



**UNIVERSIDAD DE LAS ARTES**

**Escuela de Artes Sonoras**

Proyecto investigativo

**Nombre del proyecto**

Diseño estructural y acústico de un estudio de grabación

Previo la obtención del Título de:

**Licenciada en Producción Musical y Sonora**

*Autor/a:*

Maite Noelia Villacreses Andrade

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

### **Declaración de autoría y cesión de derechos de publicación del trabajo de titulación**

Yo, Maite Noelia Villacreses Andrade, declaro que el desarrollo de la presente obra es de mi exclusiva autoría y que ha sido elaborada para la obtención de la Licenciatura en Producción Musical y Sonora. Declaro además conocer que el Reglamento de Titulación de Grado de la Universidad de las Artes en su artículo 34 menciona como falta muy grave el plagio total o parcial de obras intelectuales y que su sanción se realizará acorde al Código de Ética de la Universidad de las Artes. De acuerdo al art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad E Innovación\* cedo a la Universidad de las Artes los derechos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, para que la universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando su uso sea con fines académicos.



Firma del estudiante

\*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.

## **Miembros del Comité de defensa**

Darío Buitrón

Nombre del Tutor

Tutor del Proyecto

Pedro Segovia

Nombre de miembro del Comité

Miembro del Comité de defensa

## **Agradecimientos:**

Mi más sincero agradecimiento a los docentes de la Universidad de las Artes que durante todo mi periodo formativo influyeron de forma proactiva guiando mis conocimientos para la finalización de mi carrera.

## **Dedicatoria:**

El presente proyecto lo dedico a mi hermosa madre, apoyo fundamental en el proceso de mi carrera y vida personal.

## Resumen

Al diseñar un espacio acústicamente acondicionado para una grabación, se deben tomar en cuenta los métodos y modelos que nos permiten visualizar teóricamente el recorrido del sonido dentro de la sala.

En este proyecto se investigaron los criterios de acústica ondulatoria, cálculos estadísticos y aislamiento, que fueron aplicados en un recinto paralelepípedo, teniendo en cuenta que, las ondas estacionarias o modos propios, son el reflejo de la geometría y las dimensiones de un espacio. Escoger la forma y el tamaño adecuados para una sala logra disminuir los efectos audibles de resonancias no deseadas.

Así mismo, al emplear la fórmula de Rayleigh para calcular los modos propios de un recinto geométrico rectangular, se obtuvieron datos sobre las frecuencias que poseen una mayor densidad dentro de los recintos diseñados; para posteriormente comparar los resultados entre: el recinto sin adecuaciones y el resultado final.

Se investigaron modelos matemáticos que arrojaron resultados sobre la reverberación, atenuación, masa/densidad de los materiales, curvas NC, el cálculo del brillo y calidez de la sala; dando como resultado una serie de pasos que se implementaron para obtener el cálculo de la respuesta sonora del recinto a partir de los materiales utilizados para el diseño de las salas.

Palabras Clave: acústica arquitectónica, criterio de Bolt, criterio de Bonello, diseño acústico, modos propios, tiempo de reverberación, frecuencia y ondas.

## **Abstract**

When designing an acoustically conditioned space for a recording, methods and models that allow us to theoretically visualize the sound path within the room must be taken into account.

In this project we investigated the criteria of wave acoustics, statistical calculations and isolation, which were applied in a parallelepiped enclosure, taking into account that the standing waves or eigenmodes are a reflection of the geometry and dimensions of a space. Choosing the right shape and size for a room reduces the audible effects of unwanted resonances.

Likewise, by using Rayleigh's formula to calculate the eigenmodes of a rectangular geometric enclosure, data were obtained on the frequencies that have a higher density within the designed enclosures; to later compare the results between: the enclosure without adaptations and the final result.

Mathematical models were investigated that yielded results on reverberation, attenuation, mass/density of materials, NC curves, calculation of brightness and warmth of the room; resulting in a series of steps that were implemented to obtain the calculation of the sound response of the enclosure from the materials used for the design of the rooms.

Palabras Clave: architectural acoustics, Bolt's criterion, Bonello's criterion, acoustic design, eigenmodes, reverberation time, frequency and waves.

## **Contenido**

<b>Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>6</b>
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos .....	6
<b>Antecedentes: .....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>9</b>
<b>Marco teórico .....</b>	<b>9</b>
Propagación del sonido .....	9
Presión sonora.....	10
Nivel de presión sonora .....	11
Modos propios .....	12
Recintos paralelepípedicos .....	14
Criterio de Bolt (1946).....	14
Criterio de Bonello (1981).....	15
Aislamiento sonoro .....	16
Ley de masas.....	17
Aislamiento paredes dobles .....	17
Curvas NC.....	19
Tiempo de Reverberación.....	20
Brillo y calidez acústica .....	21
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>22</b>
<b>Dimensiones de las salas.....</b>	<b>22</b>
<b>Criterio de Bolt .....</b>	<b>23</b>
<b>Criterio de Bonello .....</b>	<b>24</b>
<b>Atenuación sonora .....</b>	<b>25</b>

<b>Cálculos de doble pared .....</b>	<b>26</b>
Pared externa.....	26
Pared interna .....	27
Medio separador .....	27
<b>Curvas NC.....</b>	<b>29</b>
<b>Tiempo de reverberación de la sala .....</b>	<b>30</b>
<b>Acondicionamiento acústico .....</b>	<b>33</b>
<b>Datos de las salas con acondicionamiento acústico .....</b>	<b>35</b>
Resultado sala de control .....	36
Tratamiento de brillo de la sala .....	36
Tratamiento de calidez de la sala .....	36
Resultados sala de registro.....	37
Tratamiento de brillo de la sala .....	37
Tratamiento de calidez de la sala .....	37
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>38</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>38</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>40</b>
<b>Planos 2D.....</b>	<b>47</b>

## Introducción

En el diseño de un estudio de grabación la respuesta sonora de la sala debe tener cualidades acústicas que generen espacios óptimos para el trabajo de producción y post producción. A partir del aislamiento, que evita la intervención de ruidos externos y la salida de sonido al exterior, con esto se evitara la contaminación sonora, tomando en cuenta la elección de materiales y su correcta aplicación para el revestimiento del recinto,<sup>1</sup> a su vez, el acondicionamiento, pretende mejorar la acústica interna del recinto, controlando parámetros de la acústica geométrica, número de las reflexiones tempranas, resonancias modales y el tiempo de reverberación.<sup>2</sup> Esto, nos dará un balance energético óptimo del rango de frecuencias, evitando su superposición. Así también podremos observar paso a paso como el uso de las fórmulas y conocimientos aplicados a la acústica arquitectónica nos otorgan resultados que se encuentran bajo los principios acústicos requeridos y adecuados para hacer apto un recinto.

El enfoque principal es aplicar los criterios de Bolt y Bonello enfocados en recintos rectangulares de pequeñas dimensiones. Con la finalidad de visibilizar un prototipo de estudio de grabación, así también el alcance del tratamiento acústico que podemos llegar al establecer con las bases teóricas los coeficientes de absorción, para deducir las aplicaciones prácticas y prevenir la realización y esfuerzos innecesarios<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup>Jarol Martin, «DISEÑO DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO PARA LOS ESTUDIOS DE EMISIÓN Y GRABACIÓN DE LA NUEVA SEDE DE LA EMISORA KENNEDY YURI ROCIO IGUA PORRAS», accedido 30 de mayo de 2022, [https://www.academia.edu/9372485/DISE%C3%91O\\_DE\\_AISLAMIENTO\\_Y\\_ACONDICIONAMIENTO\\_AC%C3%9ASTICO\\_PARA\\_LOS\\_ESTUDIOS\\_DE\\_EMISI%C3%93N\\_Y\\_GRABACI%C3%93N\\_DE\\_LA\\_NUEVA\\_SEDE\\_DE\\_LA\\_EMISORA\\_KENNEDY\\_YURI\\_ROCIO\\_IGUA\\_PORRAS](https://www.academia.edu/9372485/DISE%C3%91O_DE_AISLAMIENTO_Y_ACONDICIONAMIENTO_AC%C3%9ASTICO_PARA_LOS_ESTUDIOS_DE_EMISI%C3%93N_Y_GRABACI%C3%93N_DE_LA_NUEVA_SEDE_DE_LA_EMISORA_KENNEDY_YURI_ROCIO_IGUA_PORRAS).

<sup>2</sup>Cristopher Galicia, Jorge Tellez, «Diseño acústico de un estudio de grabacion.pdf», accedido 19 de mayo de 2022, <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18519/Dise%C3%B1o%20acustico%20de%20un%20studio%20de%20grabacion.pdf>.

<sup>3</sup> J. M. Tobío, «Aislamiento acústico», *Informes de la Construcción* 23, n.º 222 (30 de julio de 1970): 55-85, <https://doi.org/10.3989/ic.1970.v23.i222.3547>.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Diseñar un estudio de grabación en base a criterios de acústica ondulatoria, cálculos estadísticos y aislamiento sonoro.

### **Objetivos específicos**

- Explicar los criterios y métodos acústicos seleccionados y su aplicación teórica para el diseño de una sala de grabación.
- Comparar los valores resultantes de la sala sin y una vez aplicado el sistema de acondicionamiento.
- Presentar planos y el modelamiento tridimensional de la sala de grabación que permita evidenciar su forma y volumen.

## Antecedentes:

Desde sus comienzos, los estudios de grabación sonora han estado directamente relacionados con los avances tecnológicos de la industria musical. En el año 1890, “The Columbia Phonograph Company” fue la primera compañía en crear un estudio de grabación. En aquel tiempo, la mayor parte de las grabaciones se hacían captando el sonido directamente de los instrumentos que se tocaban en conjunto, teniendo como único criterio la necesidad de tener una sala aislada del ruido exterior.<sup>4</sup> Dado que, hasta esa época no existía ninguna teoría de acústica arquitectónica, en 1895, W. C. Sabine desarrolló la teoría de la reverberación transformándose en consultor de las primeras salas con tratamiento acústico a partir de 1905<sup>5</sup>. Aun así, la gran parte de las salas de concierto y auditorios se construían imitando aquellas que sí poseían una buena acústica. La única cualidad necesaria para los recintos que se utilizaban en las grabaciones era que gozaran de una acústica viva (live rooms), es decir, que tienen un tiempo elevado de reverberación, lo que proporciona un color característico.

### Grabación Acústica



**Figura 1.1 Grabación grupal [«1, 2, 3... ¡Grabando! Una historia del registro musical», Espacio Fundación Telefónica, accedido 8 de junio de 2022, <https://espacio.fundaciontelefonica.com/evento/un-dos-tres-grabando/>.]**

---

<sup>4</sup> César Benavente, «Metodología de diseño de estudios de grabación y aplicación a caso práctico», *Universidad Politécnica de Madrid*, 15 de julio de 2013, 7.

<sup>5</sup> Higinio Arau-Puchades, «¿ES EL CRITERIO ACUSTICO EL PARADIGMA DE LA EXCELENCIA ACÚSTICA EN EL DISEÑO DE SALAS?», 2008, 1.

Para 1925 la revolución sonora había comenzado, ya que en las grabaciones y reproducciones se empezaron a implementar sistemas electroacústicos, desplazando paulatinamente a la grabación directa. A partir de la década de los 60, el uso de la tecnología estereofónica permitió que se desarrollaran diferentes técnicas de grabación. Con esto, los recintos que se adecuaron a las exigencias de los ingenieros de sonidos, eliminando las reflexiones tempranas y convirtiéndolos en lugares acústicamente muertos (dead rooms) con el afán de poder captar el sonido directamente de la fuente, con lo que se obtenían nuevas sonoridades que se popularizaron en aquella década, como el rock y el pop.<sup>6</sup>

En 1980, Don David y Chips Davis publicaron “The LEDE Concept for the Control of Acoustic and Psychoacoustic Parameters in Recording Control Rooms.” con el concepto de LEDE (live-end-dead-end) que consiste en alargar el intervalo entre el sonido directo y las reflexiones del cuarto, dividiendo a la mitad el recinto donde la parte delantera de la sala debe ser casi completamente absorbente, y la mitad posterior debe consistir en superficies reflectantes de dispersión. Sin embargo, esta teoría no duró mucho tiempo debido al desarrollo de nuevas investigaciones. Posteriormente, ya en 1990, los ingenieros de grabación llegaron a un consenso de características que debe poseer una sala de mezcla.<sup>7</sup> Algunas de esos parámetros son: el filo de la mesa de mezcla debe estar de 1,5m a 2m de distancia de la pared de modo que la distancia entre los altavoces y los oídos sea aproximadamente de 2,5m; el ruido de fondo debe mantenerse en NC-25 o menor; los tiempos de reverberación deben llegar a 0,3 segundos y aproximadamente la mitad de la superficie interior debe ser absorbente, siendo óptima para mezclas estéreas o de sonido envolvente; el oyente debe estar centrado al igual que los altavoces formando un triángulo equilátero entre ellos, para evitar filtros de peine y conseguir reflexiones laterales simétricas.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Moscoso Bullón y Richard Alfredo, «SIMULACIÓN ACÚSTICA DE CUARTOS DE CONTROL DE ESTUDIOS DE GRABACIÓN», 2018, 7.

<sup>7</sup> George L. Augspurger, «Control Room Design: The Monitoring Environment», *Acoustics Today* 9, n.º 2 (2013): 15, <https://doi.org/10.1121/1.4817489>.

<sup>8</sup> Augspurger.

# Capítulo 1

## Marco teórico

### Propagación del sonido

Es el desplazamiento de una serie de vibraciones o frecuencias que se transmiten de un punto a otro dependiendo de la densidad del medio de propagación, ya que este es proporcional a la velocidad, lo que genera variaciones de presión, que se producen a lo largo del tiempo y alcanzan una distancia desde el punto de origen del sonido hasta su decaimiento.

Esta energía o señal posee una cadena de perturbaciones que pueden ser periódicas o no periódicas, la primera se representa por el símbolo  $\lambda$  Lambda, longitud de onda donde cada periodo es igual a  $T = 1/f^9$

#### Longitud de onda ( $\lambda$ )

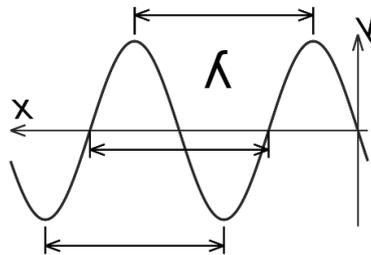


Figura 1.2 Ejemplo de longitud de onda [«Longitud de onda», en Wikipedia, la enciclopedia libre, 7 de mayo de 2022, [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Longitud\\_de\\_onda&oldid=143387330](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Longitud_de_onda&oldid=143387330).]

O no periódicos que contienen una cantidad de frecuencias muy próximas que no son identificables entre sí.

---

<sup>9</sup> Federico Miyara, «Control de Ruido», (1999),15

### Onda no periódica o aleatoria



Figura 1. 3 Ejemplo de onda no periódica [Federico Miyara, «Control de Ruido», (1999)]

Las longitudes de ondas y las frecuencias son inversamente proporcionales, esto quiere decir que a mayor  $\lambda$  menor  $f$  y viceversa.

$$\lambda = \frac{\text{Velocidad del sonido (m/s)}}{\text{frecuencia Hz}}$$

### Presión sonora

Es la diferencia que se genera una entre la presión sonora debida al sonido y la presión atmosférica en ausencia de una energía o señal. La unidad de medida que se utiliza para la presión se denomina Pascal **Pa**.

$$p = P - P_0$$

Sin embargo, la presión instantánea en el aire posee un valor mucho menor a la atmosférica, Los cambios en la presión atmosférica tienden a ser muy lentos, por el contrario, a los de la presión sonora que lo hace más rápido.

Dentro de nuestro entorno existen diferentes sonidos y ruidos, el ser humano posee un rango auditivo debido al comportamiento del oído puede experimentar 20 **Pa** como umbral de dolor, mientras que los apenas audibles van en promedio de 20 **mPa** abreviación de micro pascales.<sup>10</sup>

$$20 \times 10^{-6} \text{Pa} < p < 20 \text{ Pa}$$

---

<sup>10</sup> «NIVELES SONOROS», accedido 10 de junio de 2022, <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>.

## Nivel de presión sonora

Es la expresión logarítmica de la presión sonora, que se representa con

$$\text{NPS} = 20 \log_{10} \left( \frac{P}{P_{\text{ref}}} \right) \text{ (dB)}$$

donde *log* es el logaritmo decimal con base 10, **P** es el valor eficaz de la presión sonora (RMS) y **P<sub>ref</sub>** es la presión de referencia a la presión menos audible que se refiere a **20mPa**.

La unidad para expresar los niveles de presión sonora es en decibeles (**dB**). Los sonidos audibles varían de 0dB a 120dB, aquellos que sobrepasen generan dolor y además causar daños auditivos irreversibles.

### Presión Sonora y Nivel de Presión

FUENTE	P <sub>ef</sub> [Pa]	NPS [dB]
Umbral de dolor	20	120
Discoteca a todo volumen	6,3	110
Martillo neumático a 2 m	3,6	100
Ambiente industrial ruidoso	0,63	90
Piano a 1 m con fuerza media	0,20	80
Automóvil silencioso a 2 m	0,020	70
Conversación normal	0,020	60
Ruido urbano de noche	0,0063	50
Habitación interior (día)	0,0020	40
Habitación interior (noche)	0,00063	30
Estudio de grabación	0,00020	20
Cámara sonoamortiguada	0,000063	10
Umbral de audición a 1 kHz	0,000020	0

Tabla 1.1 Valores de rango de dolor para el oído humano [Federico Miyara, «Control de Ruido», (1999)]

## Modos propios

Antoni Carrión afirma que:

La combinación de ondas incidentes y reflejadas en una sala da lugar a interferencias constructivas y destructivas o, lo que es lo mismo, a la aparición de las denominadas ondas estacionarias o modos propios de la sala. Cada modo propio va asociado a una frecuencia, igualmente denominada propia, y está caracterizado por un nivel de presión sonora SPL que varía en función del punto considerado.<sup>11</sup>

Definen la coloración de nuestra sala, ya que poseen una concentración de energía en diversas frecuencias, lo que le da un sonido característico, dependiendo directamente de sus dimensiones. Sabiendo que existen tres tipos de modos propios: los axiales, son los que poseen más energía y viajan entre dos paredes paralelas en dirección opuesta<sup>12</sup>.

### Modo Axial

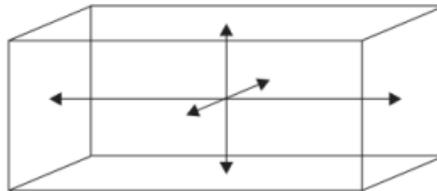
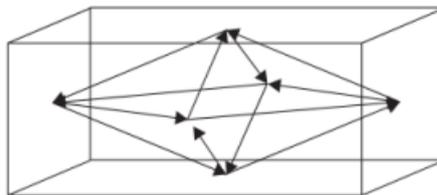


Figura 1.4 ejemplo de las ondas axiales [Richard Moscoso, *Acústica de Estudios de Grabación*, 2013.]

Los tangenciales, tienen la mitad de energía que los axiales y viajan reflejándose en cuatro paredes paralelas de dos en dos.

### Modo tangencial



---

<sup>11</sup>Antoni Carrión Isbert, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Politecnos ; Área de Arquitectura y Urbanismo 4 (Barcelona: Edicions UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, 1998). ,56

<sup>12</sup> Antoni Carrión Isbert, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, 56

Figura 1.5 ejemplo de las ondas tangenciales [Richard Moscoso, *Acústica de Estudios de Grabación*, 2013].

Los oblicuos, que poseen la cuarta parte de energía y viajan en ocho ondas reflejadas en todas las paredes.

### Modo oblicuo

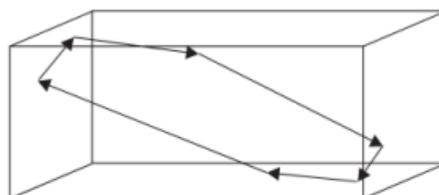


Figura 1.6 Ejemplo de las ondas oblicuas [Richard Moscoso, *Acústica de Estudios de Grabación*, 2013.]

Todos los modos se producen simultáneamente.

Para calcular los modos propios tenemos la fórmula de Rayleigh que dice:

$$f = \frac{v}{2} * \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2}$$

En donde  $l_x$ ,  $l_y$ ,  $l_z$ , representa n las dimensiones de la sala en metros.

Mientras que  $n_x, n_y, n_z$  son valores de cualquier número entero, con esta fórmula podemos ver en que frecuencias nuestra sala tiene más realce<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> «Ingeniería de Ondas - Acústica Arquitectónica», accedido 8 de febrero de 2020, [https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_08\\_09/io6/public\\_html/Paginas/modos.html#arriba](https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_08_09/io6/public_html/Paginas/modos.html#arriba).

## Recintos paralelepédicos

Los recintos rectangulares son populares por su economía de diseño y construcción, sin dejar de lado las ventajas acústicas que obtenemos al relacionar de forma adecuada sus tres dimensiones.

Los diferentes modos propios y ondas estacionaria que encontremos en este son directamente proporcionales a las medidas y volumen del recinto. Lo más importante es la relación entre sus tres dimensiones principales, la dimensión de mayor distancia determinara el modo dominante dentro de esta.

## Criterio de Bolt (1946)

Richard H. Bolt otorga a la sala un amplio rango de proporciones, de tal forma de producir las características más suaves en baja frecuencia. Esto es aplicable en recintos rectangulares de pequeñas dimensiones, a partir de una altura unitaria  $H=1$ , se obtiene las relaciones de dimensión del ancho y largo cualquier relación que se halle dentro del área de Bolt, producirá una buena calidad en bajas frecuencias en la sala, tanto como sea posible en relación con la distribución de los modos axiales.<sup>14</sup>

### Área de Bolt

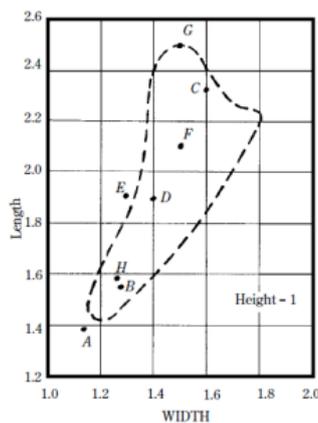


Figura 1.7 Mario D Flores y Maximo S Martinez, «Análisis De Modos Propios De Recintos Paralelepédicos Con Diferentes Proporciones» 2000 (2012): 2.

<sup>14</sup> Mario D Flores y Maximo S Martinez, «Análisis De Modos Propios De Recintos Paralelepédicos Con Diferentes Proporciones» 2000 (2012): 2.

## Criterio de Bonello (1981)

Llamado criterio de densidad de modos, parte de considerar que el número total de modos posibles ( $N_t$ ), para valores de  $k$ ,  $m$ ,  $n$  enteros y positivos desde 0 hasta el  $n$ -ésimo valor, será:

$$N_t = (n + 1)^3$$

Resolviendo está en conjunto con  $F_3 = 4 * F_2$ , se llega a la expresión de la densidad de modos en función del volumen de la sala, es decir, el número de modos de resonancia por ciclo de ancho de banda.

$$D = \frac{4 \times \pi \times V \times f}{C^2}$$

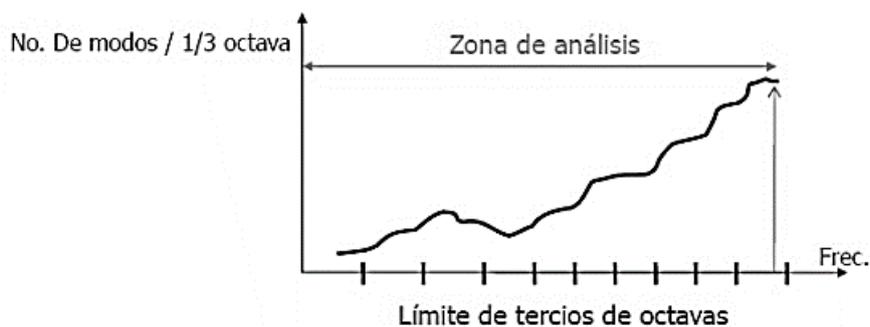
Siendo  $V$  el volumen en metros,  $f$  la frecuencia en Hz y  $C$  la velocidad del sonido en m/s

$$N_{totdeModos} = \frac{4 \times \pi \times V \times f^3}{C^3}$$

La densidad de modos crece con el cubo de las frecuencias, como se observa en la ecuación.

Para resumir en la aplicación del criterio no deben de existir modos dobles (dos frecuencias iguales), deberá ser montamente creciente o repetir la cantidad de modos, en dos tercios sucesivos. Como se muestra en la imagen.<sup>15</sup>

### Curva de criterio de Bonello



<sup>15</sup> Flores y Martinez.

## Aislamiento sonoro

### Adjuntas paredes dobles

“Consiste en impedir la propagación del sonido al interior del recinto por medio de obstáculos reflectores,”<sup>16</sup> los cuales reciben el choque de una onda incidente y los hace vibrar en flexión. Debemos de tener en cuenta que solo tomaremos la vía de transmisión de los ruidos aéreos.

### Onda incidente

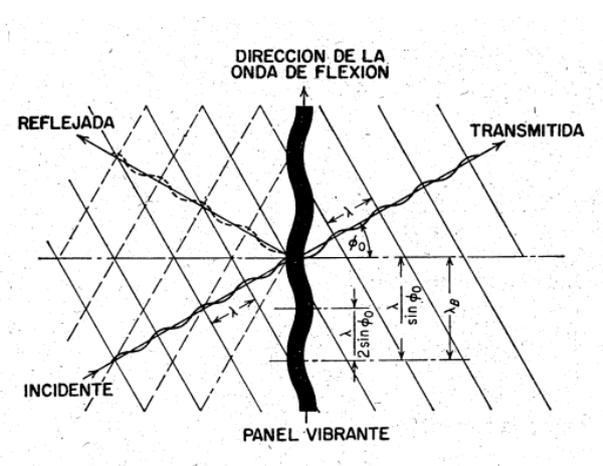


Figura 1.9 ejemplo de reacción de onda en un panel flexible [J. M. Tobío, «Aislamiento acústico», Informes de la Construcción 23, n.º 222 (30 de julio de 1970): 55-85, <https://doi.org/10.3989/ic.1970.v23.i222.3547>.]

Cuando una onda sonora incide sobre una superficie que posee elasticidad, parte de la energía se desplaza transmitiéndole energía cinética, generando una onda reflejada de menor energía y otra llamada onda transmitida, como se ve en la fig. 1.9. El ángulo de incidencia  $\theta$  es igual al ángulo de reflexión en sentido opuesto, la cual avanza a una velocidad constante.

<sup>16</sup> Tobío, «Aislamiento acústico».

## Ley de masas

Cada material posee densidades **d** y espesores **h**, esto les da diferentes coeficientes de absorción y transmisión, al multiplicar estos dos datos obtenemos la masa superficial que se mide en **kg/m<sup>2</sup>**, que tiene en sí misma una atenuación de dB, en diferentes rangos de frecuencias, esto se calcula con la ley de masas, que indica que el aislamiento en dB es proporcional al cuadrado de la masa superficial y de los diferentes rangos de frecuencia; con lo que queda la siguiente fórmula:

$$R = 20 * \log(m * f) - 48 [dB]$$

Que como resultado al ser aplicada a un cerramiento simple con ondas de transmisión difusas dicta según Galiana que:

- Para un cerramiento y un ángulo de incidencia dados, el aislamiento crece a razón de 6 dB/octava.<sup>17</sup>

## Aislamiento paredes dobles

El sistema de pared doble, son dos paredes rígidas separadas por un material elástico o cámara de aire, que nos permite acentuar la pendiente de la reducción por frecuencias ganando dB de atenuación.

Este conjunto de masa **m**, la dividimos en dos hojas que será **m1 + m2 = m**, separadas por una distancia **d**. La suma de estos factores nos da un mayor aislamiento acústico, y pérdida de transmisión **TL**.<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> Llinares Galiana, «Acústica arquitectónica y urbanística», 2011, 288.

<sup>18</sup> Claudia Sofía Lehmann Fernández, «Revisión de los Algoritmos de Predicción del Aislamiento Acústico Proporcionado por Paredes Dobles: un Análisis Comparativo», 2007, abril de 2007, 111.

## Paredes dobles con material elástico de separación

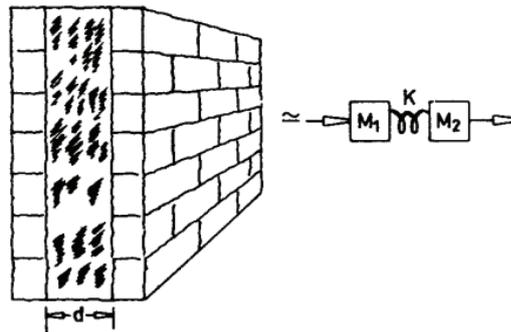


Figura 1.10 Llinares Galiana, «Acústica arquitectónica y urbanística», 2011, 290.

Para conocer el punto de pérdida de transmisión efectuado por el uso de paredes dobles debemos de obtener la frecuencia propia del sistema:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{d} \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}}$$

Que esta conformada por la velocidad del sonido ( $c$ ), densidad ( $\rho$ ) y su espesor  $d$ .  $m_1$  y  $m_2$  son la masa superficial que tienen las paredes que cubren el material separador.

Las frecuencias inferiores a  $f_0$  se comportan como un cerramiento simple que, al llegar al punto existe una pérdida de aislamiento, y en frecuencias superiores existe un aumento en el aislamiento igual a 18dB/octava en comparación a los 6dB/octava de un sistema simple.

### Aislamiento acústico de pared doble

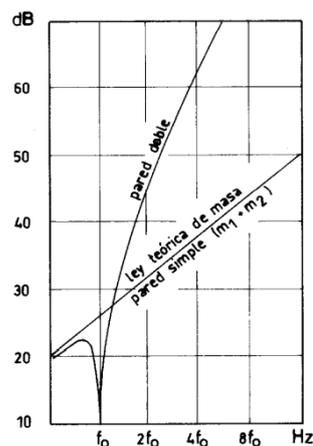


Figura 1.11 Llinares Galiana, «Acústica arquitectónica y urbanística», 2011, 291.

## Curvas NC

Conjunto de curvas que toman en cuenta el contenido espectral del ruido (frecuencia) y se basan en un análisis de bandas por octavas o 1/3 de octavas, tomando también en cuenta la sensibilidad del oído al sonido de baja frecuencia.<sup>19</sup> Se utilizan para establecer los niveles de ruido máximos recomendables en un recinto en función a la aplicación. Teniendo en cuenta que, una sala cumple con los parámetros cuando los niveles de ruido residual de fondo exterior se encuentran por debajo de la curva NC correspondiente al uso.

### Curva NC (noise criteria)

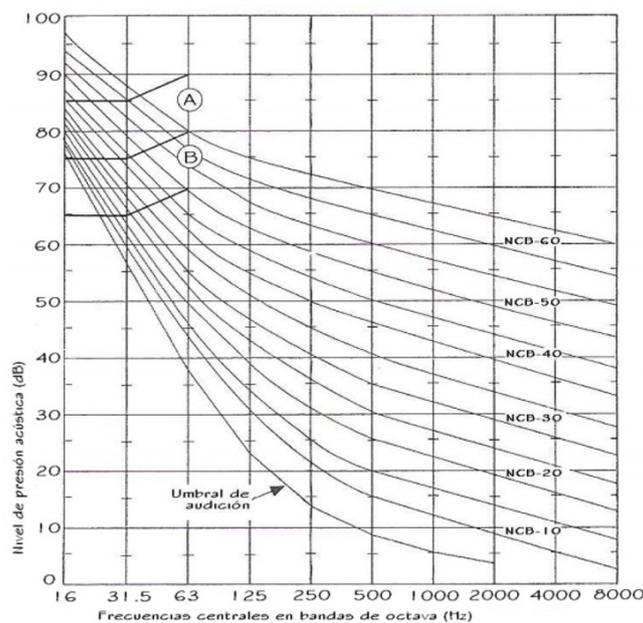


Figura 1. 12 Antoni Carrión Isbert, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Politecnos ; Área de Arquitectura y Urbanismo 4* (Barcelona: Edicions UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, 1998).

Se cumple con estos requisitos cuando un recinto tiene las especificaciones de niveles de ruido de fondo debajo de la curva NC recomendada, que son medidos por bandas de octava, de las frecuencias comprendidas entre 63Hz y 8kHz.

<sup>19</sup> Ian Robertson Sinclair, ed., *Audio and Hi-Fi Handbook*, 3rd ed (Oxford; Boston: Newnes, 1998), 27

## Curva NC recomendadas

ESPACIO TIPO	CURVA NC RECOMENDADA
Sala de conferencias / aula	20-30
Biblioteca	30-35
Restaurante	35-40
Cafetería	40-45
Polideportivo	40-50

Figura 1. 13 Antoni Carrión Isbert, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Politecnos ; Área de Arquitectura y Urbanismo 4 (Barcelona: Edicions UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, 1998), 129

### Tiempo de Reverberación

En la aplicación del **RT** podemos evaluar las características de un recinto en relación con su amplitud. El tiempo necesario que se toma la interrupción de una fuente sonora hasta que la densidad de energía se reduzca en 60dB, este valor fue adoptado porque es lo suficientemente fuerte para causar la sensación perceptiva de la extinción del sonido en la sala, pero si los niveles de presión sonora no son lo demasiado altos, el sonido no alcanza a decaer 60dB debido a que antes se alcanza el nivel de ruido ambiente. Por esta razón se mide en realidad el tiempo requerido para bajar 15 o 20 dB en lugar de 60dB.<sup>20</sup>

$$T = T_{60} = 4T_{15} = 3T_{20}$$

Utilizando la fórmula de sabine **RT60** obtendremos el tiempo de reverberación de nuestra sala

$$RT60_{(f)} = 0,161 * \frac{V}{\sum(\alpha_{(f)} * S)}$$

*V*= volumen de la sala

*S*=superficie

$\alpha_{(f)}$ = coeficiente de absorción de la frecuencia

El tiempo de reverberación se toma en función de las diferentes bandas de frecuencias de 20Hz a 20kHz.

---

<sup>20</sup> Federico Miyara, «Control de Ruido», (1999), 232

## Brillo y calidez acústica

El tiempo de reverberación también se encuentra relacionado con el brillo y calidez de una sala. Ya que en formulación se utiliza el resultado de RT promedio por bandas de frecuencias.

El brillo (Br) nos indica el valor de las frecuencias altas que refleja el sonido claro y rico en armónicos dentro de la sala, que debe de poseer un valor igual o superior a 0,85seg, sin olvidar que por lo general no debe de sobrepasar 1seg, ya que las ondas sonoras generan una pérdida de energía por el medio (aire) de transmisión.

Su fórmula a utilizar es:

$$Br = \frac{RT(2kHz) + RT(4kHz)}{RT(500Hz) + RT(1kHz)}$$

La calidez acústica o Bass Ratio (BR) nos indica la respuesta de la sala en frecuencias bajas, que representa la riqueza que poseen los graves, la suavidad y melosidad que tiene la música dentro de la sala. Con valores interpolares que van desde 1.10 a 1.85 dependiendo a los valores de  $RT_{mid}$  en las bandas 125Hz y 250Hz.

$$BR = \frac{RT(125Hz) + RT(250Hz)}{RT(500Hz) + RT(1kHz)}$$

## Capítulo 2

### Dimensiones de las salas

	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
Sala de control	6.20	5.20	3.80
Sala de registro	8.30	6.50	3.80

Tabla 2.1 Dimensiones de sala de grabación

### Sala de control

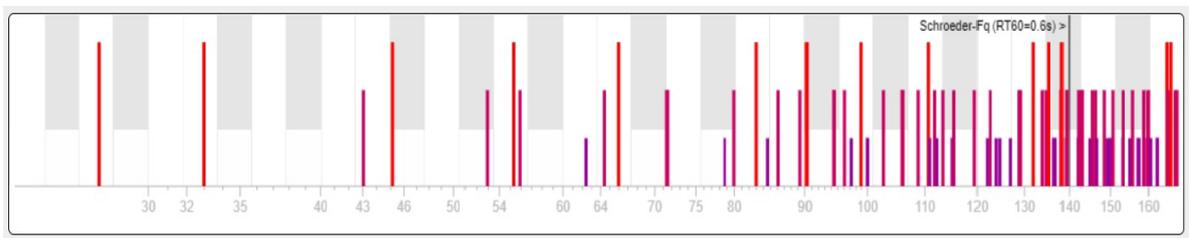


Figura 2.1 Modos propios dentro de la sala de control

### Sala de registro

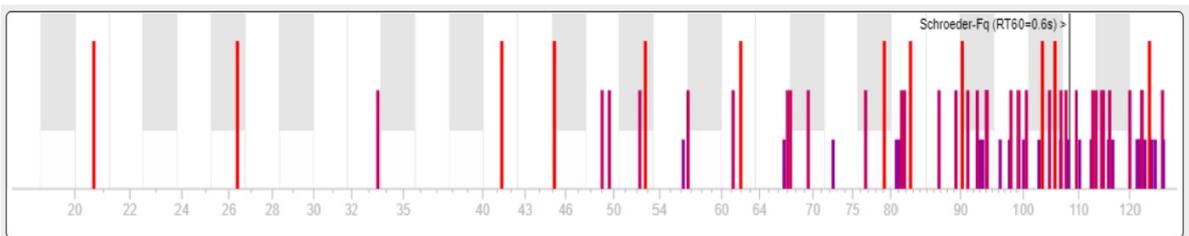


Figura 2.2 Modos propios dentro de la sala de registro

### Comparación con una sala cúbica (Lx= 4.00m, Ly= 4.00m Lz=4.00m)

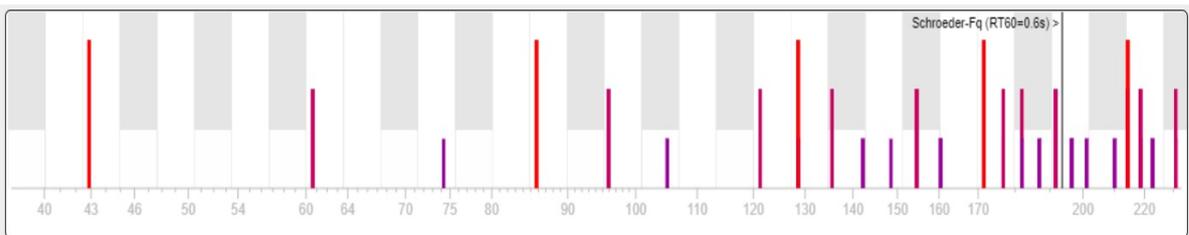


Figura 2.3 ejemplo de modos propios en una sala cubica

Como podemos observar en las anteriores imágenes los modos axiales de la sala de control como en la de registro se encuentran distribuidos a lo largo de la banda de frecuencia, por el contrario, al diseñar una sala cubica, existe una concentración de modos propios en frecuencias específicas, lo que provoca coincidencias en las reflexiones tempranas, realzando las ondas estacionarias lo que genera concentraciones frecuenciales de energía en bandas estrechas enmascarando el sonido.

### Criterio de Bolt

Según el criterio para obtener los resultados en nuestro plano debemos de dividir la distancia mayor con la menor para obtener el lado Y, y la distancia intermedia con la menor para obtener el lado X. La distancia que determina el alto de la sala es el dividendo, denominado 1 dentro del plano 2D

### Sala de control

Criterio de Bolt					
2,6					
2,4					
2,2					
2					
1,8					
1,6		<b>OK</b>			
1,4					
1,2					
1	1,2	1,4	1,6	1,8	2

Gráfico 2.1 Resultado de dimensiones de la sala de control en gráfico de Bolt

Dimensiones básicas (m)		Relación para Bolt	
Distancia mayor	6,20	Y= 1,63	X= 1,37
Distancia intermedia	5,20		
Distancia menor	3,80		

Tabla 2.2 dimensiones entre medidas de la sala de control y tabla de Bolt

## Sala de registro

Criterio de Bolt					
2,6					
2,4					
2,2				OK	
2					
1,8					
1,6					
1,4					
1,2					
1	1,2	1,4	1,6	1,8	2

Gráfico 2.2 Resultado de dimensiones de la sala de registro en gráfico de Bolt

Dimensiones básicas (m)		Relación para Bolt	
Distancia mayor	8,30	Y= 2,18	X= 1,71
Distancia intermedia	6,50		
Distancia menor	3,80		

Tabla 2.2 dimensiones entre medidas de la sala de control y tabla de Bolt

Como podemos observar los resultados obtenidos aplicando el criterio de Bolt, las medidas de nuestra sala de control como la de registro se encuentran dentro de los parámetros, lo que nos dará según el criterio un buen sonido en nuestras frecuencias bajas atenuando concentraciones modales de reflexiones primarias.

## Criterio de Bonello

Aplicación del criterio de Bonello en las diferentes salas.

### Sala de control

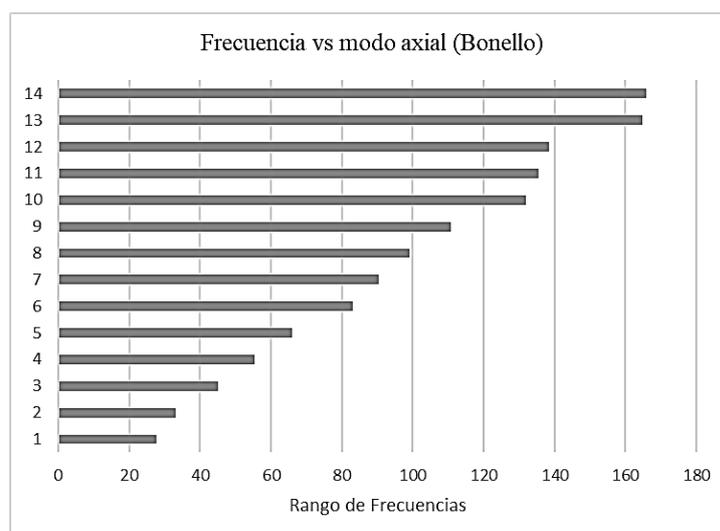


Gráfico 2.3 Gráfico de modo axial frecuencia (eje horizontal) vs número de modos (eje vertical)

## Sala de registro gráfico

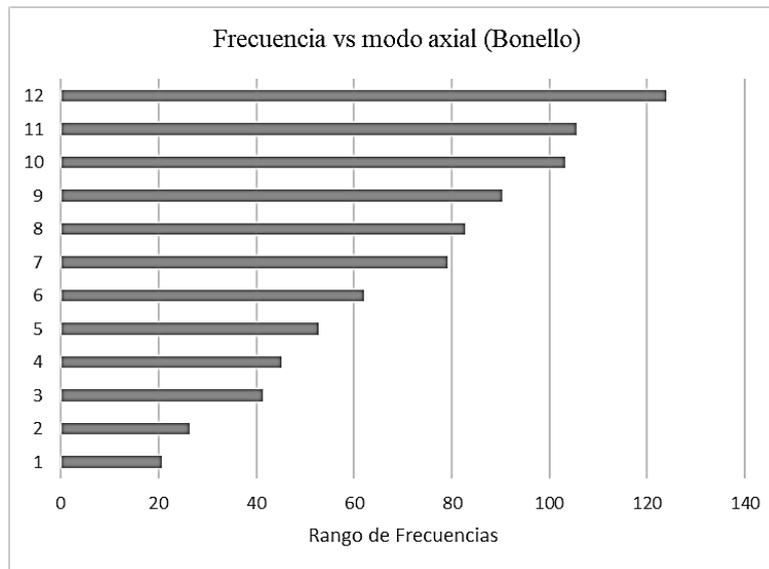


Gráfico 2.4 Gráfico de modo axial frecuencia (eje horizontal) vs número de modos (eje vertical)

En los dos gráficos se puede ver que la curva es creciente en modos por tercio. Tanto en la sala de control como en la sala de registro no tienen modos dobles (frecuencia repetida), lo que hace que los modos se encuentren repartidos de forma homogénea dentro de la sala debido a su geometría. Cuando los resultados de nuestra sala se encuentran modos dobles o triples existirá una concentración de energía en la frecuencia que se encuentre afectada lo que hace que los modos no tengan una creciente gradual.

### Atenuación sonora

Para medir la atenuación sonora de los materiales utilizaremos la ecuación de la ley de masas

$$R = 20 * \log(m * f) - 48 [dB]$$

así podremos saber el valor R de los materiales utilizados por cada banda de frecuencia. Los datos para obtener estos resultados son la densidad y el espesor, también obtendremos la  $f_c$  (frecuencia crítica) a partir de la división de la frecuencia crítica para 1cm (Hz) dividido para el espesor multiplicado por 100.

Al obtener esta frecuencia crítica podremos saber el punto de flexión de los materiales.

## Cálculos de doble pared

### Pared externa

DATOS			ATENUACION	
MATERIAL: Hormigón denso			FRECUENCIAS (Hz)	R = ATENUACION PARED SENCILLA
Densidad	2350	kg/m <sup>3</sup>	63	41,43
Espesor	0,2	m.	125	47,38
MASA SUPERFICIAL =	470	kg/m <sup>2</sup>	250	53,40
			500	59,42
			1000	65,44
			2000	71,46
Ingreso Fc de acuerdo al material	2100	HZ/1cm	4000	77,48
Frecuencia critica	105	Hz	8000	83,50

Tabla 2.3 Resultado de datos de atenuación por banda de frecuencia y análisis de material utilizado

La masa superficial es igual a:

$$m = d * h$$

$$m = 2350 \text{ kg/m}^3 * 0.2$$

$$m = 470 \text{ kg/m}^2$$

Donde:

$d$  = densidad de material **kg/m<sup>3</sup>**

$h$  = espesor del material metros

$m$  = masa superficial **kg/m<sup>2</sup>**

Al ser una pared sencilla podemos observar que la atenuación aumenta 6dB/octava.

La frecuencia critica de acuerdo al material es igual a:

$$f_c = \frac{f_c \text{ por 1 cm de espesor}}{h * 100}$$

En el que  $f_c$  por 1 cm de espesor,  $h$  espesor,

$$f_c = \frac{2100 \text{ Hz}}{0.2 \text{ m} * 100}$$

$$f_c = 105 \text{ Hz}$$

## Pared interna

DATOS			ATENUACION	
MATERIAL: Ladrillo macizo			FRECUENCIAS (Hz)	R = ATENUACION PARED SENCILLA
Densidad	1650	kg/m <sup>3</sup>	63	33,92
Espesor	0,12	m.	125	39,87
MASA SUPERFICIAL =	198	kg/m <sup>2</sup>	250	45,89
			500	51,91
			1000	57,93
			2000	63,95
Ingreso Fc de acuerdo al material	2380	HZ/1cm	4000	69,97
Frecuencia critica	198	Hz	8000	76,00

Tabla 2.4 Resultado de datos de atenuación por banda de frecuencia y análisis de material utilizado

## Medio separador

DATOS			ATENUACION	
MATERIAL: Aglocork Acústico natural			FRECUENCIAS (Hz)	R = ATENUACION PARED SENCILLA
Densidad	180	kg/m <sup>3</sup>	63	7,07
Espesor	0,05	m.	125	13,02
MASA SUPERFICIAL =	9	kg/m <sup>2</sup>	250	19,04
			500	25,06
			1000	31,08
			2000	37,11
Ingreso Fc de acuerdo al material	2075	HZ/1cm	4000	43,13
Frecuencia critica	415	Hz	8000	49,15

Tabla 2.5 Resultado de datos de atenuación por banda de frecuencia y análisis de material utilizado

Ya con los resultados de nuestras diferentes masas superficiales y nuestro medio separador calcularemos la frecuencia propia de nuestro sistema de paredes dobles para conocer desde que frecuencia comenzará a afectar de 6dB a 18dB:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{d} \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}}$$

$$f_0 = \frac{343m/s}{2\pi} \sqrt{\frac{180kg/m^3}{0.05m} \frac{470 + 198}{470 * 198}}$$

$$f_0 = 277 \text{ Hz}$$

Teniendo estos resultados calcularemos el ruido residual en el interior de la sala sumando R (atenuación) de cada banda de frecuencia, utilizando la ley de masas. Con un supuesto de ruido externo de 100 dB con una distancia de la fuente de 15m como aproximado de fuentes sonoras externas.

Para calcular la atenuación por efecto de la distancia aplicaremos la siguiente formula:

$$R_{\text{distancia}} = 20 \log (\text{distancia en m})$$

$$R_{\text{distancia}} = 20 \log (15m)$$

$$R_{\text{distancia}} = 23,52dB$$

Para obtener el nivel de ruido externo bruto restaremos nuestro ruido fuente de 100dB con nuestro resultado de la atenuación por efecto de la distancia.

$$NRE = 100dB - 23,52$$

$$NRE = 76,48dB$$

Ya con estos resultados podremos calcular el ruido residual del interior de nuestro estudio de grabación partiendo netamente de los cálculos de nuestro sistema de paredes dobles con un medio elástico entre ellas.

Restaremos nuestro *NRE* (nivel de ruido externo) con la atenuación de nuestro sistema doble.

## Tabla de atenuación de doble paredes y por efecto de distancia

ATENUACION										
FRECUENCIAS (Hz)	R = ATENUACION PARED SENCILLA	MEDIO SEPARADOR	R2= ATENUACION DE SEGUNDA PARED		ATENUACION POR EFECTO DE PARED DOBLE +	RUIDO FUENTE EXTER / BANDA	distancia de la fuente m	ATENUACION POR EFECTO DE LA DISTANCIA	NIVEL DE RUIDO EXTERNO	RUIDO RESIDUAL EN EL INTERIOR
63	41,43	7,07	33,92	db	82,42	100,00	15,00	23,52	76,48	-5,94
125	47,38	13,02	39,87	db	100,27	100,00	15,00	23,52	76,48	-23,79
250	53,40	19,04	45,89	db	118,33	100,00	15,00	23,52	76,48	-41,85
500	59,42	25,06	51,91	db	136,39	100,00	15,00	23,52	76,48	-59,91
1000	65,44	31,08	57,93	db	154,45	100,00	15,00	23,52	76,48	-77,97
2000	71,46	37,11	63,95	db	172,52	100,00	15,00	23,52	76,48	-96,04
4000	77,48	43,13	69,97	db	190,58	100,00	15,00	23,52	76,48	-114,10
8000	83,50	49,15	76,00	db	208,65	100,00	15,00	23,52	76,48	-132,18

**Tabla 2.6 resultados nivel de atenuación de paredes doble mas medio separador por banda y por efecto de distancia**

Podemos observar que en cada frecuencia de banda tenemos un aumento de la atenuación de 18dB.

### Curvas NC

Siguiendo con nuestra confirmación de datos vamos a evidenciar si nuestra sala se encuentra entre los estándares de las curvas NC las cuales son utilizadas para establecer los niveles máximos recomendados para diferentes tipos de espacios en funcionamiento de su uso.

Teniendo en cuenta que la curva recomendada para salas de conciertos es NC-20

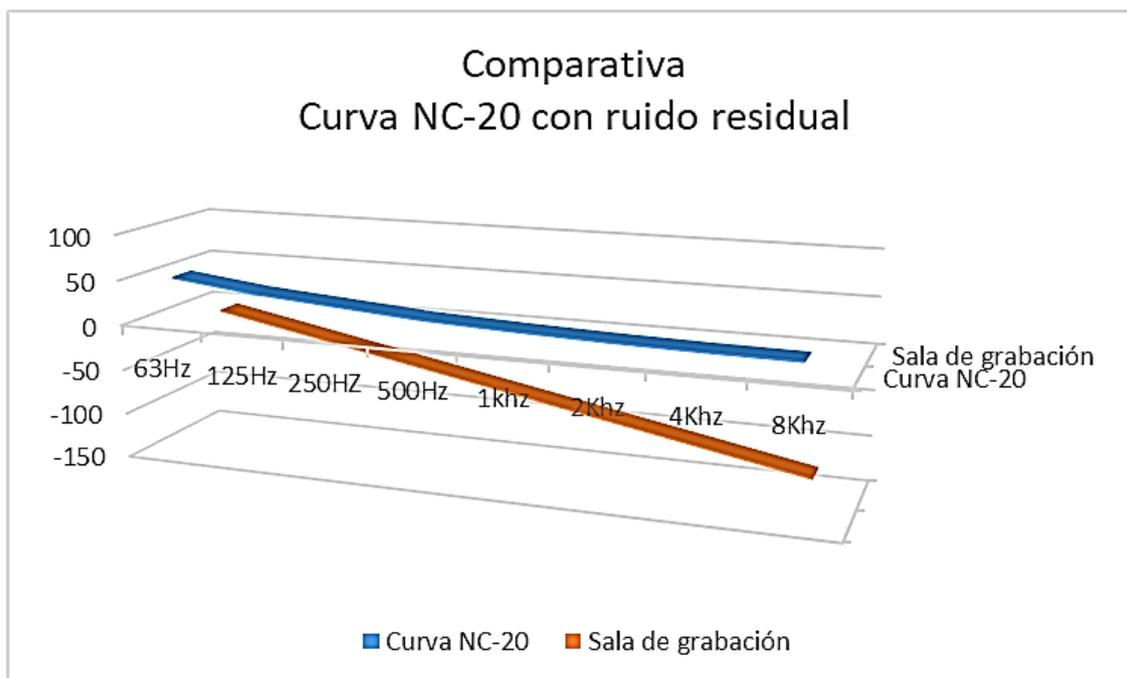


Grafico 2.5 comparación entre curva NC-20 y respuesta por banda de ruido residual

### Tiempo de reverberación de la sala

Ya que la parte interna de nuestra sala no posee ningún tipo de tratamiento acústico vamos a sacar nuestro tiempo de reverberación inicial. Para realizar posteriormente la comparativa entre nuestra sala vacía y nuestra sala acondicionada con materiales absorbentes.

### Sala de control

#### Áreas de las superficies de la sala de control

SUPERFICIES	m <sup>2</sup>
TECHO 1	32.24
PISO	32.24
PARED 1	23.56
PARED 2	23.56
PARED 3	19.76
PARED 4	19.76
Total de superficies (m2)	151.12
Volumen (m3)	122.51

Tabla 2.7 suma del total de áreas superficiales y volumen de la sala de control

Sabiendo que el material de nuestra pared interna es de ladrillo macizo pintado y su coeficiente de absorción sonora es de según la banda de frecuencia.

### Coefficiente de absorción de ladrillo pintado

Material de absorción	125Hz	205Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz
Ladrillo pintado	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03

Tabla 2.8 Coeficiente de absorción por banda de frecuencia del ladrillo pintado

Utilizando la formula RT60 obtendremos el tiempo de reverberación de nuestra sala

$$RT60_{(f)} = 0,161 * \frac{V}{\sum(\alpha_{(f)} * S)}$$

Para determinar el tiempo de reverberación de la sala sin ningún tratamiento acústico.

### Tiempo de reverberación de la sala de control

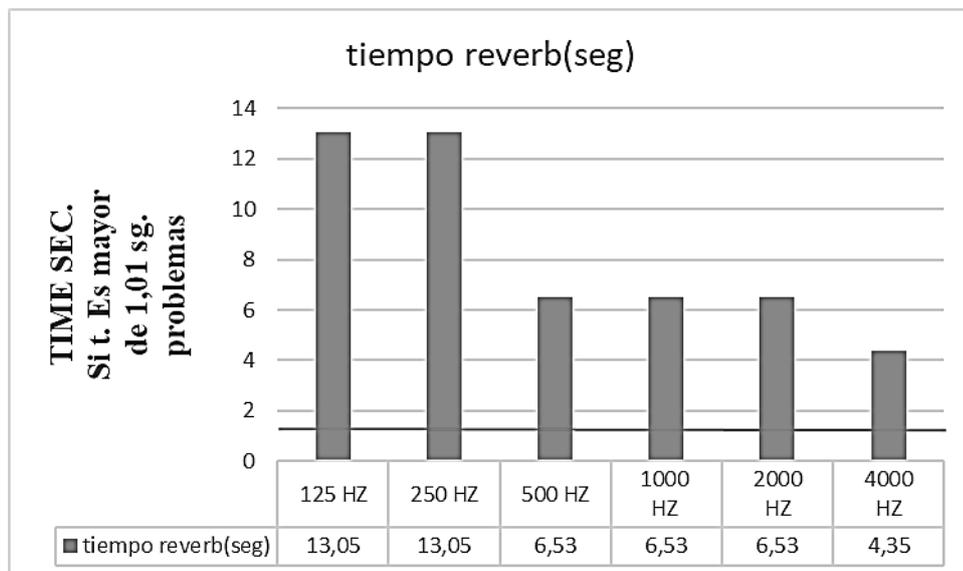


Grafico 2.6 Tiempo de reverberación de sala de control con superficie de ladrillo pintado

## Sala de registro

### Áreas de las superficies de la sala de registro

SUPERFICIES	m <sup>2</sup>
TECHO	53.95
PISO	53.95
PARED 1	31.54
PARED 2	31.54
PARED 3	24.70
PARED 4	24.70
Total, superficies (m2)	220.38
volumen (m3)	205.01

Tabla 2.9 suma del total de áreas superficiales y volumen de la sala de registro

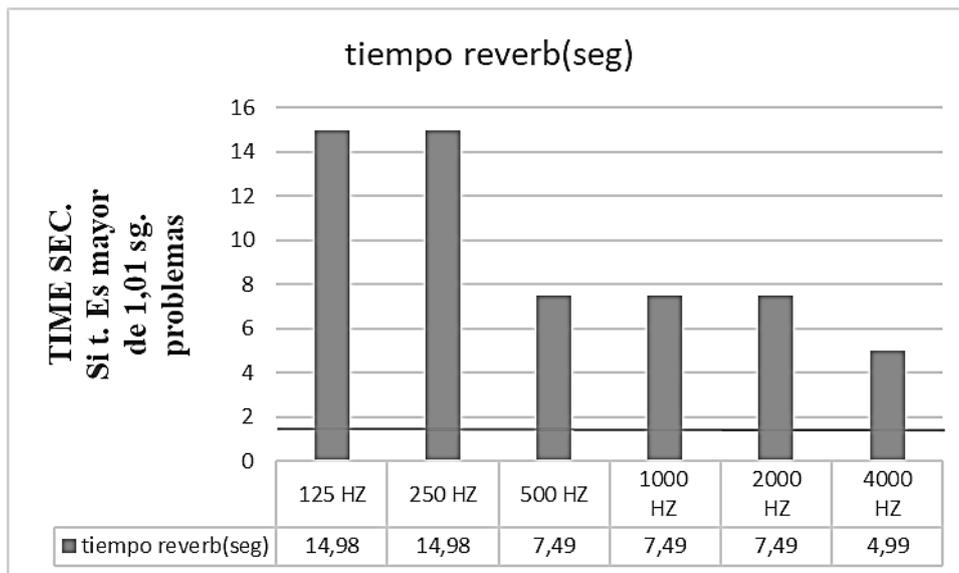


Gráfico 2.7 Tiempo de reverberación de sala de registro con superficie de ladrillo pintado

Podemos ver que el tiempo de reverberación está directamente relacionado con el coeficiente de absorción del material superficial de las paredes.

## Acondicionamiento acústico

Ya teniendo el tiempo de reverberación por bandas de frecuencia de las salas sin acondicionamiento acústico podemos comenzar a colocar diferentes materiales con diversos tipos de rangos de coeficientes de absorción en las superficies, para llegar a una reverberación de sala menor o igual a 1seg y difusión de las frecuencias en sus reflexiones, esto nos dio una acústica favorable para nuestra sala de grabación. Como lo vemos en nuestras tablas 2.10 y 2.11 que especifica el área de cada superficie y los m<sup>2</sup> que cubren cada material dentro de los recintos, en el apartado de anexos encontraremos los datos de coeficiente de absorción y los materiales utilizados.

### Datos de materiales en la sala de control

MATERIALES	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	MATERIAL/COEF ABSORCION	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
TECHO 1	32,24	32,24	Cloudscape® Ceiling Tiles	0,26	0,60	0,64	0,93	0,97	0,93
PISO	32,24	32,24	Piso con ultra quiet sr con cubierta de osb o plywood de 1/2"	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
PARED 1,1	23,56	2,21	Sonora® Acoustic Panels	0,75	1,11	1,19	1,07	1,06	1,09
PARED 1,2		11,33	Sonora® Acoustic Panels	0,75	1,11	1,19	1,07	1,06	1,09
PARED 1,3		3,80	PAP018 (Panel acústico perforado)	0,45	0,90	0,90	0,90	0,65	0,55
PARED 1,4		11,33	RP25 Isover	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
PARED 2,1	23,56	2,21	Sonora® Corner Bass Trap	0,95	1,04	1,14	1,09	1,07	1,09
PARED 2,2		3,80	PAP018 (Panel acústico perforado)	0,45	0,90	0,90	0,90	0,65	0,55
PARED 2,3		11,33	Sonora® Corner Bass Trap	0,95	1,04	1,14	1,09	1,07	1,09
PARED 2,4		11,33	RP25 Isover	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
PARED 2,5		2,00	Puerta acustica	0,15	0,10	0,06	0,08	0,10	0,05
PARED 3,1	19,76	2,04	Visor Vr	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
PARED 3,2		7,98	PAP018 (Panel acústico perforado)	0,45	0,90	0,90	0,90	0,65	0,55
PARED 3,3		8,82	Sonora® Acoustic Panels	0,75	1,11	1,19	1,07	1,06	1,09
PARED 3,4		4,18	RP25 Isover	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
PARED 4,1	19,76	0,40	Sonora® Acoustic Panels	0,75	1,11	1,19	1,07	1,06	1,09
PARED 4,4		3,20	RP25 Isover	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
PARED 4,5		5,04	Vicoustic Multifuser Wood 64 madera solida	0,07	0,19	0,27	0,50	0,45	0,39

Tabla 2.10 Lista de materiales y m<sup>2</sup> de superficies cubiertas con su coeficiente de absorción

### Datos de materiales en la sala de registro

MATERIALES	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	MATERIAL/COEF ABSORCION	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
TECHO	53,95	51,46	Cloudscape® Ceiling Tiles	0,26	0,60	0,64	0,93	0,97	0,93
PISO	53,95	53,95	Piso con ultra quiet sr con cubierta de osb o plywood de 1/2"	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
PARED 1,1	31,54	2,28	Geometrix Bass Trap	1,54	1,4	1,35	1,31	1,32	1,27
PARED 1,2		7,70	PAP018 (Panel acústico perforado)	0,45	0,9	0,9	0,9	0,65	0,55
PARED 1,3		12,32	Sonora® Acoustic Panels	0,75	1,11	1,19	1,07	1,06	1,09
PARED 1,4		9,24	Vicoustic Multifuser Wood 64 madera solida	0,07	0,19	0,27	0,5	0,45	0,39
PARED 2,1	31,54	1,14	Geometrix Bass Trap	1,54	1,4	1,35	1,31	1,32	1,27
PARED 2,2		8,00	PAP018 (Panel acústico perforado)	0,45	0,9	0,9	0,9	0,65	0,55
PARED 2,3		9,60	Sonora® Acoustic Panels	0,75	1,11	1,19	1,07	1,06	1,09
PARED 2,4		12,80	Vicoustic Multifuser Wood 64 madera solida	0,07	0,19	0,27	0,5	0,45	0,39
PARED 3,1	24,70	2,28	Geometrix Bass Trap	1,54	1,4	1,35	1,31	1,32	1,27
PARED 3,2		5,90	PAP018 (Panel acústico perforado)	0,45	0,9	0,9	0,9	0,65	0,55
PARED 3,3		9,90	Sonora® Acoustic Panels	0,75	1,11	1,19	1,07	1,06	1,09
PARED 3,4		6,61	Vicoustic Multifuser Wood 64 madera solida	0,07	0,19	0,27	0,50	0,45	0,39
PARED 4,1	24,70	1,14	Geometrix Bass Trap	1,54	1,40	1,35	1,31	1,32	1,27
PARED 4,2		6,20	PAP018 (Panel acústico perforado)	0,45	0,90	0,90	0,90	0,65	0,55
PARED 4,3		6,64	Sonora® Acoustic Panels	0,75	1,11	1,19	1,07	1,06	1,09
PARED 4,4		6,68	RP25 Isover	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
PARED 4,5		2,00	Puerta acustica	0,15	0,10	0,06	0,08	0,10	0,05
PARED 4,6		2,04	Visor Vr	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02

Tabla 2.11 Lista de materiales y m<sup>2</sup> de superficies cubiertas con su coeficiente de absorción

### Datos de las salas con acondicionamiento acústico

En las tablas 2.1.1 y 2.2.1 observaremos el resultado de la multiplicación del coeficiente de absorción de cada banda dado por el fabricante por los m<sup>2</sup> que cubre dicha superficie.

Para obtener coeficiente promedio de absorción de los materiales acústicos añadidos, se suma el total de los coeficientes de absorción de las materias por banda de frecuencias, dividido por la superficie total del recinto.

**Tabla de coeficiente de absorción total y promedio de sala de control**

<b>125 Hz</b>	<b>250Hz</b>	<b>500Hz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>4kHz</b>	
<b>61,38</b>	<b>93,10</b>	<b>108,25</b>	<b>115,80</b>	<b>115,79</b>	<b>113,81</b>	Suma total de coeficientes de absorción
0,39	0,60	0,70	0,74	0,74	0,73	Coeficiente promedio de absorción

**Tabla 2.12 Detalles de coeficientes de absorción total y promedio por banda de frecuencia**

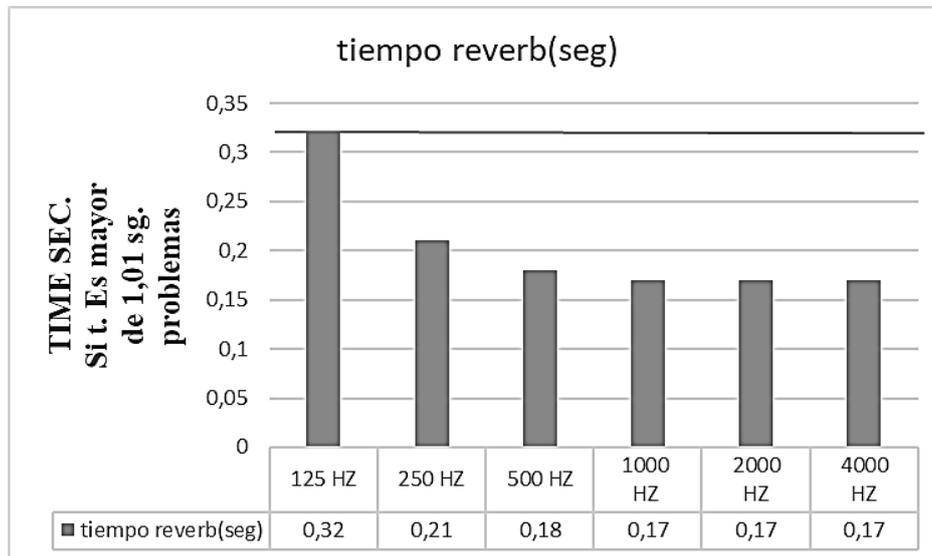
**Tabla de coeficiente de absorción total y promedio de sala de registro**

<b>125 Hz</b>	<b>250Hz</b>	<b>500Hz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>4kHz</b>	
<b>84,38</b>	<b>128,47</b>	<b>135,41</b>	<b>148,40</b>	<b>142,99</b>	<b>137,68</b>	Suma total de coeficientes de absorción
0,39	0,59	0,62	0,68	0,66	0,63	Coeficiente promedio de absorción

**Tabla 2.12 Detalles de coeficientes de absorción total y promedio por banda de frecuencia**

## Resultado sala de control

A su vez al obtener este valor (coeficiente promedio) aplicamos la formula RT60 antes vista por cada banda de frecuencia, obteniendo los valores especificados en las siguientes graficas:



Nuestra sala posee niveles óptimos en el tiempo de reverberación ya que no sobrepasa los 1,01 segundos gracias a los materiales que recubren su superficie y los diferentes niveles de coeficiente de absorción.

### Tratamiento de brillo de la sala

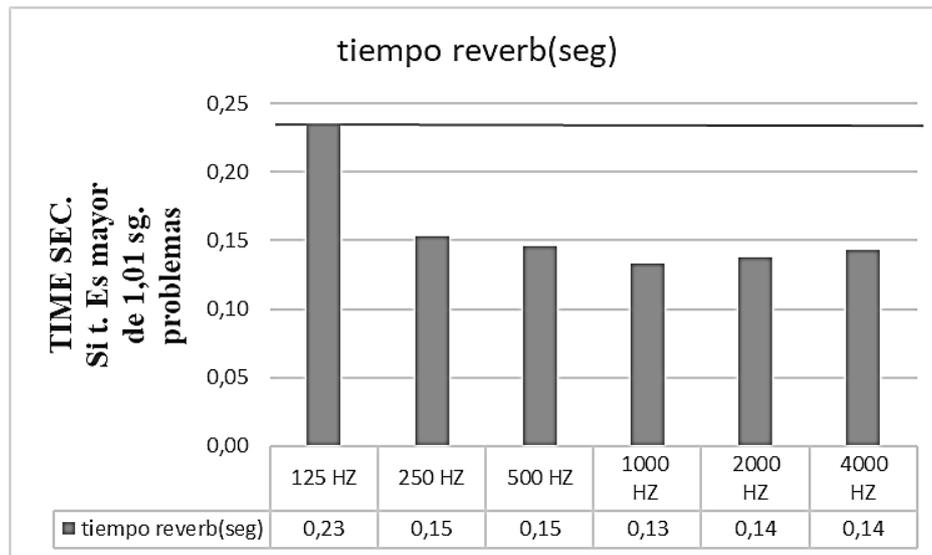
$$Br = \frac{RT(2kHz)+RT(4kHz)}{RT(500Hz)+RT(1kHz)} \quad Br = \frac{RT(0.17)+RT(0.17)}{RT(0.18)+RT(0.17)} = 0.97seg$$

### Tratamiento de calidez de la sala

$$BR = \frac{RT(125Hz)+RT(250Hz)}{RT(500Hz)+RT(1kHz)} \quad BR = \frac{RT(0.32)+RT(0.21)}{RT(0.18)+RT(0.17)} = 1.51seg$$

Al definir los diferentes materiales que colocaremos en nuestra sala debemos de tener un equilibrio, visualizando sus diferentes niveles de absorción por banda ya que esto nos ayudara a tener una sala nivelada entre las ondas graves y más agudas, llegando a los niveles adecuados de brillo y calidez que da una colorización a nuestro recinto.

## Resultados sala de registro



### Tratamiento de brillo de la sala

$$Br = \frac{RT(2kHz)+RT(4kHz)}{RT(500Hz)+RT(1kHz)} \quad Br = \frac{RT(0.14)+RT(0.14)}{RT(0.15)+RT(0.13)} = 1,01seg$$

### Tratamiento de calidez de la sala

$$BR = \frac{RT(125Hz)+RT(250Hz)}{RT(500Hz)+RT(1kHz)} \quad BR = \frac{RT(0.23)+RT(0.15)}{RT(0.15)+RT(0.13)} = 1.39seg$$

### Coefficientes de absorción adicionales dentro de la sala

Materiales	125 Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Área de audiencia ocupada	0.40	0.60	0.80	0.90	0.90	0.80
Área de audiencia	0.68	0.75	0.82	0.85	0.86	0.86

Al aumentar la audiencia dentro de la sala el tiempo de reverberación disminuye relativamente a su coeficiente de absorción de cada sujeto y superficie de instrumentos e inmuebles.

## Capítulo 3

### Conclusiones

El proceso que se llevó a cabo fue la planificación de un estudio de grabación, con dimensiones pequeñas donde se priorizó la distribución de los modos propios de forma uniforme.

Donde se usó y verificó con los criterios y fórmulas usadas que, nuestras medidas se encuentran dentro del área de Bolt, obteniendo así una buena calidad en las frecuencias bajas como nos da a conocer su criterio. Y al mismo tiempo aplicando los criterios de Bonello o también llamado densidad de modos donde los datos que refleja la suma total de las frecuencias modales por banda y nos dieron un resultado favorable para continuar con el proceso.

Después de obtener las medidas de nuestro estudio dentro de estos dos criterios se implementó la ley de masa que con la suma total de masa superficial multiplicada por espesor de las materias podemos obtener el nivel de atenuación que posee ese material, con la suma total de las paredes y el medio separador que existe entre ellas se obtuvo el ruido residual de 100dB a 15m de distancia de la fuente por banda de frecuencias. Cada una de estas está por debajo del nivel de presión sonora recomendables (NC-20) para un recinto de grabación

Con la fórmula del tiempo de reverberación RT-60 se hizo el estudio comparativo de las salas vacías y ya acondicionadas, con los materiales y sus coeficientes de absorción que cubren las diferentes superficies de los recintos.

En sala vacía nos dio un resultado mayor a 1.01 segundos de reverberación, lo que desfavorece para su uso. Por el contrario, al acondicionar las superficies de los recintos con materiales de diferentes coeficientes de absorción en sus bandas podremos llegar a un tiempo de reverberación por banda promedio de 0.59 a 0.27 dependiendo de los materiales utilizados, también se evaluó el brillo y la calidez, debe de ser  $\geq$  a 0.85 en el brillo y no mayor a 1,75 en su calidez.

Cumpliendo así con los estándares de acondicionamiento acústico, y manteniendo las medidas altas de insonorización para que no exista ninguna interrupción sonora del exterior hacia el interior de la sala.

Al realizar este proyecto se generan proyecciones de un acondicionamiento acústico basado en los materiales y coeficientes de absorción dados por los fabricantes. La ubicación de los paneles y materiales del estudio se ubicó por el resultado de las muestras de reflexiones de las ondas en 2D, y el resultado del tiempo de reverberación fue directamente proporcional al coeficiente de absorción total de la suma de los materiales en las superficies, con la finalidad de visibilizar un prototipo de estudio de grabación, al establecer sus bases teóricas y los coeficientes de absorción, para deducir las aplicaciones prácticas y prevenir la realización y esfuerzos innecesarios.

## Referencias

Arau-Puchades, Higini. «¿ES EL CRITERIO ACUSTICO EL PARADIGMA DE LA EXCELENCIA ACÚSTICA EN EL DISEÑO DE SALAS?», 2008, 19.

Augspurger, George L. «Control Room Design: The Monitoring Environment». *Acoustics Today* 9, n.º 2 (2013): 15. <https://doi.org/10.1121/1.4817489>.

Benavente, César. «Metodología de diseño de estudios de grabación y aplicación a caso práctico». *Universidad Politécnica de Madrid*, 15 de julio de 2013, 165.

Bullón, Moscoso, y Richard Alfredo. «SIMULACIÓN ACÚSTICA DE CUARTOS DE CONTROL DE ESTUDIOS DE GRABACIÓN», 2018, 7.

Carrión Isbert, Antoni. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Politecnos ; Área de Arquitectura y Urbanismo 4. Barcelona: Edicions UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, 1998.

«Cloudscape Ceiling Tiles by Acoustics First | Acoustical Ceiling Tiles for Suspended Ceiling Systems or Direct Mount to Walls or Ceilings». Accedido 23 de agosto de 2022. <https://www.acousticsfirst.com/acoustical-foam-cloudscape-ceiling-tiles.htm>.

«Diseño acustico de un estudio de grabacion.pdf». Accedido 19 de mayo de 2022. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18519/Dise%C3%B1o%20acustico%20de%20un%20estudio%20de%20grabacion.pdf>.

Fernández, Claudia Sofía Lehmann. «Revisión de los Algoritmos de Predicción del Aislamiento Acústico Proporcionado por Paredes Dobles: un Análisis Comparativo». 2007, abril de 2007, 111.

Flores, Mario D, y Maximo S Martinez. «Análisis De Modos Propios De Recintos Paralelepípedicos Con Diferentes Proporciones» 2000 (2012): 2-6.

Galiana, Llinares. «Acústica arquitectónica y urbanística», s. f., 372.

«Geometrix Broadband Bass Trap by Acoustics First | Acoustical panels & Soundproofing Materials to Control Sound and Eliminate Noise™». Accedido 24 de agosto de 2022. <https://www.acousticsfirst.com/geometrix-broadband-absorber.htm>.

<https://plus.google.com/104861226744097748520>. «Paneles acústicos perforados | Decustik». Accedido 24 de agosto de 2022. <https://www.decustik.com/es/paneles-acusticos-perforados>.

«Ingeniería de Ondas - Acústica Arquitectónica». Accedido 8 de febrero de 2020.  
[https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_08\\_09/io6/public\\_html/Paginas/modos.html#arriba](https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_08_09/io6/public_html/Paginas/modos.html#arriba).

Martin, Jarol. «DISEÑO DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO PARA LOS ESTUDIOS DE EMISIÓN Y GRABACIÓN DE LA NUEVA SEDE DE LA EMISORA KENNEDY YURI ROCIO IGUA PORRAS». Accedido 30 de mayo de 2022.  
[https://www.academia.edu/9372485/DISEÑO\\_DE\\_AISLAMIENTO\\_Y\\_ACONDICIONAMIENTO\\_ACÚSTICO\\_PARA\\_LOS\\_ESTUDIOS\\_DE\\_EMISIÓN\\_Y\\_GRABACIÓN\\_DE\\_LA\\_NUEVA\\_SEDE\\_DE\\_LA\\_EMISORA\\_KENNEDY\\_YURI\\_ROCIO\\_IGUA\\_PORRAS](https://www.academia.edu/9372485/DISEÑO_DE_AISLAMIENTO_Y_ACONDICIONAMIENTO_ACÚSTICO_PARA_LOS_ESTUDIOS_DE_EMISIÓN_Y_GRABACIÓN_DE_LA_NUEVA_SEDE_DE_LA_EMISORA_KENNEDY_YURI_ROCIO_IGUA_PORRAS).

Vicoustic. «Multifuser Wood MKII». Accedido 24 de agosto de 2022.  
<https://vicoustic.com/product/multifuser-wood-mkii?g=0&multifuser-wood-colors=Natural+Wood&multifuser-wood-size=64>.

«NIVELES SONOROS». Accedido 10 de junio de 2022.  
<https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>.

«Panel de control de baja frecuencia Sonora - Acoustics First - Materiales acústicos para control de sonido, eliminación de ruido y mejora o supresión acústica». Accedido 1 de septiembre de 2022. <https://acousticsfirst.com/sonora-lfc.htm>.

Sinclair, Ian Robertson, ed. *Audio and Hi-Fi Handbook*. 3rd ed. Oxford; Boston: Newnes, 1998.

«Sonora® Wall Panels - Acoustics First». Accedido 24 de agosto de 2022.  
<https://www.acousticsfirst.com/sonora-wall-panels.htm>.

«Tabla de coef de absorción sonora-Rev1-1(May-2015).ods». Accedido 23 de agosto de 2022.  
[https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.profesores.frc.utn.edu.ar%2Felectronica%2Ffundamentosdeacusticayelectroacustica%2Fpub%2Ffile%2FTabla%2520de%2520coef%2520de%2520absorci%25C3%25B3n%2520sonora-Rev1-1\(May-2015\).ods&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.profesores.frc.utn.edu.ar%2Felectronica%2Ffundamentosdeacusticayelectroacustica%2Fpub%2Ffile%2FTabla%2520de%2520coef%2520de%2520absorci%25C3%25B3n%2520sonora-Rev1-1(May-2015).ods&wdOrigin=BROWSELINK).

«Tablas-de-Absorcion.pdf». Accedido 18 de julio de 2022.  
<http://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/blogs.dir/27/files/2012/02/Tablas-de-Absorcion.pdf>.

Tobío, J. M. «Aislamiento acústico». *Informes de la Construcción* 23, n.º 222 (30 de julio de 1970): 55-85. <https://doi.org/10.3989/ic.1970.v23.i222.3547>.

«ULTRA SILENCIOSO SR | Contrapiso de control de ruido de alto rendimiento - Kinetics Noise Control | Fabricante». Accedido 23 de agosto de 2022.  
<https://kineticsnoise.com/ultraquiet/noise-control-underlayment>.

## Anexos

### Techo:

#### Cloudscape® Ceiling Tiles



diseño de techo <sup>21</sup>

125 Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
0.26	0.60	0.64	0.93	0.97	0.93

### Piso:

#### Ultra quiet sr



Diseño de piso con ultra quiet sr con cubierta de osb o plywood de media pulgada. <sup>22</sup>

125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11

Datos de coeficiente de absorción de madera contrachapa<sup>23</sup>

<sup>21</sup> «Cloudscape Ceiling Tiles by Acoustics First | Acoustical Ceiling Tiles for Suspended Ceiling Systems or Direct Mount to Walls or Ceilings», accedido 23 de agosto de 2022, <https://www.acousticsfirst.com/acoustical-foam-cloudscape-ceiling-tiles.htm>.

<sup>22</sup> «ULTRA SILENCIOSO SR | Contrapiso de control de ruido de alto rendimiento - Kinetics Noise Control | Fabricante», accedido 23 de agosto de 2022, <https://kineticsnoise.com/ultraquiet/noise-control-underlayment>.

## Trampa de bajos:

### Geometrix® Bass Trap<sup>24</sup>

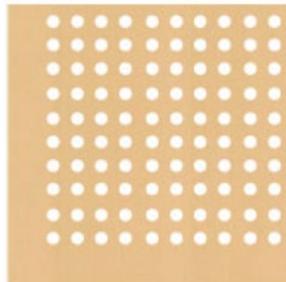


Trampa de bajo

125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
1,54	1,40	1,35	1,31	1,32	1,27

## Paneles:

### PAP018



Panel acústico perforado con agujeros alineados<sup>25</sup>

125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
0.45	0.90	0.90	0.90	0.65	0.55

---

<sup>23</sup> «Tabla de coef de absorción sonora-Rev1-1(May-2015).ods», accedido 23 de agosto de 2022, [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.profesores.frc.utn.edu.ar%2Felectronica%2Ffundamentosdeacusticayelectroacustica%2Fpub%2Ffile%2FTabla%2520de%2520coef%2520de%2520absorci%25C3%25B3n%2520sonora-Rev1-1\(May-2015\).ods&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.profesores.frc.utn.edu.ar%2Felectronica%2Ffundamentosdeacusticayelectroacustica%2Fpub%2Ffile%2FTabla%2520de%2520coef%2520de%2520absorci%25C3%25B3n%2520sonora-Rev1-1(May-2015).ods&wdOrigin=BROWSELINK).

<sup>24</sup> «Geometrix Broadband Bass Trap by Acoustics First | Acoustical panels & Soundproofing Materials to Control Sound and Eliminate Noise™», accedido 20 de agosto de 2022, <https://www.acousticsfirst.com/geometrix-broadband-absorber.htm>.

<sup>25</sup> <https://plus.google.com/104861226744097748520>, «Paneles acústicos perforados | Decustik», accedido 20 de agosto de 2022, <https://www.decustik.com/es/paneles-acusticos-perforados>.

## Sonora® Acoustic Panels



Placa acústica rígida de fibra de vidrio de alta densidad<sup>26</sup>

125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
0.75	1.11	1.19	1.07	1.06	1.09

## Sonora® Corner Bass Trap



Absorbentes de baja frecuencia están sintonizados para aliviar la acumulación de graves<sup>27</sup>

125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
0.95	1.04	1.14	1.09	1.07	1.09

---

<sup>26</sup> «Sonora® Wall Panels - Acoustics First», accedido 24 de agosto de 2022, <https://www.acousticsfirst.com/sonora-wall-panels.htm>.

<sup>27</sup> «Panel de control de baja frecuencia Sonora - Acoustics First - Materiales acústicos para control de sonido, eliminación de ruido y mejora o supresión acústica», accedido 1 de septiembre de 2022, <https://acousticsfirst.com/sonora-lfc.htm>.

### RP25 Isover



Panel robusto y de alta densidad<sup>28</sup>

125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
0.20	0.40	0.80	0.90	1.00	1.00

### Difusores:

#### Multifuser Wood MKII



Difusor bidimensional se basa en una secuencia QRD combinada con técnicas de reflexión cambiantes<sup>29</sup>

125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
0.07	0.19	0.27	0.50	0.45	0.39

---

<sup>28</sup> «Tablas-de-Absorcion.pdf», accedido 18 de julio de 2022, <http://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/blogs.dir/27/files/2012/02/Tablas-de-Absorcion.pdf>.

<sup>29</sup> «Multifuser Wood MKII», Vicoustic, accedido 24 de agosto de 2022, <https://vicoustic.com/product/multifuser-wood-mkii?g=0&multifuser-wood-colors=Natural+Wood&multifuser-wood-size=64>.

**Planos 2D**

