Como otra línea de investigación, continuar profundizando sobre los desechos de cartón corrugado en Uruguay:

- Poder cuantificar los desechos de cartón que cumplan con los requisitos planteados para la realización de un difusor QRD. Valorar tamaños, calidades, resistencias.

- Implementar un sistema o plan de recolección de cartón con empresas que desechan en grandes cantidades. De manera de generar posibles alianzas para la realización de difusores a mayor escala.

- Establecer un nexo con las empresas recicladoras de cartón a modo de facilitar la obtención de la materia prima en un estado óptimo, participando en un proceso sustentable.

Y por último en una línea comercial, desarrollar difusores competitivos en el mercado

- Desarrollar un diseño de los difusores acústicos, utilizando nuevas tecnologías, para obtener otros resultados estéticos y desarrollar su producción a mayor escala e implementación en el mercado. (Posibles alianzas, proveedores, consumidores, etc.)
- Investigar qué aceptación tiene el cartón como difusor por parte de posibles compra-

dores, cómo ser, estudios de sonido, instituciones, hogares, etc. Estudiar diferentes perfiles y situaciones. Saber sus opiniones y generar un diseño centrado en el usuario.

- Implementar una ficha modelo que permita democratizar estos difusores, en donde figuren todos los requisitos para realizarlo uno mismo. (Instructivo de: materiales, herramientas, pasos, precauciones, mantenimiento y recomendaciones).

5

Bibliografía



Avilés López, R. y Perera Martin, R. (2017). *Manual de acústica ambiental y arquitectónica*. Asturia: Paraninfo

Bernasconi, R. (s.f.). *Responsabilidad extendida*. Revista Diseño. bcosillo@bigpond.com, (30 de agosto de 2019). QRDude. Subwoofer Tools. <https://www.subwoofer-builder.com/qrdude.htm>

Bongiovan, P., Cascino, M. y Sanso, M (2011). *Análisis y Diseño de Difusores Acústicos*. Universidad Tecnológica Nacional. Mayo 2011. Argentina, Facultad Regional de Córdoba. En línea: <https://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/fundamentosdeacustica-yelectroacustica/pub/file/FAYE0311E1-Bongiovanni-Cascino-Sanso.pdf>

Cartonlab (2021). *Tipos de cartón y cómo diseñar con ellos*. Cultura del Cartón. En línea: <https://cartonlab.com/blog/tipos-de-carton-aplicaciones/>

Centro de comercio internacional (1993). *Embalaje para la exportación*. UNCTAD/GATT N° 13

Chaine Forastiero, E. Coello Baptista, V. y Murrú Dupin, A. (2010). *El sector de producción de cartón en el Uruguay : análisis estratégico a partir del año 2000*. Monografía de grado. Universidad de la República (Uruguay): Facultad de Ciencias Económicas y de Administración.

Cortina, A. (2003). *Por una ética del consumo*. España: Taurus.

Cortina, A. (1997). *Ciudadanos del mundo: hacia una teoría de la ciudadanía*. España: Alianza.

Cruz, P. (2017). *Las prácticas de los egresados del CDI y la EUCD en trayectos de formación : una mirada desde la perspectiva del desarrollo humano y la inclusión social*. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay), Comisión Sectorial de Enseñanza.

Cyecsa (2018). *Principios básicos del empaque corrugado*. <https://fdocuments.ec/do->

[cument/principios-basicos-del-empaque-corrugado-papel-de-pino-o-papel-reciclado-el.html](https://fdocuments.ec/document/principios-basicos-del-empaque-corrugado-papel-de-pino-o-papel-reciclado-el.html)

El Observador (2018). *Buscando un nuevo destino para toneladas de papel*. 5 de abril de 2018. En línea: <https://www.elobservador.com.uy/nota/buscando-un-nuevo-destino-para-toneladas-de-papel-201845400>

El País (2019). *El gobierno y privados marcan la agenda trabajando en economía circular*. Noticia del 27/10/19. En línea: <http://www.elpais.com.uy/informacion>

Huerta, O. (s.f.). *Generación de residuos, Impacto ambiental y posibles aportes desde el Diseño*. Revista Diseño.

International Acoustic (2008). *Confort acústico y tiempo de reverberación óptimo*. En línea: <http://www.internationalacoustic.com/es/confort-acustico-y-tiempo-de-reverberacion-optimo/>

Loschiavo dos Santo, M. C. (s.f.). *La basura de unos es el capital de otros: Reflexiones sobre los desplazados, los sin hogar y la recolección de materiales reciclables*. Revista Diseño.

Manzini, E. (2015). *Cuando todos diseñan. Una introducción al diseño para la innovación social*. España. Experimenta Theoria.

Matras, J. J. (1988). *Intensidad de un sonido puro. El Sonido*. Buenos Aires: Ediciones Orbis S.A.

Miraya, F. (2000). *Acústica y sistemas de sonido*. Rosario: UNR Editora, Editorial de la Universidad Nacional de Rosario.

Munari, B.(1983). *¿Cómo nacen los objetos? Apuntes para una metodología proyectual*. Lugar: Editorial Gustavo Gili S.A.

MVOTMA y Sistema Nacional Ambiental (2019). *Plan Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible*. Montevideo: MVOTMA.

Presidencia de la República (2019a). *Plan Nacional de Acción de Economía Circular busca diseñar políticas para alcanzar un*

desarrollo sostenible. Noticias 02/09/2019. En línea: <https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/plan-nacional-de-accion-de-economia-circular-busca-disenar-politicas-publicas-en-la-materia>

Presidencia de la República (2019b). *Transforma Uruguay. Plan de Acción en Economía Circular. Uruguay*: Presidencia de la República.

Prieto-Sandoval, V., Jaca, C. y Ormazabal, M. (2017). *Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación*. Memoria Investigaciones en Ingeniería, núm. 15 (2017) ISSN 2301-1092 • ISSN (en línea) 2301-1106

RETEMA. Red Temática de Medio Ambiente. Uruguay: Udelar. En línea: <https://udelar.edu.uy/retema/>

Rodríguez, M.(2018). *Construcción y medida de un difusor QRD en cámara semi-anecoica*. España: Universidad de Vigo.

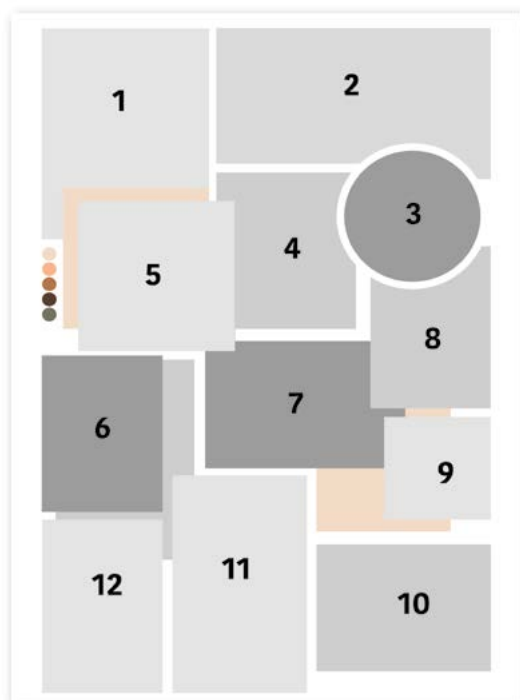
Salinas, J (s.f.). *Acústica Arquitectónica. Procesos Constructivos Nivel III*. Lugar: editorial.<https://docplayer.es/10588315-Acustica-arquitectonica.html>

Vargas, D. (s/f). *Estudio y diseño de elementos acústicos para proporcionar una acústica variable en una sala multifuncional*. Escuela técnica superior de ingeniería y sistemas de telecomunicación. España: En línea: http://oa.upm.es/41396/3/TFG_DELICIA_VARGAS_PINTO.pdf

Lista de figuras

Todas las ilustraciones fueron redibujadas y cuentan con su fuente. Las fotografías, salvo aquellas que llevan pie con © son de propia autoría.

Moodboard



1- Ceiling Design, House Building. Recuperado de <https://www.pinterest.es/pin/69102175519144053/>

2 - Occi Olachea (2014). *20 muestras de arte realizadas con simple papel*. Recuperado de <https://www.paredro.com/20-muestras-de-arte-realizado-con-simple-papel/>

3 - Copper industrial Design. www.designadicts.com.au. Recuperado de <https://www.pinterest.es/pin/69102175519144068/>

4 -Cardboard-Natural and Human Systems Weblog (2008). Recueprado de <https://squiogue.wordpress.com/2008/09/30/cardboard/amp/>

5 - Lámpara colgante Estilo Vintage Rural. Aliexpress.com. Recuperado de <https://es.aliexpress.com/item/32716873152.html>

6 - Hell of the North by SMLWRD (2012). Contemporist. Recuperado de https://www.contemporist.com/hell-of-the-north-by-smlwrld/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_cam-

paig=Feed%3A+contemporist+%28CONTEMPO-
RIST%29&utm_content=Netvibes

7 - Large Wooden Wall Art, Parametric Sculpture, Wood Sculpture, Modern Art, Abstract Art. Recuperado de https://www.etsy.com/es/listing/552236897/large-wooden-wall-art-parametric?ref=unav_listing-other-1&epik=dj0yJnU9a-jBfR0FBS1EyNHFFV0hSSHM4ZTN2Vm1iMy1lZlJ1RlEmcD0wJm49ME1OV2ZJRDA5Ymh3NVU0SFV-qYm5SQSZ0PUFBQUFBROVOBHVB

8- Alison Furuto (2012). Resonant Chamber. Recuperado de <https://www.archdaily.com/227233/resonant-chamber-rvtr>

9 - Parametric Wall. SAOM. Recuperado de <https://www.etsy.com/uk/ShreeARTInterio/listing/784569831/parametric-wall-14-uni->

que-decorative?utm_campaign=Share&utm_medium=social_organic&utm_source=DSMT2&utm_term=so.smt&share_time=1583501845000

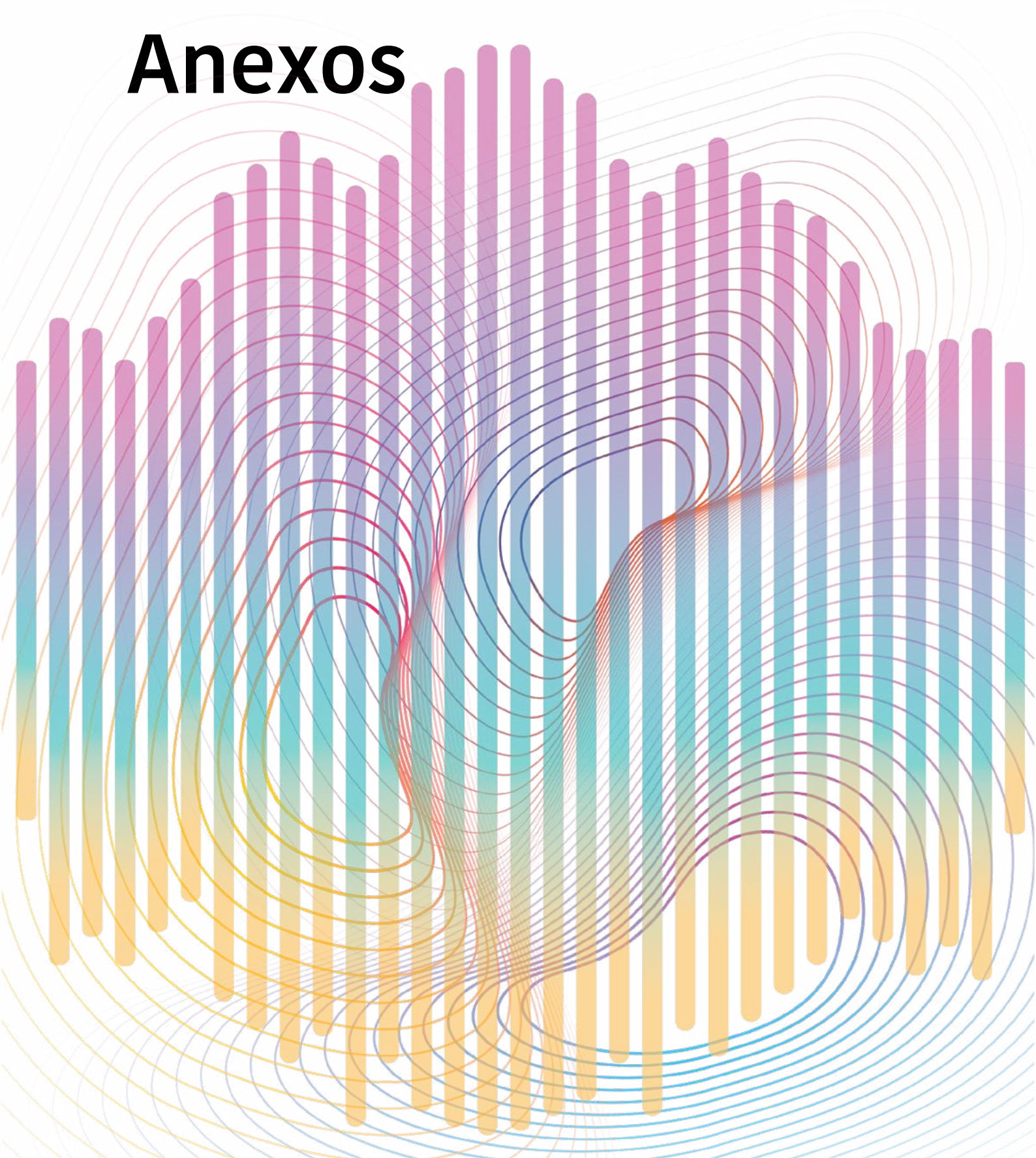
10 - softwall skærmvægge - design, akustik og fleksibilitet. Grape. Recuperado de <https://grape-design.dk/?Page=serve&PageNumber=49&AbstractProductsNumber=5>

11 - Karina Dueque (2014). Archivo: Madera en Interiores. Recuperado de <https://www.plata-formaarquitectura.cl/cl/623535/archivo-madera-en-interiores>

12 - Magaly (2014). The Wondrous Work of Marie-José Gustave. Recuperado de <https://www.homedsgn.com/2014/01/27/the-wondrous-work-of-marie-jose-gustave/>

6

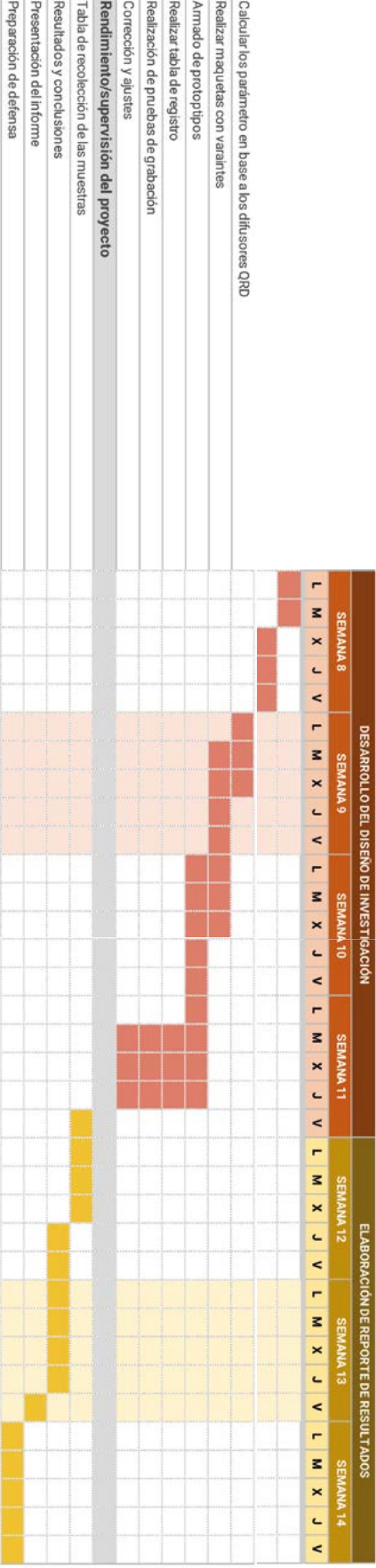
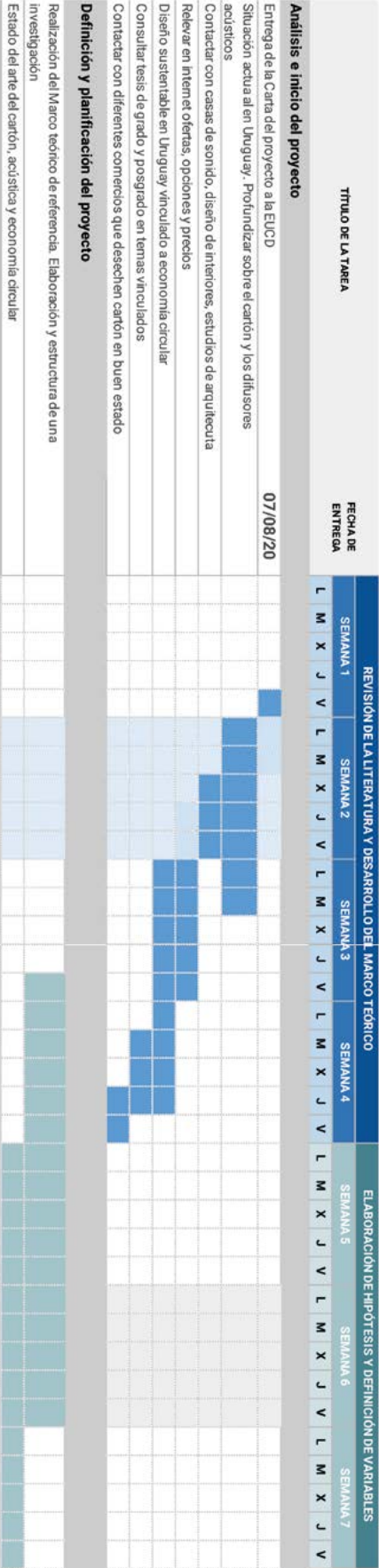
Anexos



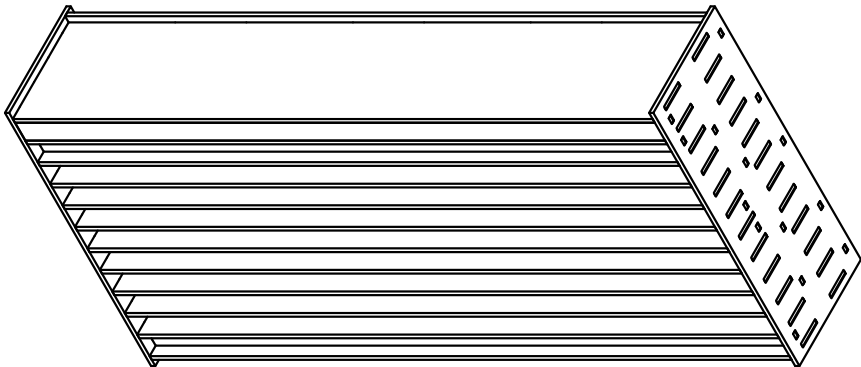
Gantt inicial

Diagrama de Gantt

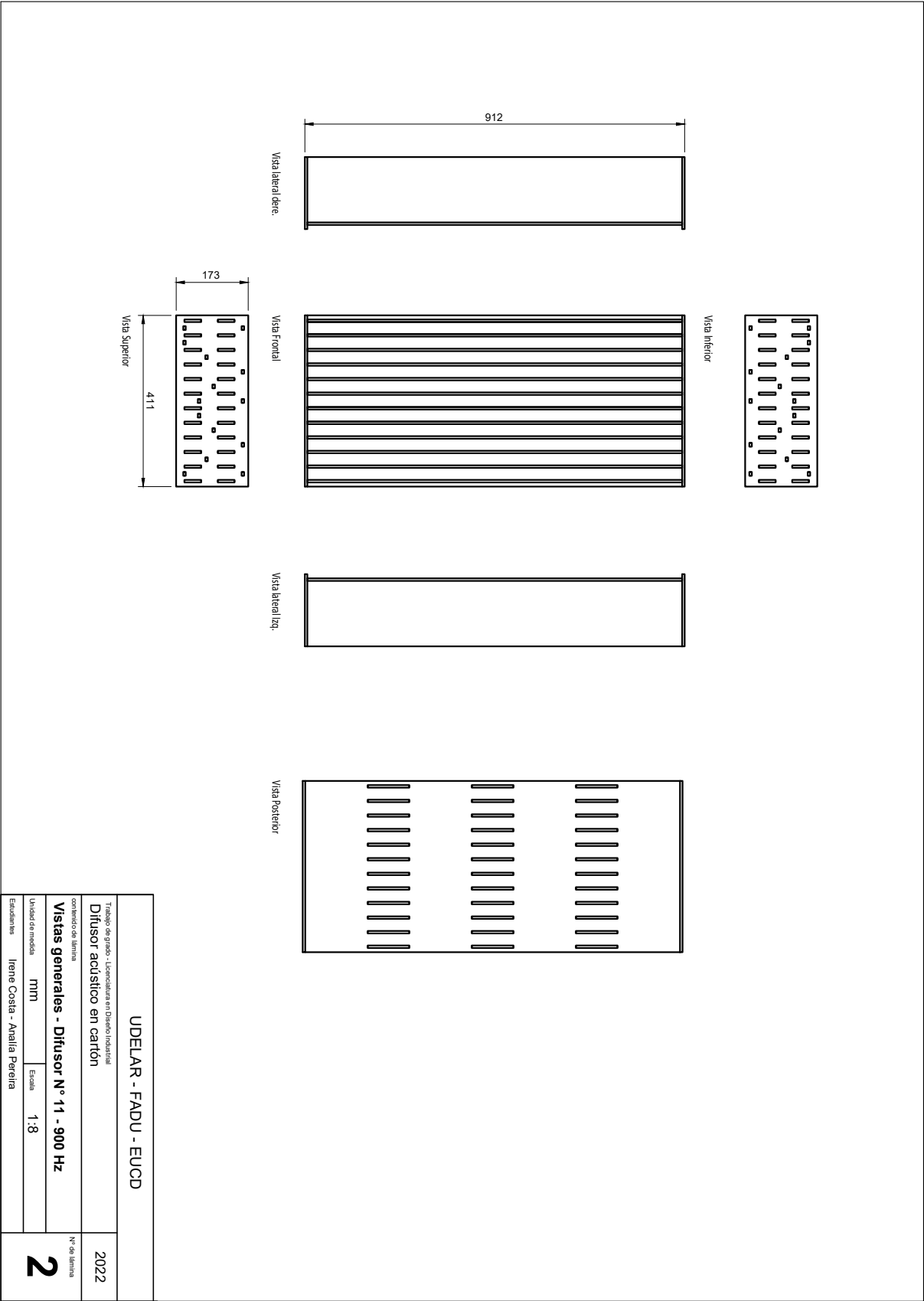
TÍTULO DEL PROYECTO	Comportamiento del cartón corrugado como difusor acústico	ESTUDIANTES	IRENE COSTA - ANALLA PEREIRA
RESPONSABLE DEL PROYECTO	Docente Alejandra Martínez	FECHA	07/08/20

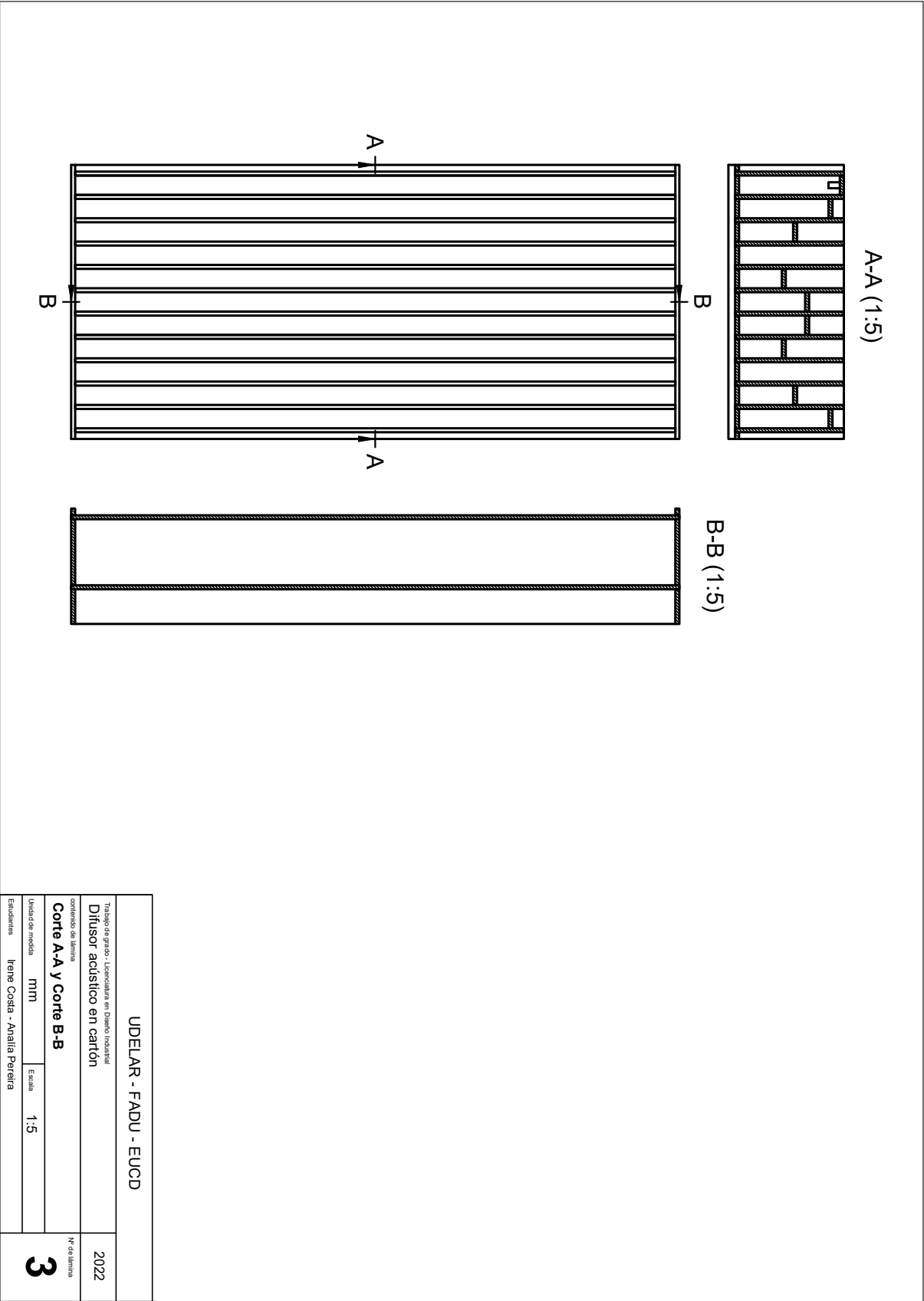


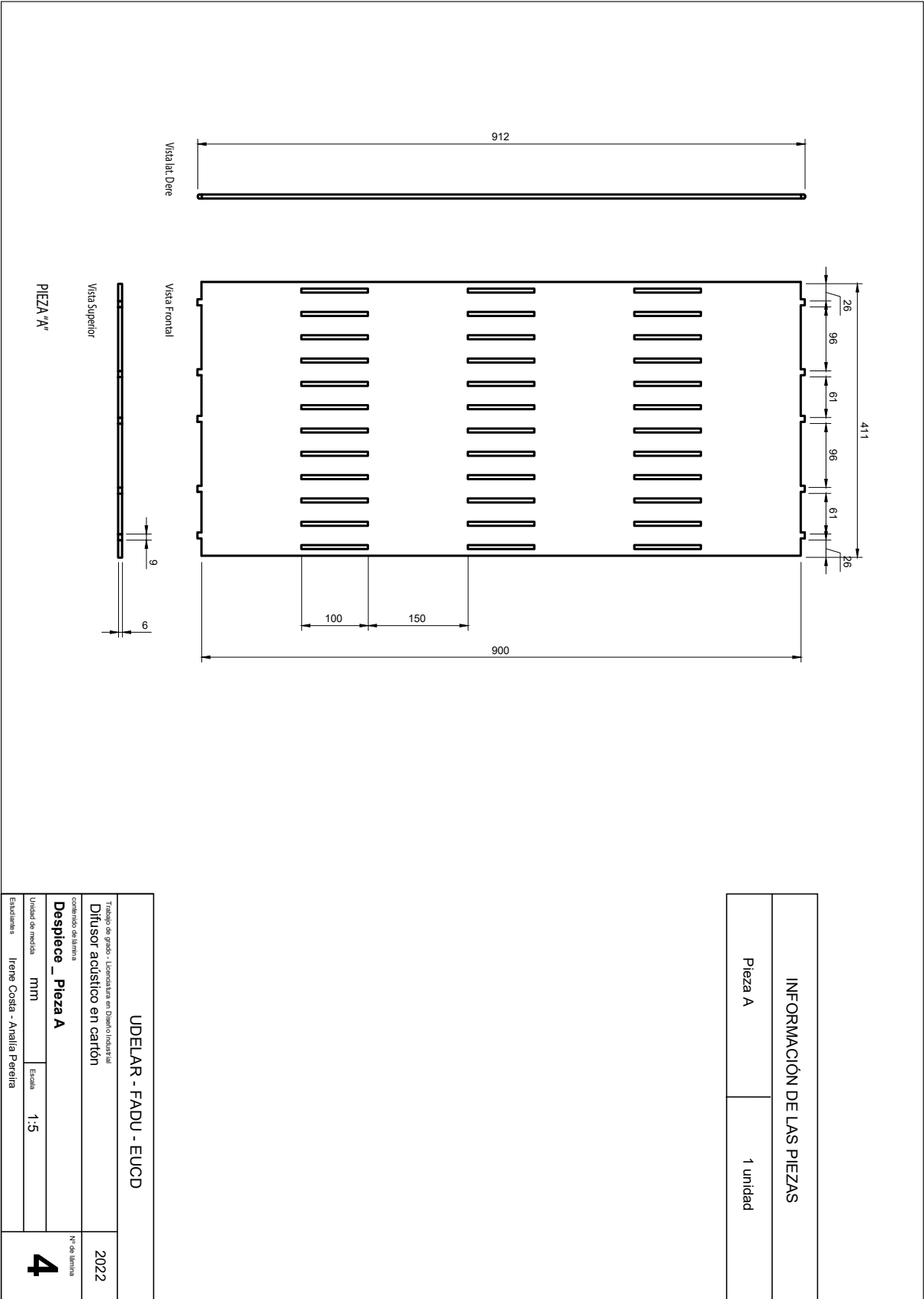
Láminas técnicas

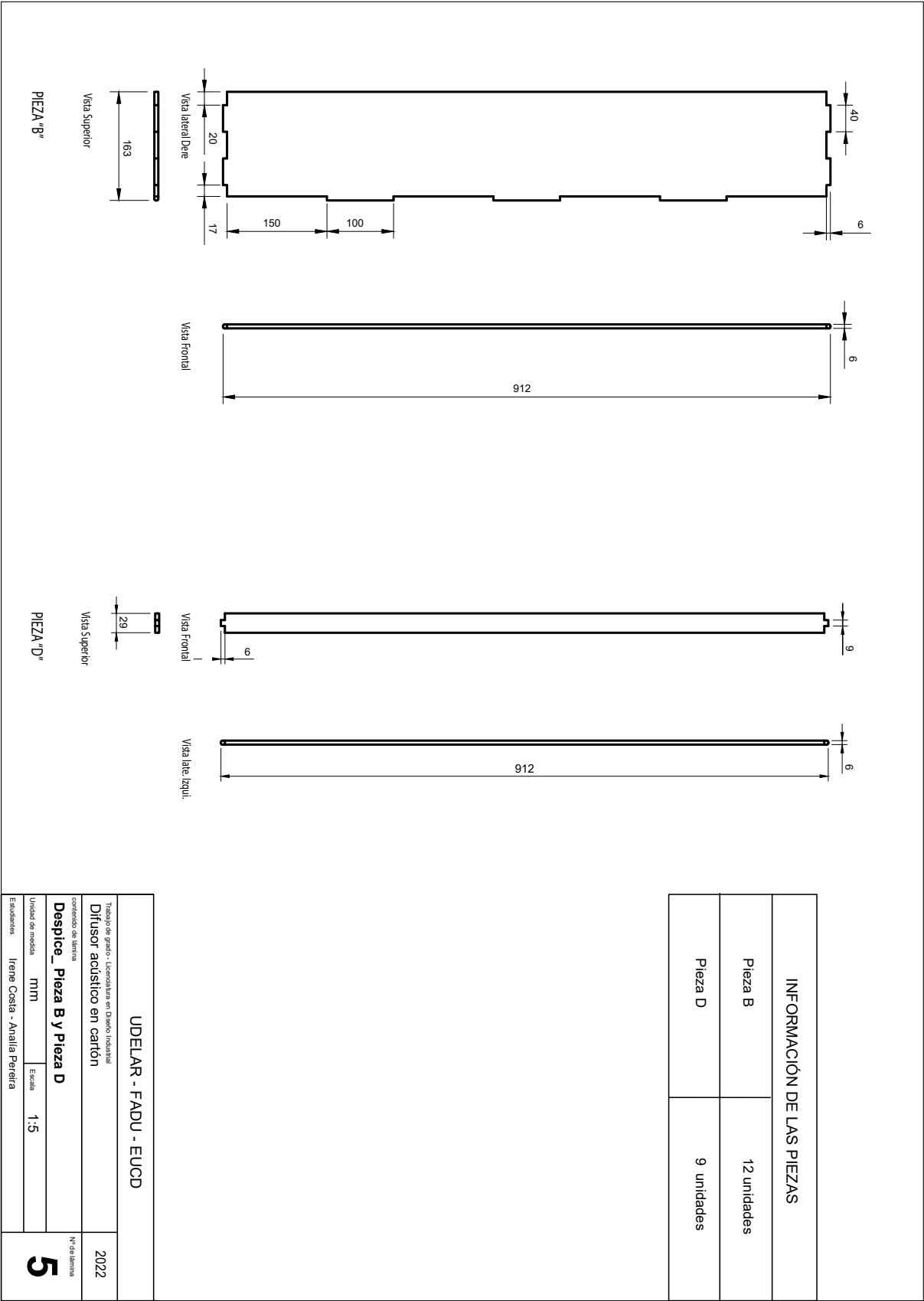


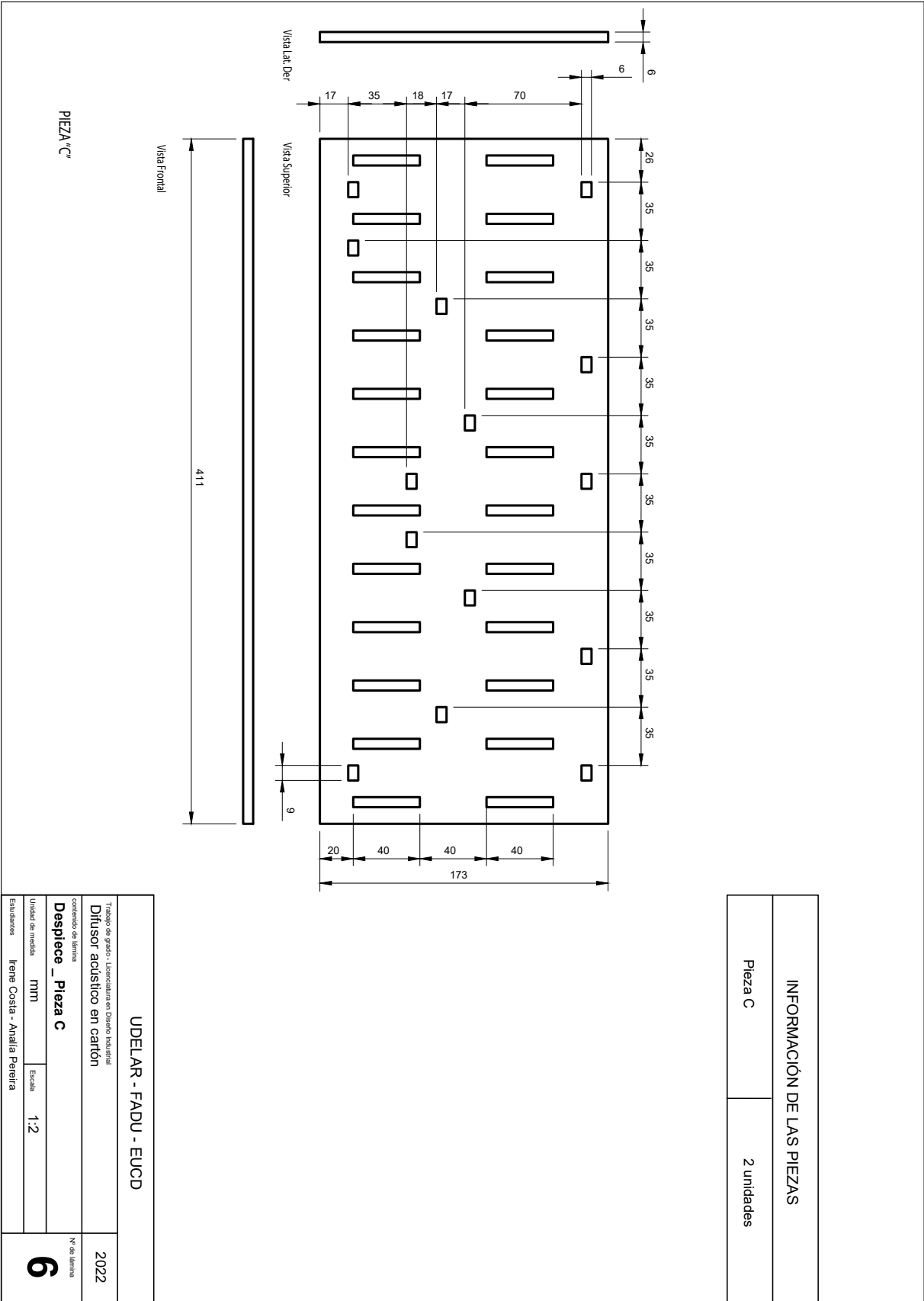
UDELAR - FADU - EUCD				N° de lámina 1
Trabajo de grado - Licenciatura en Diseño Industrial				
Difusor acústico en cartón				
contenido de lámina				
Perspectiva general - Difusor N° 11 - 900 Hz				
Unidad de medida	mm	Escala	1:5	
Estudiantes	Irene Costa - Analia Pereira			

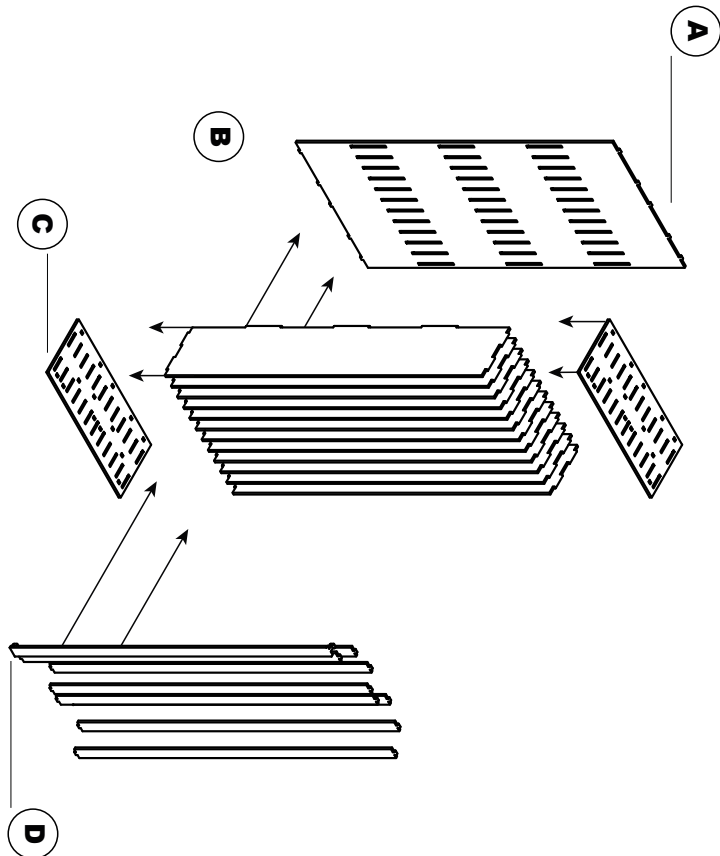






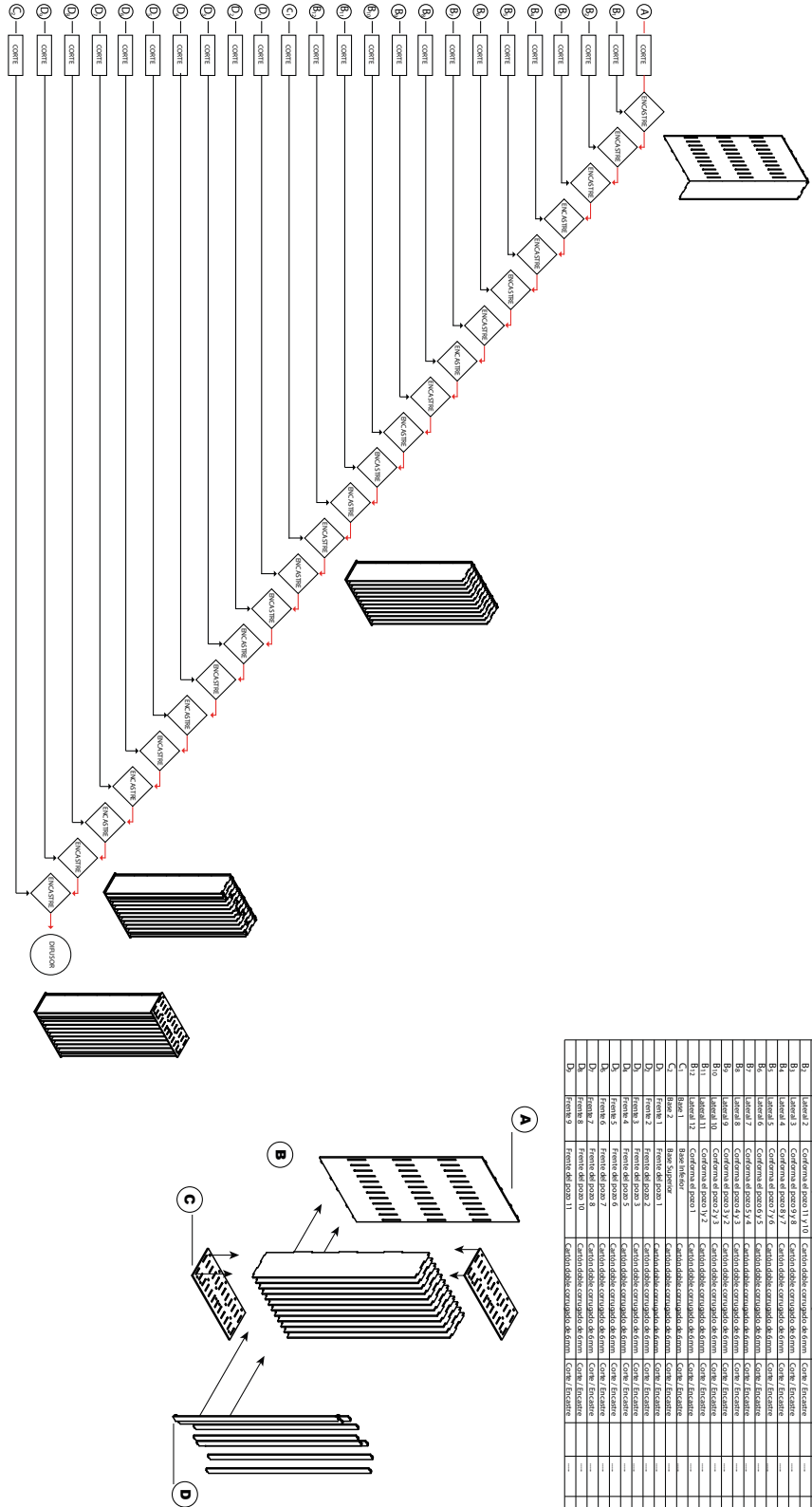






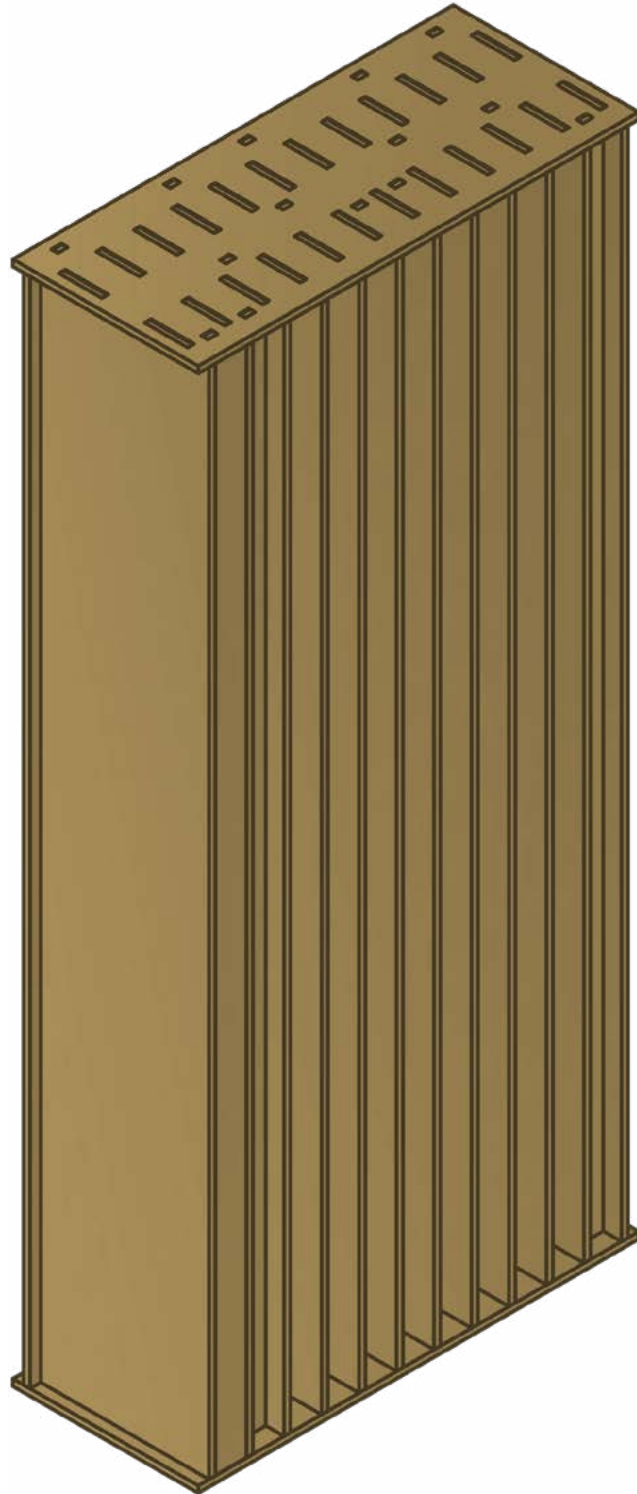
INFORMACIÓN DE LAS PIEZAS		
Letra de Pieza	Cantidades	Función
Pieza A	1	Fondo
Pieza B	12	Laterales
Pieza C	2	Base Inf. y Sup
Pieza D	9	Frentes

UDELAR - FADU - EUUCD	
Trabajo de grado - Licenciatura en Derecho Penal Difusor acústico en cartón	2022
contenido de lámina Explotada - Difusor N°11 - 900 Hz Unidad de medida mm Escala 1:10 Elaboración Ileana Costa - Analía Pereira	N° de lámina 7

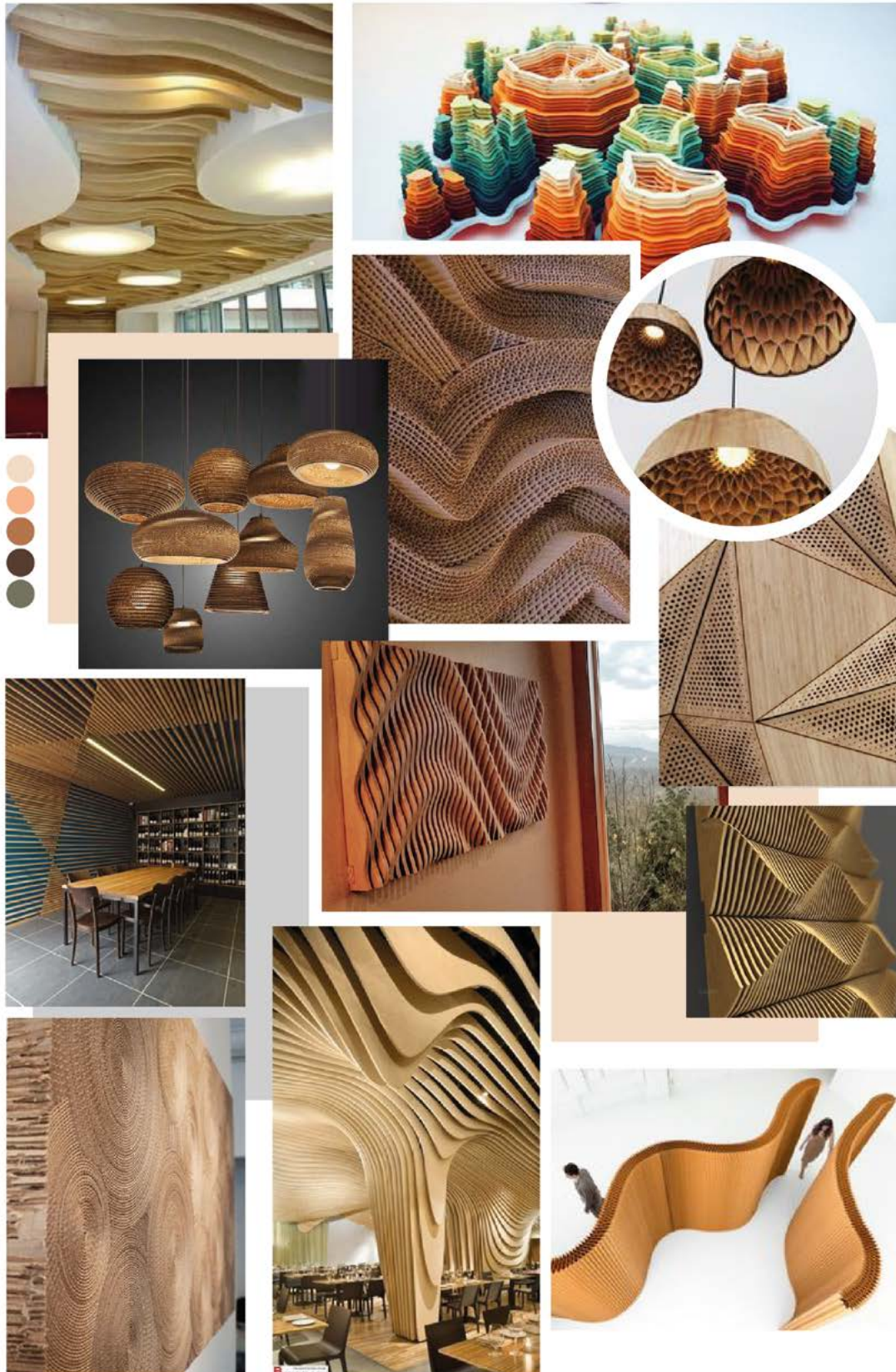
[illegible]

Perspectiva isométrica

(900Hz - N11)



Moodboard_ Inspiración



Estado del arte - Difusores acústicos

“En los auditorios clásicos los propios elementos estructurales o decorativos (columnas, molduras, artesonados, figuras, etc.) han funcionado en muchas ocasiones, consciente o inconscientemente, como elementos difusores eficaces. En épocas más recientes, los criterios económicos y estéticos han hecho desaparecer este tipo de elementos, por lo que debe recurrirse a otros tipos de estrategias como la instalación de dispositivos difusores” (Avilés y Perera, p.541)

Ofertas de difusores en Uruguay

Los técnicos en sonido consultados coincidieron en que lo más usual es fabricarse los propios difusores acorde a sus necesidades o importar.

En el mercado uruguayo encontramos solo dos empresas que venden difusores acústicos y no necesariamente son similares a los propuestos en cartón.

Sámago, representa a los brasileños de Valchromat by Investwood ofreciendo paneles acústicos decorativos.

Acústicos Prats, ofrece distintos tipos de trampa de graves , paneles y difusores acústicos. Se realizan a medida y cuenta con distintos diseños.

Contactamos a algunos profesionales en sonido, diseño y arquitectura, con el fin de saber sobre el Estado del arte de los difusores, de manera de obtener una idea de lo ya existente y las necesidades del público interesado. Más allá de no tener un fin comercial esta investigación, nos llevó a realizarnos las siguientes preguntas.

¿Qué nos interesa saber de lo que ya existe?

¿Qué hay en venta?

¿Qué es lo que se suele usar?

¿Qué costo tiene?

¿Qué hay que considerar a la hora de elegir o definir un difusor?

Pro y contras de lo existente

Experiencias profesionales

¿La universidad que tanto investiga?

Como ciudadanos, ¿notan que en los lugares hay mala acústica?

¿Como les resulta el cartón como material acústico?

¿Cual creen que es el público actual?

¿Les causa algún tipo de problema los productos que utilizan?

Cuestionarios y contactos

FÁBRICAS DE CARTÓN

Las fábricas de cartón consultadas fueron Pamer, Ciscssa y Myrbox. Recibimos respuesta y total disposición únicamente de Pamer.

¿El cartón que comercializan es hecho 100% en Uruguay? - Si. El cartón corrugado por Pamer es fabricado 100% en Uruguay. Para ello utilizamos papeles nacionales reciclados fabricados en nuestra Fábrica de Papel (80% aprox.) y papeles importados de fibra virgen (20% aprox.)

¿Existen planchas de cartones importados? - Existe en Uruguay cartón corrugado que se importa a fabricantes del exterior (Argentina y Brasil), nuestra competencia. El cartón corrugado fabricado en Pamer es Nacional.

¿Tienen deshechos en sus producciones? Si, tenemos desperdicio como en la mayoría de los procesos productivos. ¿Qué pasa con eso? ¿Lo reutilizan? Los desperdicios de cartón, recortes, cartón no conforme, etc son consumidos en nuestra Fábrica de Papel. Es decir son reciclados para fabricar papel.

¿Son parte de algún tipo de economía circular donde reciban cartones usados para reutilizar? ¿O conocen alguna? Se podría decir que si, ya que Pamer compra la materia prima para su Fábrica de Papel a depósitos en todo el país que se abastecen, en parte, de cartón en desuso recogido por clasificadores, etc.

PROFESIONALES EN SONIDO

Como profesionales del sonido le realizamos el cuestionario al Ing. en sonido Mateo Gargiulo , Tec. en Sonido, Nicolás Pantz (Responsable del estudio donde llevamos a cabo los ensayos), Mauricio Tort, Nicolás Díaz , Lucas Cary.

· NARANJA- CARY

- ¿Consideras que en Uruguay hay una preocupación por el acondicionamiento acústico? ¿Existe una preocupación por parte quién?

Con respecto a la primera pregunta de si considero que en Uruguay hay una preocupación por el acondicionamiento acústico, creo que en el ámbito que yo me muevo, en el ámbito de la música y del acondicionamiento audiovisual, creo que si hay preocupación por eso, pero... digamos ya qué estamos hablando de estudios de grabación profesionales o estudios de nivel avanzado.

Esta es mi experiencia. Para grabar mis discos, use colchones por ejemplo, porque no tenía plata como para ponerme a comprar o armar materiales para hacer un tratamiento bueno, digamos... Entonces lo que usaba eran los colchones que absorbían un montón... Y por lo que las grabaciones me quedaban bastante secas, digamos, con poca reverberación y rendía mucho cuando hacíamos la coproducción.

- ¿Qué existe en Uruguay como difusores acústicos? ¿De qué materiales suelen ser? ¿Qué costos suelen tener (rango +/-)?

Con respecto a qué que existe en Uruguay cómo difusores acústicos, no se muy bien sin son difusores, creo que son paneles, paneles de difusores sí, que adentro tienen lana de roca. Yo justo ahora, que estoy por mudarme, estoy viendo para comprar y los que vi, salen \$1.500 el panel. No me acuerdo bien las dimensiones. Esos son los que más se usan, creo. Esos los vi en un local que se dedican a eso, y después hay otros que son de zone o algo así, que se utilizan bastantes, también, eso es lo poco que yo se.

- ¿Consideras que el cartón puede ser un material de acondicionamiento acústico?

En cuanto a sí consideró al cartón como un material que pueda servir como acondicionamiento acústico no tengo ni idea. Podría decirte que sí o que no, pero sería hablar sobre algo que no sé. Lo que sí sé y que me ha servido mucho, para mejorar el sonido de los espacios es colocar más objetos, más cosas. No es ninguna novedad, ¿no? Colocar muebles, libros, cosas así. Es como que mejora mucho el sonido, supongo qué es porque no tiene tantas superficies planas para rebotar, no se bien, y al ser la superficie más irregular el sonido mejora, pero con el cartón ni idea.

- ¿Para realizar un ensayo, que parámetros tomarías en cuenta?

Cuando te referís a realizar un ensayo, no sé si te referís a un ensayo de música para ensayar con bandas, no sé si te referís a eso, pero bueno... nosotros con el grupo estuvimos armando una sala de ensayo junto a otras bandas. Y tenemos un ensayo en común que lo usamos para ensayar y que ha mejorado un montón la acústica de ese lugar. Cuando empezamos a ir sonaba horrible porque era un cuarto que no tenía nada, lo primero que hicimos fue colocar una alfombra y luego pusimos algunos paneles de lana de roca que los hizo otro de los grises y así lo fuimos mejorando y hoy en día suena, la verdad que suena muy bien el lugar, por lo menos para lo que nosotros necesitamos. También lo otro que tuvimos que hacer fue cambiar una puerta para que aisle el sonido, digamos, porque se salía mucho sonido por ella, esos fueron los cambios que hicimos, no sé si te referías a eso con la pregunta.

- ¿Qué características debe cumplir un difusor para considerarlo como producto de calidad?

Y luego en cuanto a que características debería cumplir un difusor para considerarlo como un producto de calidad no tengo ni idea porque no es algo de lo que haya estudiado ni nada de eso.

·MATEO GARGIULO

- ¿Consideras que en Uruguay hay una preocupación por el acondicionamiento acústico?

En realidad no mucha, y sobre todo por el Confort acústico. Lo que sí genera algo de preocupación es la aislación, porque hay legislación y puede traer problemas con terceros.

- ¿Existe una preocupación por parte quién?

Sobre todo por espacios de espectáculo y recreación, aunque hay particulares que tienen

problemas con vecinos que consultan por asesoramiento, siempre en el área de la aislación. Acondicionamiento he hecho solo en estudios y Algún *call center*.

- ¿Qué existe en Uruguay como difusores acústicos?

No se venden difusores industrializados. Se arman a medida para los proyectos.

- ¿De qué materiales suelen ser?

Madera, plástico, espuma plást.

- ¿Qué costos suelen tener (rango +/-)?

Los más económicos son espuma plast y cuestan en Europa entres 50 y 70 euros los de 0,6x0,6 m

- ¿Consideras que el cartón puede ser un material de acondicionamiento acústico?

Depende como definas acondicionamiento, el cartón puede llegar a servir tanto como abostor como difusor, no depende del material si no de la formas, dimensiones y de la frecuencia.

- ¿Para realizar un ensayo, que parámetros tomarías en cuenta?

Lo relevante en el difusor es la frecuencia que es capaz de reflejar y el patrón de dispersión que se logra.

Eso es lo que tenes que medir, el patrón de dispersión dependiendo de la frecuencia.

- ¿Qué características debe cumplir un difusor para considerarlo como producto de calidad?

Un difusor para que sea un producto de calidad y que se diferencie de cualquier superficie irregular.

Debe ser estético, liviano, que no se rompa fácilmente ni que se deteriore con el tiempo y con un patrón de dispersión conocido y simétrico y con un ancho de banda amplio.

PROFESIONALES UDELAR

Nos interesaba tener la voz de la Udelar, que distintos profesionales nos aporten alguna experiencia o referencia sobre el tema. Así que contactamos a distitnos docentes de la EUCD, FADU y FING.

Por la EUCD Horacio Dardanelli, nos realizo algunos comentarios sobre su experiencia en el trabajo con cartón y donde recabar infromación.

En FADU nos contactamos con el Área de Acondicionamiento acústico, intentamos por distntos medios, pero no logramos una respuesta.

En FING nos contactamos con Alice Elizabeth González, con quien tuvimos una video llamada super enriquecedora, donde nos marcó ciertas pautas de como realizar los ensayos y la total confianza en que el cartón iba a funcionar como difusor, también se habló de la

posibilidad de realizar en FING las pruebas con cartón, teniendo a disposición materiales. Lamentablemente, luego de esa conversación no logramos volver a contactarla.

También fueron consultadas tesis relacionadas a la temática elegida en EUCD:

Paneles para absorción acústica con desechos textiles. Lucía Delgado Pérez. Agosto 2017

SONORICA. Sistema cerámico de sonido. Sebastián Cabrera / Federico Vaz. Diciembre 2013