



## **FACULTAD DE ARTES Y CIENCIAS**

Licenciatura en Imagen y Sonido

*Tratamiento acústico de la sala viva en estudio de grabación  
"El Cerro". Salta, Capital.*

---

Vivas Ramón

2021

# AUTORIDADES

## **GRAN CANCELLER**

S.E.R Mons. Mario Antonio Carnignello Arzobispo de Salta

## **RECTOR**

Ing. Rodolfo Gallo Cornejo

## **VICERRECTORA ACADEMICA**

Mg. Constanza Diedrich

## **DECANA DE LA FACULTAD DE ARTES Y CIENCIAS**

Lic. María Dolores Medina Bouquet

## **SECRETARIA ACADEMICA**

Dra. Adriana Iburguren

## **JEFA DEL DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES SOCIALES**

Lic. Laura Copa Torres

## **JEFE DE LAS CARRERAS COM. SOC. Y PUBLICIDAD**

Lic. Javier Tolaba

# DEDICATORIA

Agradecer profundamente y en primer lugar a mis padres, que me dieron la posibilidad de optar por educación superior. Por su apoyo incondicional, siempre alentándome a mejorar y confiar en mí. También mis amigos, que siempre se preocuparon, me brindaron su ayuda y aliento para concretar este proyecto.

A todos los familiares que siempre preguntaban por mi situación académica demostrando su preocupación y ayudando cuando fue necesario.

Agradecer a mi director de tesis, Lic. José Saavedra por su gran predisposición, dedicación de tiempo y paciencia para resolver mis dudas durante todo el proceso de la tesis.

Finalmente agradecer a mi tribunal evaluador, por ayudarme con mis dudas e inquietudes.

# RESÚMEN

El tratamiento acústico para salas de grabación, en muchas ocasiones no es llevado a cabo debidamente.

En este proyecto se desarrollará un tratamiento acústico variable que introduce paneles movibles dentro de la sala de grabación en “El Cerro” estudio, con el fin de reducir la reverberación de la sala y de esta forma obtener un mejor procesamiento posterior de las tomas (grabaciones), así también como mejorar la escucha dentro del recinto.

Se utilizarán diferentes herramientas, técnicas, mediciones y cálculos, con el fin de cumplir con los objetivos establecidos.

---

### ***Palabras claves***

Acústica / sonido / reverberación / diseño acústico / paneles acústicos / lana de vidrio / sala viva.

**ABSTRACT**

The acoustic treatment for recording rooms, in many occasions is not carried out properly.

In this project, a variable acoustic treatment will be developed by introducing movable panels inside the recording room in “El Cerro” studio, in order to reduce the reverberation of the room and thus obtain a better post-processing of the audio takes (recordings), as well as improving listening within the room.

Different tools, techniques, measurements and calculations will be used in order to meet the established objectives.

---

***Key words***

Acoustics / sound / reverberation / acoustic design / acoustic panels / glass wool / recording room.

**ÍNDICE**

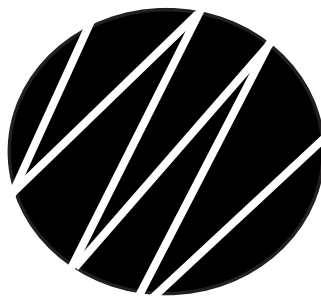
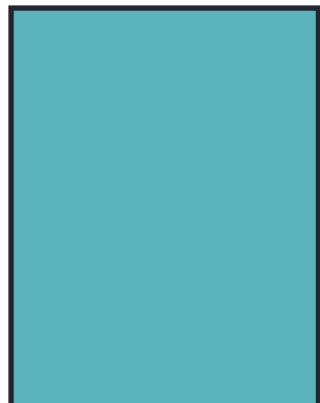
<b><i>I – INTRODUCCIÓN</i></b>	8
<b><i>II – METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN</i></b>	11
• Tema	12
• Proyecto	12
• Objetivos	14
• Estados del arte	15
• Hipótesis	21
• Marco metodológico	22
<b><i>III – MARCO TEÓRICO</i></b>	27
• Acústica	28
• Principios básicos del sonido	28
• Generación y propagación del sonido	29
• Frecuencia del sonido	29
• Espectro frecuencial	30
• Velocidad de propagación del sonido	30
• Longitud de onda del sonido	31
• Nivel de presión sonora (SPL)	33
• Intensidad sonora	36
• Percepción del sonido	37

# ÍNDICE

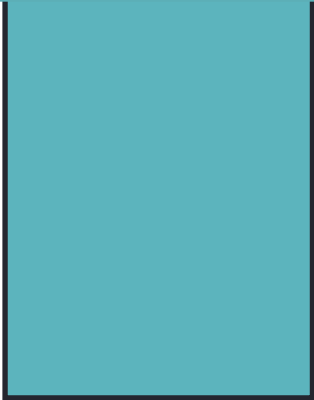
• Enmascaramiento sonoro	41
• Inteligibilidad de la palabra	43
• Acústica geométrica	44
• Acústica estadística	47
• Acústica arquitectónica - Tiempo de reverberación	50
• Materiales y elementos utilizados en el acondicionamiento acústico de recintos	51
• Absorción del sonido	52
• Absorción del aire	53
• Absorción de superficies vibrantes	54
• Materiales absorbentes	55
• Variación de la absorción en función del espesor y porosidad del material	57
<b>IV – RECOLECCIÓN DE DATOS</b>	59
<b>V – ANÁLISIS DE DATOS</b>	64
<b>VI – RESULTADOS</b>	70
<b>VII –CONCLUSIONES</b>	74
• Alcances y limitaciones	77

# ÍNDICE

<b>VIII –BIBLIOGRAFÍA</b>	78
<b>IX –ANEXOS</b>	80
• Comparación de formas de onda	81
• Resultados	86
• Fotografías	87



# INTRODUCCIÓN



Siempre que escuchamos alguna canción o disco de nuestro género preferido pensamos en lo bien que suenan y nos remitimos automáticamente a la buena ejecución vocal o instrumental de los músicos. Si bien esto es verdad, ya que una persona que recién aprende a cantar o tocar un instrumento, definitivamente no va a sonar mejor que una grabación realizada por vocalistas o músicos profesionales que han estudiado por años; existen otros factores a tener en cuenta como el equipamiento tecnológico de la sala: micrófonos, computadoras, placas de audio, cables, ecualizadores, compresores, etc.; el diseño acústico del recinto (para lograr una sonoridad diferente y una buena escucha por parte de los músicos dentro de la sala) y también factores netamente artísticos que se verán reflejados en el producto final, por ejemplo la energía y emoción plasmada de un músico al momento de la grabación.

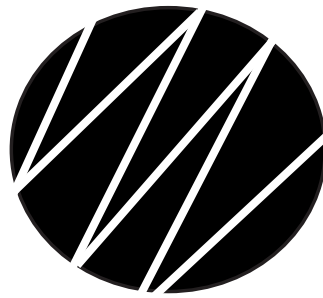
El estudio y diseño acústico de espacios arquitectónicos es una ciencia que se lleva a cabo desde hace varios años alrededor del mundo donde se intenta explicar el comportamiento del sonido dentro de un recinto.

Salas emblemáticas como “Abbey Road” (1931, London, UK.) famosa por grabaciones de artistas como The Beatles, Michael Jackson, Freddie Mercury, Stevie Wonder entre otros, cuentan con diseños y tratamientos acústicos para sus diferentes salas. Haciendo una bajada regional, estudios como “Panda” (1980, Buenos Aires, Argentina) o Romaphonic (CABA, Buenos Aires, Argentina) donde grabaron artistas como Gustavo Cerati, Charly Garcia, Pedro Aznar, Luis A. Spinetta, entre otros, también cuentan con estudios y diseños acústicos específicos para sus diferentes salas, de esta forma logran una acústica y sonoridad por la que estos artistas optan.

Muchos músicos al momento de recurrir a una sala de grabación para plasmar su arte, se dan con la situación que al grabar sus voces o instrumentos no encuentran el sonido esperado. Aún así, diferentes estudios de grabación ubicados en la provincia de Salta, Argentina, no cuentan con el debido tratamiento acústico adaptado para las circunstancias.

El espacio elegido es “El Cerro” estudio de grabación, ubicado en Salta, Argentina se caracteriza por su excelencia brindada desde 1995, grabando una gran variedad de géneros y artistas salteños, como Los Nocheros, Los Huayra, Chinato Torres, entre otros. Con el pasar del tiempo “El Cerro” decidió ampliar su infraestructura mudándose a un nuevo espacio.

En el siguiente proyecto se llevará a cabo un diseño acústico, implementando paneles de lana de vidrio para la sala de grabación “A” de “El Cerro” estudio, donde se manipulará el tiempo de reverberación con el objetivo de obtener un procesamiento más óptimo de las señales de audio, como así también mejorar la inteligibilidad y claridad sonora para los músicos dentro del recinto.



# **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

**II.**

## ***Tema***

Tratamiento acústico de la sala viva en estudio de grabación “El Cerro”. Salta Capital.

## ***Proyecto***

Diseño y ejecución de un tratamiento acústico variable para optimizar el proceso de grabación.

Como se sabe, no todos los instrumentos musicales tienen la misma sonoridad, matiz, color e intensidad. Se opta por realizar el siguiente proyecto debido a que constantemente la gran mayoría de los estudios de grabación de Salta, sobre todo en salas vivas (donde los músicos tocan sus instrumentos para ser grabados) no existe una forma correcta de tratamiento acústico dado para cada instrumento, es decir, que una batería no va a sonar de la misma forma que una guitarra, bajo o una voz.

Se pudo apreciar desde un principio que la respuesta acústica del recinto no sería adecuada debido a sus grandes dimensiones y tipos de materiales que abarcan las superficies, tales como la placa de yeso (durlock).

Es por esto que se optará solo por calcular el tiempo de reverberación de la sala para realizar el diseño acústico y lograr la forma óptima de sonoridad para cada instrumento e inteligibilidad de la voz. Se utilizarán paneles acústicos de lana de vidrio, llevando a la práctica los cálculos y mediciones para solucionar el problema de acústica en el recinto.

## ***Responsables***

Las actividades anteriormente mencionadas serán llevadas a cabo por el estudiante de la Lic. en Imagen y Sonido, Ramón Vivas y la supervisión del director de tesis Lic. José Alberto Saavedra Arce.

## ***Presupuesto***

Todos los materiales, tanto herramientas (clavos, tornillos, pinzas, etc.) como lana de vidrio para la construcción de paneles acústicos móviles, serán provistos por “El Cerro” estudio, de esta forma no habrá impedimento presupuestario al momento de la construcción de paneles.

<b><i>Cantidad</i></b>	<b><i>Material</i></b>	<b><i>Precio unitario</i></b>	<b><i>Precio total</i></b>
2	Rollo lana de vidrio Isover 21.6m <sup>2</sup> 50mm	\$ 7.630	\$15.260
15	Metro madera de pino cepillado 7x2	\$200	\$3.000
1	Pack clavos 30mm x 500u	\$250	\$250
1	Cola Vinilica Fortex A-20 x 1 Kg.	\$680	\$680
1	Pack tornillos auto-perforantes T2 x 500u	\$500	\$500
15	Tela batista x metro 100x150cm	\$280	\$4.200
			\$23.890

## ***Objetivos***

### Objetivo general

1. Reducir la reverberación de la sala viva mediante la construcción de paneles y/o resonadores, en estudio de grabación “El Cerro” para lograr un mejor procesamiento posterior de las tomas y escucha dentro de la sala.

### Objetivos específicos

1. Conocer las características acústicas de la sala viva mediante un relevamiento.
2. Estudiar y analizar el plano arquitectónico de la sala.
3. Diseñar un plan de acondicionamiento acústico para la sala.
4. Realizar la instalación del diseño acústico y corroborar su funcionamiento.

## ***Estados del arte***

Autor: Sigüero Guerra, Manuel

Título: Variables electroacústicas que influyen en la percepción de la imagen auditiva.

Fecha: 25/10/2004

Universidad: Universidad Complutense de Madrid

País: España

Link: <http://www.thesisde.org/t/variables-electroacusticas-que-influyen-/2170/>

Visado: 26/04/2018

### Resumen

En los procesos de grabación y reproducción del sonido, intervienen distintas variables que modifican la percepción de las sensaciones que capta y analiza nuestro sistema auditivo, la interrelación de componentes eléctricos con otros específicamente acústicos, determina que las imágenes auditivas percibidas se alteran en función del uso que se haga de las citadas variables. El cerebro humano no siempre interpreta la información auditiva de la forma en que los procesos y máquinas electrónicas muestran en pantalla, es decir que una fuente emisora de sonido emite vibraciones y la computadora muestra un gráfico de dicha señal, hay mucha información frecuencial (Hz) en esa señal que el oído no llega a captar a pesar que ésta físicamente existe.

### Aporte

Esta investigación nos ayuda a comprender cómo la utilización de ciertos componentes electrónicos para la grabación (placas de audio, computadoras, etc.), junto a fuentes acústicas (guitarra criolla, batería acústica, voz, etc.) pueden influir en la

percepción sonora y escucha de diferentes muestras de audio. Esto es de utilidad para mantener las muestras de audio con la mayor calidad posible.

Autor: Roger Montejano

Título: Materiales Acústicos

Fecha: 27/09/2006

Universidad: -

País: -

Link: [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36761480/28.MaterialesAcusticos.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1493781448&Signature=RARPYEv%2BYTIF2pVlzlhgLUZpoVw%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DMATERIALES\\_ACUSTICOS.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36761480/28.MaterialesAcusticos.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1493781448&Signature=RARPYEv%2BYTIF2pVlzlhgLUZpoVw%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DMATERIALES_ACUSTICOS.pdf)

Visado: 26/04/2018

## Resumen

El artículo titulado “El control de tu estudio” (ISP número 79) abordaba el tema de la acústica en recintos cerrados, para aplicarlo a la sala de control de un estudio de grabación.

Persiguiendo el objetivo de lograr un entorno de escucha fiable donde tomar decisiones precisas durante la grabación y mezcla, el artículo presenta algunos conceptos como los modos propios de un recinto, la forma de calcularlos y cómo afectan a la respuesta de una sala. No todas las salas o recintos poseen la misma sonoridad y reverberancia, eso se debe a las dimensiones y su forma.

## Aporte

Si bien el artículo habla sobre acústica en la sala de control de un estudio de grabación y no la sala viva, se mencionan materiales y su coeficiente de absorción, los cuales no quedarían descartados a la hora de aplicarlos en una sala viva, sabiendo así sus ventajas y desventajas para cada material, conociendo la respuesta en frecuencia a la que mejor actúan para así determinar las diferentes incidencias de frecuencias ocurridas por determinados instrumentos en determinados materiales acústicos.

Autor: Mora Cheza, Luis Enrique

Cevallos Villacreses, Mario

Título: Diseño de salas de locución y acondicionamiento acústico.

Fecha: 11/2010

Universidad: Escuela Politécnica Nacional

País: Ecuador

Link: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3725>

Visado: 26/04/2018

## Resumen

Aplicando los principios básicos de la acústica y la sonorización, se determinan la geometría y estructura de las salas, el cálculo de los parámetros acústicos que definen la calidad de la sonoridad y la inteligibilidad de un recinto. Es un estudio acústico, utilizando diferentes parámetros de mediciones tradicionales, para mejorar la inteligibilidad de la voz, en este caso más precisamente en una sala de locución. Se toman en cuenta las voces femeninas y masculinas, que como se sabe poseen diferentes tonalidades y frecuencias. Al quitar el ruido y la reverberación

mediante este estudio del recinto para locución, y teniendo en cuenta el espectro frecuencial de estas voces, se puede mejorar considerablemente la inteligibilidad de la palabra colocando diferentes materiales absorbentes y reflejantes.

### Aporte

Se determina la inteligibilidad del recinto, es decir la voz, más específicamente para locución. Es un aspecto a tener en cuenta, por lo que la voz es también un factor que se utilizará para conocer mejor la respuesta sonora al momento de realizar una toma grabada.

Título: Análisis acústico del estudio de grabación "Ritmo & Compás"

Fecha: 16/07/2013

Universidad: E.U.I.T. Telecomunicación (UPM)

País: España

Link: <http://oa.upm.es/21535/>

Visado: 24/04/2018

### Resumen

En la actualidad, el éxito de una grabación musical depende, en gran medida, de la acústica que caracteriza la sala de control y la sala de grabación de un estudio donde se haya realizado ésta, así como del equipo utilizado. La acústica de un estudio de grabación viene determinada por la absorción, reverberación y aislamiento acústico de ese recinto. Estos son los factores que le dan la personalidad las salas. En este proyecto, se analiza el comportamiento acústico de las dos salas que componen estudio de grabación de "Ritmo & Compás", una sala de control y una sala de grabación, mediante la realización de medidas in situ.

Se comparan los resultados con los valores aconsejados y se observa si ambas salas cumplen las condiciones óptimas que corresponden a cada una de éstas. En el caso de haber deficiencias acústicas, se proporcionan soluciones de acondicionamiento acústico en las salas, que se validan mediante simulación. Además, se realiza el estudio sobre el aislamiento a ruido aéreo entre los dos recintos colindantes que componen el estudio de grabación.

#### Aporte

Esta tesis se asemeja más a lo que se está por realizar, ya que toma conceptos específicos los cuales aplicará. Hace énfasis en la sala de control y la sala viva, lo cual permite tener mayor referencia aún de cómo abordar la temática. No hay mucha referencia sobre la incidencia sonora de los sonidos de diferentes instrumentos o voces en determinadas superficies.

Autor: Arturo Barba Sevillano

Título: Arquitectura teatral, historia y acústica: "El sonido de los teatros" (Artículo)

Fecha: 18/10/2014

Universidad: -

País: España, Valencia.

Link: [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-10-18\\_08-30-44111921.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-10-18_08-30-44111921.pdf)

Visado: 22/05/2018

## Resumen

La evolución arquitectónica de los edificios teatrales a lo largo de la historia está intrínsecamente relacionada con el tipo de espectáculos representados en ellos y con sus necesidades acústicas. En este artículo se exponen cronológicamente los rasgos morfológicos y acústicos de los edificios teatrales, desde las tipologías iniciales de la antigüedad clásica hasta las diferentes propuestas de teatros de ópera a la italiana en los siglos XVIII y XIX. Se analiza la herencia formal que cada modelo teatral adeuda a sus predecesores y se señalan sus diferencias. En cada tipo teatral aportamos una síntesis de sus características acústicas explicando sus virtudes y defectos, y argumentamos las razones de su funcionamiento sonoro.

## Aporte

Antes de realizar cualquier estudio sobre tratamiento acústico, es imprescindible saber qué es lo que se quiere lograr con el sonido final y cómo va a ser el sonido que uno busca. Este artículo beneficia mucho la búsqueda de sonido que se desea realizar en la sala viva, ya que parte desde la acústica usada en la antigüedad, en la cual se lograba sonidos muy bien presentados dependiendo de la obra a realizar. Al conocer esto, se puede implementar técnicas o formas de resonancia similares cuando desee cierto motivo en la obra grabada en esta sala.

## Hipótesis

Para mejorar la respuesta acústica del espacio y el procesamiento de las señales, se debería elaborar e implementar un diseño acústico que permita manipular los tiempos de reverberación, para un procesamiento más óptimo de las señales.

### Operacionalización de las variables

<i>Variable</i>	<i>Concepto</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Ítems</i>
Diseño acústico (V. Independiente)	Diseño de interiores de un recinto, con la finalidad de modificar la interacción del mismo con el sonido	-Paneles fonoabsorbentes (lana de vidrio)  -Alfombras	Coeficiente de absorción (Sabines)	Observación directa
Respuesta acústica (V. dependiente)	Descripción del comportamiento del sonido	-Reverberación  -Inteligibilidad	-Hz  -s (segundos)	Medición y cálculos matemáticos.
Procesamiento de señales (V. dependiente)	Manipulación del sonido mediante software de edición	- tiempo  -amplitud	-s -compases  -dB	-Observación y medición

Reverberación: Tiempo que transcurre desde que un sonido deja de emitirse y se reduce 60dB respecto a su valor inicial.

Inteligibilidad: Correcta percepción del mensaje oral, normalmente relacionado a evitar enmascaramiento de las bandas medio-agudas.

Paneles fonoabsorbentes: paneles de material poroso utilizados para acondicionamiento acústico.

Alfombras: Tejido grueso de material poroso utilizado para colocar en el piso de la sala y contribuir con el acondicionamiento acústico.

## ***Marco metodológico***

### Paradigma

“Separación entre el investigador y el objeto de estudio. La distancia frente a aquello que se pretende investigar es vista con una condición necesaria para alcanzar un conocimiento objetivo” (Sautu, 2005). Se contempla la visión positivista debido a que se utiliza el tipo de investigación cuantitativa para la búsqueda y medición de resultados objetivos, como lo son los cálculos y mediciones edilicias. La realidad es objetiva.

### Tipo de investigación

Descriptiva y correlacional. Como plantea Sabino (1992), en la investigación descriptiva se realizan relevamientos y mediciones. Y correlacional donde el propósito es medir el grado de relación entre dos o más variables. En este caso, la utilización de paneles acústicos, resonadores y diferentes elementos de la sala tales como alfombras, ayudan a modificar la reverberación de un recinto, entre otras variables, se miden cada una de ellas y luego se cuantifican. Se busca profundizar el tema estudiando y conociendo las causas y consecuencias acústicas-físicas del recinto para mejorar la acústica a través de paneles fijos y móviles para un mejor procesamiento posterior de la señal en las tomas de audio.

### Universo y muestra por unidad de análisis

- Universo: Sala viva de estudio de grabación “El Cerro” con paneles acústicos.
- Muestra: Sala viva de estudio de grabación “El Cerro” con paneles acústicos.
- Tipo de muestreo: No probabilístico

“En las muestras no probabilísticas, la elección de elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación o propósitos del investigador” (Sampieri, Collado y Lucio, 2014) ya que depende del proceso de tomas del investigador. Es una elección de caso con ciertas características específicas como lo son la condición edilicia y las mediciones acústicas arquitectónicas necesarias. No existe un procedimiento mecánico como en el muestreo probabilístico.

### Técnicas

Se utilizará la observación participante (requiere la presencia en el lugar) para tomar datos tales como: (a continuación, se adjunta ficha de observación)

- Período durante el cual se observará.
- Lugar.
- Cantidad de paneles.
- Tamaño de los paneles.
- Materiales del recinto.

Y también la medición

- Frecuencia crítica de los paneles.
- Reverberación en milisegundos (ms) al aplicar diferentes paneles.
- Medición (dimensiones del recinto)
- Cálculo matemático.
- Ubicación crítica de los paneles en la sala.

En cuanto a las mediciones, se utilizará cinta métrica para medir las dimensiones del recinto, de esta forma corroborar las medidas del plano arquitectónico previamente adjuntado.

Se realizará un listado de los materiales que componen la sala, tales como placas de yeso (durlock), lana de vidrio, piso de madera de roble, madera MDF en las puertas y marcos de ventanas, etc. Todos ellos con su coeficiente de absorción, para luego llevar a cabo el cálculo del tiempo de reverberación utilizando la fórmula de Sabine.

$$RT = \frac{0,161 V}{A_{\text{tot}} + 4mV} \quad (\text{en s})$$

donde:

V= volumen del recinto

$A_{\text{tot}}$  = absorción total del recinto

4mV= absorción producida por el aire

Luego se verá reflejado en bandas de frecuencia de 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz, a partir de esto determinar el tiempo de reverberación óptimo  $<1$  s y la distribución de los paneles para determinadas frecuencias.

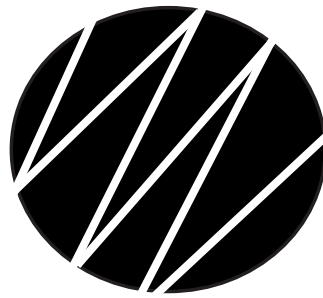
#### Herramientas de recolección y análisis de datos.

- Placa de audio
- Micrófonos
- Computadora
- Parlantes
- AutoCad
- Nuendo
- Excel

#### Tiempo y Contexto

Se realizará en la sala viva de estudio de grabación “El Cerro”. Desde el 13 al 20 de marzo de 2021. Se grabarán muestras de distintos instrumentos, tales como guitarra, batería acústica y voz (instrumentos acústicos más frecuentes en las producciones musicales y que reflejan un amplio espectro frecuencial) para comparar un antes y un después. Luego se mostrarán (se hará escuchar) los resultados mediante archivos de audio sin comprimir, de esta forma apreciar correctamente las diferencias.

<i>Actividad</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
<i>Definición tema/proyecto</i>			2018									
<i>Estados del arte</i>				2018								
<i>Objetivos e hipótesis</i>					2018							
<i>Marco teorico</i>						2018						
<i>Marco metodologico</i>								2018				
<i>Ponencia de proyecto</i>									2018			
<i>Corrección del Proyecto de tesis</i>							2019					
<i>Presentación de la corrección</i>							2020					
<i>Trabajo de campo</i>			2021									
<i>Redacción de trabajo final</i>				2021	2021							
<i>Presentación de borrador</i>						2021						
<i>Defensa de tesis</i>							2021					



# MARCO TEÓRICO



## ***Acústica***

La acústica es la ciencia que estudia los diversos aspectos relativos al sonido, particularmente los fenómenos de generación, propagación y recepción de las ondas sonoras en diversos medios, así como su transducción, su percepción y sus variadas aplicaciones tecnológicas. La acústica tiene un carácter fuertemente multidisciplinario, abarcando cuestiones que van desde la física pura hasta la biología y las ciencias sociales (Miyara, 1999, p. 1).

### ***Principios básicos del sonido***

El sonido es la vibración mecánica que se produce en un medio elástico como el aire. Carrión afirma:

Una vibración mecánica que se propaga a través de un medio elástico y denso (como lo es el aire), ya que es capaz de producir una sensación auditiva. De dicha definición se desprende que, a diferencia de la luz, el sonido no se propaga a través del vacío, y además, se asocia con el concepto de estímulo físico. (Carrión, 1998, p. 27).

Por otra parte, Beranek (1961), aclara que “hay sonido cuando un disturbio que se propaga por un material elástico causa una alteración de la presión o un desplazamiento de las partículas del material que puedan ser reconocidos por una persona o por un instrumento” (p.3).

## ***Generación y propagación del sonido***

El elemento generador del sonido, se denomina fuente sonora, ya sea un altavoz, una persona hablando, un instrumento musical, etc.

La generación del sonido tiene lugar cuando dicha fuente entra en vibración. Dicha vibración es transmitida a las partículas de aire adyacentes a la misma que, a su vez, la transmiten a nuevas partículas contiguas. La manera en que la perturbación se traslada de un lugar a otro se denomina propagación de la onda sonora (Carrión, 1998, p27).

En caso de considerar como fuente sonora un tambor, un golpe sobre su membrana, provoca la oscilación. La oscilación de las partículas tiene lugar en la misma dirección que la propagación de la onda. En este caso se habla de ondas sonoras longitudinales, en contraposición a las ondas electromagnéticas que son transversales (Carrión, 1998).

## ***Frecuencia del sonido***

El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora se denomina frecuencia ( $f$ ) y se mide en hertzios (Hz) o ciclos por segundo (c/s). “La frecuencia es el número de oscilaciones que tiene una onda en un segundo; su unidad es el Hertz (Hz) nombre que recibe en honor del científico del siglo XIX que descubrió las ondas de radio” (Jaramillo, 2012, p. 21). 1998, p. 27).

## ***Espectro frecuencial***

Haré hincapié en el rango de espectro frecuencial que percibe el oído humano. El ser humano tiene la capacidad de escuchar en un rango frecuencial que va desde los 20Hz hasta los 20.000 Hz. Otros autores indican que sólo es hasta los 16 kHz. “El ser humano tiene una apreciación de las frecuencias que abarca desde los 20 Hz, las más lenta y grande del grupo, hasta 20 kHz la más rápida y chillona, a este rango se lo conoce como rango audible” (Jaramillo, 2012, p.22).

## ***Velocidad de propagación del sonido (c)***

Son muchos los factores del sonido a tener en cuenta, entre los más importantes se encuentran la temperatura y la presión atmosférica. “El sonido depende de múltiples variables, entre ellas la temperatura y la presión atmosférica. Considerando las condiciones de temperatura normales de 22°C y 1 (una) atmósfera de presión, la velocidad de propagación es de aproximadamente 345 m/s.” (Carrión, 1998, p.33).

Cabe aclarar que el sonido puede propagarse a través de cualquier otro medio elástico y denso. Mientras más denso y menos elástico sea el medio, mayor será la velocidad del sonido. “Cuanto más denso y menos elástico sea el medio, mayor será la velocidad de propagación del sonido generado” (Carrión, 1998, p.33).

## Longitud de onda del sonido

Otro concepto fundamental, además de la frecuencia y la velocidad de propagación es la longitud de la onda. (Figura 1.1).

“Se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante de tiempo” (Carrión, 1998, p.33).

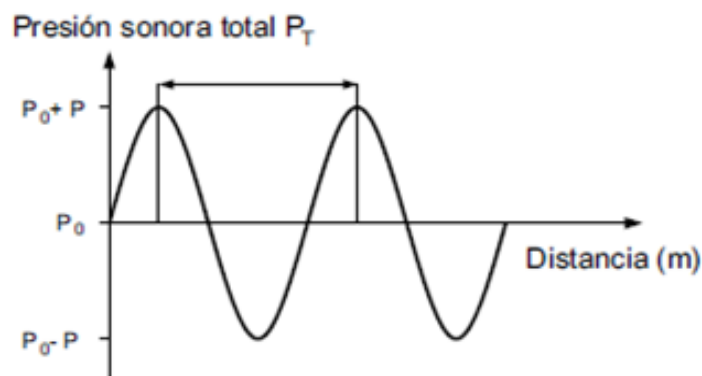


Fig. 1.1 Longitud de onda ( $\lambda$ ) del sonido

La relación entre las tres magnitudes: frecuencia ( $f$ ), velocidad de propagación ( $c$ ) y longitud de onda ( $\lambda$ ), viene dada por la siguiente expresión:

$$\lambda = c/f$$

Según se observa, para cada frecuencia, la longitud de onda depende del medio de propagación, ya que es proporcional a la velocidad, y ésta varía para cada medio. Por otro lado, se puede ver que la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, es decir, cuanto mayor es  $f$  menor es  $\lambda$ , y viceversa.

Por ejemplo, en el aire, las longitudes de onda correspondientes a la banda de frecuencias audibles se hallan situadas entre 17,25 m ( $f = 20$  Hz) y 1,72 cm ( $f = 20$  kHz). (Carrión, 1998, p.33).

En la figura 1.2, se observa un gráfico de la longitud de onda ( $\lambda$ ) en relación a la frecuencia ( $f$ ), suponiendo que el medio de propagación es el aire:

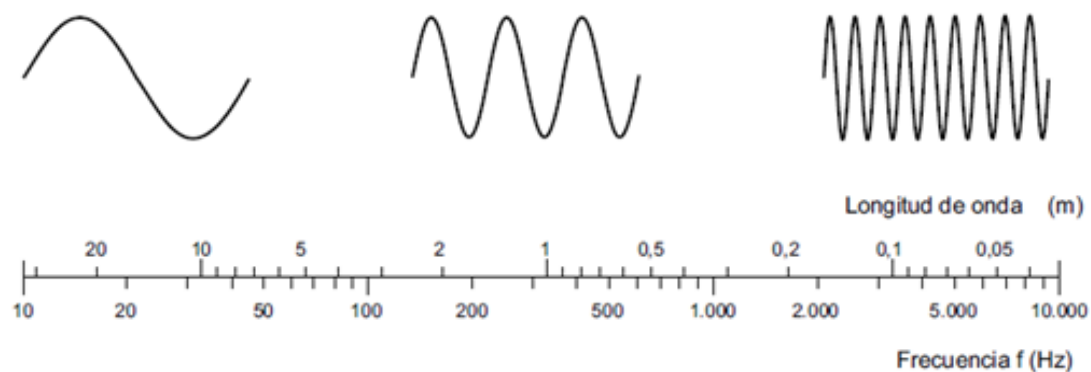


Fig. 1.2 Relación entre la longitud de onda ( $\lambda$ ) y frecuencia ( $f$ ) en el aire.

Como se ve en la figura (1.2), las longitudes de onda más grande corresponden a las frecuencias más bajas, a medida que incrementa la frecuencia, la longitud de onda va reduciendo su tamaño considerablemente.

## ***Nivel de presión sonora (SPL)***

Las siglas “SPL”, corresponden a la abreviación en inglés de “Sound Press Level”. La presión sonora constituye la manera más habitual de expresar la magnitud de un campo sonoro. Esta se mide en Newton/metro<sup>2</sup> (N/m<sup>2</sup>) o Pascal (Pa).

El hecho de que la relación entre la presión sonora del sonido más intenso (cuando la sensación de sonido pasa a ser de dolor auditivo) y la del sonido más débil sea de alrededor de 1.000.000 ha llevado a adoptar una escala comprimida denominada escala logarítmica (Miyara, 1999, p. 10).

La utilización de la unidad Pascal (Pa) para medir dicha presión sonora en el oído, trae consigo problemas cuyo origen se halla en el comportamiento del oído humano, es por esto que la unidad utilizada es el dB (decibelio). A continuación se expone las causas de lo anteriormente dicho:

- La gama de presiones a las que responde el oído, desde el valor umbral de audición hasta el que causa dolor, es extraordinariamente amplia. En concreto, la presión eficaz sonora más débil que puede ser detectada por una persona, a la frecuencia de 1 kHz, es de  $2 \times 10^{-5}$  Pa, mientras que el umbral de dolor tiene lugar para una presión eficaz del orden de 100 Pa (milésima parte de la presión atmosférica estática  $P_0 \approx 10^5$  Pa, equivalente a 1 atmósfera). En consecuencia, la escala de presiones audibles cubre una gama dinámica de, aproximadamente, 1 a 5.000.000. Es obvio, pues, que la aplicación directa de una escala lineal conduciría al uso de números inmanejables.

- Nuestro sistema auditivo no responde linealmente a los estímulos que recibe, sino que más bien lo hace de forma logarítmica. Por ejemplo, si la presión de un tono puro de 1kHz se dobla, la sonoridad, o sensación subjetiva producida por el mismo, no llegará a ser el doble. De hecho, para obtener una sonoridad doble, es necesario multiplicar la presión sonora por un factor de 3,16. (Carrión, 1998, p.35).

Por los dos motivos expuestos, resulta razonable y conveniente hacer uso de una escala logarítmica para representar la presión sonora. Dicha escala se expresa en valores relativos a un valor de referencia. Se trata de la presión eficaz correspondiente al umbral de audición, a 1 kHz ( $2 \times 10^{-5}$  Pa). En tal caso, se habla de nivel de presión sonora SPL o Lp. La unidad utilizada es el decibelio (dB). La utilización del umbral de audición como referencia tiene como objetivo que todos los sonidos audibles sean representados por valores SPL positivos.

El uso de dB reduce la dinámica de presiones sonoras de  $1:5 \times 10^6$  a niveles de presión sonora de 0 a 135 dB, donde 0 dB representa una presión igual al umbral de audición (no significa, por tanto, ausencia de sonido) y 135 dB el umbral aproximado de dolor. (Carrión, 1998, p.35).

De esta manera, las cifras manejadas son mucho más simples de expresar. Se dan las siguientes relaciones entre cambio de nivel sonoro y su efecto subjetivo:

- 1dB: mínimo cambio de nivel sonoro perceptible
- 5dB: cambio de nivel claramente percibido
- 10dB: incremento asociado a una sonoridad doble.

<i>Fuente Sonora</i>	<i>Nivel de presión sonora SPL (dB)</i>	<i>Valoración subjetiva del nivel</i>
<i>Despegue de avión (a 60 cm)</i>	120	Muy elevado
<i>Edificio en construcción</i>	110	
<i>Martillo neumático</i>	100	
<i>Camión pesado</i>	90	Elevado
<i>Calle (ciudad)</i>	80	
<i>Interior automóvil</i>	70	
<i>Conversación normal (a 1m)</i>	60	Moderado
<i>Oficina</i>	50	
<i>Sala de estar</i>	40	
<i>Dormitorio (noche)</i>	30	Bajo
<i>Estudio de radiodifusión</i>	20	

Tabla 1.1 Niveles de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva asociada (Carrión, 1998, p. 35)

Se llega a la conclusión de que no conviene utilizar la magnitud física presión sonora (Pascal) como medida técnica, sino una magnitud logarítmica. Internacionalmente, se define el nivel de presión sonora ( $L$ ) como:

$$L = 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2$$

Donde  $p_0 = 2 \times 10^{-5}$  Pa, corresponde aproximadamente al valor mínimo de presión que debería tener un tono puro de 1000 Hz para que una persona normal lo perciba;  $p$  el valor efectivo de la señal temporal (frecuentemente designado como raíz cuadrática media o RMS: Root Mean Square). El término dB (decibel o decibelio) no es una unidad de medida, este se usa únicamente para indicar que se ha utilizado una relación logarítmica. El factor 20 (o 10) en la ecuación (1.1), se ha elegido de manera tal que 1 dB, corresponde aproximadamente a la mínima diferencia en el nivel de presión sonora necesaria para que el ser humano perciba dos sonidos con distintos volúmenes. (Möser, 2009, p. 6).

### ***Intensidad sonora***

La intensidad sonora según una dirección determinada en un punto es el valor medio de la velocidad de transmisión de la energía a través del área unitaria perpendicular a la dirección considerada en el punto dado. La unidad es watt/m<sup>2</sup>. En una onda plana o esférica, libre y progresiva, la intensidad en la dirección de propagación es  $I = \frac{p^2}{\rho_0 c}$  watt/m<sup>2</sup>. (Beranek, 1961, p.11).

## ***Percepción del sonido***

Para que un hecho sonoro pueda ser percibido, supone una cadena de sucesos, una fuente sonora que genere vibraciones en el aire, y debido a la compresibilidad del aire que las rodea y la masa de aire, estas llegan al oído de la persona.

Un sonido captado en un punto específico del espacio, posee esencialmente dos características, el volumen y el tono. Möser (2009) afirma. “El volumen se relaciona con la magnitud física presión sonora  $p$ , y el tono con la frecuencia ( $f$ ). Esta última corresponde al número de periodos por unidad de tiempo, el Hz (Hertz)” (p.1).

Cabe aclarar que el autor anteriormente citado, define de forma diferente el espectro frecuencial que un humano logra captar. Möser (2009) afirma: “El rango de frecuencias de interés, no está limitado solo al rango de la audición humana, el que se extiende desde los 16 Hz hasta los 16.000 Hz (16 kHz)” (p.1). El sonido por debajo de este rango de frecuencia se denomina “Infrasonido”; mientras los que estén por arriba de la audición humana son “Ultrasonidos”, estos tienen aplicaciones tales como técnicas de modelos acústicos, o técnicas de diagnóstico en medicina, por ejemplo.

Los límites de audición humana, no pueden definirse con mucha precisión, ya que el límite varía según la persona, dependiendo tanto de la edad, como el estado de salud de su oído.

El límite superior, es diferente para cada individuo, dependiendo de factores como la edad, la exposición prolongada a sonidos intensos, tales como ruido en el trabajo o música con elevado volumen, etc. El límite superior de 16 kHz, está referido a una persona sana con una edad cercana a los 20 años, y comienza a disminuir con la edad, más o menos a razón de 1 kHz por cada 10 años (Möser, 2009, p. 1).

En la figura 1.3, se observa cómo afecta la percepción de la frecuencia (tomando el rango de 1kHz a 6 kHz) en función de la presión sonora (dB), teniendo en cuenta el rango de edades de 20 a 60 años, tanto para mujeres como para hombres.

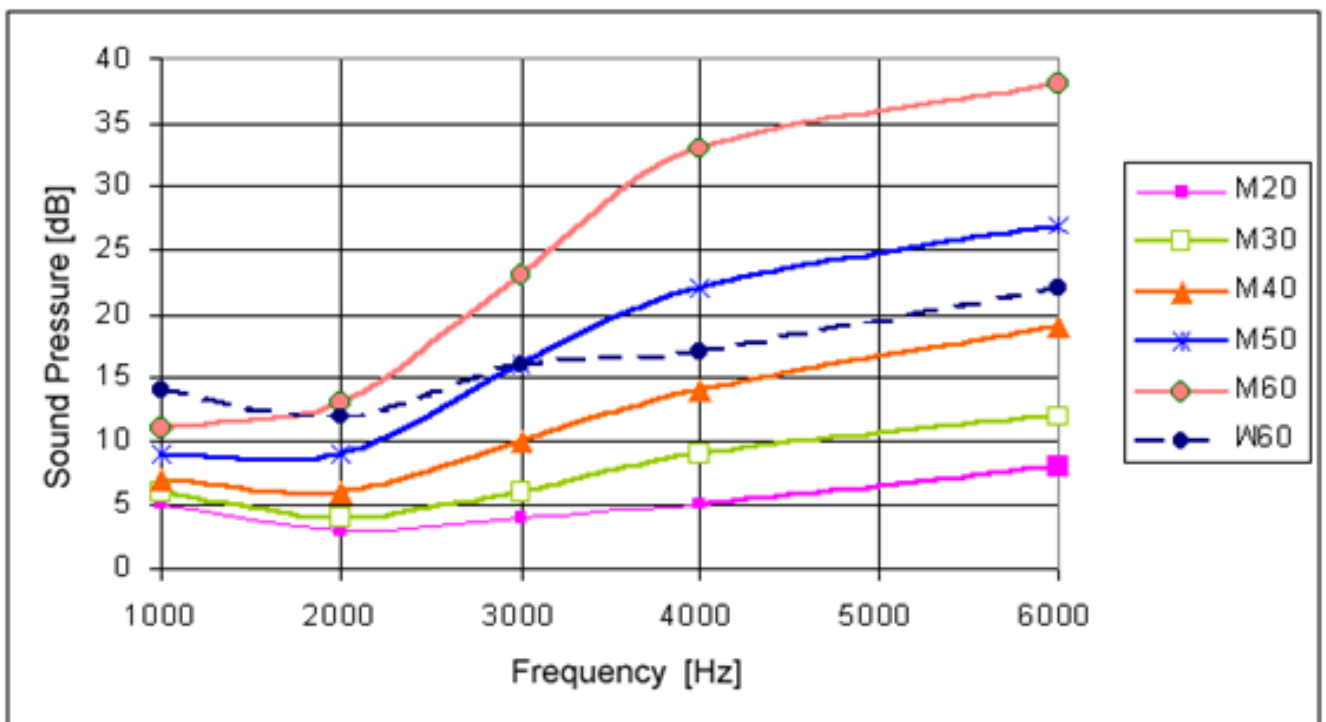


Fig. 1.3 Umbral audible para personas masculinas y femeninas, entre las edades de 20 y 60 años.

En acústica, el término frecuencia va unido al concepto de tono puro, refiriéndose a una onda puramente sinusoidal. “Tal comportamiento sinusoidal, raramente se puede encontrar en los sonidos naturales. El sonido de un instrumento musical contiene muchos tonos; es el conjunto de armónicos (tonos puros) lo que define el timbre del instrumento” (Möser, 2009, p.2).

Como se observa en el gráfico (figura 1.3) y en base a lo anteriormente dicho, se establece que el oído humano no tiene la misma sensibilidad para todo el rango frecuencial audible. En la siguiente figura (1.4) se ve la variación de los umbrales de audición y del dolor en función de la frecuencia para una persona joven de 20 años aproximadamente.

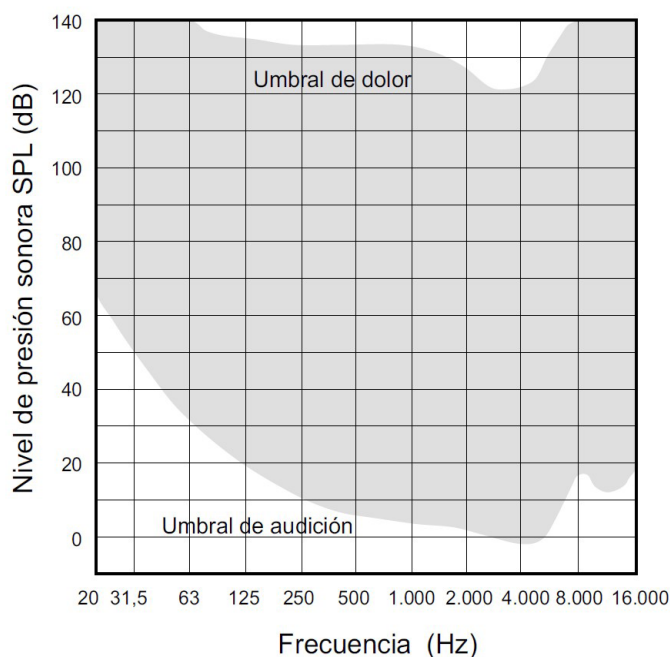


Fig. 1.4 Niveles audibles en función de la frecuencia.

A partir de la figura 1.4 se extraen las siguientes conclusiones:

- Para niveles de baja presión sonora, el oído es muy inestable a bajas frecuencias. Es decir, el nivel de presión sonora de un sonido grave tiene que ser mucho más elevado que para el de un sonido medio produzca la misma sonoridad. Carrión (1998). “Por ejemplo, un nivel SPL = 70 dB, a 20 Hz, produce la misma sonoridad que un nivel SPL= 5 dB, a 1 kHz (sonoridad = sensación subjetiva de nivel sonoro)” (p.37).
- Para dichos niveles bajos, el oído también presenta una cierta atenuación a altas frecuencias.
- A medida que los niveles aumentan, el oído tiende a responder de forma más homogénea en toda la banda de frecuencias audibles, hasta el punto de cuando son muy elevados, la sonoridad asociada a tonos puros de diferente frecuencia es muy parecida.

Carrión (1998) ejemplifica:

Este cambio de comportamiento del oído en función del nivel de señal explica el hecho de que, al subir el volumen del amplificador de un equipo de música, se percibe un mayor contenido de graves y agudos del pasaje musical reproducido. (p.37).

Una vez expuesto el comportamiento del oído humano desde el punto de vista percepción en función de la frecuencia, es conveniente hacer una comparación entre los mismos y las zonas más representativas de sonoridad asociadas a la voz humana y a los instrumentos musicales convencionales (figura 1.5).

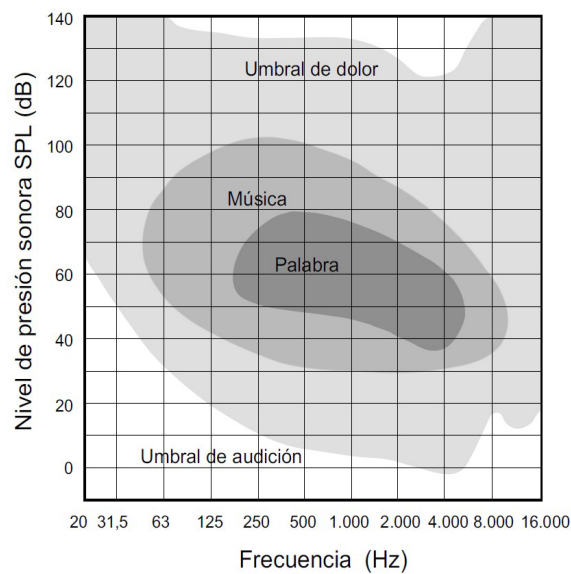


Fig. 1.5 Niveles audibles en función de la frecuencia junto con las zonas correspondientes a la música y la voz humana.

Se puede ver que la capacidad de la persona como receptora del sonido es mucho mayor que como emisora.

## ***Enmascaramiento sonoro***

Cuando el oído está expuesto a dos o más tonos puros de frecuencias diferentes, existe la posibilidad de que uno de ellos enmascare los demás y, por lo tanto, evite su percepción de forma parcial o total. Del mismo modo, es evidente la dificultad que entraña una conversación en presencia de ruido (Carrión, 1998, p. 38).

Puede existir el enmascaramiento temporal, se presenta cuando un tono suave se encuentra cercano en el tiempo a otro tono de amplitud más elevada. Según la posición temporal de enmascarante y enmascarado:

- Post-enmascaramiento: llega primero el tono de mayor amplitud que el de menor, quedando de esta forma enmascarado.
- Pre-enmascaramiento: llega primero el tono de menor amplitud quedando igualmente enmascarado por el de mayor amplitud.

Se llega a la conclusión de que un tono de mayor amplitud siempre enmascara a uno de menor amplitud, ya sea si este comienza o termina en la línea de tiempo.

También existe el enmascaramiento frecuencial, el cual se presenta cuando dos tonos llegan al oído simultáneamente quedando uno de ellos enmascarado por el otro. Se pueden dar dos casos:

- Sonidos de baja frecuencia enmascara a los de alta frecuencia.
- Sonidos de alta frecuencia enmascara a los de baja frecuencia.

Es importante señalar que en el enmascaramiento en frecuencia será más efectivo en el primer caso, ya que los tonos de alta frecuencia difícilmente enmascaran a los de una frecuencia menor. En la figura 1.6, se puede observar lo anteriormente dicho.

## ***Inteligibilidad de la palabra***

Cuando una persona emite un mensaje, emplea un tiempo mayor en la emisión de las vocales que en la de las consonantes. Es por ello que las vocales constituyen el llamado régimen permanente del habla, mientras que las consonantes se asocian al régimen transitorio.

La duración en promedio de una vocal es del orden de 90 ms, reduciéndose a 20 ms en el caso de una consonante.

El hecho de que la duración de las vocales sea más elevada hace que el nivel de presión sonora asociado a las mismas sea, en promedio, del orden de 12 dB mayor que el correspondiente a las consonantes. Por otra parte, su contenido frecuencial es más rico en bajas frecuencias, mientras que las consonantes presentan una mayor contribución de altas frecuencias.

Por otro lado, el grado de inteligibilidad de la palabra está estrechamente relacionado con la correcta percepción de las altas frecuencias. En consecuencia, son las consonantes las que determinan la comprensión del mensaje oral. En cambio, la información contenida en las vocales es redundante (Carrión, 1998, p. 45).

	<i>Duración promedio</i>	<i>Contenido frecuencial dominante</i>	<i>Nivel (promedio)</i>	<i>Contribución a la inteligibilidad de la palabra</i>
<b>Vocales</b>	~90 ms	Bajas frecuencias	~nivel vocales Nivel consonantes + 12 dB	Baja
<b>Consonantes</b>	~20 ms	Altas frecuencias		Alta

Tabla 1.2 Características más relevantes del mensaje oral

Según se puede observar, la máxima contribución al nivel de la voz se sitúa en la zona de frecuencias medias, destacando la banda de 500 Hz con un 46%. En cambio, la máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra está situada a frecuencias más elevadas (57% sumando la contribución de las bandas de 2 y 4 kHz) (Carrión, 1998, p. 45).

### ***Acústica geométrica. Estudio de las primeras reflexiones***

Las primeras reflexiones en un recinto, tienen una cantidad de energía mayor que las de la cola reverberante de un sonido X.

En general, las primeras reflexiones presentan un nivel energético mayor que las correspondientes a la cola reverberante, ya que son de orden más bajo. Además, por el hecho de depender directamente de las formas geométricas de la sala, son específicas de cada punto y, por lo tanto, determinan las características acústicas propias del mismo, juntamente con el sonido directo. (Carrión, 1998, p.51).

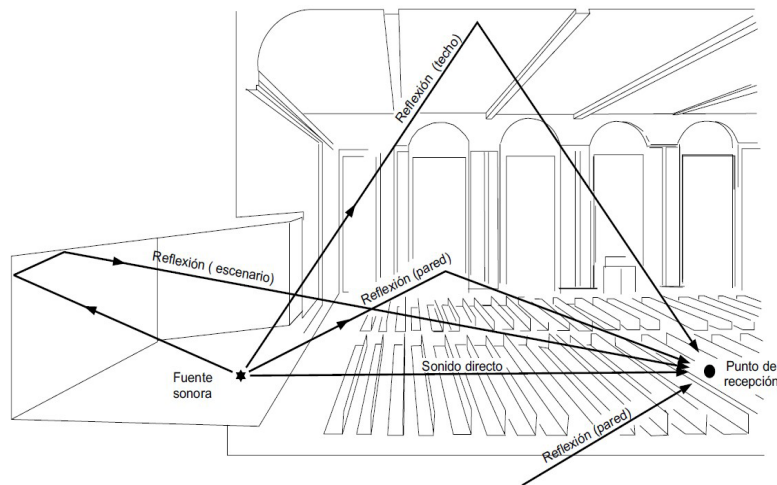


Fig. 1.6 Ejemplo de llegada del sonido directo y de las primeras reflexiones a un receptor.

Los rayos sonoros pueden ser tratados como rayos de luz; de esta forma cumple la ley de Lenz, que el ángulo de reflejo es igual al ángulo de incidencia.

El análisis acústico basado en las reflexiones constituye la base de la acústica geométrica. Carrión (1998) afirma. “Evidentemente, dicho análisis no es más que una aproximación a la realidad, ya que solo en determinadas circunstancias la hipótesis de reflexión especular es totalmente veraz” (p.52).

Para que en la práctica se produzca una reflexión especular es necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

- Dimensiones grandes en comparación con la longitud de onda del sonido.
- Superficie lisa y muy reflectante (poco absorbente).

Por todo esto, es necesario aclarar los términos de difracción y difusión del sonido.

En el caso de que las dimensiones sean menores o similares a la longitud de onda del sonido, la onda sonora rodea la superficie y sigue propagándose como si el obstáculo que representa la misma no existiese. Dicho fenómeno se conoce con el nombre de difracción. Por otra parte, si la superficie presenta irregularidades de dimensiones comparables con la longitud de onda, se produce una reflexión de la onda incidente en múltiples direcciones, este fenómeno se conoce con el nombre de difusión del sonido. (Carrión, 1998, p.52).

Existen programas de simulación acústica para la computadora, que permiten el análisis teniendo en cuenta tanto el fenómeno de la difracción como el de la difusión del sonido. Esto es de una gran ventaja para cualquier tipo de desarrollo de proyecto acústico.

## ***Acústica estadística. Campo directo y campo reverberante***

Otro tipo de acústica que corresponde a mi campo de investigación es la acústica estadística. Es necesario analizar la ubicación de las diferentes fuentes sonoras, tales como una batería, guitarra, bajo o una voz.

La energía sonora total presente en cualquier punto de una sala se obtiene como suma de una energía de valor variable, que depende de la ubicación del punto, y otra de valor constante. Se supone que se parte de una fuente sonora de directividad conocida que radia una potencia constante.

La energía de valor variable correspondiente al sonido directo, y disminuye a medida que el receptor se aleja de la fuente, mientras que la energía de valor constante va asociada al sonido indirecto o reflejado. El hecho de que dicha energía no dependa del punto en consideración proviene de aplicar la teoría estadística a todo el sonido reflejado y, en consecuencia, de tratar por igual todas las reflexiones, sean primeras o tardías (cola reverberante). (Carrión, 1998, p.61).

Esta hipótesis conduce a resultados aproximados, y presenta simplicidad en el cálculo de la energía total.

Habitualmente, no se trabaja en términos de energía, sino en nivel de presión sonora (SPL). Carrión (1998) refiere a que, en la práctica, el nivel SPL es fácilmente medible.

Entonces, por lo anteriormente mencionado, la presión sonora total en un punto cualquiera de un recinto se obtiene a partir de las presiones del sonido directo y el sonido reflejado.

También, es preciso marcar las diferencias entre sonido directo y sonido reflejado:

La zona donde predomina el sonido directo se denomina zona de campo directo. A dicha zona pertenecen los puntos más próximos a la fuente sonora y en ella el nivel de presión sonora, llamado nivel de campo directo LD, disminuye 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente. Es como si el receptor estuviese situado en el espacio libre.

La zona donde predomina el sonido reflejado recibe el nombre de zona de campo reverberante (es por ello que a dicho sonido también se le denomina sonido reverberante). A ella pertenecen los puntos más alejados de la fuente sonora. En esta zona, el nivel de presión sonora, denominado nivel de campo reverberante LR, se mantiene constante. (Carrión, 1998, p.61).

La distancia para la cual LD = LR se denomina distancia crítica Dc.

Se puede demostrar que:  $D_c = 0,14 \sqrt{QR}$

donde:

Q= factor de directividad de la fuente sonora en dirección considerada

$$R = \text{constante de la sala} = \frac{S_t \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \quad (\text{en m}^2)$$

$S_t$  = superficie total de la sala (en  $m^2$ )

$\bar{\alpha}$  = coeficiente medio de absorción de la sala.

En la figura 1.7 se muestra la evolución del nivel relativo total de presión sonora en la función de la distancia de la fuente, normalizada con respecto a la distancia crítica  $D_c$ . (Carrión, 1998, p.62).

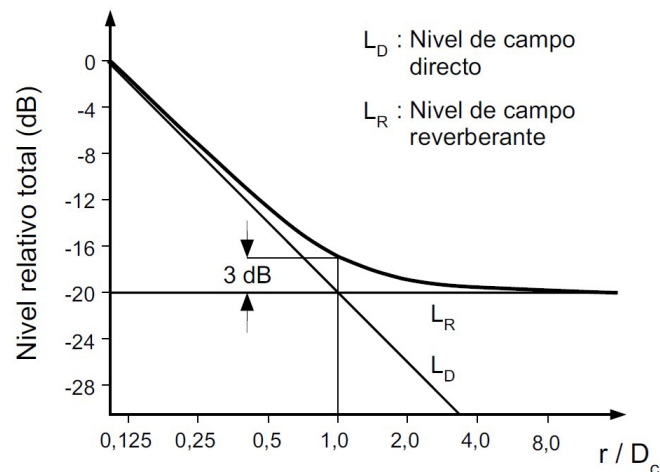


Fig. 1.7 Evolución del nivel relativo total de presión sonora en función de la distancia a la fuente sonora normalizada con respecto a la distancia crítica  $D_c$ .

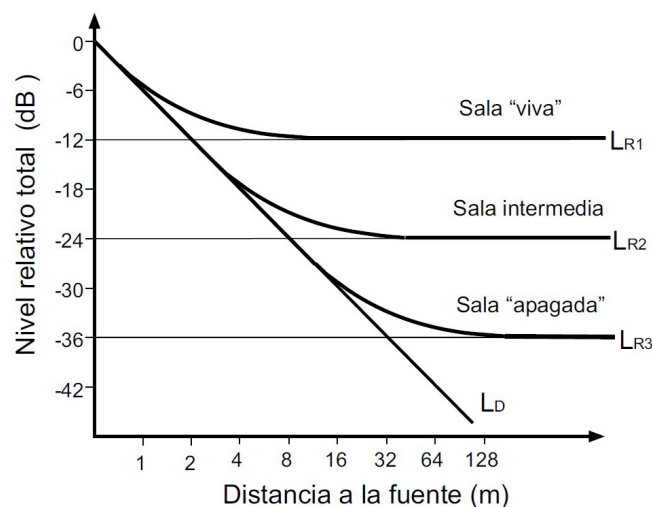
“Se puede demostrar que cuanto mayor sea el grado de absorción de un recinto a una determinada frecuencia, mayor será el valor de la constante de la sala  $R$  (aumento de la distancia crítica  $D_c$ ) y menor el nivel de presión sonora de campo reverberante  $L_R$ ” (Carrión, 1998, p.62).

Carrión (1998) muestra el siguiente ejemplo:

Se presentan tres gráficas de niveles relativos totales de presión sonora correspondientes a una sala “viva” (poco absorbente), a una sala intermedia y una sala “apagada” (muy absorbente), en función de la distancia a la fuente sonora.

Se puede observar que, efectivamente

$$LR1 > LR2 > LR3$$



## ***Acústica arquitectónica. Tiempo de reverberación***

Es necesario cuantificar la reverberación de un recinto, en este caso, la sala viva del estudio de grabación. Esto se define de forma abreviada como RT (tiempo de reverberación) y se aplica a una frecuencia determinada como el tiempo (en segundos) que transcurre desde que un sonido deja de emitirse y se reduce 60 dB con respecto a su valor inicial.

Un recinto con RT grande se denomina “vivo”, mientras que si el RT es pequeño recibe el nombre de “apagado” o “sordo”.

Carrión (1998) afirma. “Por lo general, el RT varía con la frecuencia, tendiendo a disminuir a medida que ésta aumenta. Ello es debido, en parte, a las características de mayor absorción con la frecuencia de los materiales comúnmente empleados como revestimientos, así como a la absorción del aire, especialmente manifiesta en recintos grandes y a altas frecuencias” (p.63).

## ***Materiales y elementos utilizados en el acondicionamiento acústico de recintos***

Una vez fijado el volumen y definida la forma de la sala es preciso la elección de materiales adecuados para el revestimiento de la misma.

Se debe definir el tipo de uso que se le dará a la sala, dependiendo de ello serán de prioridad algunos materiales y otros no. Los diferentes materiales producen efectos sobre la energía sonora.

Carrión (1998) afirma. Absorción del sonido, reflexión del sonido y difusión del sonido.

- La absorción, es debida a materiales y elementos absorbentes (porosos, por ejemplo), también, el público y sillas, por ejemplo.
- Reflexión del sonido, debida a la existencia de elementos reflectores, materiales menos porosos.
- Difusión del sonido, debida a la presencia de elementos difusores utilizados para dispersar, de forma uniforme y en múltiples direcciones, la energía sonora.

## *Absorción del sonido*

En un recinto cualquiera, la reducción de energía sonora en el aire, así también como en superficies límites, es de suma importancia para la claridad acústica final de este sonido.

Esta reducción de energía sonora es debida a una absorción producida por el público y las sillas; los diferentes materiales absorbentes y resonadores; todas aquellas superficies que puedan entrar en vibración, tales como puertas, vidrios, marcos de ventanas y paredes separadoras; también los materiales no porosos utilizados en la construcción de las paredes y techo del recinto, el hormigón, por ejemplo. Aunque estos últimos presentan un coeficiente de absorción mucho menor.

A continuación, se pueden observar algunos materiales y elementos absorbentes:



Fig. 1.8 Lana de vidrio



Fig. 1.9 Placa de material poroso

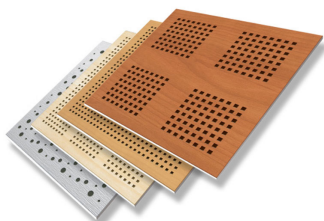


Fig. 2.0 Resonadores



Fig. 2.1 Lana de roca

En los materiales porosos cuando la onda sonora incide sobre el material, parte es absorbida produciendo pérdidas de energía. En cambio, los resonadores, producen la absorción mediante un proceso de resonancia, estos presentan una gran absorción en una estrecha banda de frecuencias.

### ***Absorción del aire***

La absorción producida por el aire es solamente significativa en recintos de grandes dimensiones, a frecuencias relativamente altas ( $\geq 2$  kHz) y con porcentajes bajos de humedad (del orden de un 10 a un 30%). Dicha absorción se representa por la denominada constante de atenuación del sonido en el aire  $m$ .

A partir del conocimiento del producto  $4m$  y del volumen  $V$  del recinto, es posible calcular el valor del tiempo de reverberación  $RT$  del mismo, teniendo en cuenta la atenuación producida por el aire. La fórmula a utilizar es la de Sabine completa: (Carrión, 1998, p.74).

$$RT = \frac{0,161 V}{A_{\text{tot}} + 4mV} \quad (\text{en s})$$

## ***Absorción de superficies vibrantes***

Carrión afirma que:

Toda superficie límite de una sala es susceptible de entrar en vibración, por ejemplo, puertas, ventanas y paredes separadoras ligeras, esto, como se mencionó con anterioridad da lugar a cierta absorción que conviene tener presente.

En el caso de los materiales absorbentes, la mayor absorción se produce de forma totalmente controlada y va asociada a un proceso de disipación de energía, es decir, de conversión de energía sonora en calor. En cambio, en el caso de una superficie vibrante, una parte de la energía vibracional es radiada hacia el exterior. Aunque en realidad la energía no es disipada, el efecto es equivalente a una verdadera absorción, ya que dicha energía es sustraída de la energía sonora incidente. Por ejemplo, una ventana abierta puede considerarse como un absorbente muy efectivo, ya que actúa a modo de sumidero de toda la energía sonora incidente.

La absorción solo puede llegar a ser mínimamente significativa a bajas frecuencias, por ejemplo, un cristal de 4mm de espesor a la frecuencia de 125 Hz es únicamente de 0,01. (Carrión, 1998, p.75).

## ***Materiales absorbentes***

Es otro de los puntos principales a tratar en la tesis, debido a la importancia de los materiales absorbentes en la sala viva del estudio de grabación. La absorción de las ondas sonoras cuando inciden sobre diferentes materiales del recinto, al igual que sus frecuencias, varían dependiendo del material utilizado.

Conviene aclarar que “existen dos tipos genéricos de elementos diseñados para producir una determinada absorción: los denominados materiales absorbentes y los absorbentes selectivos o resonadores.” (Carrión, 1998, p.75)

Carrión también afirma que:

En ambos casos, cuando la absorción en una o más bandas de frecuencias es muy elevada, puede ocurrir que el coeficiente de absorción medio  $\alpha_{SAB}$  sea superior a 1. Ello no debe conducir a la interpretación totalmente errónea y carente de sentido desde un punto de vista físico de que la energía absorbida en dichas bandas es mayor que la energía incidente. La justificación proviene de la existencia de un efecto de difracción que hace que la superficie efectiva de muestra de material utilizada sea mayor que la superficie real. (Carrión, 1998, p.75).

Los materiales absorbentes se utilizan para obtención de tiempos de reverberación más adecuados en función de la actividad, en este caso la grabación de bandas e instrumentos en vivo; prevención o eliminación de ecos; y reducción del nivel de campo reverberante en espacios ruidosos.

Estos materiales presentan un gran número de canales a través de los cuales la onda sonora puede penetrar. La disipación de energía en forma de calor se produce cuando la onda entra en contacto con las paredes de dichos canales. Cuanto mayor sea el número de canales, mayor será la absorción producida. El correspondiente coeficiente de absorción  $\alpha$  es asignado a la superficie del material. (Carrión, 1998, p.76).

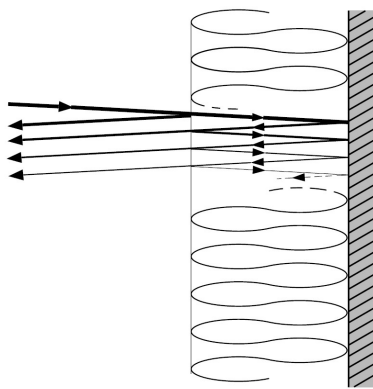


Fig. 2.2 Proceso de disipación de energía en el interior de un material poroso situado delante de una pared rígida (Carrión, 1998, p.76).

La onda sonora incidente es parcialmente reflejada. La energía sonora no reflejada penetra en el material, se atenúa y alcanza de nuevo su superficie después de reflejarse en la pared rígida posterior. La energía remanente se divide, nuevamente, en una parte que atraviesa la superficie del material y otra que vuelve a la pared posterior a través del material. Desde un punto de vista teórico, este proceso continúa indefinidamente. Esta explicación cualitativa sirve para demostrar que la onda sonora reflejada por el material puede imaginarse como compuesta por un número ilimitado de componentes sucesivas, cada una más débil que la precedente a causa de la considerable atenuación que tiene lugar en el interior del material (Carrión, 1998, p.76).

Este mecanismo de absorción es propio de todos los materiales porosos, comúnmente utilizados la lana mineral, lana de vidrio, espuma a base de melamina y espuma de poliuretano; en este caso se optará por la lana de vidrio.

### ***Variación de la absorción en función del espesor y porosidad del material***

Carrión afirma:

Es preciso tener en cuenta que la absorción es baja a todas aquellas frecuencias para las que se cumple que el espesor  $D$  es mucho menor que la longitud de onda del sonido dentro del material.

La velocidad de las partículas de aire al ser tan baja en todos los puntos del material absorbente, la fricción de dichas partículas con las paredes de los canales del material es reducida y, en consecuencia, la transformación de energía sonora en energía calorífica es mínima.

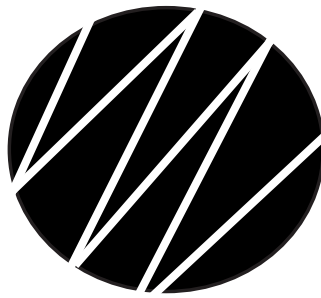
En cambio, a medida que la frecuencia aumenta, la longitud de onda  $\lambda$  disminuye, con lo cual el espesor  $D$  será cada vez mayor en comparación con  $\lambda$ . Ello significa que la velocidad "u" dentro del material irá aumentando, la energía disipada se verá incrementada y, por lo tanto, la absorción será mayor.

Si el espesor  $D$  es pequeño, la condición de baja absorción se cumple a baja y medias frecuencias. Al incrementar el espesor, dicha condición se verifica para longitudes de onda más elevadas. (Carrión, 1998, p.79).

Otra forma de justificar el aumento de absorción con el espesor, es tener presente el camino recorrido por la onda sonora en el material de mayor grosor, es también mayor.

En cuanto a la absorción por porosidad, cuanto mayor sea la porosidad, mayor será la absorción en todas las bandas de frecuencia, esto debido a que la penetración de la onda sonora en el material poroso es mayor.

---



# RECOLECCIÓN DE DATOS



Lo primero que se tuvo en cuenta fue la disponibilidad de la locación. Al no tener inconvenientes a la hora de frecuentar la sala, se pudo prever la disponibilidad de los materiales y herramientas con los que contaba el estudio de grabación y que serían de utilidad para la ejecución y diseño de la acústica variable en el recinto.

En una primera visita, al realizar un relevamiento por un lado visual de la sala y por otro auditivo, se pudo apreciar de forma notoria que la sala además de grandes dimensiones tenía una gran reverberación, por lo que se optó por fabricar paneles acústicos de lana de vidrio. También cabe destacar que el estudio contaba con herramientas para la construcción: martillo, clavos, alambres, lana de vidrio, madera, engrapadora para madera, tornillos, cinta métrica, etc. por lo que no hubo necesidad de utilizar materiales propios.

En una segunda visita, se logró conseguir el plano arquitectónico de la sala, lo cual facilitó la tarea de corroborar las dimensiones mediante mediciones posteriormente realizadas con cinta métrica. Se consultaron datos técnicos de materiales utilizados para la construcción de la sala y elementos con los que ya contaba la misma:

- Tipo y espesor de maderas: utilizada en la puerta y zócalos.
- Placas de yeso (durlock): en paredes y techo.
- Espesor de vidrios: ventanas colocadas dentro del recinto.

- Tipo, espesor y marca de lana de vidrio: utilizadas dentro de las paredes de placa de yeso.
- Tipo de piedra: utilizada para revestir toda la superficie de una pared.
- Material y espesor de alfombra: ubicada en medio de la sala

Algunos datos fueron obtenidos y otros, tales como, marca y espesor de la lana de vidrio fueron consultados en la web oficial del fabricante; otros datos como coeficiente de absorción de la madera y placas de yeso, fueron consultadas en fuentes bibliográficas.

Se realizó una planilla de excel con los datos obtenidos incluyendo medidas, espesores y material.

Objeto	Material
Cielorraso	Durlock - yeso +50mm lanavidrio (no revestida)
Pared Grande	Durlock - yeso +50mm lanavidrio (no revestida)
Pared Piedra	Piedra
Piso	Madera roble
Pared frente a piedra	Durlock - yeso +50mm lanavidrio (no revestida)
Buche esquina	Durlock - yeso +50mm lanavidrio (no revestida)
Puerta	Madera MDF
Vidrio puerta	Vidrio 6mm
Alfombra	pelo 6mm
Ventana Grande	Vidrio laminado doble 10mm
Ventana Mediana bata	Vidrio laminado doble 10mm
Ventana Techo	Vidrio laminado doble 10mm

Tabla 1 – Tabla de excel con materiales y espesores.

Se decidió grabar una batería acústica de tres cuerpos, un plato y un hi-hat, una guitarra y una voz (ejecutado por músicos que frecuentan la sala) a fin de escuchar un “antes y después” de la grabación, primero en la sala sin paneles acústicos de lana de vidrio y luego con paneles de lana de vidrio.

Es primordial aclarar que para dicha grabación, se utilizó la técnica de microfoneo MS (Mid & Side) que consta de la colocación de dos micrófonos, en este caso ubicados en una mitad de la sala, donde el micrófono M tiene un patrón polar de captación cardioide, mientras que el micrófono S un patrón de figura bidireccional u “ocho”. Esto permite un gran control sobre la imagen estéreo en postproducción; además el operador que trabaja en el estudio utiliza frecuentemente dicha técnica. También, para la grabación de la batería, el kit de micrófonos utilizados para todas las tomas con baterías acústicas en el estudio, que consta de un micrófono para cada cuerpo de la batería, en este caso 3 micrófonos (redoblante, tom aéreo y bombo). En cuanto a las tomas de guitarra y voz, se realizaron con la técnica mencionada anteriormente, con los micrófonos ubicados a 1 metro de la fuente sonora.

Finalmente se exportó la grabación realizada en formato sin compresión .wav para mantener intacta la fidelidad y calidad sonora.

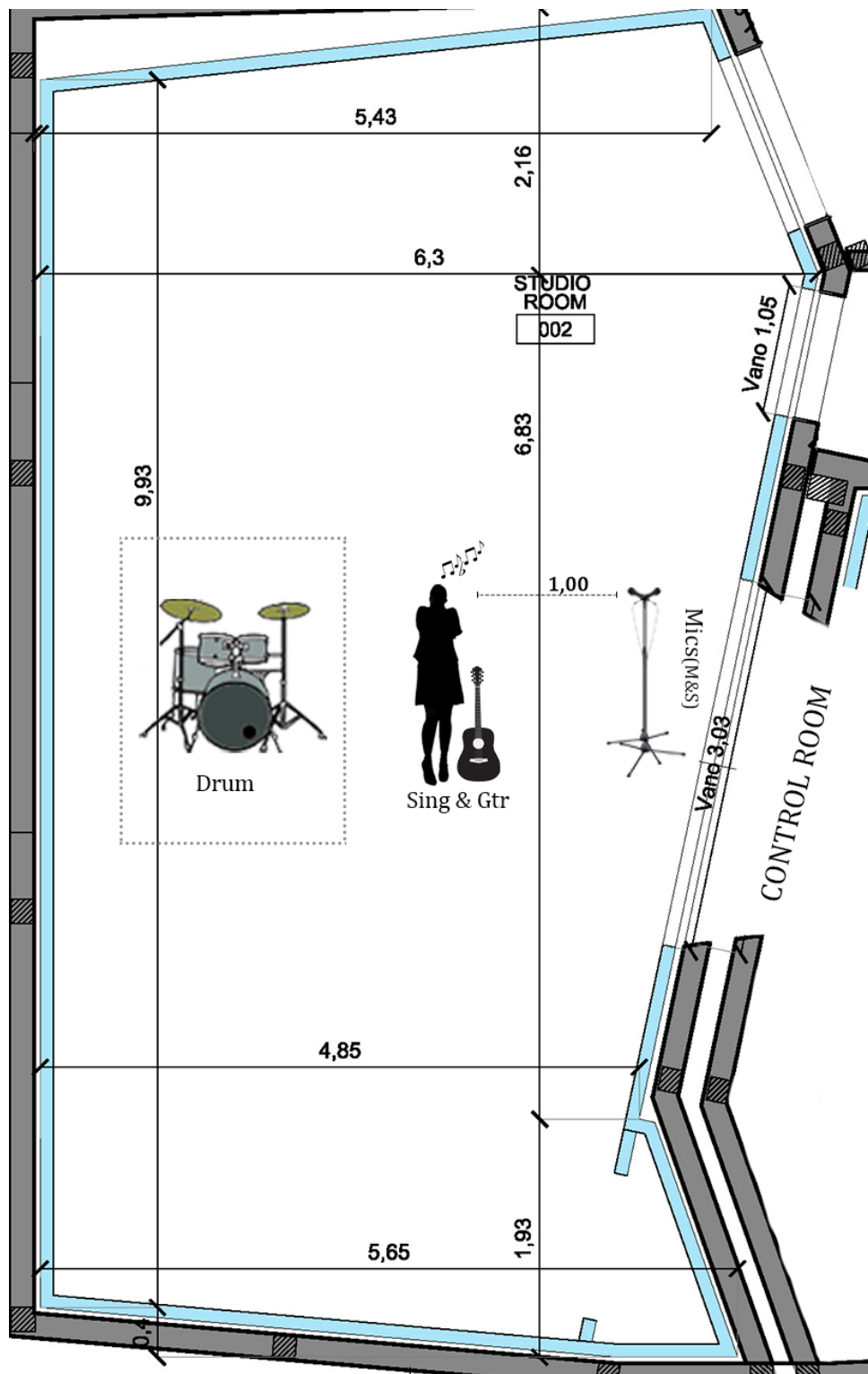
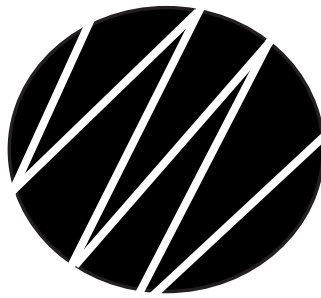


Figura 1 – Ubicación fuentes sonoras en sala



# ANÁLISIS DE DATOS



Se optó por la construcción de paneles acústicos de lana de vidrio con el fin de reducir la cola reverberante de la sala. El principal factor que se tuvo en cuenta, fue el coeficiente de absorción acústica y las dimensiones de la lana de vidrio marca Isover. Del mismo modo para los diferentes materiales dentro del recinto, tales como placas de yeso, vidrio, madera, piedra, etc. De esta forma, se decidió utilizar la fórmula de Sabine, ya que es fundamental para el desarrollo del estudio de reflexiones y reverberancia.

$$RT = 0,161 \frac{V}{A_{\text{tot}}} \text{ (en segundos)}$$

donde:

V= volumen del recinto

$A_{\text{tot}}$  = absorción total del recinto.

Los valores recomendados de tiempos de reverberación pueden variar dependiendo del recinto, en este caso, al ser una sala de grabación, se optó por reducirlo aproximadamente a la mitad el tiempo de reverberación de lo que tenía en un principio. Cabe aclarar que, en cuanto a estudios de grabación, los valores pueden variar entre 0.6s y 3s, quedando a criterio subjetivo de escucha el tiempo (s) más acorde.

AutoCAD fue necesario para el cálculo de superficies irregulares, y el programa Nuendo para el procesamiento de las señales de audio grabadas previamente utilizando Pro Tools.

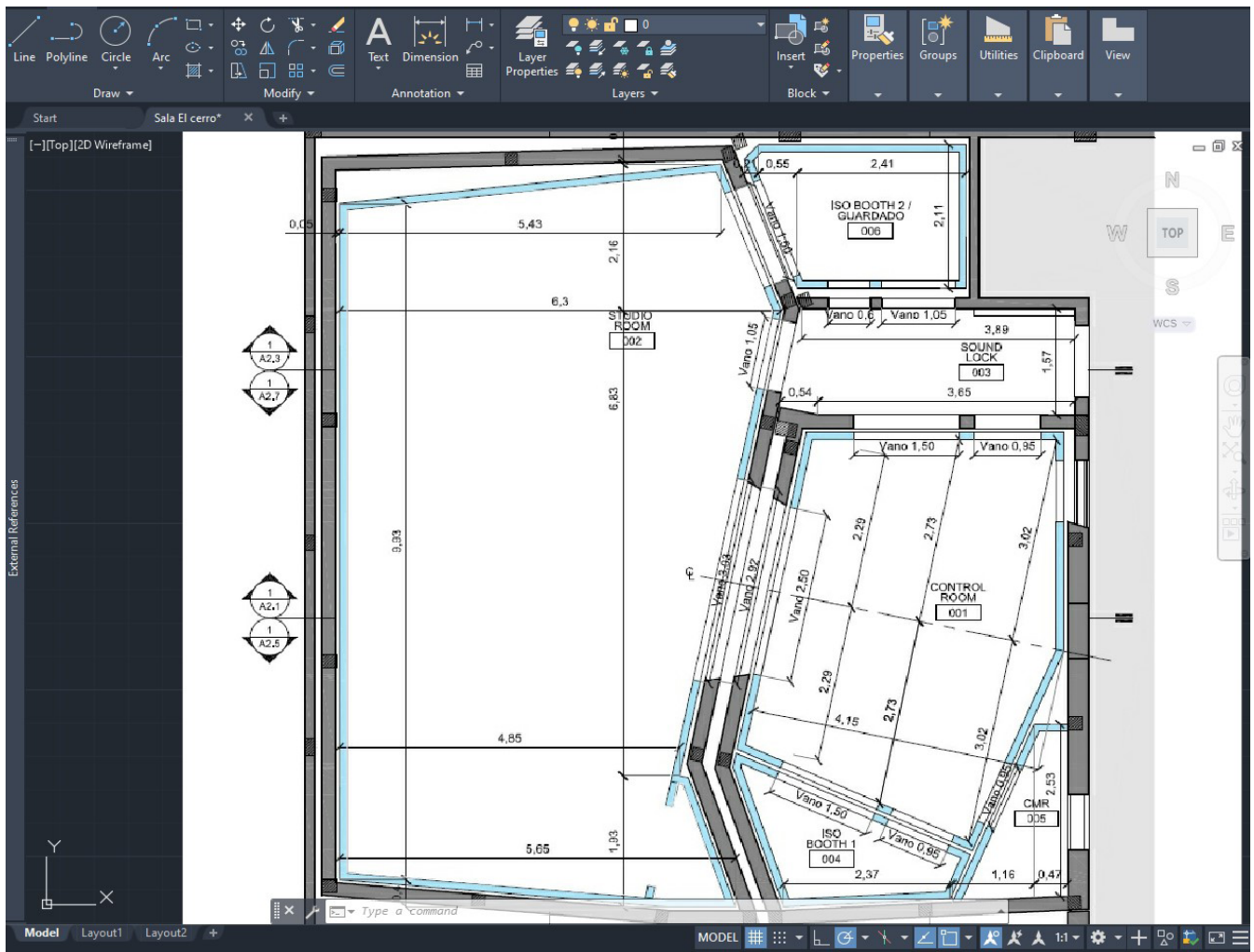


Figura 2 – Proyecto de AutoCAD

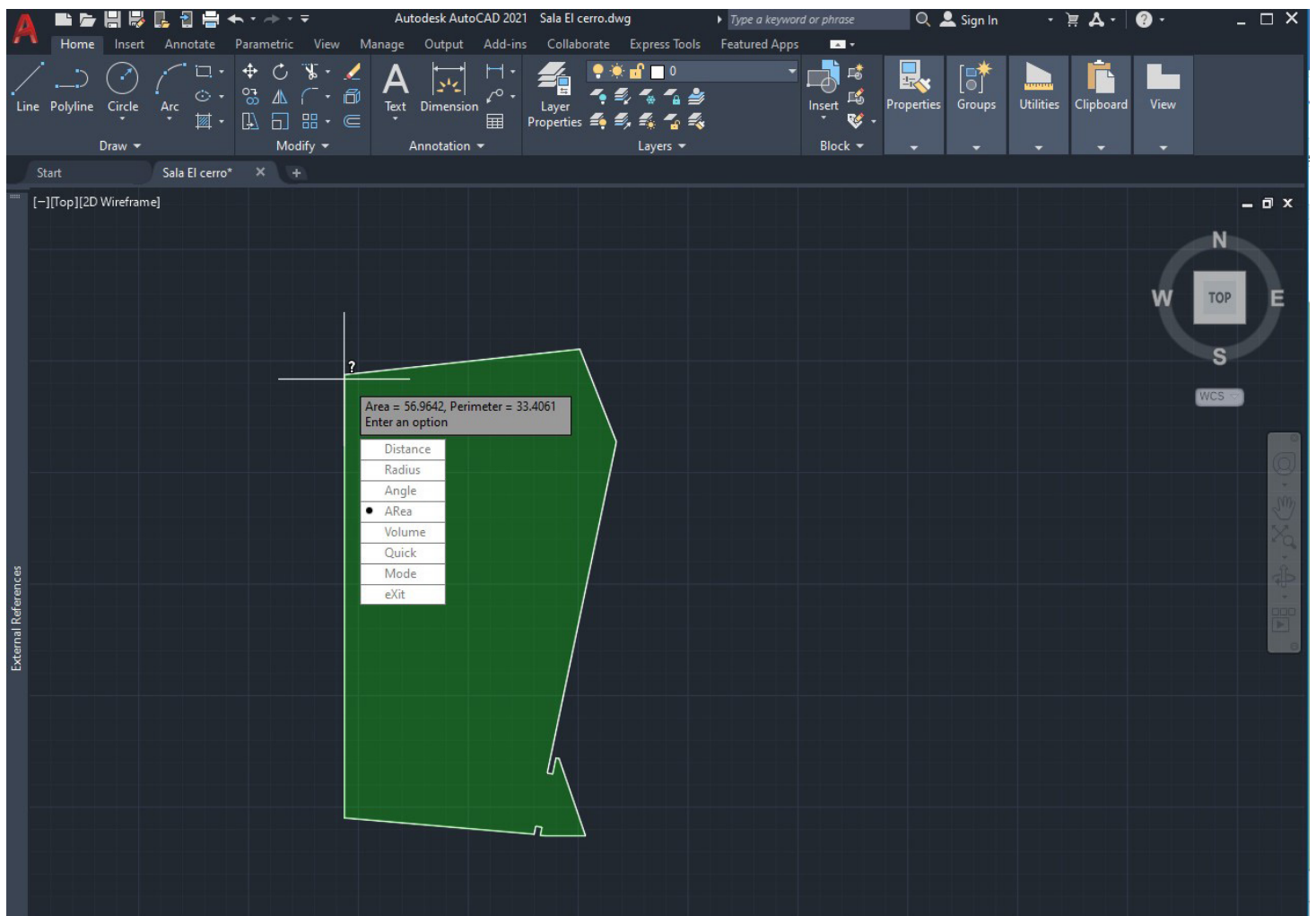


Figura 3 – Proyecto de AutoCAD  
y cálculo de área.

Se trasladaron los datos obtenidos a una planilla de excel que consta de diferentes indicadores: material, cantidad, objeto, superficie y coeficientes de absorción para las diferentes bandas de frecuencia (250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2kHz y 4kHz). Se puede observar la siguiente tabla.

cantidad	Objeto	Material	Superficie	$\alpha$ 125	$\alpha$ 250	$\alpha$ 500	$\alpha$ 1k	$\alpha$ 2k	$\alpha$ 4k
1.00	Cielorraso	Durlock - yeso +50mm lanavidrio (no revestida)	58.38	0.35	0.12	0.08	0.07	0.05	0.02
1.00	Pared Grande	Durlock - yeso +50mm lanavidrio (no revestida)	14.52	0.35	0.12	0.08	0.07	0.05	0.02
1.00	Pared Piedra	Piedra	15.90	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
1.00	Piso	Madera roble	49.96	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
1.00	Pared frente a piedra	Durlock - yeso +50mm lanavidrio (no revestida)	17.72	0.35	0.12	0.08	0.07	0.05	0.02
1.00	Buche esquina	Durlock - yeso +50mm lanavidrio (no revestida)	15.24	0.35	0.12	0.08	0.07	0.05	0.02
1.00	Puerta	Madera MDF	1.05	0.10	0.11	0.10	0.08	0.08	0.11
1.00	Vidrio puerta	Vidrio 6mm	0.94	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
1.00	Alfombra	pelo 6mm	7.04	0.03	0.09	0.20	0.50	0.70	0.72
1.00	Ventana Grande	Vidrio laminado doble 10mm	4.96	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
1.00	Ventana Mediana bata	Vidrio laminado doble 10mm	2.4	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
1.00	Ventana Techo	Vidrio laminado doble 10mm	1.26	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
1.00									
1.00	Paneles lana de vidrio 190 x 110	Lana de vidrio Isorver	2.09	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
2.00	Paneles lana de vidrio 250 x 115	Lana de vidrio Isorver	5.75	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
3.00	Paneles lana de vidrio 238 x 104	Lana de vidrio Isorver	7.4256	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Tabla 2 – Tabla de excel con valores obtenidos

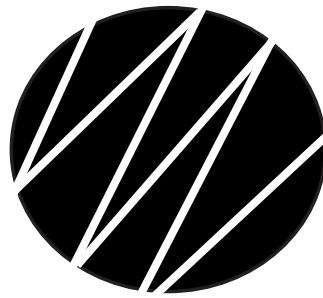
En base a la tabla con datos armada en excel, se procedió a simular la instalación de paneles acústicos de lana de vidrio necesarios (teniendo en cuenta la cantidad de madera disponible) para reducir la reverberación a los valores estimados. Y se generaron gráficos a modo comparativo para una más clara visualización.

Para la construcción de los paneles de lana de vidrio, se utilizaron los materiales existentes en el estudio de grabación, tanto madera como lana de vidrio. Se utilizó madera de pino debido a su bajo peso, coste, maleabilidad y eficacia; de esta forma, se armaron seis bastidores rectangulares de diferentes medidas:

<i>Cantidad de paneles</i>	<i>Dimensiones (cm)</i>
1	190 x 110
2	250 x 115
3	238 x 104

Se colocaron dos soportes de madera ubicados dentro del bastidor, se unieron las piezas de madera con tornillos. Se procedió a cortar y colocar la lana de vidrio dentro de los bastidores. Una vez realizados estos pasos, se colocó una tela asegurada con grampas y clavos cubriendo toda una cara del bastidor, quedando tensa y firme. De esta forma se previene que la lana de vidrio caiga, y queda una pieza estética, lista para colocar sobre las paredes del recinto.

Los paneles de lana de vidrio fueron repartidos uniformemente por las diferentes superficies de la sala, siempre sobre las paredes y dispuestos sobre bancos de madera de pino, lo cual no influyó en el cálculo ni el resultado final de la acústica variable; esto se debe a que la superficie que representa dichos bancos es muy pequeña. Al colocarlos de esta forma, se garantiza que van a existir menos superficies reflejantes y que tanto el sonido reflejado como las primeras reflexiones reducirán su cola reverberante. Cabe aclarar que la disposición de los paneles en la práctica es muy similar a la definitiva (esto tampoco afecta al resultado final).



# RESULTADOS

VI.

Los resultados obtenidos derivaron de la planilla de excel y las muestras de audio grabadas en la sala, primero sin paneles acústicos y luego con ellos. Para ser más precisos, se adjuntan los siguientes resultados:

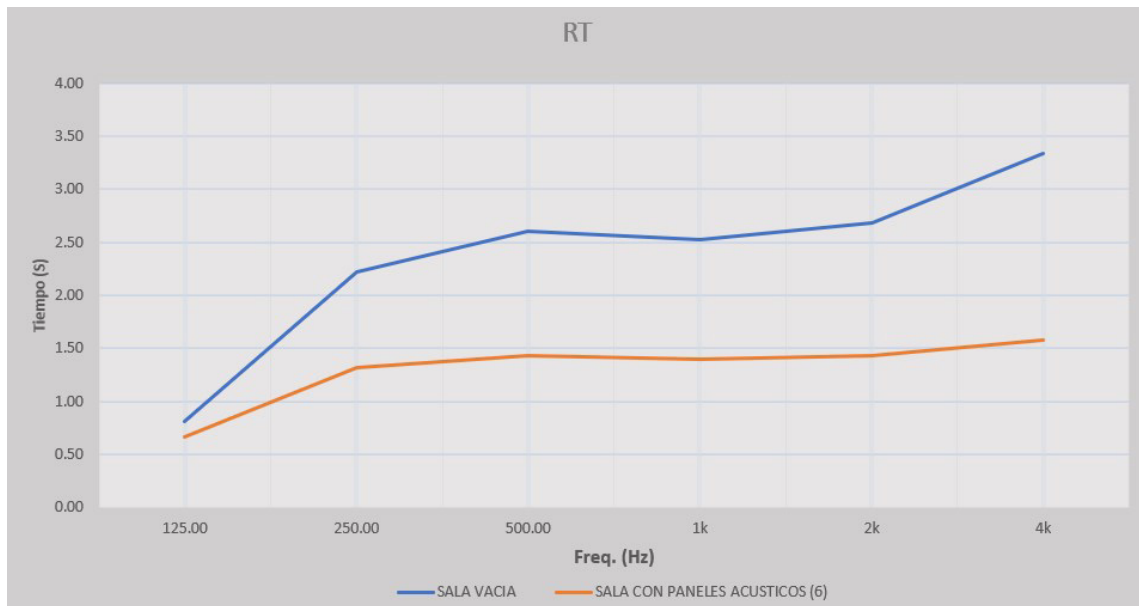


Gráfico 1 – Comparación del tiempo de reverberación con y sin paneles dentro de la sala

Sobre el eje Y se posicionó el tiempo en segundos y sobre el eje X las bandas de frecuencias en Hz. Se puede observar a simple vista que la reducción del tiempo de reverberación es aproximadamente la mitad con relación a la sala sin bastidores.

En los resultados finales con los paneles acústicos, se observa la utilización de la fórmula de Sabine teniendo en cuenta los valores obtenidos anteriormente, tales como el volumen de la sala, superficie y los diferentes coeficientes de absorción.

Tiempo de reverberación, estudio de grabación "El Cerro" - Sala "A"					
125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
0.81s	2.22s	2.60s	2.53s	2.69s	3.34s
0.67s	1.32s	1.43s	1.39s	1.43s	1.58s

Tabla 3 – Resultados tiempo de reverberación en segundos

- Sin Paneles
- Con 6 paneles

A partir de los datos obtenidos anteriormente, se procedió a grabar las muestras. En el siguiente gráfico se observa la forma de onda de un golpe con palos de batería, ubicados a la misma distancia de la configuración de micrófonos para la toma.

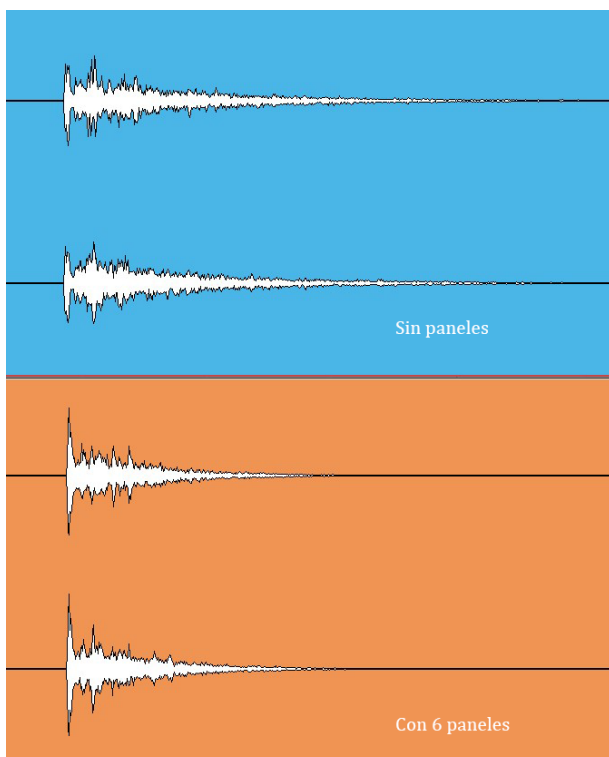
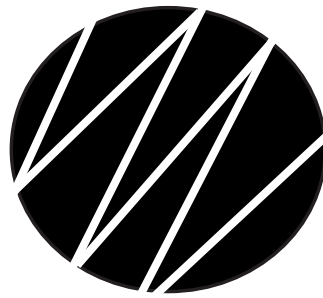


Figura 4 – Comparación de forma de onda.

Se aprecia de forma clara la diferencia en la cola reverberante de la toma sin paneles acústicos y con paneles.

A continuación, se adjuntan algunas imágenes de los paneles acústicos de lana de vidrio utilizados en la sala:





# CONCLUSIONES

VII.

La realización de los procesos necesarios para llevar a cabo el diseño y ejecución de la acústica variable en la sala de grabación, fue de utilidad para tener tanto datos precisos sobre el tiempo de reverberación como un buen diagnóstico antes de realizar cualquier modificación a la sala.

El estudio acústico abarca diferentes factores tales como, estudios de reflexiones, difusión y modos propios, por ejemplo. Se limitó este proyecto al estudio de reverberación debido a que es la mayor prioridad para la sala de grabación.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios debido a que se encontró el punto de equilibrio sonoro, se logró que funcionen y cumplan los objetivos planteados para la sala. También, estos resultados permitieron una mayor facilidad para el procesamiento previo de las señales de audio para su edición.

No se optó por colocar más paneles acústicos debido a que la sala no soportaría naturalidad. Por esto, la sala cuenta con una superficie de pared de piedra, donde las piedras se encuentran dispuestas de forma irregular permitiendo las reflexiones sonoras dentro del recinto.

La construcción de paneles de lana de vidrio fue la mejor y más efectiva opción que se tuvo, dada la posibilidad de utilizar los materiales que estaban a disposición en el estudio.

De forma clara se pudo notar las diferencias sonoras de la sala sin paneles y con sus 6 paneles, concretando el diseño acústico.

La grabación de la batería acústica, la guitarra acústica y la voz demostraron de forma audible, la concordancia con los cálculos, simulaciones y gráficos realizados, dando un resultado satisfactorio y corroborando la hipótesis.

La implementación de este nuevo diseño tendrá una gran relevancia para las futuras grabaciones, ya que el procesamiento de la señal será mejor. Por otro lado, las grabaciones de instrumentos dentro de la sala tendrán una mayor fidelidad sonora, dando espacio a diferentes bandas y géneros musicales ampliando la cartera de clientes de “El Cerro”.

El operador del estudio de grabación “El Cerro” se mostró muy satisfecho con los resultados, ya que será él quien aprovechará de manera directa los beneficios de este nuevo diseño.

## ***Alcances y limitaciones***

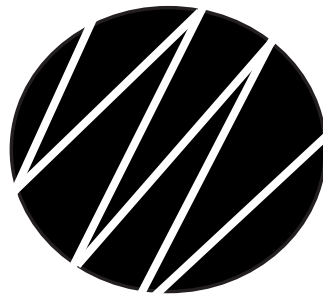
El proyecto de tesis llegará solo hasta la etapa de ejecución y prueba de los paneles acústicos dentro del recinto (sala viva en “El Cerro” estudio de grabación); es decir, la grabación de muestras de audio con y sin paneles acústicos, para apreciar de forma audible la respuesta acústica de la sala.

Se presentará una comparación gráfica del tiempo de reverberación (s) de la sala con paneles y sin paneles acústicos, a fin de mostrar la respuesta acústica.

Debido a la pandemia y sus restricciones, se encontrará reducida la posibilidad de frecuentar el estudio para realizar más ensayos.

“El Cerro” estudio cuenta con las herramientas y materiales necesarios para la construcción de paneles acústicos, estos serán fabricados con madera de pino, por lo que su costo no es un problema y para “El Cerro” significa una inversión. Las alfombras ya se encuentran instaladas, por lo que no es necesario la compra de las mismas.

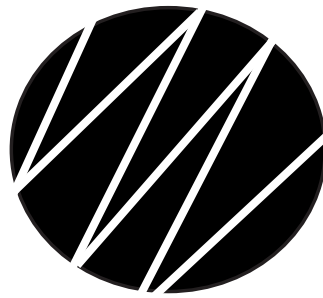
Para todas las bandas o solistas que graben en esta sala, se verá reflejado en su producto final, el sonido característico de la sala, diferenciándola del resto de salas sin el correspondiente tratamiento acústico. La intención de “El Cerro” no solo es lograr un buen tratamiento acústico, también con ello una nueva y renovada estética de la sala para atraer más músicos a grabar y lograr un espacio multidisciplinario en lo que corresponde a las artes audiovisuales, pudiendo incursionar en el video también.



# **BIBLIOGRAFÍA**

**VIII.**

- Beranek, L. (1961). *Acoustics*: Hispano
  - Carrión, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*: Edicions UPC
  - Jaramillo, P. (2012). *Diseño y desarrollo de un método interactivo de entrenamiento auditivo para estudiantes y profesionales en ingeniería en sonido y acústica*.
  - Miyara, F. (1999). *Acústica y sistemas de sonido*: REUN, Red de Editoriales de Universidades Nacionales. Editoriales de la A.U.G.M, Asociación de Universidades Grupo Montevideo
  - Möser, M. (2009). *Ingeniería acústica*: Springer
  - Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*: Panapo
  - Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*: McGRAW-HILL
  - Sautu, R. (2005). *Manual de metodología*. Construcción del marco teórico, formulación de los objetivos y elección de la metodología: CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
-



# ANEXOS



## *Comparación de formas de onda*

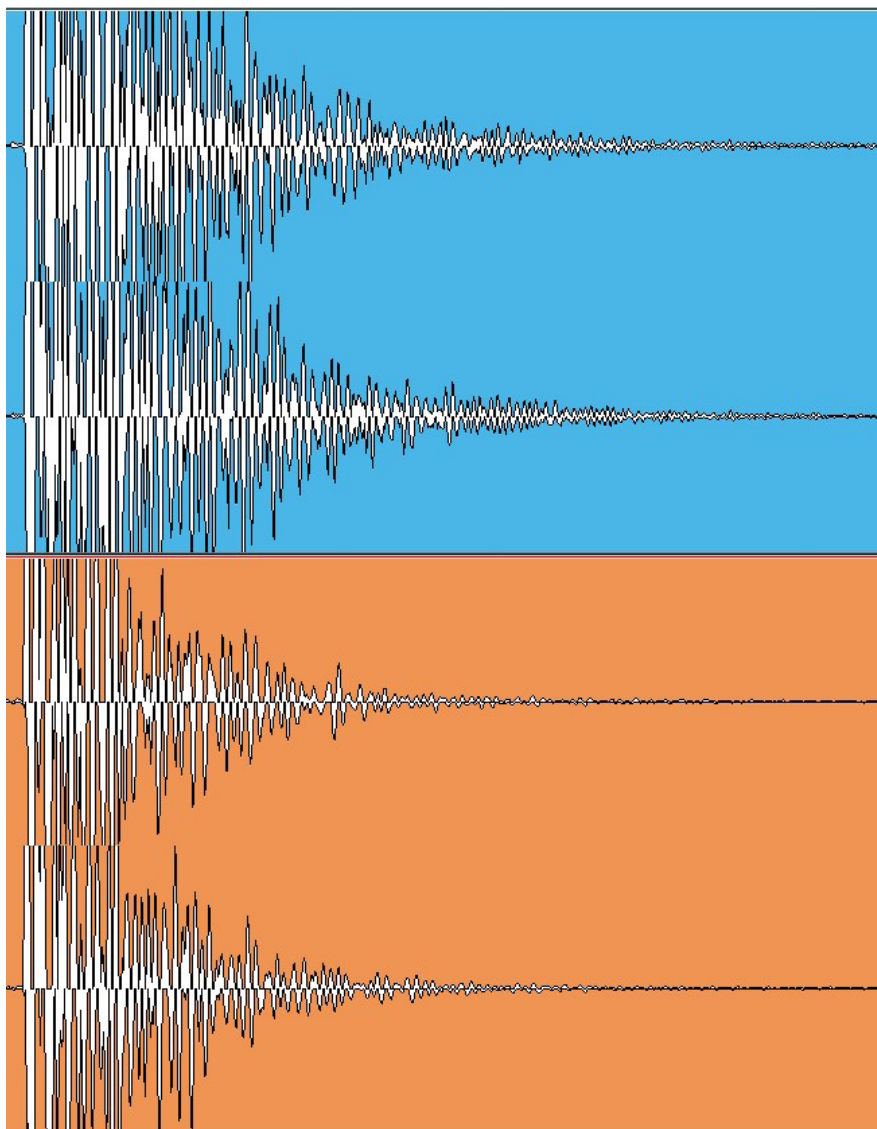


Fig. 5 - Bombo batería acústica

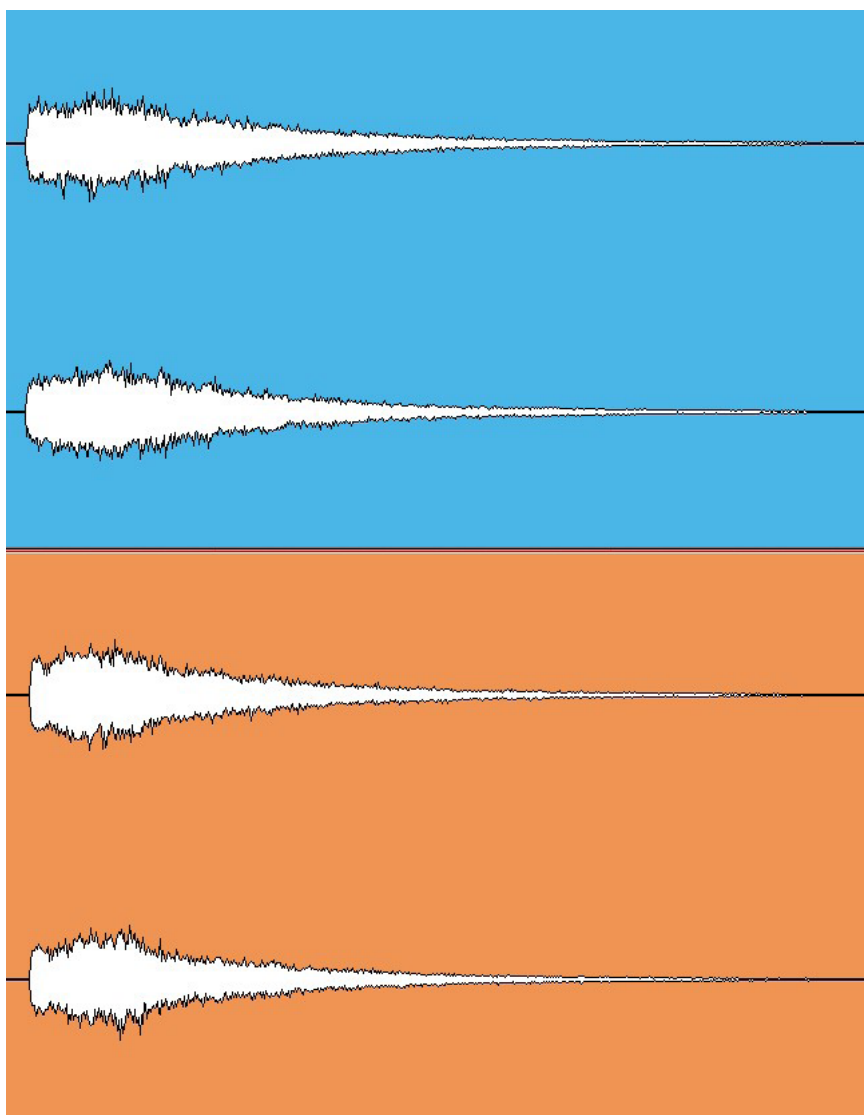


Fig. 6 - Crash - ride

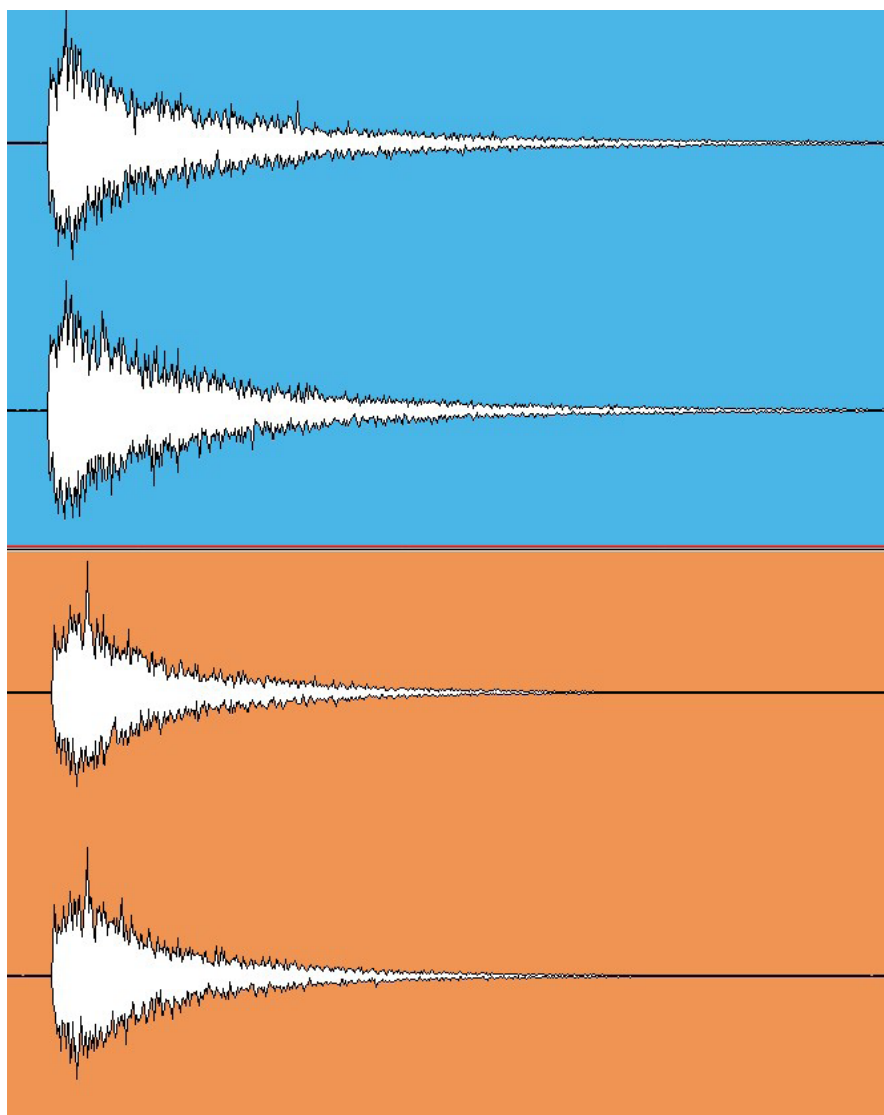


Fig. 7 - Hi-hat

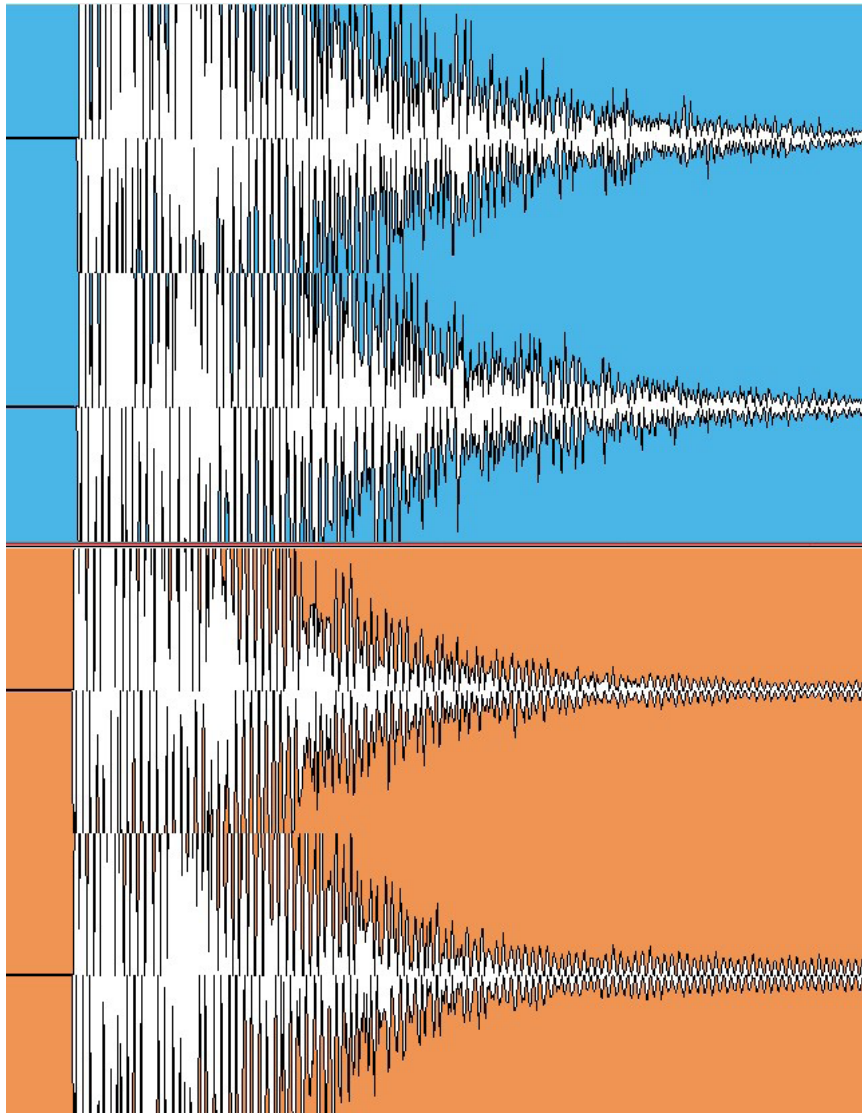


Fig. 8 - Redoblante

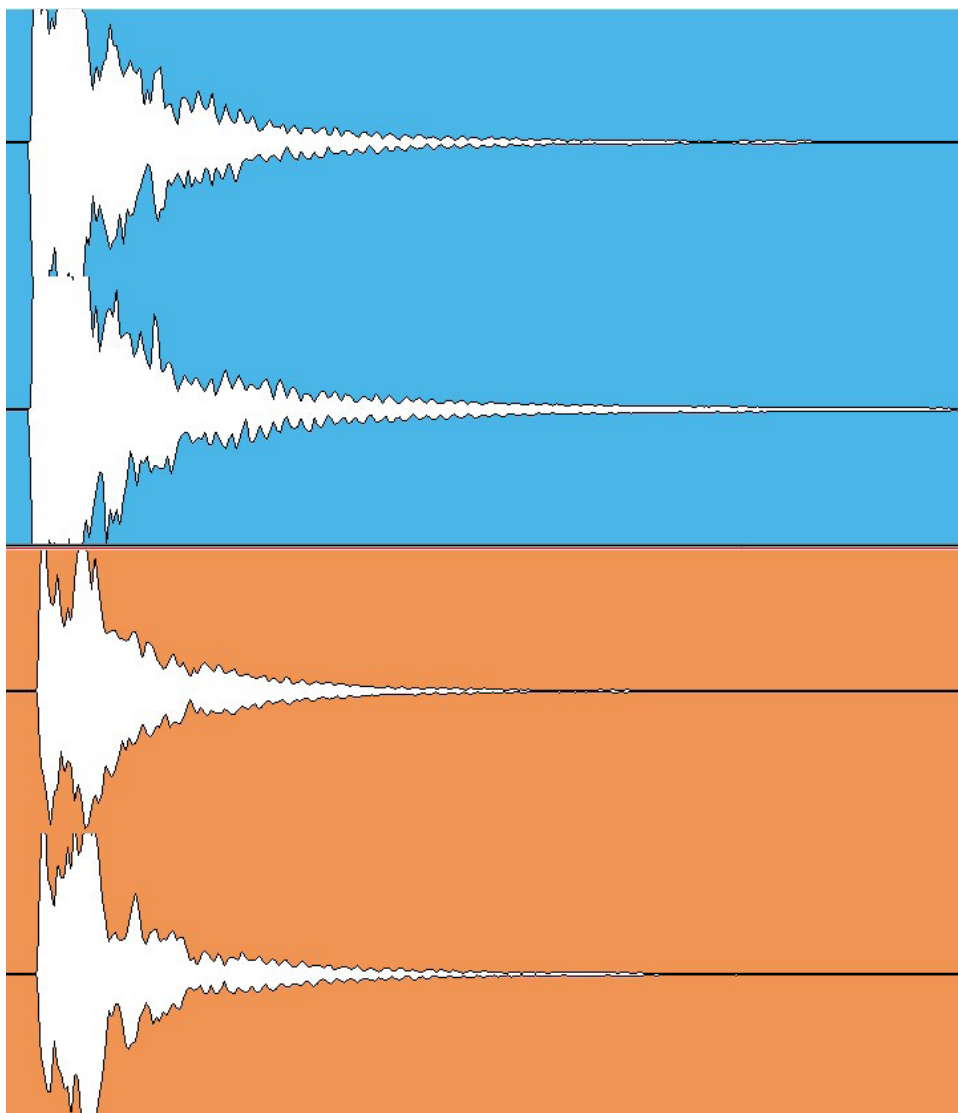


Fig. 9 - Tom

## Resultados en excel

A 125	A 250	A 500	A 1k	A 2k	A 4k	Objeto
20.43	7.01	4.67	4.09	2.92	1.17	Cielorraso
5.08	1.74	1.16	1.02	0.73	0.29	Pared Grande
0.32	0.32	0.32	0.48	0.64	0.64	Pared Piedra
2.00	2.00	3.50	3.00	3.00	3.50	Piso
6.20	2.13	1.42	1.24	0.89	0.35	Pared frente a piedra
5.34	1.83	1.22	1.07	0.76	0.30	Buche esquina
0.11	0.12	0.11	0.08	0.08	0.12	Puerta
0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	Vidrio puerta
0.21	0.63	1.41	3.52	4.93	5.07	Alfombra
0.74	0.25	0.15	0.15	0.10	0.10	Ventana Grande
0.36	0.12	0.07	0.07	0.05	0.05	Ventana Mediana bata
0.19	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	Ventana Techo
	0	0	0	0	0	
1.881	1.881	1.881	1.881	1.881	1.881	Paneles lana de vidrio 190 x 110
5.175	5.175	5.175	5.175	5.175	5.175	Paneles lana de vidrio 250 x 115
6.68304	6.68304	6.68304	6.68304	6.68304	6.68304	Paneles lana de vidrio 238 x 104

Tabla 4 - Objetos con su coeficiente de absorción total

Superficie total				211.69			
A tot							
$\alpha$ medio							
4m					0.00	0.00	0.00
V sala		265.48					
		125.00	250.00	500.00	1k	2k	4k
	A 125	A250	A500	A 1k	A 2k	A 4k	
$\alpha$ Tot	46.70	18.37	15.81	16.27	15.32	12.42	
$\alpha/S$	0.22	0.09	0.07	0.08	0.07	0.06	
RT Sabine	0.81	2.22	2.60	2.53	2.69	3.34	

Tabla 5 - Resultado sala sin paneles

Superficie total	204.65						
V sala	265.48						
	125	250	500	1k	2k	4k	
$\alpha$ Tot	54.81	30.00	27.83	28.52	27.87	25.37	
$\alpha/S$	0.27	0.15	0.14	0.14	0.14	0.12	
RT Sabine	0.67	1.32	1.43	1.39	1.43	1.58	

Tabla 6 - Resultado sala con paneles

## Fotografías



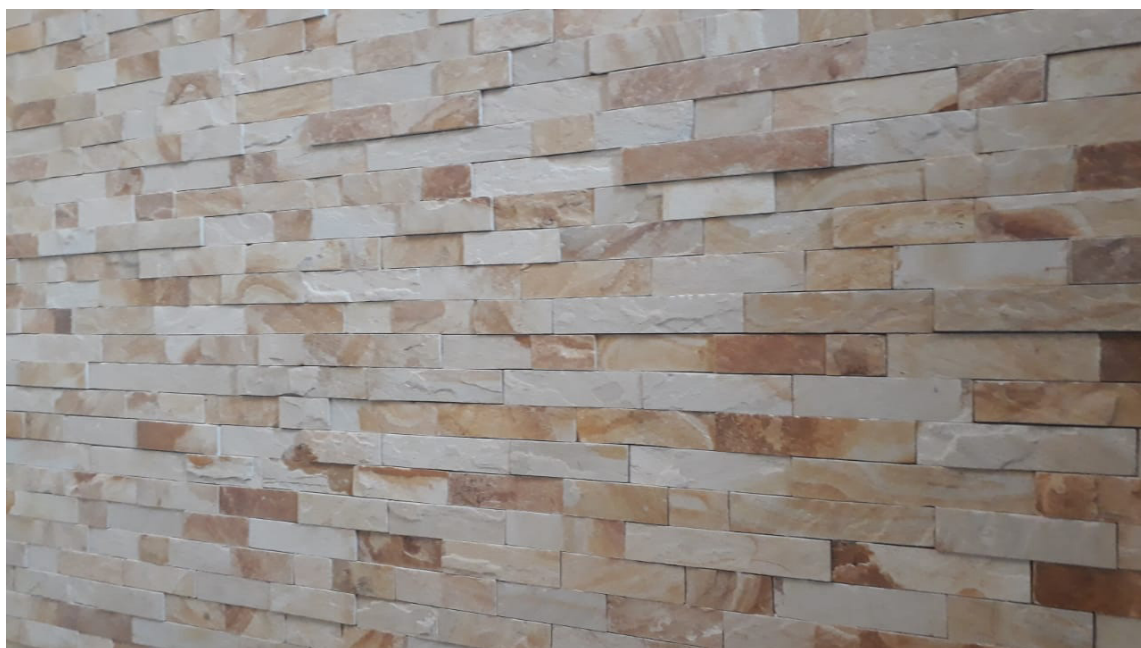




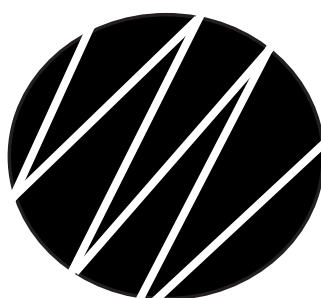
Fotografías - técnica de microfoneo  
M&S (Mid & Side)



Fotografías - Control Room  
y grabación en Pro Tools



Fotografias - Detalle pared de piedra



# HOJA DE EVALUACIÓN



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA**  
**FACULTAD DE ARTES Y CIENCIAS.**

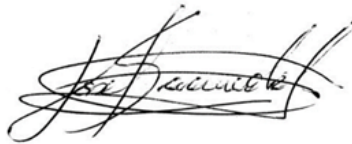
***Licenciatura en Imagen y Sonido.***

*Tratamiento acústico de la sala viva en estudio de grabación "El Cerro". Salta, Capital.*

Alumno: Ramón Vivas



Director: Lic. José Alberto Saavedra Arce



Evaluación:

Observaciones:

Mayo, 2021

---