



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

# **ESTRATEGIAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO INTERIOR**

**SOFÍA GUZMÁN FREIRE**



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE DISEÑO, ARQUITECTURA Y ARTE  
ESCUELA DE DISEÑO DE INTERIORES**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
DISEÑADORA DE INTERIORES**

**ESTRATEGIAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO  
ACÚSTICO INTERIOR**

**AUTORA: SOFÍA GUZMÁN FREIRE  
DIRECTOR: ARQ. CARLOS CONTRERAS**

**Cuenca - Ecuador  
2019**

## DEDICATORIA

A mis abuelos, Julio y Luz, quienes me enseñaron que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

A mis padres quienes me supieron inculcar a través del ejemplo, que con esfuerzo y valentía es posible cumplir metas.

## AGRADECIMIENTO

A mis padres por su paciencia invertida todo este tiempo, a mis hermanos por su constante apoyo a lo largo de este camino y a todas las personas que han aportado con sus conocimientos para la realización de este proyecto.

A mi director, Arquitecto Carlos Contreras, quien supo guiarme en el camino correcto en un campo tan amplio y desconocido.

A la Universidad del Azuay, por acogerme y brindarme años llenos de maravillosas experiencias y sabiduría.

A las empresas que me brindaron su apoyo con las herramientas necesarias para este estudio investigativo

## RESUMEN

El proyecto de graduación realizado, estudia el comportamiento del sonido dentro de un espacio interior, analizando las cualidades que determinan su calidad, así como su comportamiento en relación a distintos materiales, considerándolo un factor importante a tomar en cuenta para el acondicionamiento acústico interior. Como resultado del análisis acústico de los espacios se encontró una característica medible cuantificable, denominada tiempo de reverberación, el mismo que para su cálculo analiza los materiales y cantidades de superficies involucrados en el. Obteniendo así, una estrategia de análisis donde se identifica el fallo acústico y consecuentemente un sistema de cálculo de implementación de materiales para su corrección.

## ABSTRACT

This graduation project studies the behavior of sound within an interior space, analyzing the qualities that determine its quality and its behavior in relation to different materials. This was considered an important factor to take into account for interior acoustic conditioning . As a result of the acoustic analysis of the spaces, a measurable and quantifiable characteristic called reverberation time was found, which analyzes the materials and quantities of surfaces involved in it for its calculation. An analysis of strategy was obtained identifying the acoustic failure and a calculation system for the implementation of materials for its correction.

**KEY WORDS:** Sound behavior, material performance, perceptual analysis, intervention, acoustic correction, calculation system.

# OBJETIVOS

## **OBJETIVO GENERAL**

Contribuir al diseño interior y acústico de aulas educativas a partir del desarrollo de parámetros para la confortabilidad acústica de un espacio.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar sobre la interpretación del sonido para el ser humano.
- Evaluar las condiciones acústicas de las aulas de materiales distintos de la Universidad del Azuay.
- Investigar sobre metodologías y materiales disponibles, para el acondicionamiento acústico.
- Establecer un sistema que permita evidenciar el fallo acústico de un espacio, y como rectificarlo.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 01: MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>13</b>
<b>1.1. EL SONIDO Y EL RUIDO</b>	<b>14</b>
1.1.1. ¿QUÉ ES EL SONIDO?	15
1.1.2. GENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DEL SONIDO	16
1.1.3. PROPIEDADES DE LAS ONDAS SONORAS	19
1.1.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SONIDOS	20
1.1.5. NIVEL DE PRESIÓN SONORA	22
1.1.4. CUALIDADES DEL SONIDO	23
1.1.5. MAGNITUDES ACÚSTICAS DE INTERÉS	24
<b>1.2. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO</b>	<b>26</b>
1.2.1. EFECTOS FÍSICOS/PSICOLÓGICOS EN LOS SERES HUMANOS	27
<b>1.3. EL DISEÑO INTERIOR Y EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO</b>	<b>30</b>
1.3.1. POSIBLES CAUSAS DE UN AMBIENTE ACÚSTICO INAPROPIADO	31
1.3.2. PROBLEMAS OCASIONADOS	31
<b>1.4. EL SISTEMA DE FONACIÓN HUMANA</b>	<b>32</b>
1.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL MENSAJE ORAL	33
1.4.2. DIRECTIVIDAD DE LA VOZ HUMANA	34
<b>1.5. CONCLUSIONES</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 02: REFERENTES TEÓRICOS</b>	<b>37</b>
<b>2.1. DISEÑO ACÚSTICO DE RECINTOS CERRADOS</b>	<b>40</b>
2.1.1. PARÁMETROS ACÚSTICOS PARA EL DISEÑO INTERIOR DE ESPACIOS	41
2.1.2. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN UN RECINTO CERRADO	42
<b>2.2. FENÓMENOS ACÚSTICOS RELEVANTES</b>	<b>44</b>
2.2.1. REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN	45
2.2.2. ABSORCIÓN	46
2.2.3. DIFRACCIÓN	46
<b>2.2. FENÓMENOS ACÚSTICOS DIMENSIONABLES</b>	<b>48</b>
<b>2.3. NORMAS ACÚSTICAS</b>	<b>50</b>
2.3.1. LA CURVA DEL RANGO DE SONIDO	53
2.3.2. TIEMPO DE REVERBERACIÓN ÓPTIMO	53

<b>2.4. ANÁLISIS DE MATERIALES Y ELEMENTOS</b>	<b>54</b>
2.4.1. ABSORCIÓN DEL SONIDO	54
2.4.2. ABSORCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS	55
2.4.3. ABSORCIÓN DEL AIRE	55
2.4.4. ABSORCIÓN DE LAS SUPERFICIES VIBRANTES	56
2.4.5. MATERIALES ABSORBENTES	56
2.4.6. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA (NRC)	57
2.4.7. MATERIALES ABSORBENTES SUSPENDIDOS DEL TECHO	59
2.4.8. CATEGORIZACIÓN GENERAL DE LOS MATERIALES ACÚSTICOS	60
<b>2.5. INSTRUMENTACIÓN ACÚSTICA</b>	<b>62</b>
2.5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SONÓMETROS SEGÚN SU PRECISIÓN	62
2.5.2. MICRÓFONO VOCAL Y GRABADORA PORTÁTIL	63
<b>2.6. CONCLUSIONES: ENTREVISTAS</b>	<b>64</b>
<b>2.7. CONCLUSIONES</b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO 03: EXPERIMENTACIÓN</b>	<b>69</b>
<b>3.1. ESTRATEGIAS</b>	<b>70</b>
3.1.1. TEÓRICAS	70
3.1.2. OPERATIVAS	71
<b>3.2. CRITERIOS</b>	<b>72</b>
3.2.1. FUNCIONALES	72
3.2.2. TECNOLÓGICOS	73
<b>3.3. EXPERIMENTACIÓN</b>	<b>74</b>
<b>3.4. FENÓMENOS QUE CARACTERIZAN EL SONIDO</b>	<b>132</b>
3.4.1. REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN	132
3.4.2. ABSORCIÓN	134
3.4.3. DIFRACCIÓN	136
<b>3.5. CONCLUSIONES</b>	<b>139</b>
<b>CAPÍTULO 04: CONCEPTUALIZACIÓN</b>	<b>141</b>
<b>4.1. IDENTIFICACIÓN DE EFICACIA DE MATERIALES ESTUDIADOS</b>	<b>142</b>
4.1.2. ANÁLISIS DE MATERIALES SEGÚN SU CLASIFICACIÓN	144
<b>4.2. IDENTIFICACIÓN DE ESTADO ACTUAL DEL ESPACIO</b>	<b>151</b>
4.2.1. CASO 1: AULA B3101	152
4.2.2. CASO 2: AULA B3103	154
4.2.3. CASO 3: AULA B5103	156
4.2.2. CASO 4: AULA A5307	158
<b>4.3. PROPUESTA DE ADECUACIÓN ACÚSTICA DE UN ESPACIO</b>	<b>160</b>
<b>4.4. CONCLUSIONES</b>	<b>165</b>
<b>REFERENCIA DE FIGURAS</b>	<b>166</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>168</b>

# 01. MARCO CONCEPTUAL

## INTRODUCCIÓN

El diseño interior es una disciplina que tiene como objetivo crear espacios agradables, confortables y funcionales para el usuario, sin importar la naturaleza de la actividad que se vaya a realizar dentro del espacio, ya que indaga en aspectos de la psicología ambiental, identificando los factores que hacen de un espacio confortable, así como también la arquitectura y el diseño del producto (Zapata & Velásquez, 2005), puesto que, según las estadísticas resultantes de la encuesta Neil E. Klepleis publicado en el 2001, afirma que el ser humano promedio, pasa aproximadamente el 90% de su vida dentro de un espacio arquitectónico interior, por lo que, se debe tomar en cuenta a los factores dentro de un ambiente al que está expuesto un ser humano ya que de ello depende, la salud, la confortabilidad y el desempeño del mismo en ella. Esta tesis pretende estudiar uno de los factores de los cuales se identifica como uno de los más importantes a considerar para que un ambiente sea confortable y el cual no es tan importante al momento de realizar un diseño, el acondicionamiento acústico. El acondicionamiento acústico es considerado como un factor igual de importante que otros factores ambientales en evaluaciones de productividad y bienestar psicológico en el ambiente laboral, educativo o habitacional (Vendrell, Galiana, & Reyna, 2011). Este proyecto está conformado por un marco teórico donde se abordan conceptos del sonido, el ruido, la acústica, el diseño interior, el estudio de materiales para el acondicionamiento acústico; áreas que están enfocadas en el diseño interior y el mejoramiento del acondicionamiento acústico de aulas de clase con el fin de crear un ambiente donde el desempeño de los usuarios sea el correcto, acorde a la actividad destinada del espacio. Existen varios materiales en el mercado, sin embargo, no se ha podido determinar cuál es el más adecuado para el fin con el que se busca, en este caso, el confort acústico.

El acondicionamiento acústico parte del concepto de confort acústico, que se define como la situación en la que el nivel de ruido provocado por actividades humanas resulta adecuado para el descanso, la comunicación y la salud de las personas. Tiene como objetivo que, el sonido emitido sea propagado por igual en todas las direcciones que abarque el espacio, logrando un campo sonoro difuso ideal (Avilés López & Perera Martín, 2017).

## 1.1. EL SONIDO Y EL RUIDO

Es evidente que el sonido forma parte de la vida diaria del ser humano, donde los sonidos en armonía crean un efecto placentero en las personas, es así como también el ruido crea efectos dentro del cuerpo y la mente. Es necesario conocer los conceptos básicos sobre el sonido y su origen, y como este es percibido por el ser humano, para así establecer parámetros de confort acústico dentro de un espacio. Existen una serie de variables que modifican la manera cómo se percibe el sonido, y cuando el sonido deja de ser estimulador y cuando es molesto, considerado ruido. El tema de la percepción es distinto para cada persona que sea usuaria del mismo espacio, ya que cada una de ellas es distinta, por lo que su nivel de tolerancia no es el mismo. Este factor subjetivo no es fácilmente medible ni cuantificable sin recurrir a ratios estadísticos. (Carrión, 1998)

El sonido se puede definir como un fenómeno físico que se produce cuando un elemento de origen comienza a vibrar de una determinada forma. Esta es la fuente sonora. Acto seguido la vibración se transmite por un medio de propagación hasta alcanzar al receptor (el oído y el cerebro humano), donde tiene lugar la percepción. El ruido, será cualquier sonido percibido, pero no deseado o deseable. Es decir, el ruido es cualquier sonido molesto o perjudicial para el receptor. Sin embargo, la parte subjetiva se tiene en cuenta principalmente a la hora de establecer límites al sonido en un determinado ambiente, considerando lo que comúnmente resulta aceptable, aunque también lo que pueda resultar dañino o perjudicial. (Figueras, 2009)



### 1.1.1. ¿QUÉ ES EL SONIDO?

El sonido se propaga a través del aire, considerado un medio elástico y denso, por una vibración, el mismo que es capaz de producir una sensación. El sonido se asocia con el concepto de estímulo físico, es decir que es una sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio elástico y denso. (Carrión, 1998)

El sonido es una sensación fisiológica producida en el órgano del oído (tímpano) por un movimiento ondulatorio de una onda mecánica y acústica (onda sonora) en un medio elástico debido a cambios inmediatos de presión generados por la vibración de un cuerpo, llamado fuente sonora. (Figueras, 2009)

Es decir, la onda sonora tiene lugar cuando la fuente sonora vibra. Se transmite a las partículas de aire que tiene cerca, que a su vez la transmiten a nuevas partículas cercanas. El sonido se representa mediante un espectro que da la amplitud (presión) en función de sus componentes en frecuencia. No obstante, hay una serie de características que tienen las ondas sonoras que serán necesarias para el estudio de la acústica dentro de espacios, como son la amplitud, período, longitud de onda y la frecuencia. (Figueras, 2009)

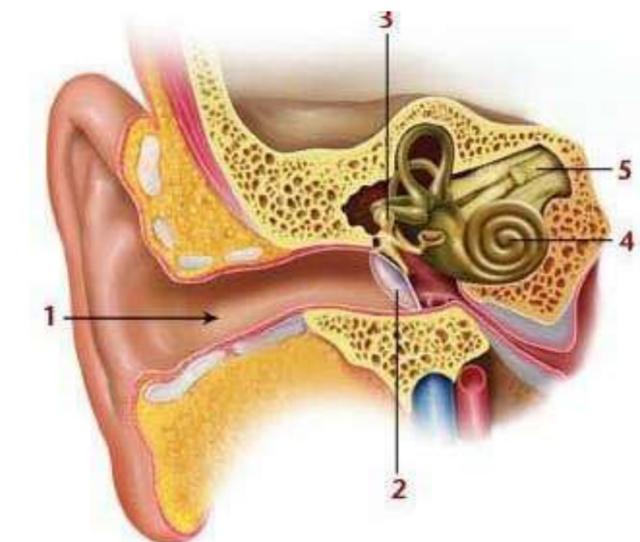


Imagen 1. Proceso de audición. [sites.google.com/site/lasondasyelruido/](https://sites.google.com/site/lasondasyelruido/) (Imagen digital en línea)



## 1.1.2. GENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DEL SONIDO

Se denomina fuente sonora al elemento que provoca el sonido, el sonido se genera cuando dicha fuente entra en vibración. El sonido empieza desde la vibración, la cual es redirigida a partículas de aire, que al mismo tiempo transmiten la vibración a nuevas partículas contiguas. La perturbación se traslada de un lugar a otro, denominándose propagación de la onda sonora. (Salazar & Valdez, 2010)

La oscilación de las partículas tiene lugar en la misma dirección que la de propagación de la onda. En este caso se habla de ondas sonoras longitudinales, en contraposición a las ondas electromagnéticas que son transversales (oscilación de la señal generadora perpendicular a la dirección de propagación de la onda). La manera más habitual de expresar cuantitativamente la magnitud de un campo sonoro es mediante la presión sonora, o fuerza que ejercen las partículas de aire por unidad de superficie. (Carrión, 1998)

La forma en la que se propaga la onda va a depender de las características del medio, en especial de la facilidad que tengan las partículas del mismo para vibrar (elasticidad), es indispensable que haya un medio, el sonido no se propaga en el vacío. (Avilés López & Perera Martín, 2017)

El libro de Antoni Carrión, "Diseño acústico de espacios arquitectónicos" publicado en el año 1998, es usada como la bibliografía base de conceptos básicos para establecer parámetros de la acústica, posterior al estudio de los mismos, en este apartado se definirá los conceptos de los mismos.

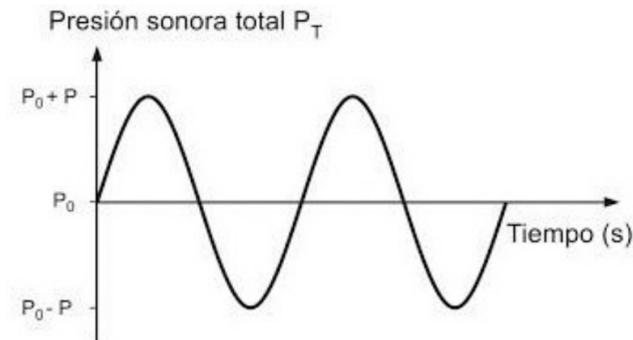


Imagen 2. Evolución de la presión sonora total  $P_T$  en función del tiempo en un punto cualquiera del espacio. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

## AMPLITUD

Es la separación máxima de la onda con respecto a su posición de equilibrio, las unidades a usarse, según el sistema internacional de unidades son los metros. Se representan como  $X_0$ .

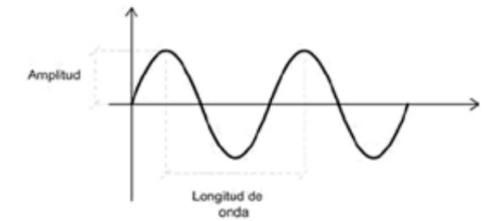


Imagen 3. Parámetros característicos de una onda. Rodrigo Avilés, Rocío Perera Martín, 2017. Manual de acústica ambiental y arquitectónica.

## FRECUENCIA DEL SONIDO

El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora  $p$  se denomina frecuencia ( $f$ ) del sonido y se mide en hertzios (Hz) o ciclos por segundo (c/s). Lógicamente, la frecuencia del sonido coincide con la frecuencia de la vibración mecánica que lo ha generado.

El oído humano presenta distinta sensibilidad respecto a las frecuencias, que es el factor que determinará el umbral de confort de una persona dentro de un espacio. Puede percibir ondas sonoras de frecuencias entre los 20 y los 20.000 Hz. Este rango de frecuencias varía entre las personas y disminuye con la edad.

Los sonidos con frecuencias inferiores a los 20 Hz se denominan infrasonidos, mientras que los que tienen una frecuencia superior a los 20 kHz se denominan ultrasonidos.



Imagen 5. Rango de frecuencias. Santiago Valero Granados, 2011. Acústica aplicada al interiorismo.

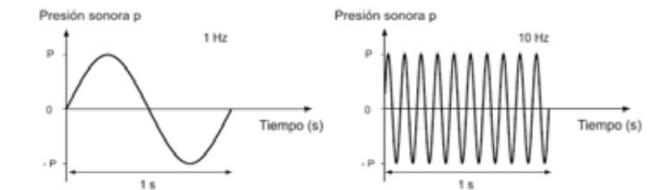


Imagen 4. Ejemplos de oscilaciones de frecuencias 1 y 10 Hz. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

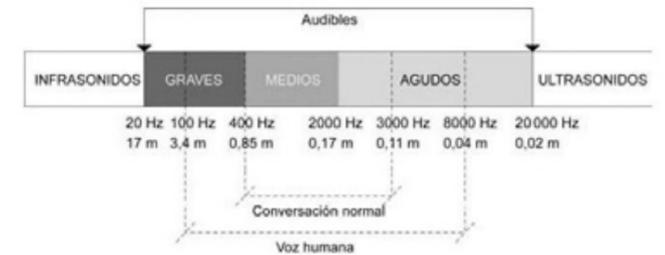


Imagen 6. Rango aproximado de frecuencias (arriba) y longitudes de onda (abajo) de la audición humana. Rodrigo Avilés López, Rocío Perera Martín, 2017. Manual de acústica ambiental y arquitectónica.

## ESPECTRO FRECUENCIAL

La gran mayoría de los sonidos que percibimos no constan únicamente de una sola frecuencia, sino que están constituidos por múltiples frecuencias superpuestas. Incluso cada uno de los sonidos generados por un instrumento musical están formados por más de una frecuencia.

## LONGITUD DE ONDA

Es la distancia que recorre la onda en el tiempo de un periodo. Es la distancia existente entre un máximo de presión sonora y el siguiente, y es inversamente proporcional a la frecuencia: cuando aumenta la frecuencia, la longitud de onda disminuye, y viceversa. Ambos parámetros están relacionados a través de la velocidad de propagación de la onda ( $c$ ):



## VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN

Velocidad de propagación: es la velocidad con la que se propaga la onda por el medio, esto es, la rapidez con que se transmite la perturbación de unas partículas a otras. No debe confundirse con la velocidad con la que se mueven las propias partículas al vibrar. Depende de las características del medio.

En la tabla 1 se muestra la velocidad de propagación del sonido en distintos medios, pudiendo comprobarse las grandes diferencias existentes entre unos y otros. Las diferencias son significativas.

Medio	c (m/s)	Medio	c (m/s)
Agua dulce (15 °C)	1440	Granito	6000
Agua salada (15 °C)	1470	Hierro	4950
Aluminio	5000	Madera	1000 a 4000
Caucho	35	Mampostería	3000
Cobre	3800	Plomo	1200
Corcho	500	Vidrio	5600

Tabla 1. Velocidad del sonido en distintos medios. Rodrigo Avilés López, Rocío Perera Martín, 2017. Manual de acústica ambiental y arquitectónica

En el caso de los gases, en condiciones ideales, la velocidad de propagación es proporcional a su temperatura: la onda sonora se propaga con mayor velocidad a medida que aumenta la temperatura.

Para el aire a una temperatura de 20 C, la velocidad de propagación es de 344m/s (que en muchas ocasiones se redondea a 340 m/s como valor representativo).

En la tabla 2 se evidencia la velocidad del sonido en el aire, con una humedad relativa del 50%.

Temperatura (°C)	c (m/s)	Temperatura (°C)	c (m/s)
-10	326	20	344
0	332	30	350
10	338	40	356

Tabla 2. Velocidad del sonido en el aire, con una humedad relativa del 50%. Rodrigo Avilés López, Rocío Perera Martín, 2017. Manual de acústica ambiental y arquitectónica.

El aire es una mezcla de gases (nitrógeno, oxígeno, argón, etc.) no uniforme, por lo que la velocidad de propagación también dependerá de su composición, en la que resulta importante la humedad relativa. El sonido se propaga ligeramente más rápido en ambientes húmedos que en ambientes secos. Por tanto, podemos decir que la velocidad de propagación de la onda sonora en el aire depende de dos factores fundamentales: temperatura y humedad relativa. (Avilés López & Perera Martín, 2017)



## 1.1.3. PROPIEDADES DE LAS ONDAS SONORAS

### PROPAGACIÓN DEL SONIDO

Éstas son las propiedades que definen al sonido y la propagación del mismo según Santiago Valero Granados, en el libro "Acústica aplicada al interiorismo"

- **Reflexión:** Se produce, cuando una onda, que se propaga por un medio choca contra un obstáculo de propiedades elásticas distintas.
- **Refracción:** Es la desviación que experimentan las ondas sonoras en la dirección de su propagación por un medio cuando el sonido pasa a un medio diferente, cambiando la velocidad de su propagación.
- **Difracción:** Es el fenómeno de propagación no rectilínea que ocurre cuando una onda se encuentra con un obstáculo de dimensiones menores a su longitud de onda, con lo que es capaz de rodearlo. Otra forma de difracción es la capacidad de las ondas de pasar por orificios cambiando su divergencia a esférica con foco de ondas, tiende a propagarse en todas las direcciones del espacio.
- **Resonancia:** Ocurre cuando hay un objeto interpuesto el

camino de propagación de una onda, éste se pone a vibrar cuando recibe energía del movimiento ondulatorio. La energía absorbida se emplea en producir un movimiento de vibración del objeto entero y se dice que dicho cuerpo entra en resonancia con la onda recibida. Se ha de tener en cuenta que todos los cuerpos tienen frecuencias propias de vibración; si esa frecuencia propia coincide con la de la onda "resuenan" al paso de ésta.

- **Enmascaramiento:** Se produce cuando hay dos sonidos simultáneamente de dos frecuencias distintas, la intensidad de uno de ellos supera a la del otro en cantidad suficiente, el sonido del más débil puede llegar a ser inaudible.
- **Atenuación:** Se produce cuando hay dos sonidos simultáneamente de dos frecuencias distintas, la intensidad de uno supera a la del otro en cantidad suficiente, el sonido del más débil puede llegar a ser inaudible.
- **Periodo:** El periodo (T) es el tiempo requerido para que se realice un ciclo completo. Se calcula como el inverso de la frecuencia.

## 1.1.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SONIDOS

Los sonidos se dividen en deterministas y aleatorios. Los primeros se pueden representar siempre mediante una expresión matemática que indica la forma en que varía la correspondiente presión sonora en función del tiempo. Los segundos, en cambio, van asociados a vibraciones irregulares que nunca se repiten exactamente y que, por tanto, solamente se pueden describir mediante parámetros estadísticos. Los sonidos más representativos pertenecientes a cada grupo son:

### SONIDOS DETERMINISTAS

#### SONIDO PERIÓDICO SIMPLE

Es el tipo más simple de sonido existente en la naturaleza. Se compone de una única frecuencia ( $f_0$ ) constante, por lo que su espectro está constituido por una sola raya (Imagen 4). El sonido producido por un diapasón es de este tipo.

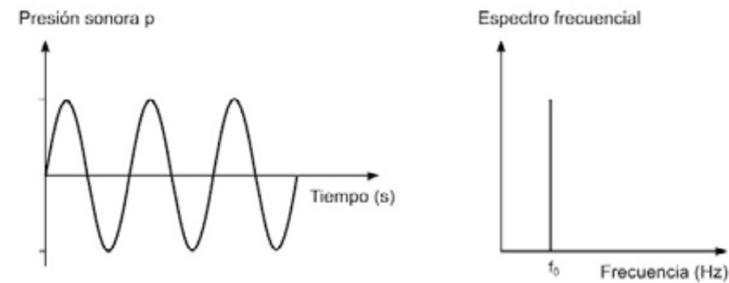


Imagen 7. Tono puro y su espectro frecuencial. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

#### SONIDO PERIÓDICO COMPLEJO

Sonido caracterizado por una frecuencia origen, denominada fundamental o primer armónico, y un conjunto finito (y a veces infinito) de frecuencias múltiplos de ésta, denominados armónicos. Por regla general, la frecuencia fundamental es la que lleva asociada más potencia sonora. La mayoría de instrumentos musicales producen este tipo de sonidos.

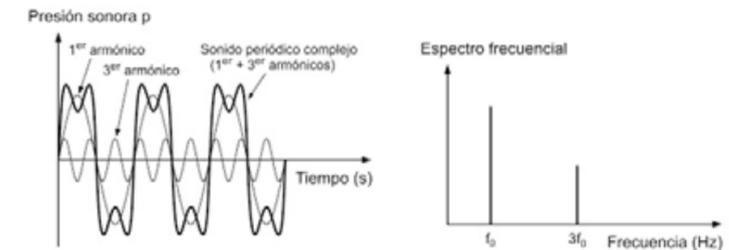


Imagen 8. Sonido periódico complejo y su espectro frecuencial, primer armónico ( $f_0$ ) y su tercer armónico ( $3f_0$ ). Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

#### SONIDO TRANSITORIO

Sonido resultante de la brusca liberación de energía bajo la forma, por ejemplo, de explosiones o impactos. Es de aparición repentina y tiene una duración breve. A diferencia de los sonidos periódicos mencionados anteriormente, contiene un gran número de componentes frecuenciales que no guardan una relación armónica entre sí, sino que forman un espectro continuo. (Domingo, 2010)

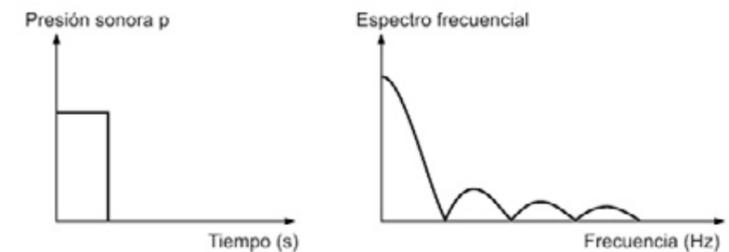


Imagen 9. Pulso rectangular y su espectro frecuencial. Sonido transitorio. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

### SONIDOS ALEATORIOS

Están formados por muchas frecuencias de valor impredecible. Habitualmente reciben el nombre de ruidos (sonido no deseado). En este caso, en lugar de utilizar el espectro frecuencial, se hace uso de la llamada densidad espectral de potencia, es decir, de la potencia sonora por unidad de frecuencia. Un sonido aleatorio característico es el ruido blanco. Se define como aquel ruido que presenta una densidad espectral de potencia constante. Un ejemplo de este tipo de ruido es el generado por una cascada de agua. (Avilés López & Perera Martín, 2017)



## 1.1.5. NIVEL DE PRESIÓN SONORA

La presión sonora (SPL) constituye la manera más habitual de expresar la magnitud de un campo sonoro. La unidad de medida es el Newton/metro<sup>2</sup> (N/m<sup>2</sup>) o Pascal (Pa).

El valor a considerar es la diferencia entre el valor fluctuante de la presión total P<sub>T</sub> y su valor de equilibrio P<sub>0</sub>. Debido a la variación de dicha magnitud con el tiempo se utiliza como valor representativo su promedio temporal, que recibe el nombre de valor eficaz o r.m.s ("root-mean-square").

La utilización de dicho valor eficaz da lugar a una serie de problemas cuyo origen se halla en el comportamiento del oído humano:

- 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  $P_0 = 10^5$  Pa, equivalente a 1 atmósfera).
- 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 1 kHz se dobla, la sonoridad, o sensación subjetiva producida por el mismo, no llegará a ser el doble. Para obtener una sonoridad doble, es necesario multiplicar la presión sonora por un factor de 3,16. 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. De esta manera, las cifras manejadas son muchos más simples y, además, se dan las siguientes relaciones entre cambios de nivel sonoro y su efecto subjetivo:
  - **1 dB:** mínimo cambio de nivel sonoro perceptible.
  - **5 dB:** cambio de nivel claramente percibido.
  - **10 dB:** incremento asociado a una sonoridad doble.

En la tabla 3, obtenida del libro "Diseño acústico de espacios arquitectónicos" de Antoni Carrión, se muestran los niveles de presión sonora correspondientes a una serie de sonidos y ruidos típicos, junto con la valoración subjetiva asociada.

FUENTE SONORA	NIVEL DE PRESIÓN SONORA SPL (dB)	VALORACIÓN SUBJETIVA DEL NIVEL
Despegue avión (a 60 m)	120	Muy elevado
Edificio en construcción	110	
Martillo neumático	100	
Camión pesado (a 15 m)	90	Elevado
Calle (ciudad)	80	
Interior automóvil	70	
Conversación normal (a 1 m)	60	Moderado
Oficina, sala	50	
Sala de estar	40	
Dormitorio (noche)	30	Bajo
Estudio de radiodifusión	20	

Tabla 3. Tabla de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva asociada. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

Presión sonora SPL (dB) = 50, que tiene como valoración subjetiva moderado, ya que en un espacio donde se imparte clases orales, debe haber cierto tipo de refracción del sonido ambiental, para que el mensaje que se transmite Para la intención de estudio de esta tesis, tomaremos como primer valor de parámetro el nivel de oralmente llegue a todos los usuarios del espacio, de manera equitativa y clara.

En la imagen 9, se representan los niveles medios de presión sonora a 1m de distancia producidos por una persona hablando con diferentes intensidades de voz. En la cual se puede establecer, que la intensidad de voz para ser escuchada a 1 metro, sigue siendo baja.



Imagen 9. Niveles medios de presión sonora SPL, a 1 m de distancia, producidos por una persona hablando con diferentes intensidades de voz. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

## 1.1.4. CUALIDADES DEL SONIDO

Las ondas armónicas periódicas son producidas por un movimiento armónico simple. La representación de un sonido de una única frecuencia (tono puro), es la onda sonora más sencilla, pero rara vez se genera fuera del laboratorio, ya que en la realidad prácticamente todos los sonidos, y en consecuencia los ruidos, son producidos por movimientos vibratorios complejos, es decir, por la composición de un número indefinido de distintos movimientos vibratorios simples (de distintas amplitudes y frecuencias). Los sonidos reales, procedentes de vibraciones complejas, poseen una frecuencia fundamental que determina su tono y va acompañada de un cierto número de armónicos, que dan lugar, en función de su proporción e intensidad, a su timbre. (Nieva, 2005).

### TONO

Es la cualidad del sonido, dependiente de su frecuencia, que permite ordenarlo en graves y agudos; distingue un sonido de alto (agudo) de uno bajo (grave). (Guía de la construcción, 2006)

### TIMBRE

Es la cualidad del sonido, que diferencia a los del mismo tono y depende de la forma y naturaleza de los elementos que entran en vibración. Por lo tanto, es que nos hace distinguir el sonido de los diferentes instrumentos, aunque estos sonidos tengan la misma duración intensidad y altura. Los timbres del sonido están en función de la forma de la onda. A cada forma de onda le corresponde un timbre distinto. Así, a las propiedades del sonido (que son percibidas de forma subjetiva por cada persona), les corresponden ciertas características físicas (objetivas) de la onda sonora. Estas características físicas son la amplitud, frecuencia, forma de onda, siendo las subjetivas: intensidad o matiz, tono y timbre. (Guía de la construcción, 2006)



## 1.1.5. MAGNITUDES ACÚSTICAS DE INTERÉS

Existen tres magnitudes físicas relacionadas con la energía que posee un sonido.

### POTENCIA SONORA

Es la cantidad de energía sonora emitida por una determinada fuente sonora. Su valor no depende del punto del espacio en que se mide ni de las condiciones del recinto en que se localiza el foco sonoro. Es una magnitud intrínseca o característica de la fuente sonora la potencia sonora se expresa en vatios (w). (Guía acústica de la construcción. Cap. 1 Potencia, intensidad y presión sonora, pág. 23, 2006)

### INTENSIDAD SONORA

Es el valor medio de la energía acústica que fluye en la unidad de tiempo a través de una superficie situada perpendicularmente a la dirección de propagación de las ondas sonoras. Es una magnitud dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar en que se encuentre (en campo abierto, sin obstáculos o en un recinto cerrado) se expresa en  $W/m^2$ . (Guía acústica de la construcción. Cap. 1 Potencia, intensidad y presión sonora, pág. 23, 2006)

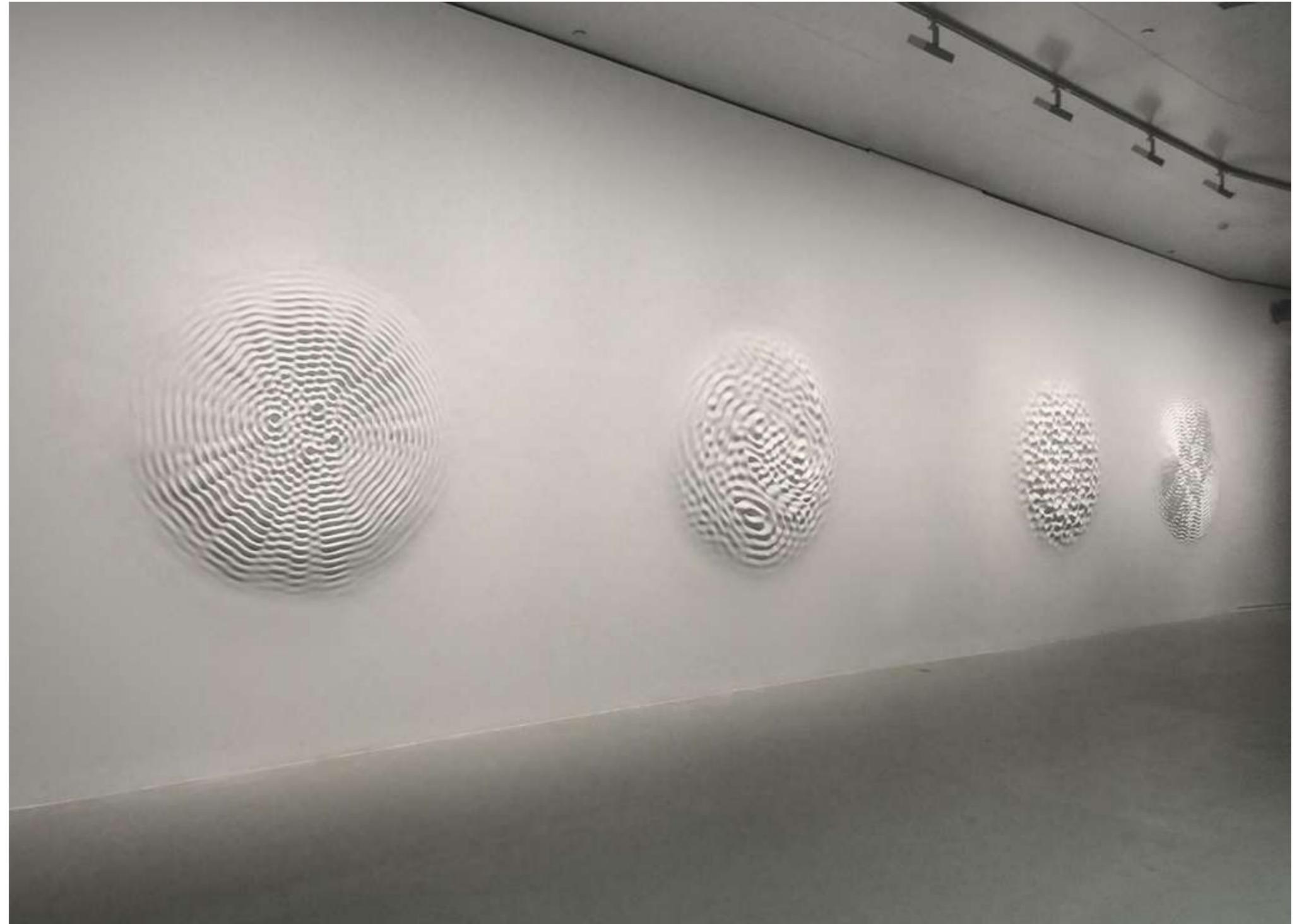
### PRESIÓN SONORA

Como se había definido anteriormente esta, representa el incremento de presión respecto a la presión atmosférica debido a la presencia de la onda acústica; es dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar en que ésta se encuentre. La razón de estas variaciones de presión se debe a que se producen áreas donde se concentran estas partículas (zona de concentración) y otras que quedan menos saturadas (zonas de rarefacción). Las zonas con mayor concentración de moléculas tienen mayor densidad. (Guía acústica de la construcción. Cap. 1 Potencia, intensidad y presión sonora, pág. 23, 2006)

### RELACIÓN ENTRE PRESIÓN SONORA

La presión sonora es la diferencia de presión provocada en la presión del ambiente por una onda sonora. La intensidad acústica es la potencia acústica por unidad de área. Por tanto, la presión sonora y la intensidad acústica son dos unidades físicas distintas. El oído responde a la presión sonora, que se relaciona con intensidad acústica que es una cantidad vectorial definida específicamente que no puede medirse con un simple micrófono.

La intensidad acústica instantánea se obtiene multiplicando la presión sonora y la velocidad de partícula acústica. Así es como se relacionan los dos términos. (Guía acústica de la construcción. Cap. 1 Potencia, intensidad y presión sonora, pág. 23,2006)



## 1.2. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Se entiende como acondicionamiento acústico al control de los parámetros de la propagación del sonido en el interior de determinado espacio cerrado. Esta expresión suele estar asociada a recintos como auditorios o teatros, sin embargo, con cierta frecuencia existen recintos de uso cotidiano donde las condiciones acústicas no son las adecuadas. Así, por ejemplo, las aulas son a menudo lugares donde es casi imposible seguir una clase.

Esto se debe a que estos establecimientos suelen tener todas sus superficies reflectantes acústicamente y al ser de un tamaño considerable y contar con muy poca absorción, (depende de varios factores, de la temperatura, la presión atmosférica y la humedad, junto a otras condiciones del entorno, pueden afectarla) el sonido permanece más tiempo en el ambiente, incrementándose paulatinamente los niveles de ruido en el fondo.

La acústica no es la misma en todos los espacios, el tratamiento del aislamiento acústico depende de la actividad para la que esté destinada el espacio, además de la localidad del mismo. (Vendrell, Galiana, & Reyna, 2011)

Si bien, el acondicionamiento acústico tiene como objetivo el control de los parámetros de la propagación del sonido; el aislamiento acústico tiene como objetivo contrarrestar el ruido ajeno al espacio interior que interfiere en la confortabilidad del mismo. Es por eso que, aunque parezcan conceptos similares, no lo son, el aislamiento acústico es un tema de igual o mayor extensión que el acondicionamiento acústico.

Sin embargo, para el propósito del diseño de paneles, que se propondrá a lo largo de este proyecto, se tomarán en cuenta ciertos principios del aislamiento acústico, que es en parte, el análisis de materiales para el acondicionamiento acústico. Principios como el coeficiente de absorción de materiales y el tiempo de reverberación.

### 1.2.1. EFECTOS FÍSICOS/PSICOLÓGICOS EN LOS SERES HUMANOS QUE PRODUCE EL SONIDO

Para determinar por qué el acondicionamiento acústico es un factor ambiental a tomar en cuenta dentro del diseño interior, y más aún como solución en aulas de clase educativas, donde la información se imparte de manera oral, se debe establecer los efectos físicos y psicológicos en los seres humanos a causa del sonido.

El ser humano, a través del mecanismo auditivo, percibe sensaciones sonoras creadas por estímulos vibratorios. El sonido suministra información de carácter vital acerca del entorno y sus cambios. Se puede decir que el sonido cumple la función

de un signo, ya que permite realizar una asociación de sentido entre una forma sonora y un significado. Puede desarrollar emociones dentro de una persona, a la vez puede irritar o ser sumamente placentero, inclusive puede inducirnos a diferentes estados de ánimo. (Palacios, 1997)

El sonido, dependiendo de su forma puede llegar a crear alteraciones en el funcionamiento del cerebro que regulan al cuerpo humano, influyendo en una persona sobre su conducta, estado anímico y en procesos inconscientes del cerebro que regulan al cuerpo humano. (Palacios, 1997).

#### EFECTOS FISIOLÓGICOS

Según Pablo Kogan, comprobó en un estudio científico, que el sonido afecta el sistema cardiovascular, elevando o disminuyendo el ritmo cardíaco, pudiendo llegar a la hipertensión debido al estrechamiento de los vasos sanguíneos.

Afecta también el proceso gastrointestinal alterando el proceso de digestión estomacal. Puede producir cambios en el ritmo respiratorio, cambios en la piel activando las glándulas sudoríparas.

Así mismo, el sentido de la vista puede verse afectado debido a la dilatación de las pupilas en presencia de frecuencia específicas y variaciones de intensidad.

#### PÉRDIDA DE LA AUDICIÓN - SORDERA

Es la alteración más común en el cuerpo humano, debido a la exposición constante de sonido, no es reversible.

#### EFECTOS INCONSCIENTES

Son alteraciones funcionales involuntarias que generalmente pasan inadvertidas por el individuo. Estas son: aceleración del ritmo cardíaco, aumento de la tensión muscular, aumento de la presión arterial, alteraciones en el proceso digestivo, cambios en el ritmo respiratorio.

Estos cambios no son necesariamente dañinos, ya que, dependiendo de la frecuencia y la intensidad, el sonido puede crear distintas reacciones en el cuerpo.

Generalmente un sonido armónico a un nivel discreto crea un efecto relajante y, por lo contrario, un ruido muy fuerte crea un daño físico resultando en un efecto dañino para el cuerpo y por consecuencia para la mente. (Domingo, 2010)



## EFFECTOS AUDITIVOS

### DESPLAZAMIENTO TEMPORAL DEL UMBRAL DE AUDICIÓN

Es debido al cambio brusco de niveles sonoros, por ejemplo, una explosión. Este efecto dura unos cuantos días, pero, luego de un periodo este se recupera, siempre y cuando no se repita en otra ocasión. (Domingo, 2010)

### DESPLAZAMIENTO PERMANENTE DEL UMBRAL DE AUDICIÓN

Cuando se permanece expuesto a daños sonoros y por largos periodos de tiempo, los efectos son irreversibles y produce la sordera en los individuos. (Domingo, 2010)

### INTERFERENCIA EN LA COMUNICACIÓN ORAL

La comunicación personal se reduce a causa de los ruidos de fondo, debido especialmente a que el oído no distingue entre sonidos y ruidos, por lo que mientras más existan estos ruidos de fondo, más elevada será la conversación para su entendimiento. (Domingo, 2010)

## EFFECTOS NO AUDITIVOS

### A MÁS DE 60 dB

- Dilatación de las pupilas y parpadeo acelerado.
- Agitación respiratoria, del pulso y taquicardia.
- Menos irrigación sanguínea y más actividad muscular.

### A MÁS DE 85 dB

- Disminución de la secreción gástrica, gastritis o colitis.
- Aumento del colesterol.
- Problemas cardiovasculares y coronarios (puede producir un infarto).
- Aumenta la glucosa en la sangre.

### EFFECTOS PSICOLÓGICOS

- Insomnio
- Fatiga
- Estrés
- Depresión y ansiedad
- Irritabilidad y agresividad
- Histeria y neurosis
- Aislamiento social
- Falta de deseo sexual

### EFFECTOS SOBRE EL SUEÑO

El sueño ocupa un tercio total de la vida de un ser humano, un lugar sometido a más de 60 dB de ruido es molestia para el ser humano y no puede descansar adecuadamente. (Zapata & Velásquez, 2005)

### EFFECTOS SOBRE LA CONDUCTA

El ruido altera la conducta de los individuos provocando des-

interés e irritabilidad. Estos generalmente son momentáneos y se producen por ruidos que provocan inquietud, inseguridad o miedo a alguna cosa. (Zapata & Velásquez, 2005)

### EFFECTOS EN LA MEMORIA

El ruido provoca una sobre actividad en el cerebro, impidiendo así la concentración en el individuo, y provocando a su vez la reacción tardía a las labores que éste se encuentre desarrollando, es decir, en condiciones ruidosas el individuo psicológicamente se desgasta para mantener su nivel de rendimiento. (Córdova, 2014)

### EFFECTOS EN LA ATENCIÓN

El ruido provoca que el individuo no se concentre fácilmente en la actividad que se encuentre elaborando. (Córdova, 2014)

### EFFECTOS EN EL EMBARAZO

La contaminación acústica afecta al feto. El tamaño inferior al normal en el momento del parto puede ser un efecto de esta alteración. Los sonidos musicales aumentan el desarrollo y la sensibilidad intelectual del feto, al contrario, la agresión acústica, y especialmente prolongada, afectará al feto de manera radical y negativa. (Córdova, 2014)

A través de numerosos estudios realizados por especialistas en la acústica, se sabe que, de forma directa o indirecta, el sonido tiene ciertos efectos en los seres humanos, sea de índole física o psicológica, tanto, así como en su comportamiento.

## 1.3. EL DISEÑO INTERIOR Y EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

El acondicionamiento acústico toma especial relevancia en establecimientos destinados a la transmisión de la palabra, donde es necesario tener la garantía de que el mensaje se transmite de la forma más nítida posible llegando a los receptores de manera correcta y clara. Para ello no es suficiente con la emisión clara del mensaje, sino que, depende de cómo sea modificado antes de su recepción por las características acústicas tanto de la sala como del entorno en que se desarrolla el proceso. En este caso, la presencia de ruidos elevados de fondo o el inadecuado acondicionamiento acústico de la sala, pueden provocar unas deficientes condiciones de inteligibilidad que dificulten la finalidad básica que se buscan en estas instalaciones. (Carrión, 1998)

El sentido auditivo permite el acceso al lenguaje y a través de su interpretación, el pensamiento, la estimulación auditiva, favorece la capacidad creadora, imaginativa, sensibilidad, organización y planificación motora. (Vendrell, Galiana, & Reyna, 2011)

En las aulas de clase, de instituciones educativas, la interacción profesor-alumno es principalmente oral. La mayoría de estas instituciones se encuentran ubicados en entornos urbanos y avenidas con mucho tráfico, por lo que es necesario acondicionar acústicamente las aulas, y que ello sea suficiente para que el ambiente exterior no deteriore las condiciones acústicas del interior de las aulas. (Amura, Mastrozzi, Barani, & Mastrozzi, 2013)

La falta de inteligibilidad en un determinado ambiente está relacionada con la aparición en los sujetos expuestos de síntomas de fatiga, irritabilidad, agitación y pérdida de atención, hechos que distorsionan el proceso educativo normal, pudiendo incidir gravemente no sólo en la pérdida de eficacia sino en el fracaso de la función docente en su conjunto.

### 1.3.1 POSIBLES CAUSAS DE UN AMBIENTE ACÚSTICO INAPROPIADO EN INSTALACIONES EDUCATIVAS

- Mal diseño del aula (forma paralelepípedica).
- Mala elección de los materiales que componen el aula.
- Mal ajuste de las puertas.
- Ruido proveniente de pasillos y aulas adyacentes o del exterior de la edificación, como la afluencia vehicular.

### 1.3.2. PROBLEMAS OCASIONADOS POR UN INADECUADO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

- Mala inteligibilidad del mensaje
- Fatiga en los docentes, que deben alzar su voz considerablemente con demasiada frecuencia para ser escuchados, causándoles problemas físicos y psicológicos
- Disminución del rendimiento de los alumnos



## 1.4. EL SISTEMA DE FONACIÓN HUMANA

Los órganos que forman parte del sistema de fonación humana y que constituyen el denominado tracto vocal son: los pulmones, la laringe, la faringe, la cavidad nasal y la cavidad bucal. El flujo de aire impulsado por los pulmones pasa por la laringe. En ella se encuentran situadas las cuerdas vocales. Dicho aire provoca un movimiento rápido de abertura y cierre de las mismas (vibración), produciéndose una modulación del mencionado flujo. (Carrión, 1998)

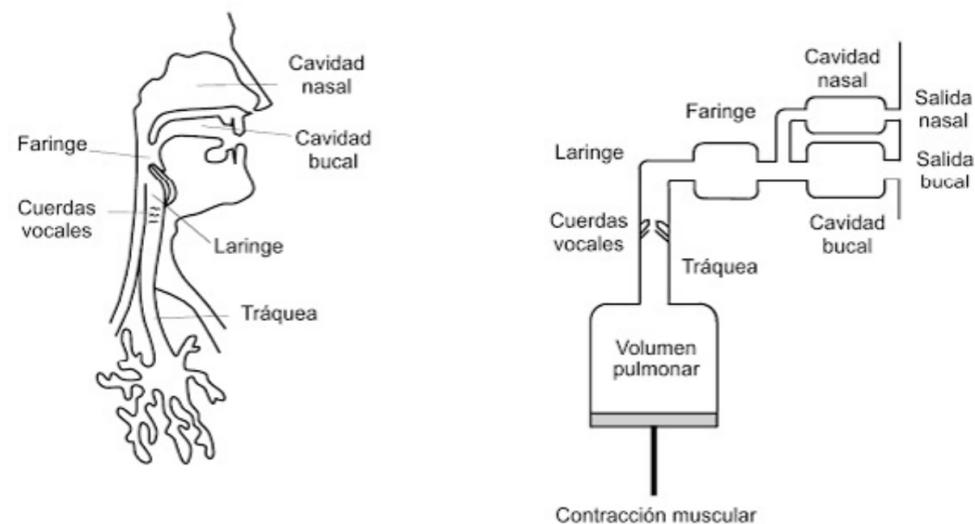


Imagen 11. Tracto vocal y representación esquemática del mismo. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

### 1.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL MENSAJE ORAL

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 (milisegundos), reduciéndose a 20 ms en el caso de una consonante. (Avilés López & Perera Martín, 2017)

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)

FRECUENCIA (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Sillas con un alto porcentaje de superficie tapizada	0,72	0,79	0,83	0,84	0,83	0,79
Sillas con un porcentaje medio de superficie tapizada	0,56	0,64	0,70	0,72	0,68	0,62
Sillas con un bajo porcentaje de superficie tapizada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55

Tabla 4. Características más relevantes del mensaje oral. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.



## 1.4.2. DIRECTIVIDAD DE LA VOZ HUMANA

Cualquier fuente sonora radia más potencia en unas direcciones que en otras y, por tanto, presenta una cierta directividad. Dicha directividad depende de la frecuencia y aumenta con la misma. La manera de expresar la directividad de una fuente sonora en un punto cualquiera del espacio es mediante el denominado factor Q. El factor Q depende de la relación entre el nivel de presión sonora producida por dicha fuente en la dirección considerada y el nivel que se obtendría si la fuente no fuese directiva. Cuanto mayor sea el nivel de presión sonora

en una dirección determinada, mayor será el valor de Q en dicha dirección. (Carrión, 1998)

La voz humana presenta unas características de directividad que vienen determinadas por el sistema de fonación y la forma de la cabeza, siendo la dirección frontal la de mayor directividad. Si bien la directividad aumenta con la frecuencia, a efectos prácticos, se considera que el factor de directividad de la voz humana en la dirección frontal es  $Q=2$

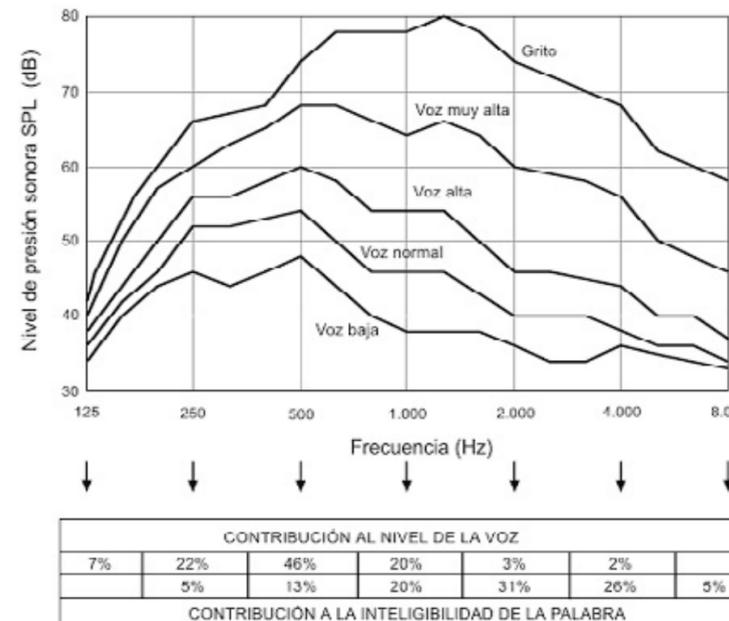


Imagen 12. Contribución frecuencial al nivel de la voz y a la inteligibilidad de la palabra. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

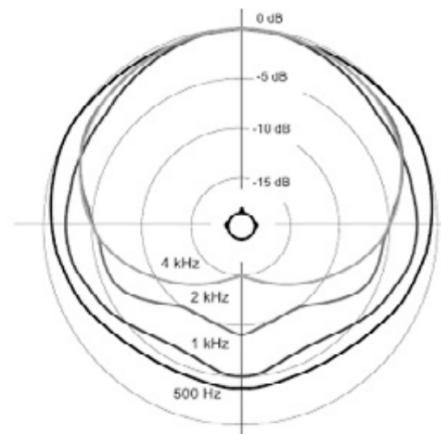


Imagen 13. Directividad de la voz humana en las bandas de octava comprendidas entre 500 Hz y 4 kHz (según Moreno y Pfitzschner). Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

## 1.5. CONCLUSIONES

Es necesario conocer los conceptos básicos y las características que, consecuentemente se vuelven variantes al momento de proponer una estrategia de acondicionamiento acústico dentro de un espacio, ya que existen varias características que le dan forma al sonido, y de igual manera existen varias características ajenas al sonido, que moldean el mismo. En este primer capítulo se establecen claramente los conceptos necesarios para entender cómo funciona el sonido dentro de un espacio interior, donde no se consideró desde la etapa de diseño, el acondicionamiento acústico.

El sonido no es necesariamente perjudicial para los seres humanos, sin embargo, al no tener control sobre la exposición a él, puede representar un problema a corto y/o largo plazo. Se debe tomar en cuenta el acondicionamiento acústico y el control que se quiere tener sobre las aulas de una institución educativa ya que, con la información obtenida de distintos estudios, se puede decir que afecta no solo en la concentración de los estudiantes y por ende en su desempeño académico, sino también en el personal docente; ya que al tener que alzar la voz para ser escuchado, debido a ruidos de fondo elevados, representa posteriormente daños fisiológicos en cuerdas vocales, y daños psicológicos como fatiga y estrés, entre otros.

Se puede establecer en esta temprana etapa del estudio, que el tema del acondicionamiento acústico no se lo aborda, sino hasta cuando el problema es palpable para los usuarios, es decir que la confortabilidad acústica no existe, por lo que se puede deducir que el acondicionamiento acústico no se abordó en la etapa de diseño, previo a la ejecución de la obra. Es importante, para el estudio del mismo, definir para qué está destinado el espacio, de esta manera será más fácil determinar la solución para el mismo, tanto en materialidad, estética y funcionalidad.

## 02. REFERENTES TEÓRICOS

### INTRODUCCIÓN

Para esta etapa de diagnóstico, se va a analizar los parámetros establecidos en la bibliografía como importante para acondicionar acústicamente un espacio, considerando que se tienen factores iniciales previamente establecidos en el capítulo anterior, tales como, condiciones climáticas, humedad, dB que se debe tener en un espacio para considerarlo acústicamente confortable, sin importar la actividad a realizarse dentro del mismo. En el capítulo anterior, se detallan distintas características del sonido para su estudio, sin embargo, hay 4 fenómenos del sonido en esta etapa (Reflexión y refracción, absorción, difracción y el tiempo de reverberación) (Zapata & Velásquez, 2005) que destacan por las características que dan al sonido.

Es de especial interés el fenómeno que es dimensionable, es decir el tiempo de reverberación, pues este dato es el único que está sujeto a cambios a consecuencia de las características del espacio, es decir de las dimensiones del mismo.

Se consultará a profesionales en el campo de la acústica con experiencia en tratamiento acústico arquitectónico, en este caso, ingenieros en sonido. También se continuará con el análisis exhaustivo de la bibliografía, que nace de las interrogantes sin respuesta del capítulo anterior, puesto que, ahora se obtendrá respuestas concretas de profesionales, para así, establecer pautas en la definición de los parámetros del diseño interior con especial importancia en la acústica.

Como se había establecido anteriormente, el acondicionamiento acústico, al ser un factor ambiental importante para el confort de los seres humanos dentro de un espacio, no se lo toma con suficiente consideración en la etapa de diseño, es por eso que la principal interrogante es ¿por qué los profesionales ignoran esta realidad en nuestro medio deliberadamente? A manera de exigencia como factor imprescindible para la salud de los ocupantes de distintos espacios, ¿existe o no una normativa o una entidad que regule estas condiciones, así como se mantiene el control de otros factores para el funcionamiento de distintas entidades, o simplemente no existe un control en ello?

En este capítulo se describen los diferentes tipos de materiales y elementos utilizados a tal efecto, así como sus características básicas.

### ¿Cómo se mide la acústica de un espacio? Y ¿qué factores se deben tomar en cuenta?

Existen un sinnúmero de variables a considerar al momento de medir acústicamente un espacio; para usar un sonómetro en una medición y para obtener resultados que nos sirvan, hay que saber que el dato que arrojará el sonómetro, es sobre el ruido de fondo que tiene el espacio, refiriéndose a la contaminación acústica. Ahora bien para medir la acústica de un espacio hay que hacer énfasis en los fenómenos que ocurren cuando un sonido es emitido dentro de un espacio, el único que es dimensionable o medible y que sirve como dato para el análisis de un espacio es el tiempo de reverberación.

- Entrevista, Bibliografía
- Ing. en sonido Juan Francisco Mayorga – Ing. en sonido y docente de la Universidad de Cuenca Víctor González – Ing. Jacinto Guillen

### ¿Qué se considera acústicamente correcto?

No existe tal cosa como lo “acústicamente correcto” como preámbulo inicial de un estudio, ya que lo primero que se debe hacer para acondicionar un espacio acústicamente, es definir la actividad que se va a realizar en ese espacio. De esa manera se sabrá cómo proceder. Sin embargo existen herramientas como la tabla del tiempo de reverberación óptimo, en donde, en base al tiempo de reverberación y el volumen en m<sup>3</sup> de un espacio establece si es óptimo el uso que se le está dando al espacio

- Entrevista
- Ing. en sonido Juan Francisco Mayorga – Ing. en sonido y docente de la Universidad de Cuenca Víctor González – Ing. Jacinto Guillen

### ¿Cuáles son las maneras de corregir un espacio ya construido de mala acústica?

Lo primordial es, una vez identificado el uso del espacio, analizar los materiales que lo envuelven, es decir, paredes, piso y cielo raso; y una vez hecho esto, se puede hacer uso de las herramientas identificadas en la bibliografía para corregir ese problema.

- Entrevista
- Ing. en sonido Juan Francisco Mayorga – Ing. en sonido y docente de la Universidad de Cuenca Víctor González – Ing. Jacinto Guillen

### ¿Ha evidenciado algún tipo de afección en la salud del personal docente por no poder ser escuchado por todos los alumnos dentro de un aula?

Más que afecciones en la salud propia, cada vez es más difícil obtener la atención de los estudiantes, es imposible no distraerse con sonidos ajenos al aula.

- Entrevista
- Ing. en sonido Víctor González y docente de la Universidad de Cuenca

### ¿Se toma en cuenta la acústica como un parámetro para el diseño de una edificación? Sea educativa o habitacional

No existe ninguna normativa en el Ecuador que regule la acústica al momento de aprobar una construcción, ni ningún parámetro al cual un Arquitecto, Ingeniero o Diseñador pueda acatarse al momento de diseñar algo. A nivel general, existe unas normas a las cuales los países vecinos hacen alusión al momento de generar su normativa interna, y es las tablas de “The Noise Rating Curve” es decir las curvas de rangos de sonido, establecidos dependiendo el uso del espacio.

- Entrevista
- Ing. en sonido Juan Francisco Mayorga – Ing. en sonido y docente de la Universidad de Cuenca Víctor González – Ing. Jacinto Guillen

### ¿Existen normativas que abarquen el acondicionamiento acústico de un establecimiento educativo? ¿Es un limitante?

No existe ninguna normativa que haga especial alusión en el ámbito educativo, dentro del Ecuador. Sin embargo, en la bibliografía recomendada por dos profesionales entrevistados, existen parámetros que dicen que número de dB debe tener un espacio para que el ambiente educativo sea propicio.

- Entrevista, Bibliografía
- Ingeniero en sonido Juan Francisco Mayorga - Ing. en sonido Víctor Gonzalez y docente de la Universidad de Cuenca Carrión, Antoni. (1998). Diseño Acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona - España: Universitat Politècnica de Catalunya.

### ¿Es la acústica un factor importante para la educación?

Indudablemente la acústica es importante para la educación, se dice que solo el 25% de lo que se escucha es recordado por cada alumno dentro de un aula de clases, cuando las condiciones de la misma son óptima, quiere decir que si el espacio donde se va a impartir clases no cumple con una serie de premisas establecidas inicialmente para el confort acústico, quienes sufrirán las consecuencias de ello, serán los estudiantes.

- Entrevista, Bibliografía
- Julián Treasure “Sound Education - Sound effects” 2012. “Educación acústica - efectos del sonido”

## 2.1. DISEÑO ACÚSTICO DE RECINTOS CERRADOS

La energía de las ondas sonoras en recintos cerrados, se refleja sucesivamente en las paredes, suelo y techo del espacio. El comportamiento del sonido tiene varios parámetros acústicos medibles, sin embargo, es necesario definir los fenómenos que mejor describen al mismo, teniendo en cuenta que la confortabilidad para los usuarios del espacio es a donde se quiere llegar. El sentido de la audición es multidimensional, por lo que no se puede definir el acondicionamiento acústico por un solo parámetro. (Carrión, 1998)

El acondicionamiento acústico, finalmente es un cambiar de materiales para ajustar a las condiciones y lograr los efectos que sean gratos al oído en la prueba.

### 2.1.1. PARÁMETROS ACÚSTICOS PARA EL DISEÑO INTERIOR DE ESPACIOS

#### OBJETIVOS ACÚSTICOS

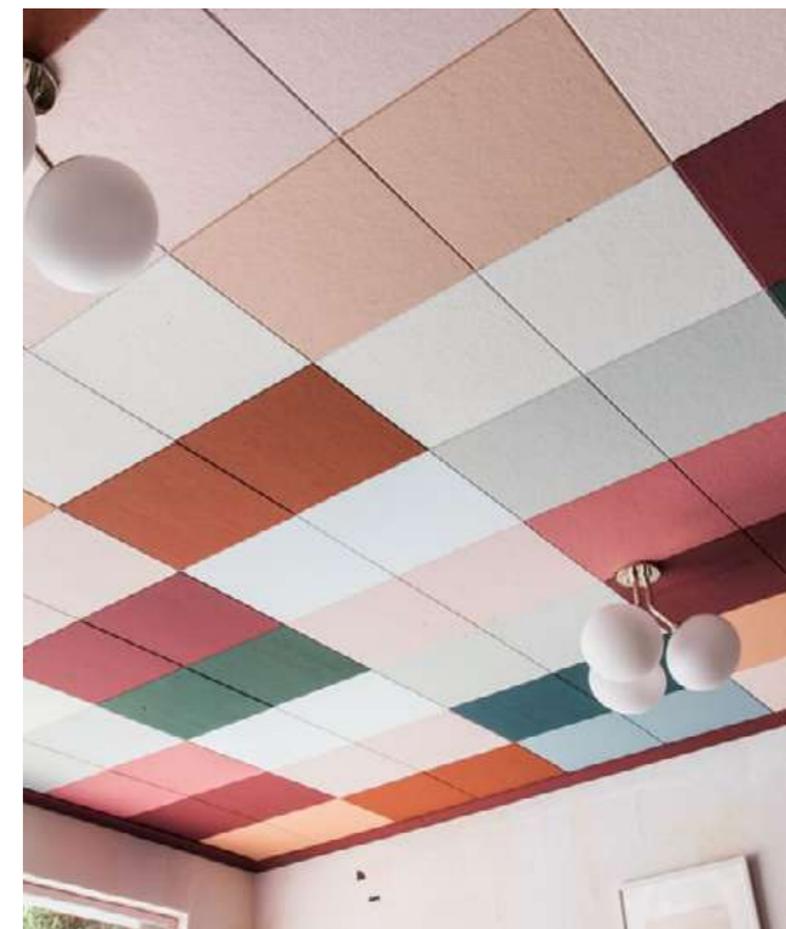
Los objetivos a cumplirse son:

- Garantizar la existencia de confort acústico.
- Asegurar una correcta inteligibilidad de la palabra.

El confort acústico significa que el campo sonoro existente no generará ninguna molestia significativa a las personas presentes en el recinto. Además, la existencia de confort acústico es indicativa de que el grado de inteligibilidad será más bien alto, aunque no supone una garantía absoluta de que sea óptimo. La obtención de una correcta inteligibilidad de la palabra es imprescindible en todos aquellos recintos donde la comprensión del mensaje oral sea de capital importancia. (Carrión, 1998)

Para conseguir un adecuado confort acústico, a la vez que una correcta inteligibilidad de la palabra, es preciso que:

- El ruido de fondo existente en la sala sea suficientemente bajo;
- El nivel de campo reverberante sea, igualmente, suficientemente bajo;
- No existan ecos, ni focalizaciones del sonido, ni eco flotante.



## 2.1.2. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN UN RECINTO CERRADO

La energía radiada por una fuente sonora en un recinto cerrado llega a un receptor ubicado en un punto cualquiera del mismo de dos formas diferentes: una parte de la energía llega de forma directa (sonido directo), mientras que la otra parte lo hace de forma indirecta (sonido reflejado), al ir asociada a las sucesivas reflexiones que sufre la onda sonora cuando incide sobre las diferentes superficies del recinto. (Carrión, 1998)

Se puede decir que, en un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende del camino recorrido por el rayo sonoro, así como del grado de absorción acústico de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies implicadas. Entonces, cuando mayor sea la distancia recorrida y más absorbente sean los materiales empleados, menor será la energía asociada tanto al sonido directo como a las sucesivas reflexiones. (Carrión, 1998)

### SONIDO REFLEJADO

El sonido reflejado incide sobre el receptor después de la llegada del sonido directo. Su atenuación se debe a tres causas: Las dos primeras serán las mismas que afectan al sonido directo (la divergencia esférica y la absorción del aire), y la tercera se deberá a la absorción de los materiales que constituyen el acabado superficial de los cerramientos y a la frecuencia. Para determinar el comportamiento del sonido reflejado, fue necesario analizar la evolución temporal del sonido reflejado en un punto cualquiera del recinto, se observa básicamente dos zonas de características notablemente diferenciadas. (Hernández Van Maess, 2012)

En la primera zona se encuentran todas aquellas reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo, llamadas primeras reflexiones, y la segunda zona formada por reflexiones tardías que constituyen lo que se denomina cola reverberante.

**“Se dice que una reflexión es de orden “n” cuando el rayo sonoro asociado ha incidido “n” veces sobre las diferentes superficies del recinto antes del llegar al receptor” (Carrión, 1998)**

Si bien la llegada de reflexiones al punto en cuestión se produce de manera continua y sin cambios bruscos, las primeras reflexiones llegan de forma más discreta que las tardías, debido a que se trata de reflexiones de orden bajo (normalmente, orden  $< 0 = a 3$ )

Para obtener la representación gráfica de las reflexiones, se

emitió un sonido intenso y breve, como un disparo y se tomó la primera reflexión en cada punto del espacio, considerándola como un punto del recorrido que realiza el sonido en un espacio. (Carrión, 1998)

En la figura 1. se puede apreciar cómo actúan las primeras reflexiones en un espacio cuadrado, así como las tardías; las primeras reflexiones son el efecto instantáneo que tiene el sonido sobre las superficies, el sonido llega a la superficie más cercana y luego al receptor, indistintamente de cual sea su posición, así como la posición de la fuente sonora; las reflexiones tardías se refieren al sonido que se mantiene rebotando dentro de un espacio cuando un material no tiene buena absorción, es decir, la fuente sonora emite un sonido y mientras va viajando por el espacio, rebota con la primera superficie que se encuentra, pero al ser de un material poco absorbente, la energía no se ha reducido, por lo que se encuentra con la siguiente superficie y vuelve a rebotar, así sucesivamente hasta llegar al emisor.

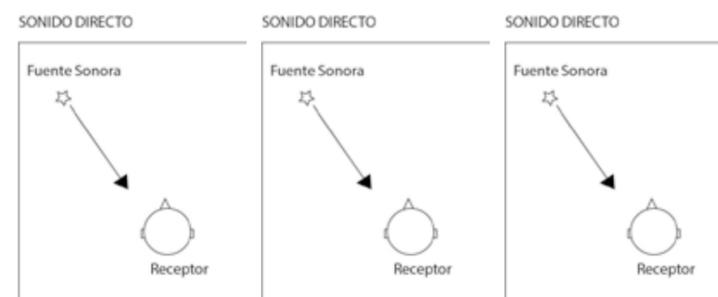


Ilustración 1. Representación gráfica del recorrido del sonido directo, reflexiones primarias y reflexiones tardías. Sofía Guzmán F. 2019

### SONIDO DIRECTO

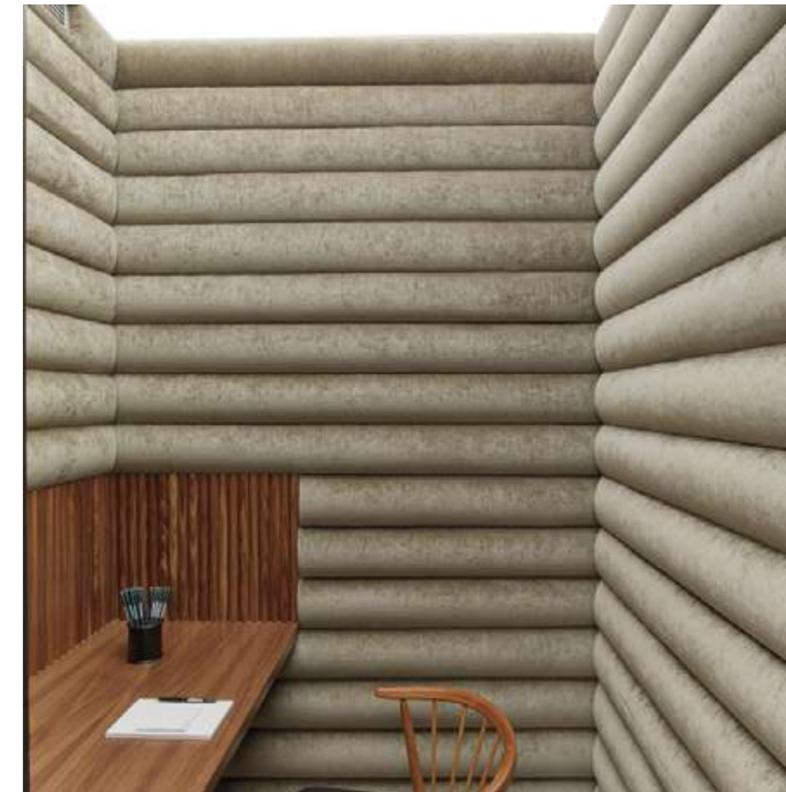
En un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora. Este sonido llevará una atenuación debido a la divergencia esférica y a la absorción del aire. El aire absorbe más las altas frecuencias. (Ruiz, 2014)

### RECEPTOR

El receptor está constituido por los oyentes, quienes califican la calidad acústica de un espacio. Este juicio lo hacen dependiendo del mensaje emitido según el uso de la sala

Existen factores que condicionan la respuesta del receptor frente a la percepción de mensajes sonoros, estos dependerán del tipo de información de cada mensaje, sea el caso de la información semántica la cual es propia del mensaje oral.

Para la clasificación de la percepción de mensajes orales, se considera como criterio básico la inteligibilidad, es decir, dicho mensaje debe tener la intensidad suficiente para emerger del ruido de fondo y a la vez conseguir el equilibrio necesario entre la pérdida de claridad, debido al excesivo sonido reflejado y la pérdida de intensidad, debido a la excesiva absorción por parte de la sala. (Ruiz, 2014)



## 2.2. FENÓMENOS ACÚSTICOS RELEVANTES PARA EL DISEÑO INTERIOR DENTRO DE RECINTOS CERRADOS

Según Carrión (1998) la percepción acústica es multidimensional, es por eso que se tienen que definir los parámetros del acondicionamiento acústico de un espacio, que así, se ajusten a los requerimientos del espacio.

Para una sala cerrada, la intensidad del sonido depende de los materiales de las paredes; en el caso de fuentes cuya radiación depende de la dirección, el radio de la sala está relacionado con el patrón direccional de la fuente.

A pesar de constatar que los parámetros para definir el acondicionamiento de un espacio son varios, a fines de este estudio se profundizara en comprender e identificar los siguientes:

- Reflexión y refracción
- Absorción
- Difracción

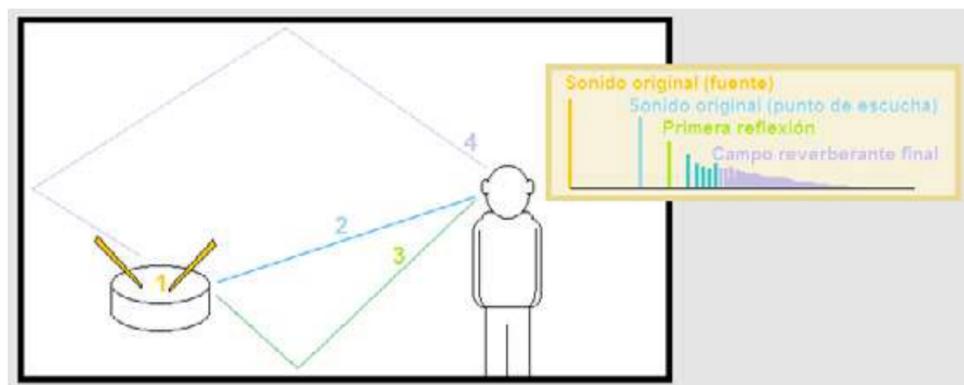


Ilustración 2. Cuadro representativo de recorrido del sonido con sus partes. Sofía Guzmán F. 2019

### 2.2.1. REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

Cuando las ondas sonoras se encuentran con un obstáculo que no puedan traspasar ni rodear, rebotan sobre el objeto, a este fenómeno se lo llama reflexión.

El eco es un fenómeno debido a la reflexión sobre un obstáculo de grandes dimensiones. Para que el oído humano sea capaz de diferenciar entre el sonido emitido y el reflejado la distancia mínima hasta el muro debe ser de 17 m (considerando como mínimo la velocidad del sonido 340 m/s). (Carrión, 1998)

Juan Francisco Mayorga, en la entrevista, señaló que para optimizar el sonido en las salas de conciertos la arquitectura de las salas debe estar diseñada para que el sonido sea absorbido por las paredes.

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al cambiar de medio. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina por el cambio de velocidad que experimenta la onda al cambiar de medio. (Nitsche, 2018)

La refracción también puede producirse dentro de un mismo medio que no es homogéneo.

Generalmente hay reflexión y refracción parciales, es decir una parte de la energía sonora se refleja y otra se refracta.

Primeras Reflexiones

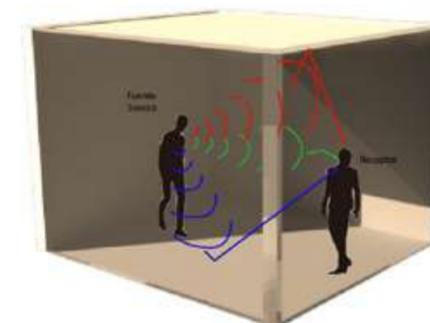


Ilustración 3. Ejemplificación de recorrido del sonido cuando existen las primeras reflexiones. Sofía Guzmán F. 2019

Refracción

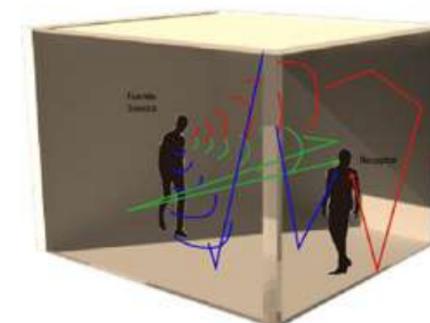


Ilustración 4. Ejemplificación de recorrido del sonido cuando existen las primeras reflexiones y como consecuencia las refracciones. Sofía Guzmán F. 2019

## 2.2.2. ABSORCIÓN

Es una superficie que, gracias a consumir energía sonora dentro de ella, la energía que refleja es menor que la energía que incide sobre ella. Un absorbente exhibe el denominado coeficiente de absorción, que es el resultado del cociente entre la energía absorbida y la energía incidente sobre la superficie bajo prueba (Carrión, 1998)

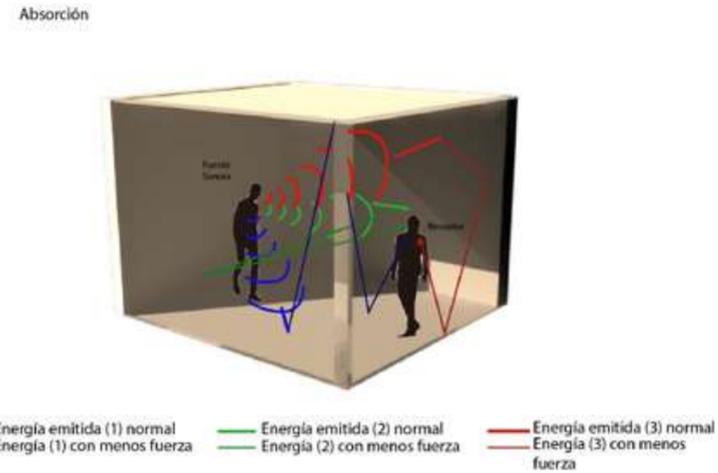


Ilustración 5. Ejemplificación de recorrido del sonido cuando hay absorción por parte de los materiales acústicos, cuando la energía choca con una superficie, no es la misma que cuando es apenas emitida. Sofía Guzmán F. 2019

## Refracción

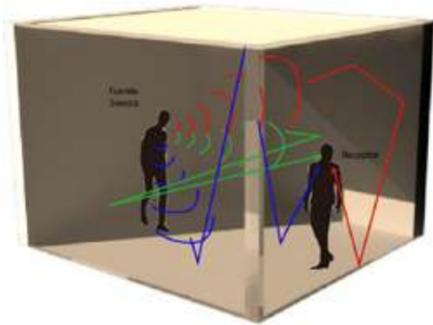


Ilustración 6. Ejemplificación de recorrido del sonido cuando hay obstáculo, la energía sonora se fuga por esa abertura u obstáculo con una superficie. Sofía Guzmán F. 2019

## 2.2.3. DIFRACCIÓN

La difracción consiste en que una onda puede rodear un obstáculo o propagarse a través de una pequeña abertura. Al ser un fenómeno general, su magnitud depende de la relación que existe entre longitud de onda y el tamaño del obstáculo o abertura. Si la abertura es grande en comparación con la longitud de onda, el efecto de la difracción es pequeño, y la onda se propaga en líneas rectas o rayos, de forma semejante a como lo hace un haz de luz de partículas. Sin embargo, cuando el tamaño de la abertura es comparable a la longitud de la onda, los efectos de la difracción son grandes y la onda no se propaga simplemente en la dirección de los rayos rectilíneos, sino que se dispersa como si procediese de una fuente puntual localizada en la abertura. (Carrión, 1998)

Es importante señalar, que cada uno de estos fenómenos es consecuencia del otro, por lo que es imprescindible estudiarlos a la par, al momento de analizar un espacio, para determinar correctamente su acústica.



## 2.2. FENÓMENOS ACÚSTICOS DIMENSIONABLES

### REVERBERACIÓN

Luego de la revisión bibliográfica realizada se puede establecer que el fenómeno que se produce en locales cerrados, debido a la reflexión del sonido en el techo, suelo y paredes se denominan reverberación.

Es el fenómeno acústico de reflexión que se produce en un recinto cuando una frente de onda o campo directo incide contra las paredes, suelo y techo del mismo. El conjunto de dichas reflexiones constituye el campo reverberante. El parámetro que permite cuantificar el grado de reverberación de una sala es el tiempo de reverberación (RT) (Carrión, 1998)

Reverberación

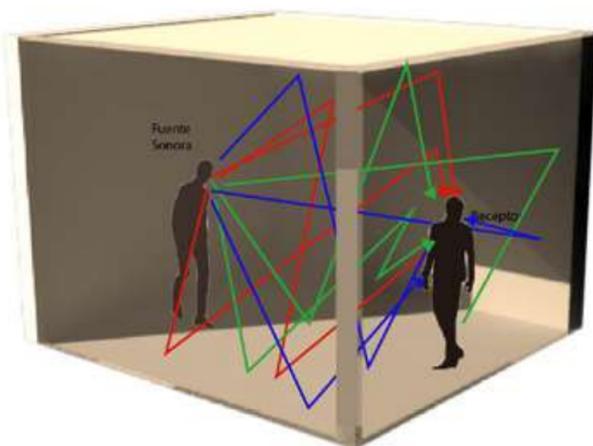


Ilustración 7. Ejemplificación del fenómeno acústico reverberación "tiempo que se mantiene el sonido en el espacio una vez emitido". Sofía Guzmán F. 2019

### EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

La reverberación es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido dentro de un espacio cerrado, consiste en una ligera prolongación por las diferentes superficies. Cuando una fuente sonora emite una energía acústica en un recinto, normalmente, las ondas sonoras progresan libremente, pero después de cierto tiempo, que depende de la distancia de la fuente a las superficies del contorno, estas ondas empiezan a reflejarse, superponiéndose con las ondas incidentes.

El tiempo de reverberación (RT), es el tiempo necesario para que la intensidad acústica de un sonido en régimen estacionario se reduzca una millonésima de su valor inicial, contando a partir del instante en que la fuente deja de emitir. Se entiende como el tiempo de persistencia del sonido en el recinto hasta hacerse inaudible. Es el indicador acústico más representativo del comportamiento de un recinto, al ser más expresivo en términos globales y del que dependen de otros. (Ruiz, 2014)

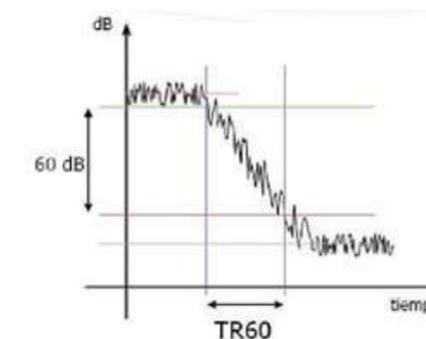


Imagen 14. Tiempo de reverberación. Montserrat Figueras Garcia, 2017. Estudio de acondicionamiento acústico de las aulas especiales.

Cuanto mayor es el volumen de un recinto, mayores son sus tiempos de reverberación, debido a que las ondas sonoras recorren caminos más largos y tardan más tiempo en reflejarse y volver al punto de partida. En función del volumen de determinado espacio y su uso, se establece el valor del tiempo de reverberación óptimo, para saber las unidades de absorción que se demandan para alcanzarlo. Este valor varía con la frecuencia. (Granados, 2011)

Como la reverberación supone una prolongación en el tiempo de los sonidos dentro de una sala, unas veces, este efecto será beneficioso, tal como sucede con los sonidos musicales, pero en cambio otras no, como sucede con el habla humana, perdiéndose inteligibilidad.

Se debe tomar en cuenta también el aforo, si un recinto está diseñado acústicamente sin tener en cuenta la ocupación de las personas, sucederá que, al llenarse, aumente de manera notable la absorción, disminuyendo la reverberación, con lo

que el recinto variará sus condiciones de audición. (Granados, 2011)

La manera más habitual de calcular su valor es mediante ecuaciones basadas en la teoría estadística, siendo la más conocida y empleada la fórmula de W. Sabine:

La manera más habitual de calcular su valor es mediante ecuaciones basadas en la teoría estadística, siendo la más conocida y empleada la fórmula de W. Sabine:

$$T = 0.161 \cdot \frac{V}{A}$$

- V: Volumen del recinto en m<sup>3</sup>
- A: Absorción acústica total del recinto en m<sup>2</sup>

Esta fórmula indica que el tiempo de reverberación es el mismo en todos los puntos de un recinto, independientemente de la posición de la fuente dentro de él. La influencia de las soluciones absorbentes sobre el tiempo de reverberación no depende de su localización sino de su superficie de aplicación. (Palacios, 1997)

$$T = 0.161 \cdot \frac{V}{\sum(m^2 \cdot a)}$$

En el denominador está la sumatoria de la multiplicación de las áreas de las superficies que envuelven al espacio por el coeficiente de absorción de cada material involucrado.

Ahora bien, se usa la fórmula de Sabine para el cálculo del tiempo de reverberación sobre otras, ya que, los materiales acústicos o los coeficientes de absorción acústica se miden en laboratorios utilizando como referencia la fórmula de la teoría de Sabine.

Las tablas que contienen los datos sobre los coeficientes de absorción, vienen dadas en frecuencias de una octava (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz), pero para calcular el tiempo de reverberación de un espacio en relación al concepto de confort acústico se usan las frecuencias de 1000 Hz y 2000hz (relación 2:1), entonces son los valores que estén encasillados en esta tabla los que se van a usar.

Aplicaré la fórmula matemática en el cálculo del tiempo de reverberación del aula B5103 para ejemplificar la aplicación de la misma en un espacio.

## 2.3. NORMAS ACÚSTICAS

Una de las interrogantes más importantes que se tenía al desarrollar este capítulo, era sobre la existencia de una normativa nacional, que regule o controle el acondicionamiento acústico arquitectónico interior, desde una perspectiva de índole obligatoria o bien, sugerente, desde la etapa de diseño o construcción, que buscara el confort y beneficio de las personas en lo que confiere el uso de cada espacio.

En las entrevistas realizadas a varios profesionales del campo de la acústica e ingeniería en sonido, nos supieron manifestar que en Ecuador no existe ningún reglamento o normativa donde se establezca normas sobre la acústica de espacios arquitectónicos o, en su efecto, interiores. De hecho, aseguran que es un tema sin abordar en la arquitectura del país, mucho menos en el diseño interior, pues estos profesionales son abordados al momento de "corregir" el problema de acústica, puesto que en instancias más tempranas nunca se tomó en cuenta las mismas.

Gracias a las sugerencias y a la bibliografía facilitada por estos profesionales, se encontraron algunas normas y criterios estandarizados por organizaciones internacionales.

Las normativas que, si existen en países vecinos, (y lo más cercanos al Ecuador) como Chile y México, están hechas en base a reglamentos de organizaciones internacionales estandarizadas, existe "The Noise Rating (NR) Curve", que se usa frecuentemente en europa, mientras que en Estados Unidos se llama The Noise Criteria (NC), que son clasificaciones de ruido/sonido en espacios interiores, se parecen en la mayoría de sus valores de dimensión, ambas usan la frecuencia de una octava (hz) para establecer un nivel máximo de presión de sonido dimensionado en (dB).

Sin embargo, en lo que si se diferencian es en como clasifican los espacios, según los decibelios aceptados por cada espacio según su uso.

Ya que en los países vecinos se han basado en las clasificaciones de curvas NR, para el propósito de esta tesis, se usará la misma, como base de estudio.

MÁXIMO SONIDO CURVA NR	APLICACIÓN
<b>NR 25</b>	Salas de concierto de grabación y difusión, iglesias.
<b>NR 30</b>	Viviendas privadas, hospitales, teatros, cines, salas de conferencias.
<b>NR 35</b>	Bibliotecas, museos, juzgados, colegios, hospitales, teatros, salas de operaciones, pisos, hoteles, oficinas.
<b>NR 40</b>	Pasillos, zonas comunes, vestuarios, restaurantes, salas de noche, servicios, tiendas.
<b>NR 45</b>	Grandes almacenes, supermercados, cantinas, oficinas grandes.
<b>NR 50</b>	Oficinas con máquina ligera.
<b>NR 60</b>	Fábricas e industria ligera.
<b>NR 70</b>	Fundiciones, industria pesada.

NIVEL DE PRESIÓN SONORA									
NOISE RATING - NR - CURVA	BANDA DE OCTAVA FRECUENCIA (HZ)								
	31,5	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NR 0	55	36	22	12	5	0	-4	-6	-8
NR 10	62	43	31	21	15	10	7	4	2
NR 20	69	51	39	31	24	20	17	14	13
NR 30	76	59	48	40	34	30	27	25	23
NR 40	83	67	57	49	44	40	37	35	33
NR 50	89	75	66	59	54	50	47	45	44
NR 60	96	83	74	68	63	60	57	55	54
NR 70	103	91	83	77	73	70	68	66	64
NR 80	110	99	92	86	83	80	78	76	74
NR 90	117	107	100	96	93	90	88	86	85
NR 100	124	115	109	105	102	100	98	96	95
NR 110	130	122	118	114	112	110	108	107	105
NR 120	137	130	126	124	122	120	118	117	116
NR 130	144	138	135	133	131	130	128	127	126

### 2.3.1. LA CURVA DEL RANGO DE SONIDO

#### THE NOISE RATING (NR) CURVE

Desarrollada por la organización internacional de estandarización (ISO 1973), para determinar el ambiente interior aceptable para la preservación del oído, la inteligibilidad de la palabra para la comunicación hablada y el ruido.

Los gráficos de la clasificación de las curvas NR para diferentes niveles de presión sonora se trazan a niveles de presión de sonido aceptables en diferentes frecuencias. El nivel de presión de sonido varía según el espacio y el uso de la misma. Se obtienen diferentes curvas para cada tipo de uso. Cada curva se obtiene por medio de un número NR, el cual tiene como variables, las frecuencias de la banda de octava y los niveles de presión sonora dB.

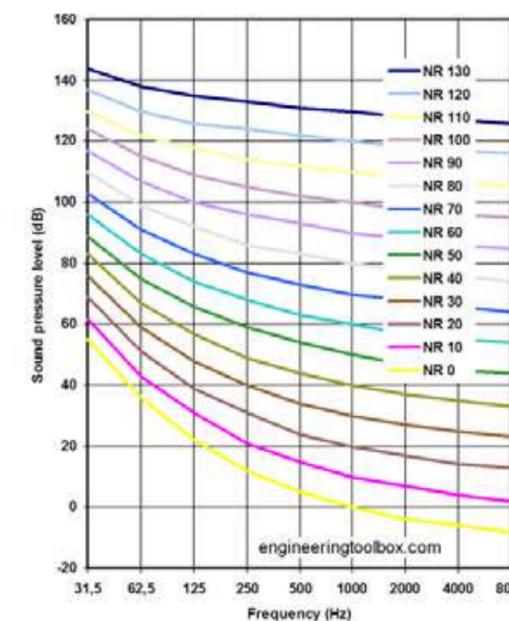


Imagen 17. Diagrama NR. Engineeringtoolbox.com. Año desconocido

### 2.3.2. TIEMPO DE REVERBERACIÓN ÓPTIMO

Para cada finalidad existe un tiempo de reverberación óptimo, que aumenta al aumentar el volumen en m<sup>3</sup> de la sala o espacio. En general se observa que la palabra requiere menores tiempos de reverberación que la música, debido a que la parte más significativa de la palabra son las consonantes. (Vendrell, Galiana, & Reyna, 2011)

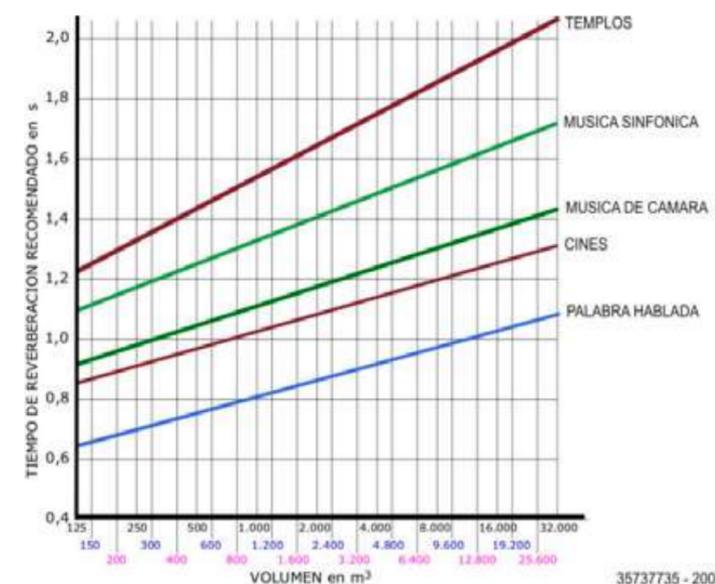


Imagen 18. Gráfico de tiempo de reverberación óptimo en base del volumen y tiempo de reverberación del espacio. Manual de Arquitectura. Arq. Estelies Díaz, 2009

## 2.4. ANÁLISIS DE MATERIALES Y ELEMENTOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE RECINTOS

El éxito en el diseño acústico interior de cualquier tipo de recinto, es la elección de materiales que se utilizarán como revestimientos, una vez establecido el volumen del espacio y las superficies en el mismo, con la intención de obtener unos tiempos de reverberación óptimos.

### 2.4.1. ABSORCIÓN DEL SONIDO

En un recinto cualquiera, la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, tanto en su propagación a través del aire como cuando inciden sobre sus superficies límite, es determinante en la calidad acústica final del mismo. Dicha reducción de energía, en orden de mayor a menor importancia, es debida a una absorción producida por:

- Los alumnos y las sillas.
- Los materiales absorbentes y/o los absorbentes selectivos (resonadores), expresamente colocados sobre determinadas zonas a modo de revestimiento del recinto.
- Todas aquellas superficies límite de la sala susceptibles de entrar en vibración (como puertas, ventanas y paredes separadoras ligeras).
- El aire.
- Los materiales rígidos y no porosos utilizados en la construcción de las paredes y techo del recinto (como el hormigón).

Para realizar cualquier diseño acústico, es imprescindible disponer de los coeficientes de absorción obtenidos mediante ensayos de laboratorio, según un procedimiento homologado (norma ISO 354 / UNE-EN 20354).

### 2.4.2. ABSORCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS PAREDES Y TECHO DE UN RECINTO

Los materiales muy rígidos y con porosidad nula, dan lugar a una mínima absorción del sonido. Si bien, desde un punto de vista físico, la disipación de energía en forma de calor, y por tanto la absorción del sonido, se produce en las capas de aire adyacentes a cada una de las superficies consideradas a efectos prácticos, este fenómeno habitualmente se representa en forma de coeficientes de absorción asignados a dichas superficies. Su efecto es únicamente apreciable cuando no existe ningún material absorbente en el recinto, ya sea en for-

ma de revestimiento de alguna de sus superficies, o bien de personas presentes en el mismo. (Carrión, 1998)

Si bien los valores son muy bajos, un material con mayor rugosidad presenta coeficientes de absorción más elevados. Ello se debe a que su superficie es mayor y, por tanto, la capa de aire adyacente donde se produce la disipación de energía también lo es. (Carrión, 1998)

DESCRIPCIÓN	BAJAS FRECUENCIAS (125 Hz - 250 Hz)	FRECUENCIAS MEDIAS (500 Hz - 1 kHz)	ALTAS FRECUENCIAS (2 kHz - 4 kHz)
Sillas con un alto porcentaje de superficie tapizada	0,04	0,06	0,09
Sillas con un porcentaje medio de superficie tapizada	0,11	0,13	0,16
Sillas con un bajo porcentaje de superficie tapizada	0,22	0,22	0,29

Tabla 6. Coeficientes de absorción  $\alpha_{sAB}$  de materiales habitualmente utilizados en la construcción de recintos. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

### 2.4.3. ABSORCIÓN DEL AIRE

La absorción producida por el aire solo es significativa en recintos de grandes dimensiones, a frecuencias relativamente altas ( $\geq 2$  kHz) y con porcentajes bajos de humedad relativa (del orden de un 10 a un 30%). Dicha absorción se representa por la denominada constante de atenuación del sonido en el aire m. (Carrión, 1998)

En la imagen 19 se expresa una gráfica mediante la que es posible determinar el valor del producto  $4m$  en condiciones normales de presión y temperatura, las cuales son  $P_0=10^5 Pa$  y  $20^\circ C$ ; para cada frecuencia y porcentaje de humedad relativa del aire.

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:  $RT= (0.161 V)/(A_{tot}+4 mV)$ (en s)

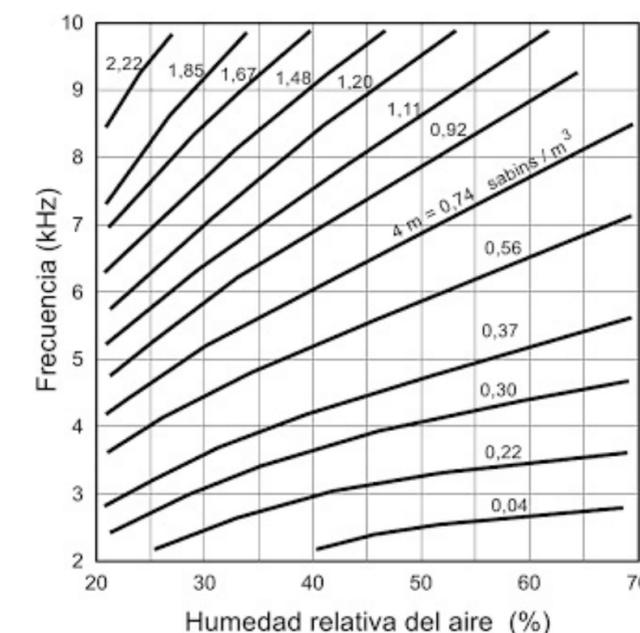


Imagen 19. Gráfica para la determinación del producto  $4m$  (m es la constante de atenuación del sonido en el aire). Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

## 2.4.4. ABSORCIÓN DE LAS SUPERFICIES VIBRANTES

La presencia en una sala de superficies límite susceptibles de entrar en vibración, como, por ejemplo, puertas, ventanas y paredes separadoras ligeras, también da lugar a una cierta absorción que en principio conviene tener presente. (Avilés López & Perera Martín, 2017)

## 2.4.5. MATERIALES ABSORBENTES

La absorción que sufren las ondas sonoras cuando inciden sobre los distintos materiales absorbentes utilizados como revestimiento de las superficies límites del recinto, así, como su dependencia en función de la frecuencia, varían considerablemente de un material a otro. Los materiales absorbentes se utilizan generalmente para conseguir uno de los siguientes objetivos:

- Obtención de los tiempos de reverberación más adecuados en función de la actividad (o actividades) a la cual se haya previsto destinar el espacio objeto de diseño.
- Prevención o eliminación de ecos.
- Reducción del nivel de campo reverberante en espacios ruidosos (restaurantes, fábricas, estaciones, etc.)

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 mecanismo de absorción del sonido antes mencionado es propio de todos los materiales porosos, siempre y cuando los poros sean accesibles desde el exterior. Normalmente estos materiales están formados por sustancias fibrosas o granulares a las que se les confiere un grado suficiente de compacidad a través de un proceso de prensa o de tejeduría, estos se fabrican básicamente a partir de:

- Lana de vidrio
- Lana mineral
- Espuma a base de resina de melamina
- Espuma de poliuretano

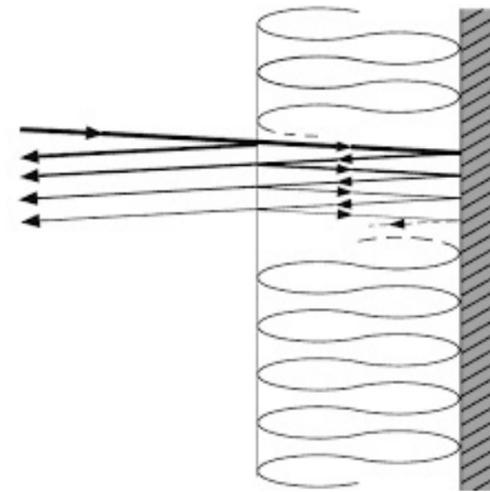


Imagen 20. Proceso de disipación de energía en el interior de un material poroso situado delante de una pared rígida. Antoni Carrión, 1998. Diseño Acústico de espacios arquitectónicos.

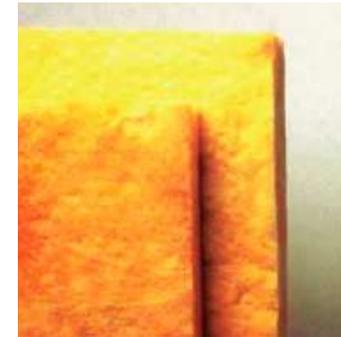


Imagen 21. Material absorbente a base de lana de vidrio (paneles Pi-256 de Isover) Isover.cristaleriaespaña.com. Año desconocido.



Imagen 22. Material absorbente a base de lana mineral (paneles BX Sprin-tex). roclane.cristaleriaespaña.com. Año desconocido.

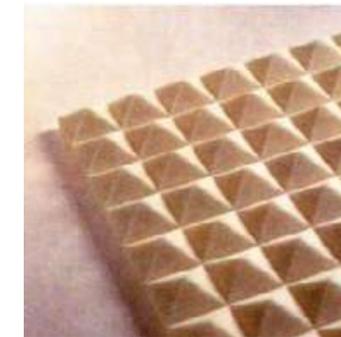


Imagen 23. Material absorbente a base de espuma de resina de melamina (Isonic Pirámide de Ilbruck) Macco.cristaleriaespaña.com. Año desconocido.



Imagen 24. Material absorbente a base de espuma de poliuretano (Isonic Sonex) Ilbruck.cristaleriaespaña.com. Año desconocido.

## 2.4.6. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA (NRC)

El coeficiente de absorción de cada material es un número que expresa una relación entre la energía sonora incidente y la energía sonora reflejada, una vez el sonido ha llegado al material. (Carrión, 1998)

$$\alpha = E_a / E_i$$

Alfa es igual a la energía reflejada sobre la energía incidente

- Energía incidente se transmitirá una parte por el material ( $E_i$ )
- Otra parte se disipará como vibración a través del material ( $E_a$ )
- Otra parte se reflejará ( $E_a$ )
- Si toda la energía que llega es reflejada  $\alpha=0$
- Si toda la energía que llega es absorbida  $\alpha=1$

El grado de absorción acústica de un material absorbente se indica con un único número coeficiente. (Carrión, 1998)

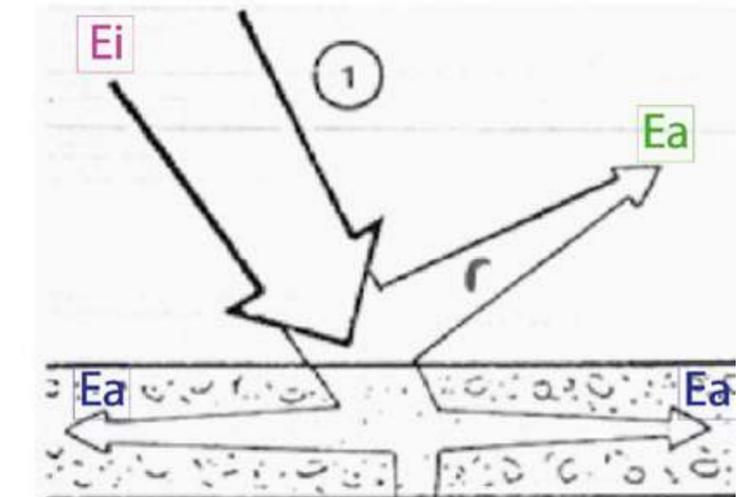


Imagen 25. Gráfico de compartimiento de la energía sonora con relación al material. Ingacusticafacil.com. Año desconocido.

### VARIACIÓN DE LA ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DEL MATERIAL

Siguiendo la hipótesis anterior de que el material absorbente está colocado delante de una pared rígida y partiendo de que su espesor inicial es  $D$ , al aumentar dicho espesor también aumenta la absorción que produce, especialmente a frecuencias bajas y medias.

El hecho de que la pared sea rígida obliga a que las partículas de aire situadas en sus inmediaciones no se muevan, es decir, a que su velocidad sea nula. Además, al alejarse de la pared, los valores de dicha velocidad seguirán siendo próximos a cero.

Otra forma de justificar el aumento de absorción con el espesor consiste en tener presente que el camino recorrido por la onda sonora en el interior del material de mayor grosor es también mayor, y, además, que la velocidad de las partículas de aire en el interior del nuevo tramo de material adquiere valores más elevados. (Avilés López & Perera Martín, 2017)

### VARIACIÓN DE LA ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DE LA POROSIDAD DEL MATERIAL

De igual manera siguiendo la misma hipótesis, al aumentar la porosidad del material, también aumenta la absorción a todas las frecuencias. Este efecto es de esperar, ya que la penetración de la onda sonora incidente es mayor a medida que se incrementa el grado de porosidad. (Avilés López & Perera Martín, 2017)

### VARIACIÓN DE LA ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DEL MATERIAL

Si la densidad del material es baja, existen pocas pérdidas por fricción y, en consecuencia, la absorción es pequeña. A medida que la densidad va aumentando, se produce un incremento progresivo de absorción hasta llegar a un valor límite, a partir del cual la absorción disminuye, debido a que existe una menor penetración de la onda sonora en el material, es decir, una mayor reflexión de energía. Desde un punto de vista práctico, es aconsejable que los materiales absorbentes utilizados en el acondicionamiento acústico de recintos tengan una densidad situada entre, aproximadamente, 40 y 70 kg/m<sup>3</sup>, no debiéndose superar en ningún caso los 100 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. (Avilés López & Perera Martín, 2017)

### VARIACIÓN DE LA ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE LA DISTANCIA DEL MATERIAL A LA PARED RÍGIDA

Si se pretenden obtener coeficientes de absorción elevados a bajas frecuencias, no es imprescindible hacer uso de materiales muy gruesos. Basta con utilizar un material con un espesor medio y colocarlo a una cierta distancia de la pared rígida, sabiendo que la máxima absorción se producirá a aquella frecuencia para la cual la distancia "d" del material a la pared sea igual a  $\lambda/4$  (en ese caso,  $\lambda$  es la longitud de onda del sonido cuando se propaga a través del aire existente entre el material y la pared).

Cuanto mayor sea "d" menor será la frecuencia a la que la absorción será máxima. Por lo tanto, para aumentar la absorción será máxima, así, para aumentar la absorción a bajas frecuencias, es preciso incrementar la separación entre el material y la pared. (Avilés López & Perera Martín, 2017)



## 2.4.7. MATERIALES ABSORBENTES SUSPENDIDOS DEL TECHO

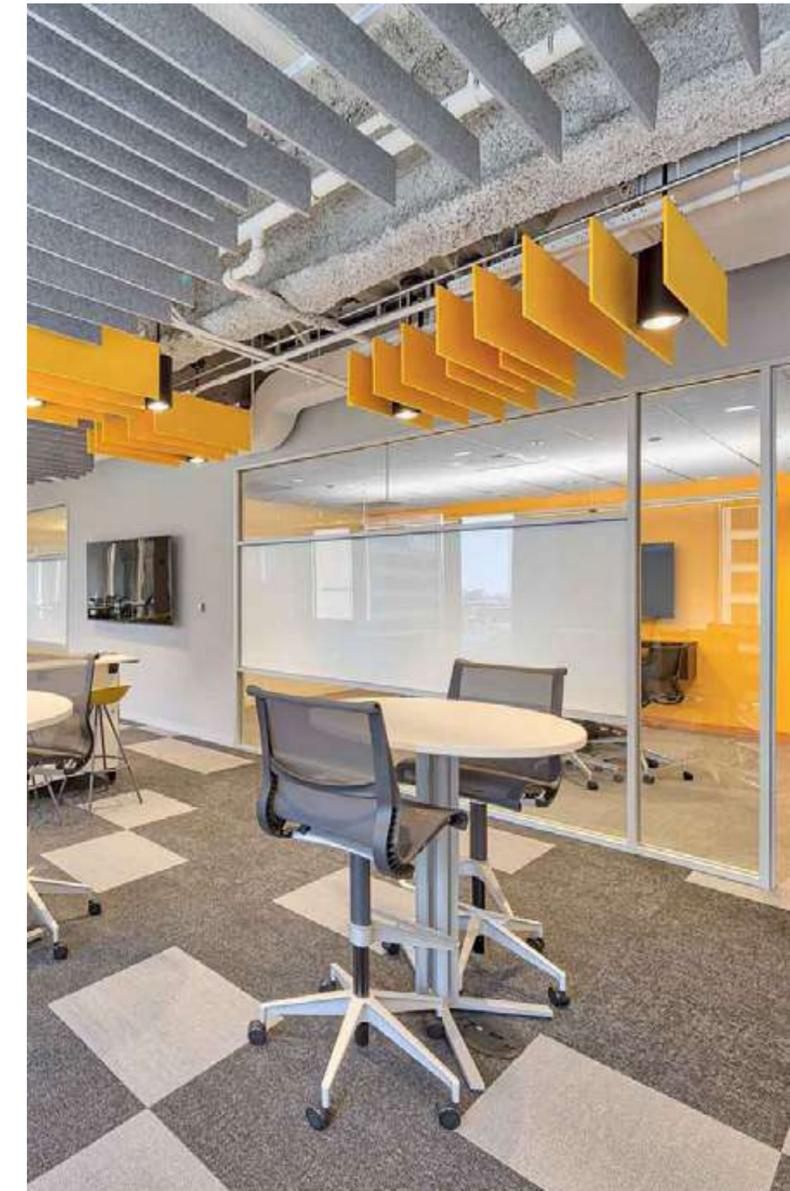
En aquellos recintos donde no existe suficiente superficie disponible para el montaje de la cantidad de material absorbente necesaria, o bien donde es imprescindible aumentar la superficie de absorción más allá de la estrictamente asociada a las superficies límite, se suele recurrir a la utilización de materiales absorbentes suspendidos del techo. Estos materiales suelen usarse en espacios de dimensiones medias o grandes. (Avilés y Perera, 2017)



Imagen 26. Ejemplo de tratamiento de un techo a base de baffles rectangulares absorbentes de lana mineral comprimida. Antoni Camón, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.



Imagen 27. Tratamiento acústico a base de cilindros absorbentes de lana mineral. Sonover de Wanner y Vinyas, S.A. Año desconocido





## 2.4.8. CATEGORIZACIÓN GENERAL DE LOS MATERIALES ACÚSTICOS POR SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

### MATERIALES REFLEJANTES

Están formados por materiales lisos no porosos totalmente rígidos, capaces de reflejar la mayor parte de la energía que incide sobre ellos. Estos materiales pueden ser: Reflectores Planos, Reflectores curvos.

Están diseñados para mejorar la difusión del sonido en la sala, aportando una dispersión espacial y temporal de las ondas acústicas que contribuye a distribuir homogéneamente el sonido por toda la sala. Ayudan a romper las reflexiones indeseadas y reducir los efectos de los modos resonantes, sin disminuir el tiempo de reverberación.

Los difusores acústicos utilizan superficies con geometrías irregulares y patrones matemáticos para dispersar uniformemente, y en múltiples direcciones la energía sonora. (Hernández Van Maess, 2012)

### MATERIALES AISLANTES

Aquellos que no dejan pasar el ruido, lo reflejan o rebotan. Suelen ser rígidos, compactos, densos y no porosos: casi impenetrables (especialmente el aire).

Las ondas de sonido se absorben suavizando el eco y la reverberación, sin embargo, a diferencia de los materiales absorbentes, los aislantes no permiten que el sonido se disperse en el material, puesto que es poco denso o poroso. (Córdova, 2014)

### MATERIALES ABSORBENTES

Son de estructura granular o fibrosa, siendo importante el espesor de la capa y la distancia de esta a la pared. El espesor del material se elige de acuerdo con el valor del coeficiente de absorción empleado, ya que, si es demasiado delgado, se reduce el coeficiente de absorción a bajas frecuencias, mientras que si es muy grueso resulta muy caro.

En la práctica, el empleo de materiales fibrosos absorbentes se asocia a varias cubiertas perforadas que pueden ser de madera contrachapada, cartón, yeso entre otros.

En un panel acústico, el incremento de su espesor aumenta la absorción principalmente a las frecuencias de 250, 500 y 1000Hz, con un efecto prácticamente despreciable fuera de este rango.

Si se monta este material dejando un espacio de aire entre el mismo y la pared, aumenta la absorción a 250Hz y algo a 125Hz. Existe también una disminución característica de absorción a 500Hz en todos los montajes con espacio de aire, pero no existe o es muy pequeño el cambio a frecuencias más altas. La mayoría de los materiales presentan cambios insignificantes en la absorción a medida que el espacio de aire se incrementa de 20 a 40 cm. (Vendrell, Galiana, & Reyna, 2011)

La absorción por frecuencia sonora en estos materiales depende básicamente de los siguientes factores:

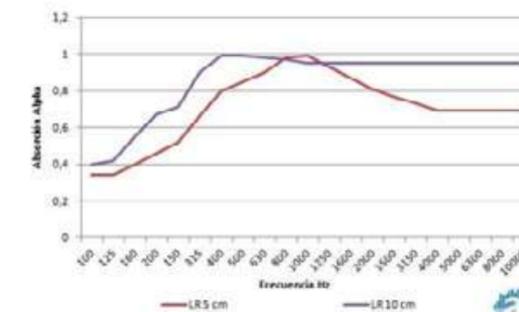


Imagen 28. Comportamiento del espesor del material en relación a la frecuencia. Ingenieríaacusticafacil.com. Año desconocido.

- **Espesor del material:** a mayor espesor del material menor la frecuencia a partir de la cual la absorción es mayor.
- **Montaje:** el montaje del material con respecto a la superficie a tratar también influye en el comportamiento del material. La distancia de montaje es crucial a la hora de proyectar absorbentes acústicos en cualquier proyecto de ingeniería acústica. Variando la distancia de montaje se puede hacer que un material como la lana de roca de 4 cm de espesor tenga un máximo de absorción a 125 hz. Para realizar eso, se debe separar dicho material a una distancia de 68 cm. Definido esto por la longitud, dividiendo la velocidad del sonido a 23° entre la frecuencia a estudio, ejemplo longitud de onda=  $343\text{m/s}/125\text{Hz}= 2.7$  metros.

En la mayoría de los casos para absorber bajas frecuencias resulta inviable realizar estos montajes por la evidente reducción del espacio, al menos en paredes. (Hernández Van Maess, 2012)

Otra variable de montaje es el uso de pliegues en el material. Como ejemplo una cortina plegada al 180% frente a una cortina extendida, la absorción a lo largo de la frecuencia será más distribuida en frecuencia debido a las distintas distancias de absorción que dan los pliegues.

- **Porosidad del material y densidad:** a mayor porosidad de un material, mayor absorción a todas las frecuencias, si la densidad del material es baja las pérdidas por fricción son menores y en consecuencia la absorción acústica disminuye en todo el rango espectral. Sin embargo, a medida que la densidad del material aumenta la absorción también lo hace hasta un valor límite de densidad en el que la penetración de las ondas acústicas empieza ya disminuir y en consecuencia la absorción acústica. (Hernández Van Maess, 2012)

## 2.5. INSTRUMENTACIÓN ACÚSTICA

El equipo básico para medir una señal acústica es el sonómetro. Es un dispositivo electrónico destinado a proporcionar una medida objetiva y repetible de la presión sonora. (Carión, 1998)

Los datos que nos proporciona el sonómetro es sobre la intensidad del sonido más no la calidad del mismo.

### 2.5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SONÓMETROS SEGÚN SU PRECISIÓN

- **Tipo 0:** sonómetros con las mayores exigencias, adecuados para los trabajos de investigación en laboratorio.
- **Tipo 1:** sonómetros adecuados para trabajos de campo de precisión
- **Tipo 2:** sonómetros con exigencias menores, apropiados para trabajos de prospección general.
- **Tipo 3:** sonómetro válido que únicamente ofrecen un nivel aproximado.

Actualmente, estas cuatro clases han quedado reducidas a las dos intermedias (tipo 1 o 2).

### 2.5.2. MICRÓFONO VOCAL Y GRABADORA PORTÁTIL

Teniendo en cuenta en esta instancia del proyecto de tesis que la acústica es un fenómeno perceptual, es necesario hacer mediciones sobre el comportamiento del sonido en un espacio, indistintamente de la ubicación de la fuente emisora de sonido y del volumen del espacio, como se percibe el sonido en distintas condiciones. Para ello es necesario micrófonos vocales, que sirven para hacer grabaciones de voces en estudio, como para grabar los sonidos de ambiente de un espacio.

Eventualmente, con las grabaciones y con un software de audio se evidencian las frecuencias del sonido en imágenes digitales. (Matías Hernández Van Waes, 2012)



Imagen 29. Micrófono para medir campo directo. Ingenieriaacusticaaail.com. Año desconocido



## 2.6. CONCLUSIONES: ENTREVISTAS

En Ecuador no existen normativas que regulen los procesos de construcción desde la perspectiva del acondicionamiento acústico, que también pudiera ser considerado como un factor de riesgo, dentro de establecimientos laborales o habitacionales, así como educativos, dadas las consecuencias que pueden repercutir en la salud del ser humano debido a la exposición del sonido sin tomar en cuenta los parámetros de confortabilidad para el desempeño correcto de actividades.

Es por eso que se debe tomar como punto de partida, normativas establecidas en el extranjero, que guíen el proceso del acondicionamiento, tomando en cuenta el uso del espacio que se le va a dar.

Una de las normativas, que especifican de manera muy clara el acondicionamiento acústico en instituciones educativas, es en Estados Unidos, en los colegios de este país. Puesto que no dejan absolutamente nada a criterio del contratista o diseñador. Sus condiciones son muy claras y estrictas, y son castigadas por la ley de no ser cumplidas.

Esta información fue verificada en dos entrevistas con dos profesionales en el campo de la acústica, la primera entrevista realizada, fue al Ingeniero en sonido, Víctor González, quien también es docente de la carrera de Diseño de Interiores y Música en la Universidad de Cuenca.

Víctor asegura que en Ecuador no existe ningún tipo de normativa o exigencia en cuanto al acondicionamiento acústico de proyectos arquitectónicos o de diseño interior. Sin embargo, confirma que existe una ley que pena la contaminación acústica, a la persona/empresa/establecimiento, que interfiera con la tranquilidad y la paz de los moradores de dicha localidad, de todas formas, eso es una ordenanza municipal, más que una normativa a cumplir en la ciudad, que data de más o menos lo mismo en todas las ciudades del país.

Víctor, es el dueño de una consultora de acústica en nuestra ciudad, y afirma que en la misma no se toma en cuenta el acondicionamiento acústico para el diseño de un espacio arquitectónico o edificación, pero que, a la larga siempre trae problemas para los usuarios de dichas edificaciones, y se deben tomar medidas, después de concluido el proyecto; lo que significa que resolver el problema es mucho más costoso que si se lo hubiese tomado en cuenta desde un inicio.

De igual manera al ser docente en una Universidad de Cuenca, afirma que las afeciones en los docentes al momento de esforzar la voz para ser escuchado son reales, la fatiga y el estrés son los más comunes, y, no solo en docentes sino en estudiantes también.

De igual manera, Juan Francisco Mayorga, es un Ingeniero en sonido que reside en la ciudad de Quito, dueño de una consultora acústica arquitectónica llamada "Sonora", especializado en Australia, también afirma que no existen normativas en cuanto la acústica en el país, cree que el no abordar el tema a tempranas instancias proyectuales de construcción, siempre será perjudicial para quien realiza el proyecto a largo plazo. Pues el problema se hace palpable cuando las personas hacen uso del espacio, en el ámbito que fuera ser usado y casi siempre es mucho más complicado solucionarlo, por el espacio, el costo, los recursos y la disponibilidad de los mismos.

En algo que acordaron los dos, es que, de tener al acondicionamiento acústico dentro de una normativa establecida en el país, el diseño de espacios no sería limitado, claro que representaría un reto diseñar en base a un requerimiento, pero no lo considerarían como un limitante al momento de diseñar, sino más una manera de explorar la creatividad de quien diseña.

## 2.7. CONCLUSIONES

Indudablemente al país le hace falta un manual de parámetros para tomar en cuenta al momento de diseñar y resolver dificultades dentro de un proyecto, de hecho, debería haber uno por región, dado que los parámetros que se estableció inicialmente, como la temperatura y la presión atmosférica, no son iguales en las 4 regiones del país.

Existen un sinnúmero de factores a tomar en cuenta al momento de la toma de decisiones en cuanto a los materiales a usarse para el acondicionamiento acústico de un espacio, sin embargo, la manera de emplearlos dentro de un espacio también influye en cómo se contrarresta un problema acústico dentro del espacio, y eso depende del criterio del diseñador.

Indistintamente de la morfología del espacio, el comportamiento del sonido tiene las mismas características, la percepción del mismo puede variar en base a las condiciones del espacio, pero una vez emitido el sonido, van a ocurrir los 4 fenómenos antes descritos, reflexión y refracción, difracción, absorción y reverberación.

La reverberación es el único fenómeno dimensionable en cuanto a números, para obtener un dato exacto sobre el sonido en un espacio, el tiempo de reverberación es básicamente el tiempo del sonido que permanece dentro del espacio, sin embargo, debido a la absorción este puede variar, pero dependerá de los materiales dentro del mismo.

Es necesario establecer el uso que se le va a dar al espacio en una primera instancia, para así saber que se debe contrarrestar y/o corregir, según las necesidades del usuario. Para saber cómo actuar en un espacio indistintamente de su uso, se aplica la fórmula de Sabine, que permite sacar un dato numérico sobre el espacio, en base a las superficies del espacio, su volumen, y su materialidad.

Después de un análisis de las variables que permiten entender el comportamiento del sonido en distintas condiciones, se puede decir que los cuatro fenómenos antes descritos son consecuencia el uno del otro, al emitir un sonido dentro de un espacio ocurren estos fenómenos que, le dan ciertas características al sonido, por lo que se pudiera deducir sí, es correcta la aplicación de los materiales o no, en función del volumen del espacio.

El tiempo de reverberación óptimo, es un preámbulo inicial de análisis espacial, al momento de tomar en cuenta las superficies presentes dentro del análisis, así como la dimensión de cada uno de ellos, y por supuesto su volumen (m<sup>3</sup>).

# 03. EXPERIMENTACIÓN

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se aborda la acústica de espacios interiores, desde la experimentación de un modelo operativo, determinado por estrategias y criterios, los cuales buscan sustentar el acondicionamiento acústico desde el diseño interior, con elementos extraídos de la fórmula matemática del tiempo de reverberación para obtener el tiempo de reverberación de un determinado espacio, ya que, en base a ella se puede definir qué superficie no está actuando correctamente dentro del espacio, y como se puede actuar sobre ella en términos de dimensiones o características físicas de los materiales.

En esta etapa se determina bajo las condiciones, dispuestas en la etapa de diagnóstico, un correcto acondicionamiento acústico a través de la propuesta de diseño interior, tomando en cuenta los criterios de coeficiente de absorción de cada material, el volumen del espacio, y las superficies involucradas en el mismo.

Se realiza un análisis detallado sobre la calidad del sonido dentro de espacios de distintas características, así como los materiales que influyen en el mismo, y en la distribución del sonido dentro del espacio.

### 3.1. ESTRATEGIAS

Las estrategias a tomar en cuenta para este proceso son dos: **teóricas y operativas.**

#### 3.1.1. TEÓRICAS



Ilustración 9. Mapa mental de estrategias teóricas. Sofía Guzmán F. 2019

#### TIEMPO DE REVERBERACIÓN ÓPTIMO

Se toma como parte de la estrategia teórica a la fórmula de cálculo del tiempo de reverberación de Sabine, ya que, entre los fenómenos del sonido que ayudan a entender el comportamiento del mismo, este fenómeno puede ser medible o dimensionable. En la fórmula matemática para calcular el tiempo de reverberación, se puede identificar la dimensión de las superficies que forman parte del cálculo, y gracias a las tablas de coeficiente de absorción, también se puede identificar cuál de ellas no cumple con la expectativa de uso dentro del espacio, la cual se puede decir, que sería la reemplazada.

Se usa la fórmula de Sabine, y no muchas otras, a pesar de que arrojan resultados parecidos, pero no iguales, porque es la teoría de Sabine que se usa como base teórica para calcular en laboratorios el coeficiente de absorción material de los materiales acústicos.

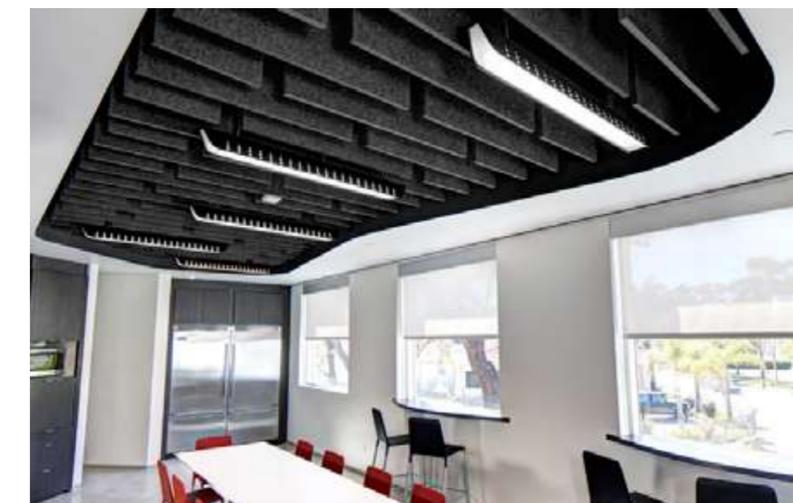
Esto en base a una tabla realizada por varios autores, para poder definir si, en relación al volumen del espacio (m<sup>3</sup>), el tiempo de reverberación es el adecuado. (Díaz, 2009)

#### MATERIALES ACÚSTICOS

Los materiales acústicos toman este nombre por el valor de coeficiente de absorción que poseen, todos los materiales usados para una construcción o para acabados de un espacio interior, poseen coeficiente de absorción unos más que otros, es por eso que se los clasifica por sus características físicas, ya que, gracias a ello, la calidad del sonido dentro de un espacio es distinto.



Ilustración 10. Clasificación de materiales acústicos. Manual de acústica ambiental y arquitectónica. 2017



#### 3.1.2. OPERATIVAS

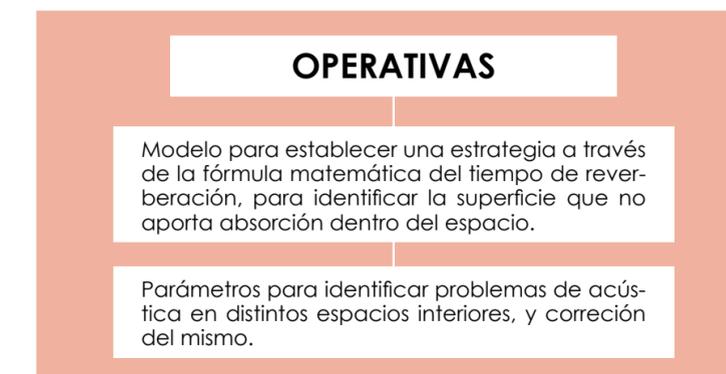


Ilustración 11. Mapa mental de estrategias operativas. Sofía Guzmán F. 2019

### 3.2. CRITERIOS

Los criterios a tomar en cuenta para este proceso son dos: **funcionales, tecnológicos.**

#### 3.2.1. FUNCIONALES

- Por medio de los criterios funcionales se analiza el montaje de los materiales acústicos en un espacio, ya que a veces, para ayudar al material a obtener mejor absorción es necesario tener una separación de la superficie fija, sin embargo, no siempre es viable esta opción, ya que quita espacio de circulación y funcional a la habitación.
- También se toma como criterio funcional el ámbito espacial, ya que, para corregir un problema de acústica, no en todos los casos es necesario cambiar todas sus superficies, es por eso que, en la fórmula de Sabine, se puede identificar que superficie (dimensión m2) se puede cambiar.

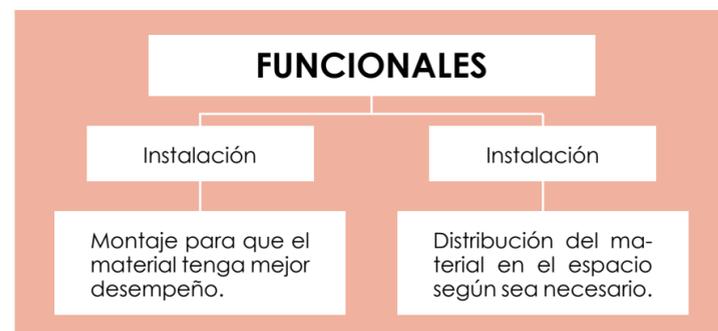


Ilustración 12. Mapa mental de criterios funcionales. Sofía Guzmán F. 2019

#### 3.2.2. TECNOLÓGICOS

Los criterios tecnológicos se basan en la creación de nuevas estructuras a manera de panel o revestimiento necesarias para corregir el problema de acústica que pueda tener un espacio acorde a su morfología y superficies que envuelva el espacio, de manera que el confort acústico sea posible para la actividad que sea cual fuere que se vaya a llevar a cabo en ella.

- Análisis de posible fusión entre materiales acústicos según la necesidad del espacio.
- Análisis de formatos y conformación del panel o revestimiento.

Hace Referencia a la posibilidad de combinar materiales para mejorar el desempeño de los mismos, con el fin de mejorar la acústica de un espacio.

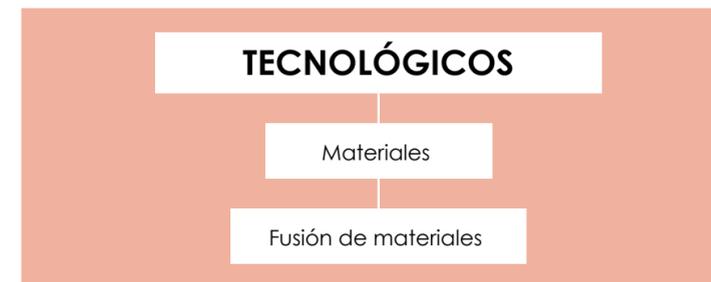
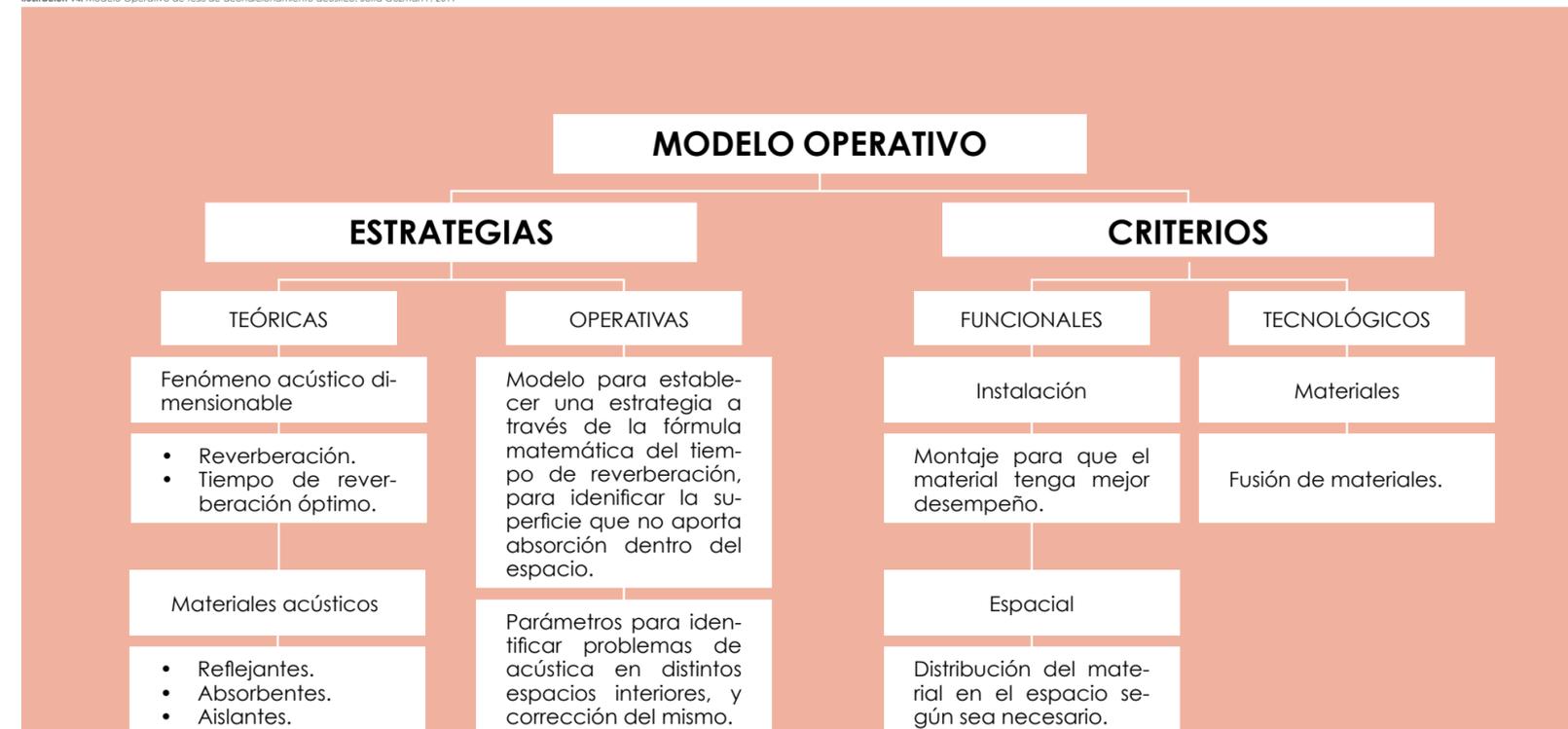


Ilustración 13. Mapa mental de criterios tecnológicos. Sofía Guzmán F. 2019

Ilustración 14. Modelo Operativo de tesis de acondicionamiento acústico. Sofía Guzmán F. 2019



### 3.3. EXPERIMENTACIÓN

La experimentación se realizó en las aulas de la Universidad del Azuay, de distintas condiciones, emitiendo un sonido de 60 dB en todas ellas. El punto de emisión siempre es el mismo, es la única constante durante el estudio, ya que se probará con distintos materiales y en distintas condiciones del espacio. Esta fase, se basa en la fórmula del tiempo de reverberación de Sabine, donde se analizan características como el volumen del espacio, materialidad, mobiliario y uso del mismo.

#### MATERIALES USADOS

- Micrófono de grabación vocal
- Grabadora portátil
- Sonómetro
- Fuente emisora de sonido (computadora)
- **Materiales:** Reflectantes, Absorbentes, Aislantes
  - **Reflectantes:** Vidrio 6 mm, Madera melamínica (fibras de pino) espesor de 15 mm, MDF 15 mm
  - **Absorbentes:** Tela Fieltro, Espuma azul – gris 12 kg/m<sup>3</sup> espesor 4 cm, Gypsum 3kg/m<sup>3</sup>
  - **Aislantes:** Poliestireno Estirado 12 kg/m<sup>3</sup>, tela poliéster (100% poliéster), MDF 15 mm

### 3.3.1. PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN

#### CÁLCULOS POR ESPACIO

1. Identificar áreas de superficies en el espacio.

Volumen	Superficies	m2	Material	α (1000 Hz)	1000 Hz) * α	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,7962
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
			sumatoria		36,6556	

Tabla 7. Tabla de superficies con coeficientes de absorción para cálculo de tiempo de reverberación. Sofia Guzmán F. 2019

2. Aplicar en la fórmula para calcular el tiempo de reverberación para la frecuencia de 1000.

**CONCLUSIÓN DEL RESULTADO:** Entre las normas que se han tomado como base guía para el objeto de esta tesis se puede decir que el espacio analizado, tiene un tiempo de reverberación muy alto, 1,1717s, lo que quiere decir que el tiempo que se mantiene un primer sonido emitido se mantiene en el ambiente durante 1,1717 segundos, mientras una persona habla, emite sonidos casi al instante, por lo que, la calidad del sonido dentro de este espacio no es buena, ya que mientras la persona está hablando, cada palabra llega a sus receptores no de la forma más pura, por lo que la inteligibilidad de la palabra será casi nula.

$$T = 0.161 \cdot \frac{V}{A}$$

$$T = 0.161 \cdot \frac{(180.9 \text{ m}^3)}{20.55 + 1.84 + 1.23 + 0.6484 + 0.1668}$$

$$T = 0.161 \cdot \frac{180.9}{24.4352}$$

$$T = 0.161 \cdot 7.40$$

$$T = 1.19 \text{ s}$$

3. Calcular el tiempo de reverberación con mobiliario fijo, en este caso al ser un aula de clases de una Institución educativa se cuenta el mobiliario existente como una constante en el análisis del aula.

- En esta aula hay 25 mesas y 49 sillas.
- Cada mesa tiene un coeficiente de absorción 0.10 y las sillas 0.61 (un valor alto) es decir  $0.10 \cdot 25 = 2.5$  y  $0.61 \cdot 49 = 29.89$
- En la formula quedaría expresado de esta manera:

Tabla de superficies por m2 Aula BS103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha(1000\text{ Hz})$	$(1000\text{ Hz}) \cdot m$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	3,0573
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,38763	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,226412	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,060615	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
			sumatoria		9,545586	

Tabla 8. Tabla de superficies con coeficientes de absorción para cálculo de tiempo de reverberación. Sofía Guzmán F. 2019

4. **CONCLUSIÓN GENERAL DEL CÁLCULO:** una vez obtenidos estos resultados, y ahora que se sabe que coeficiente de absorción se necesita para corregir el problema de acústica en el espacio, en la tabla inicial podemos observar cual es el valor que menor coeficiente de absorción existente y en qué dimensión se encuentra presente en el espacio. Por lo que es más sencillo identificar cual es el problema y como debe ser abordado.

$$T = 0.161 \cdot \frac{(180.9\text{m}^3)}{20.55 + 1.84 + 1.23 + 0.6484 + 0.1668 + 2.5 + 29.89}$$

$$T = 0.161 \cdot \frac{180.9}{56.82}$$

$$T = 0.161 \cdot 3.1837$$

$$T = 0.5125\text{s}$$

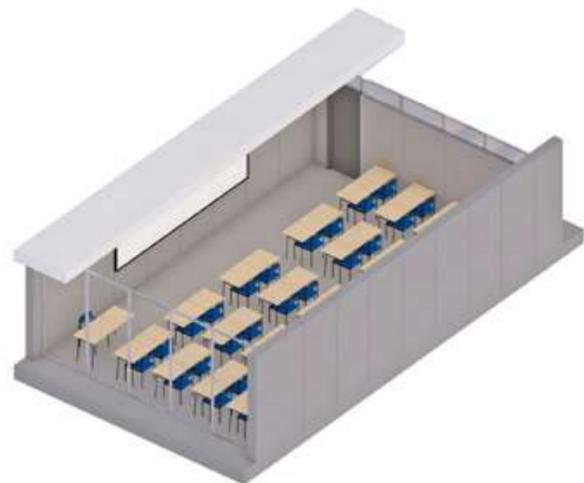


Ilustración 15. Aula BS103, identificación de superficies y materiales

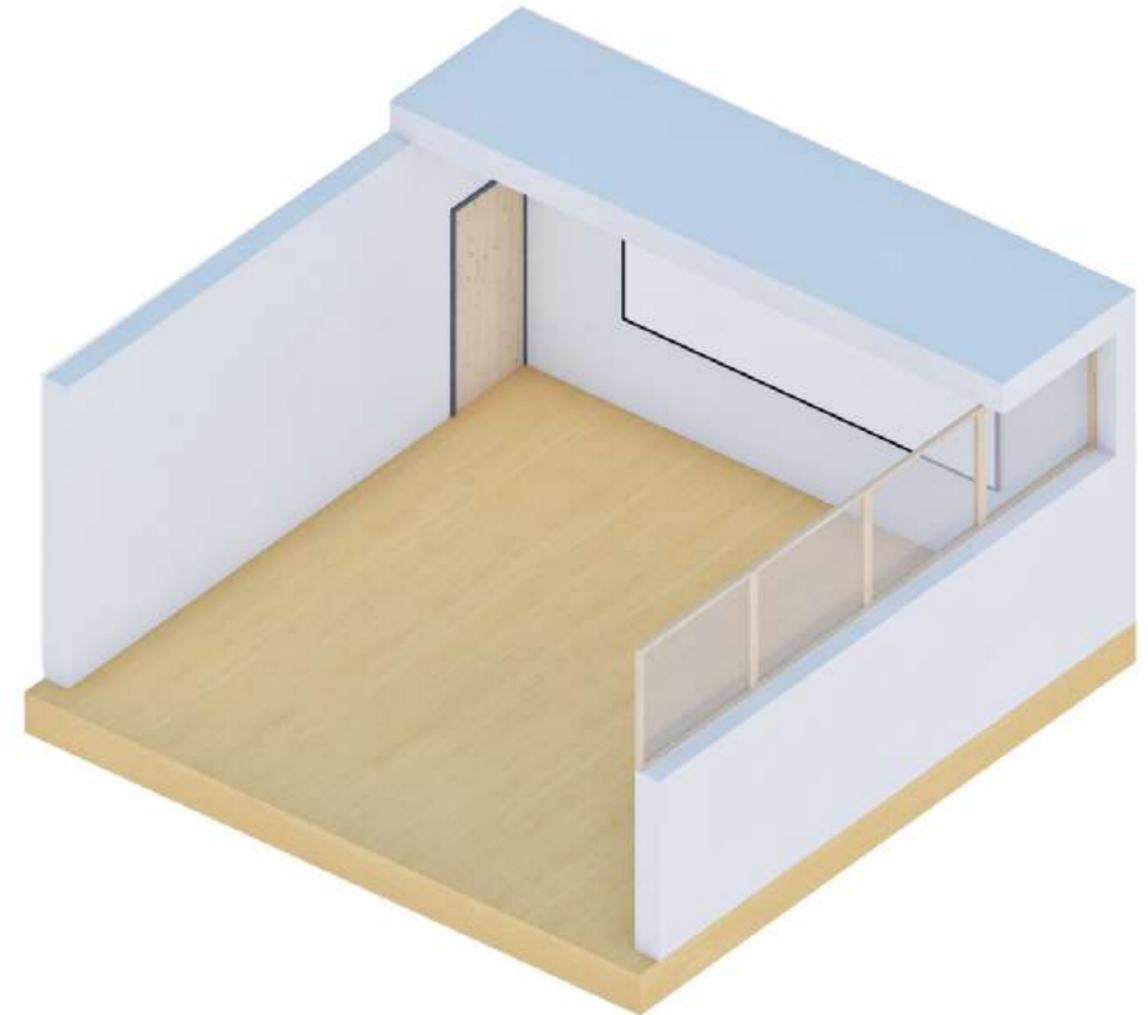


### 3.3.2. EXPERIMENTACIÓN CON MATERIALES DE LA CLASIFICACIÓN DE MATERIALES ACÚSTICOS

Para la experimentación en cada aula se utilizó la misma cantidad de material de cada material, es decir, 20 m<sup>2</sup>; y en las mismas condiciones (con y sin mobiliario).



# MATERIALES ABSORBENTES



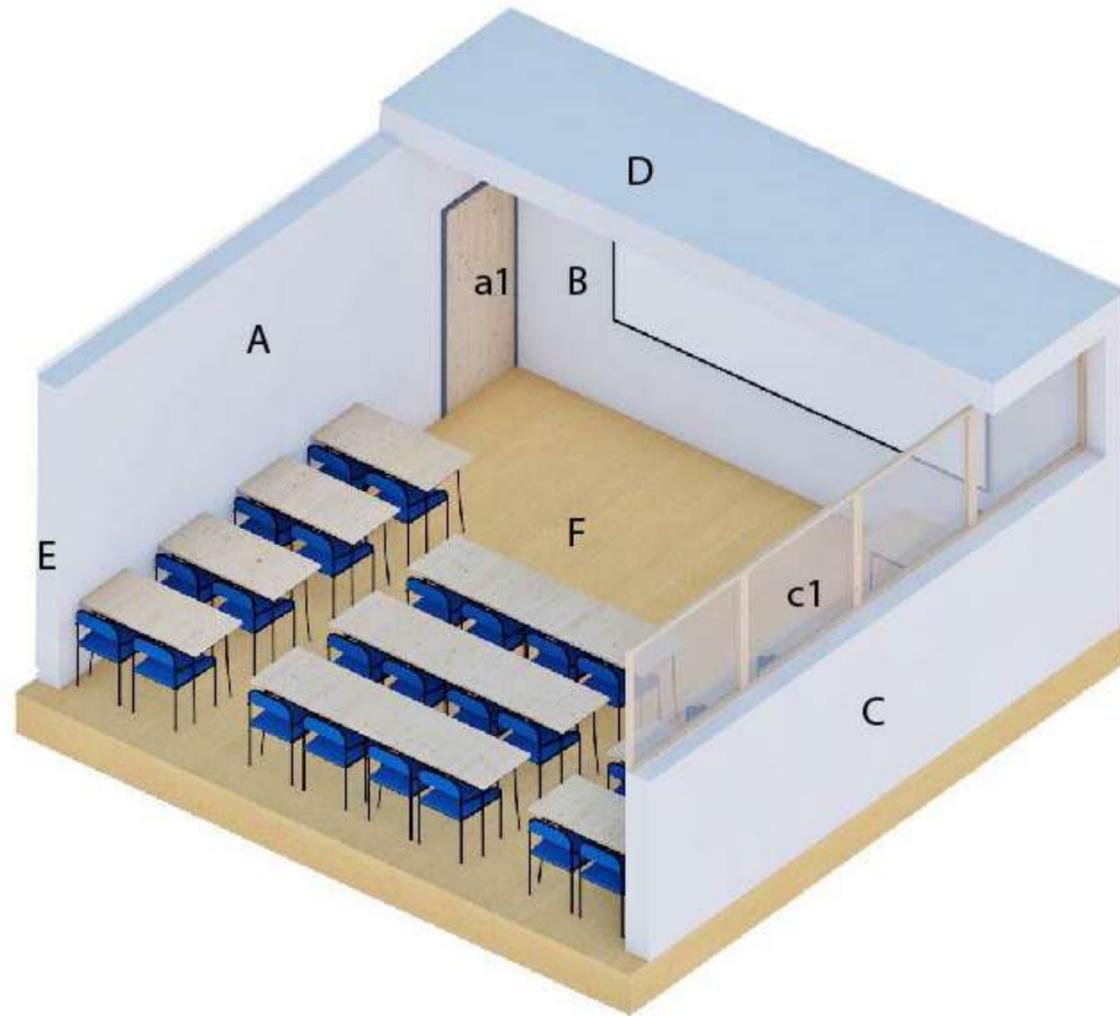


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,7359
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	sumatoria				22,12315	

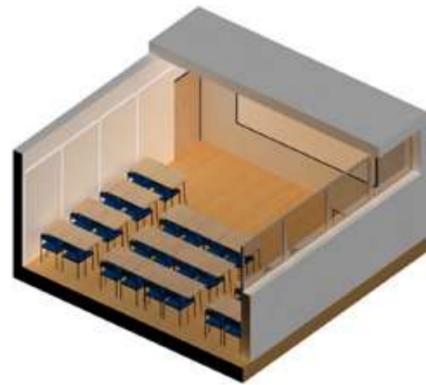


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,7041
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	X	20	Absorbente	0,05	1,0000	
			sumatoria		23,12315	

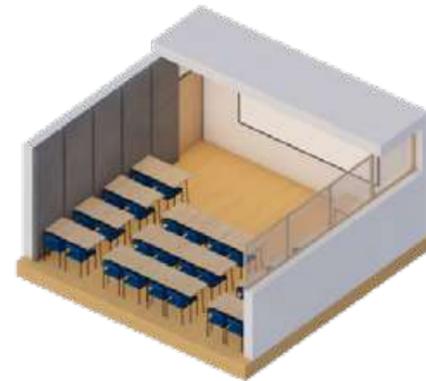


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,4151
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	X	20	Absorbente	0,85	17,0000	
			sumatoria		39,12315	

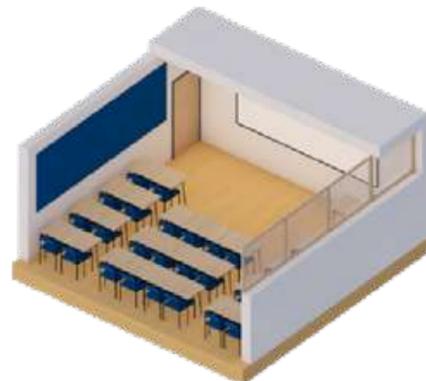
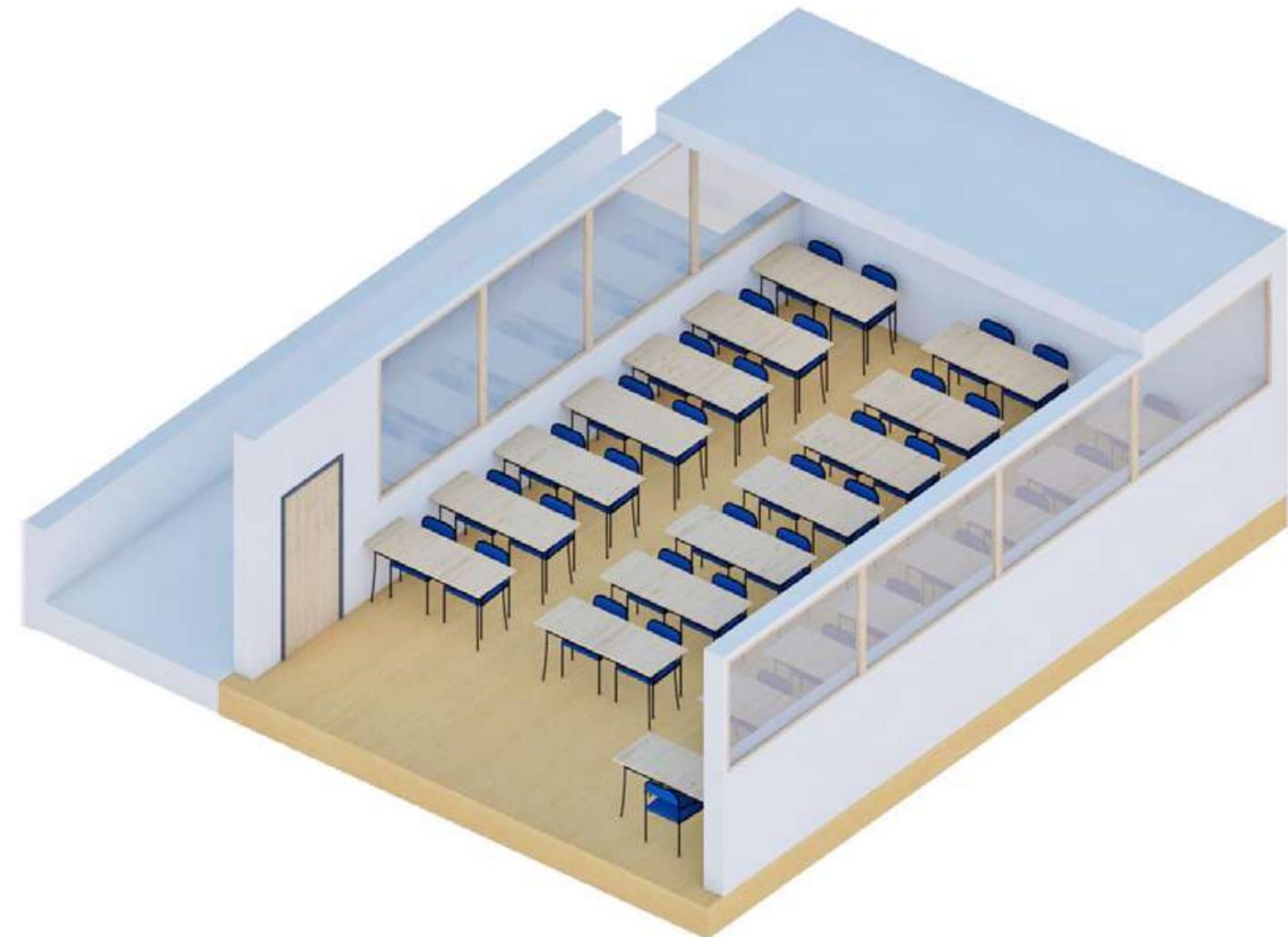


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,6480
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	X	20	Absorbente	0,15	3,0000	
			sumatoria		25,12315	

# AULA B3103



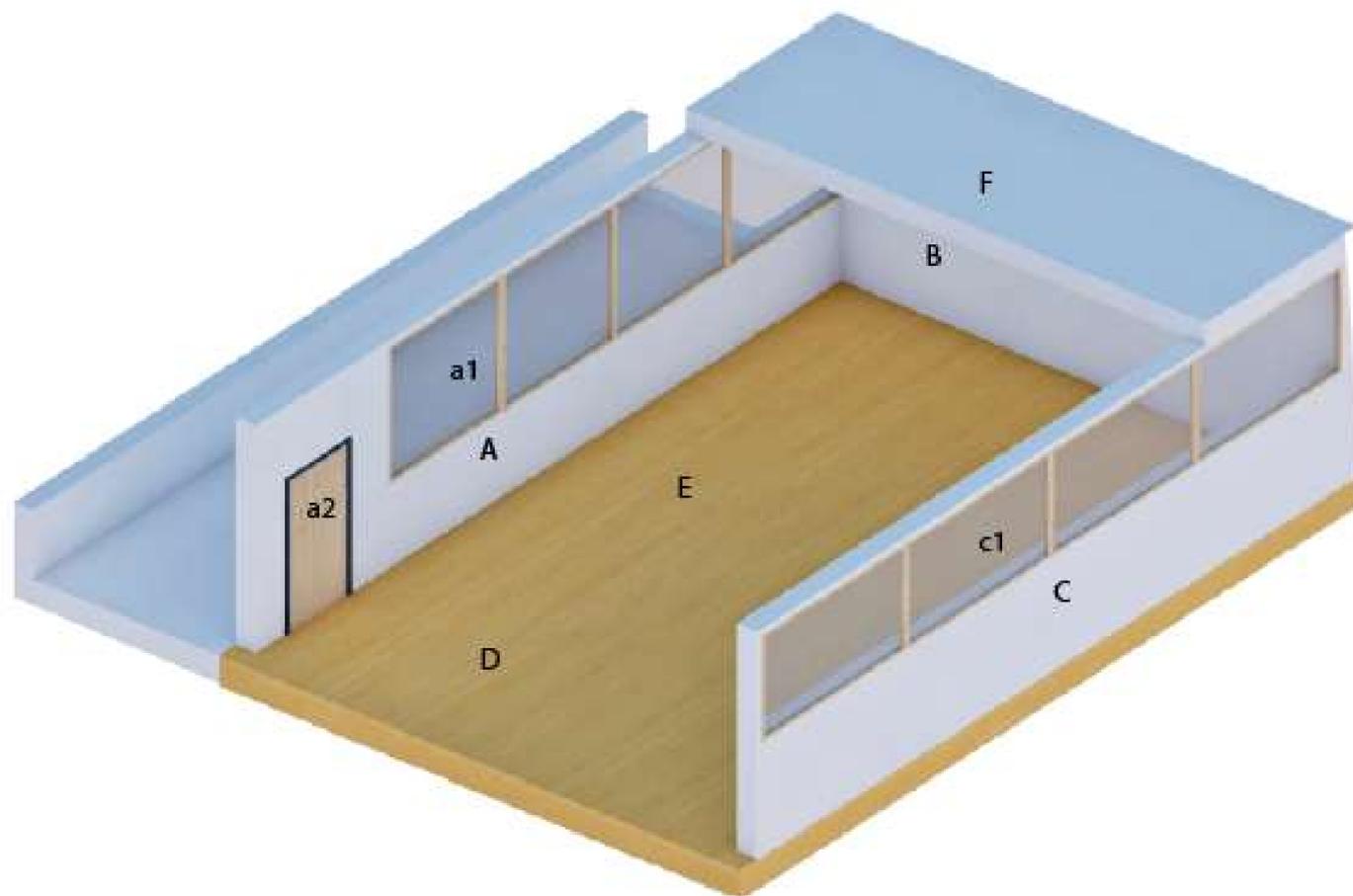


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,2084	0,8022
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,2735	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	sumatoria				31,2716	

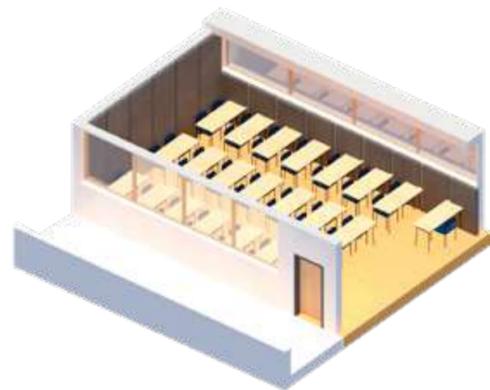


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,20835	0,5175
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,348064	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Absorbente	0,85	17	
	sumatoria					

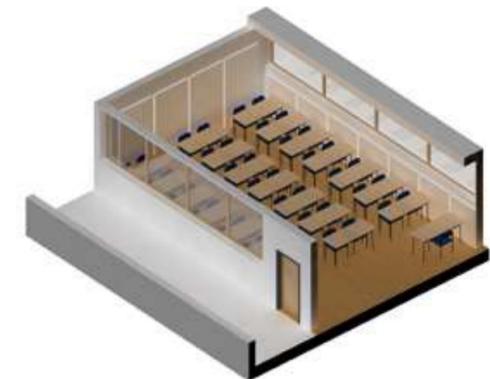


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,20835	0,7770
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,348064	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Absorbente	0,05	1	
	sumatoria					

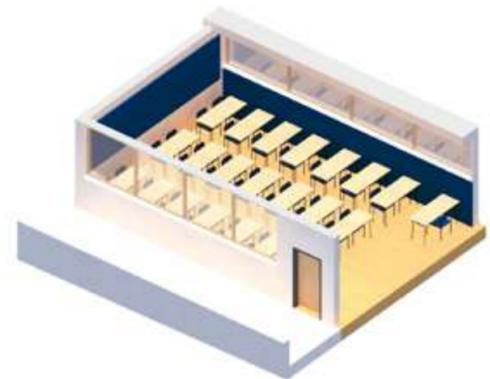
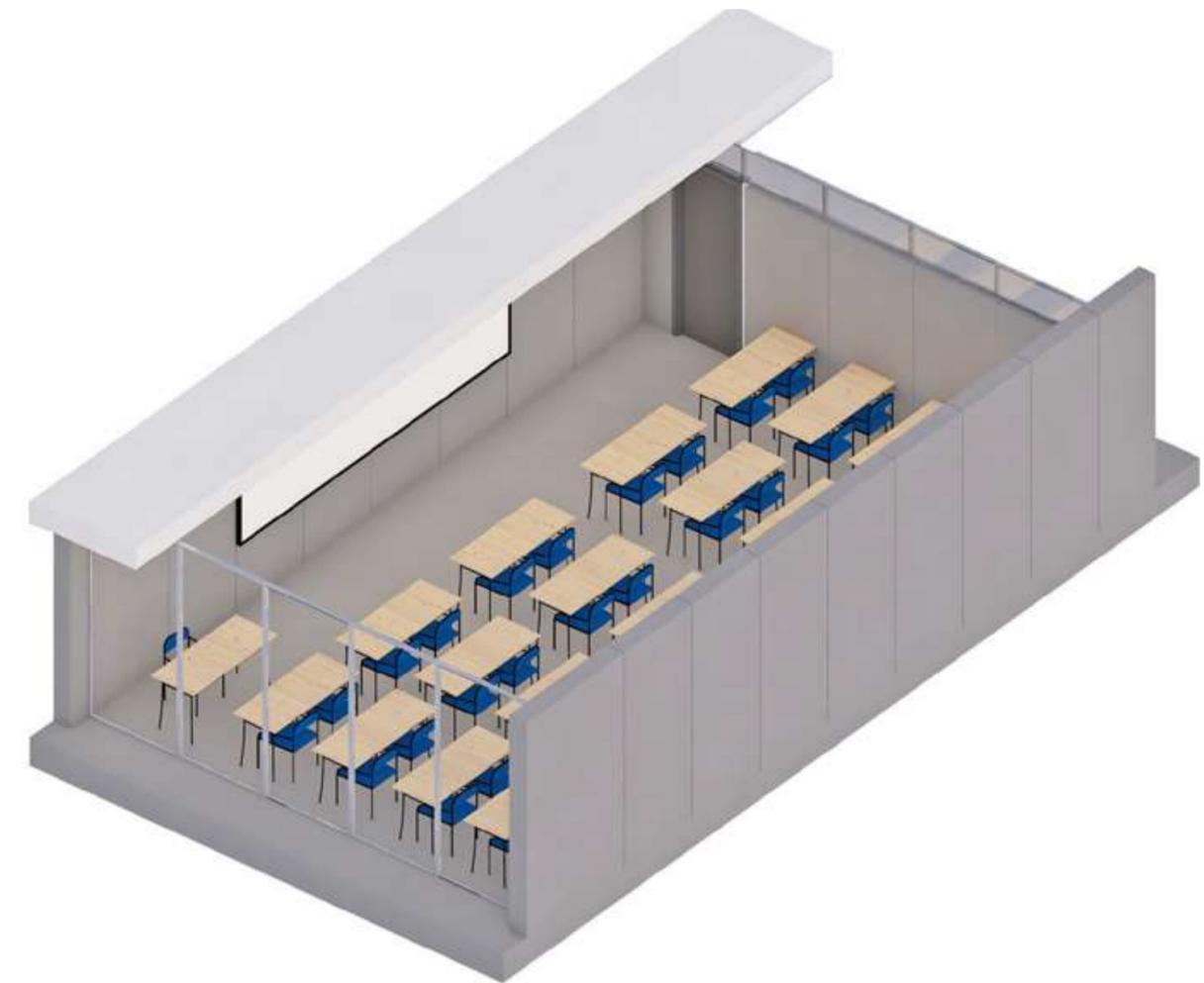


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,20835	0,7312
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,348064	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Absorbente	0,15	3	
	sumatoria					

## AULA B5103



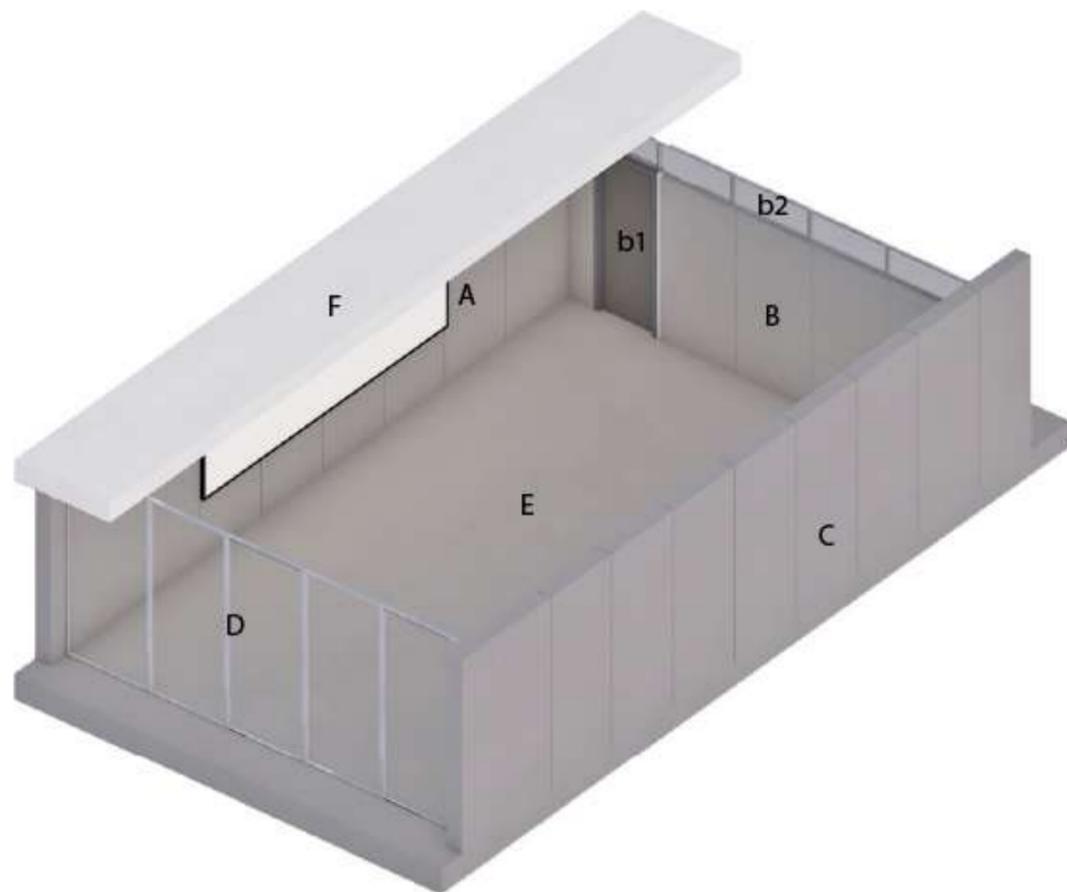


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	(1000 Hz) * n	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,7962
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
			sumatoria		36,6556	

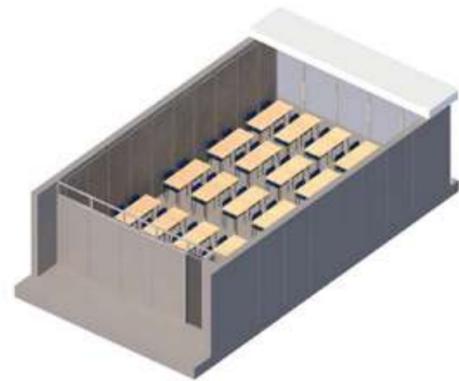


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m^2$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,3231
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
X	20	Absorbente	0,85	17,0000		
sumatoria					53,6556	

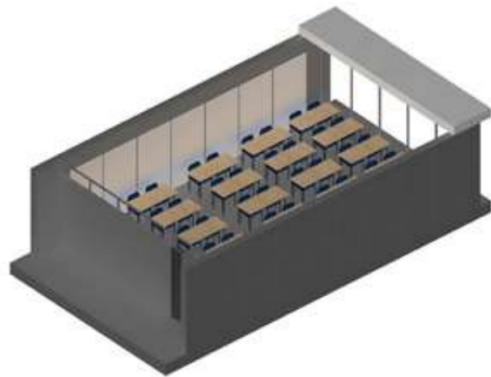


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m^2$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,3927
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
X	20	Absorbente	0,05	1,0000		
sumatoria					37,6556	

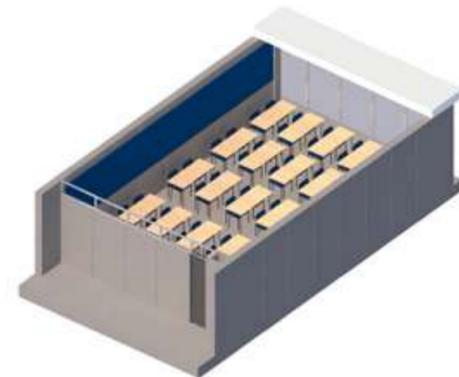
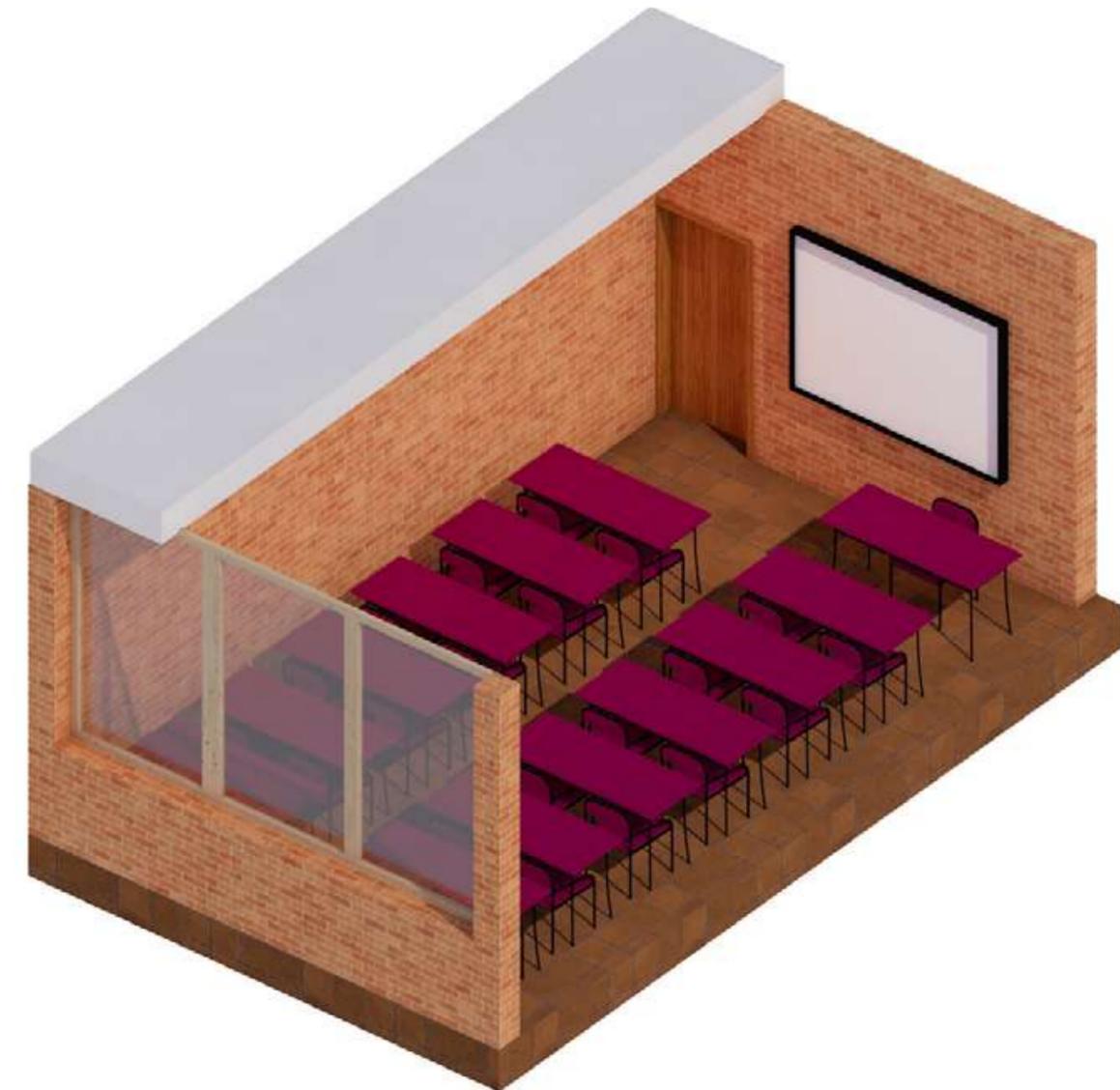


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m^2$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,3824
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
X	20	Absorbente	0,15	3,0000		
sumatoria					39,6556	

## AULA A5307



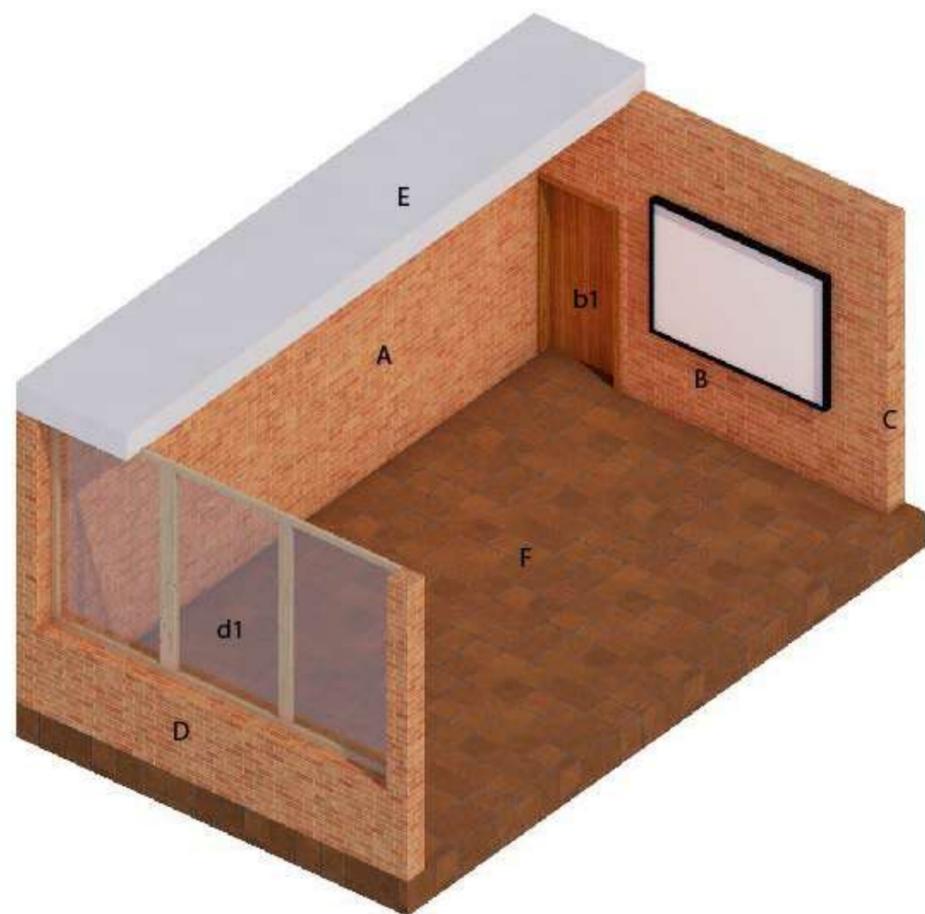


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,82
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	sumatoria				20,56	

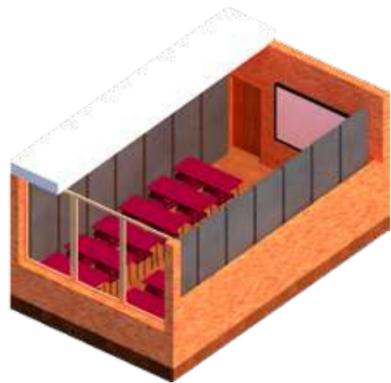


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,45
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	X	20	Absorbente	0,85	17,00	
sumatoria					37,56	

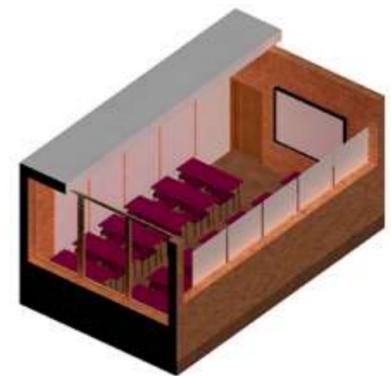


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,78
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	X	20	Absorbente	0,05	1,00	
sumatoria					21,56	

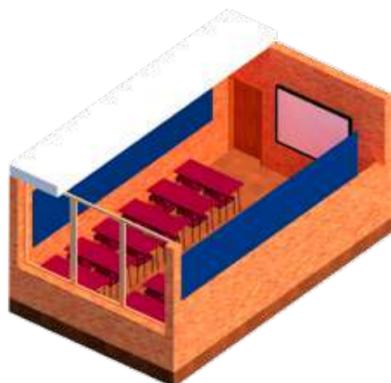
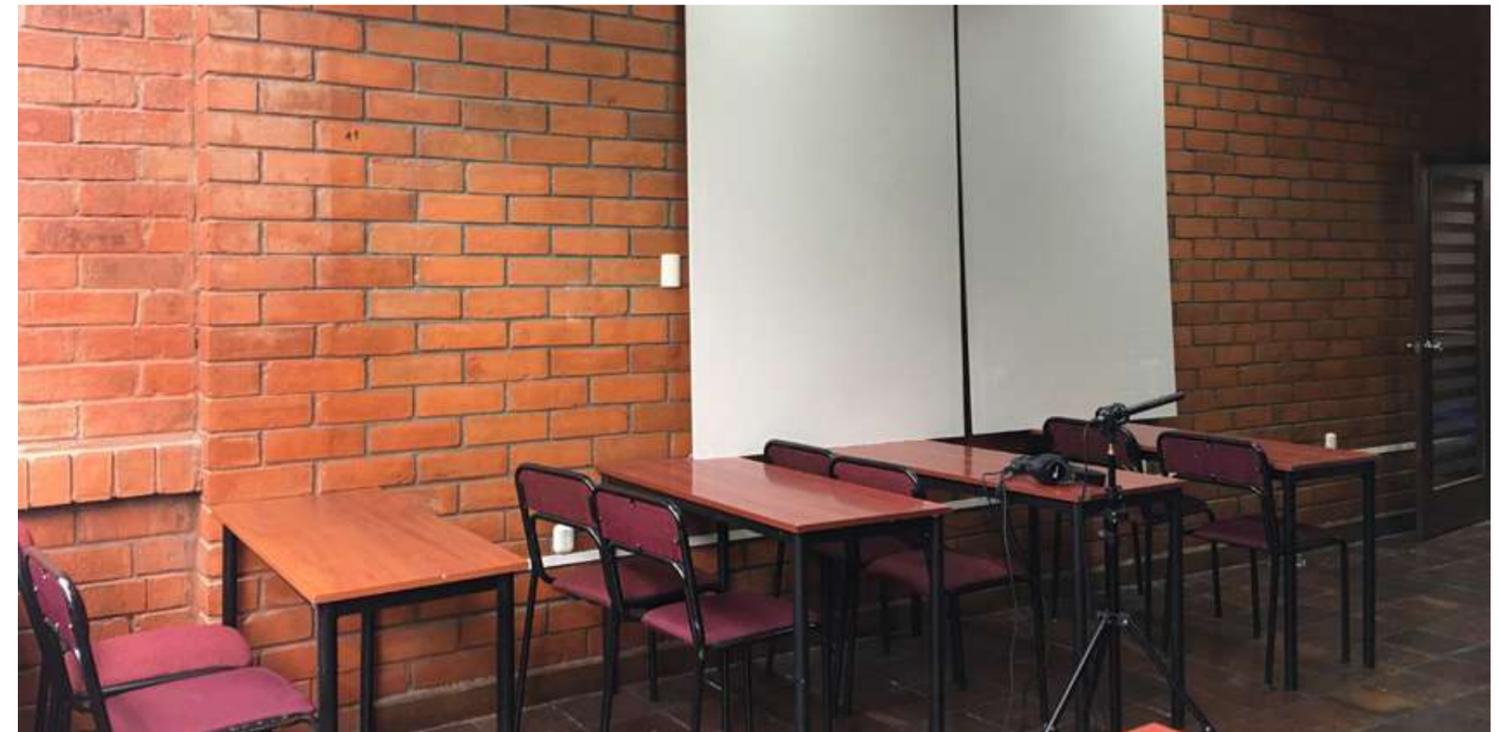
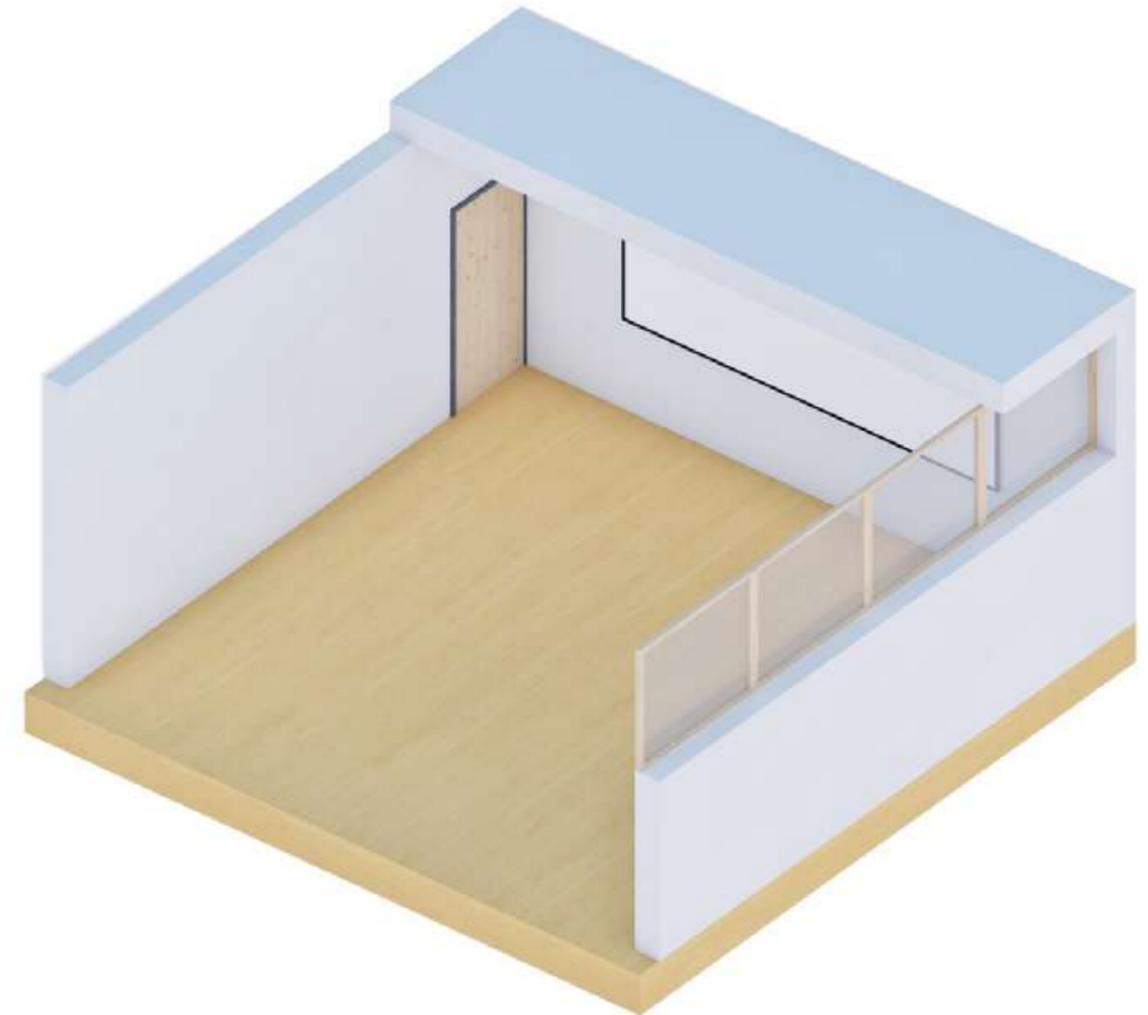


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,72
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	X	20	Absorbente	0,15	3,00	
sumatoria					23,56	





# MATERIALES REFLEJANTES



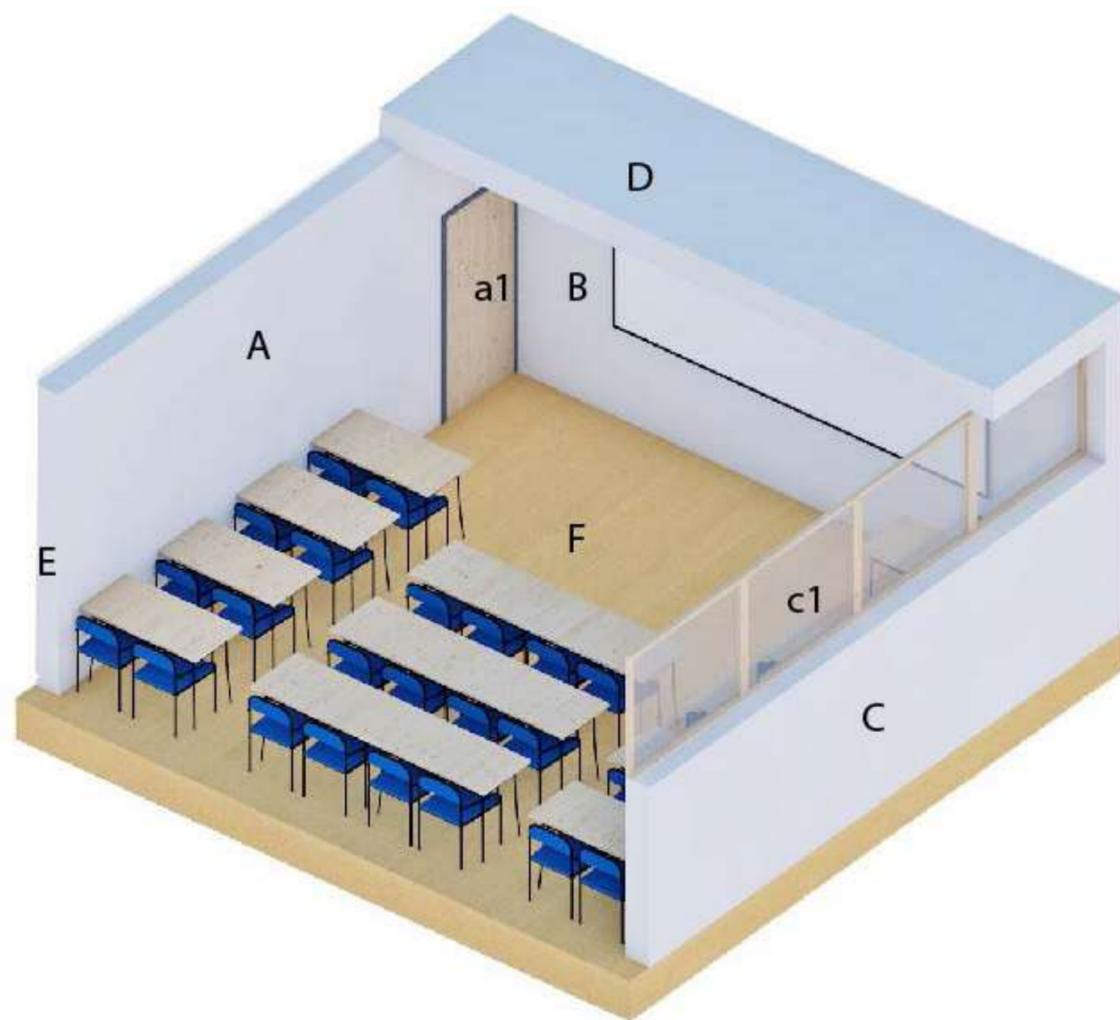


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,7359
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	sumatoria				22,12315	

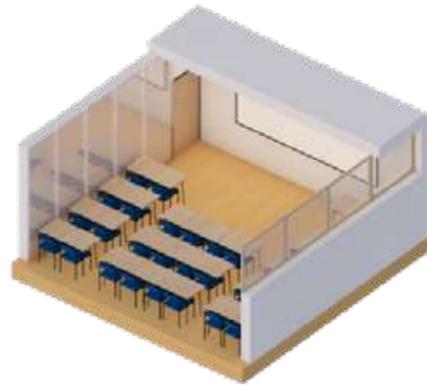


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,7165
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
X	20	Reflejante	0,03	0,6000		
	sumatoria				22,72315	

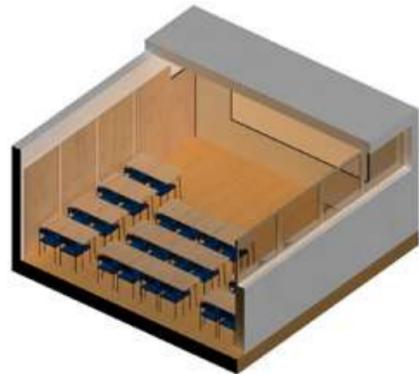


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,7041
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
X	20	Reflejante	0,05	1,0000		
	sumatoria				23,12315	

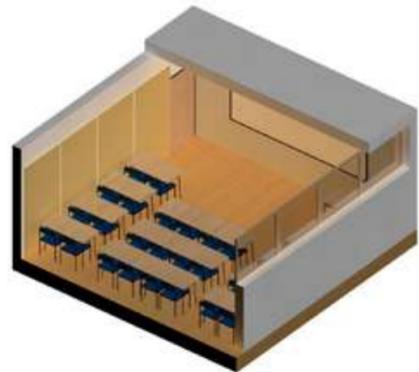
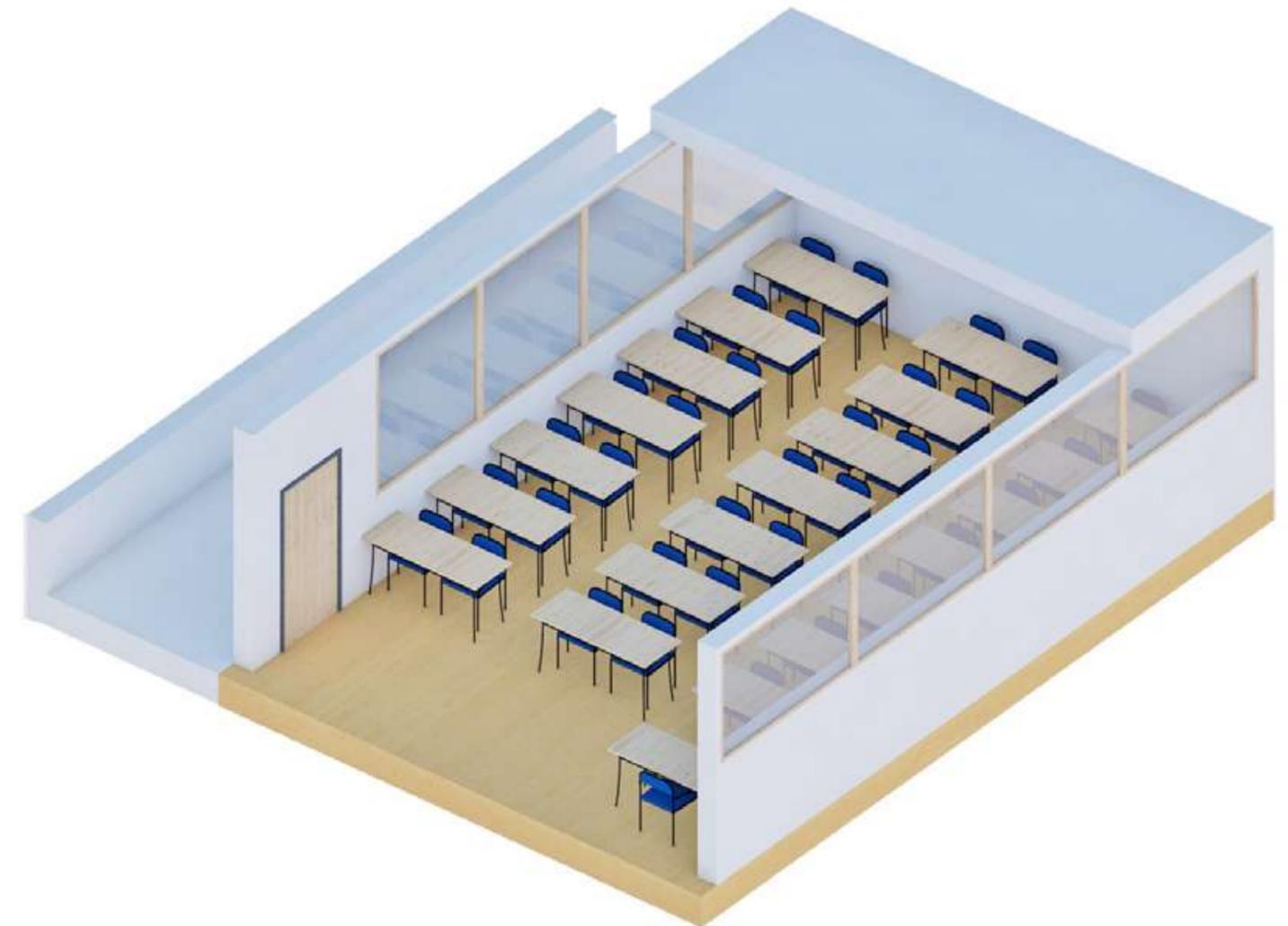


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,6480
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
X	20	Reflejante	0,15	3,0000		
	sumatoria				25,12315	

# AULA B3103



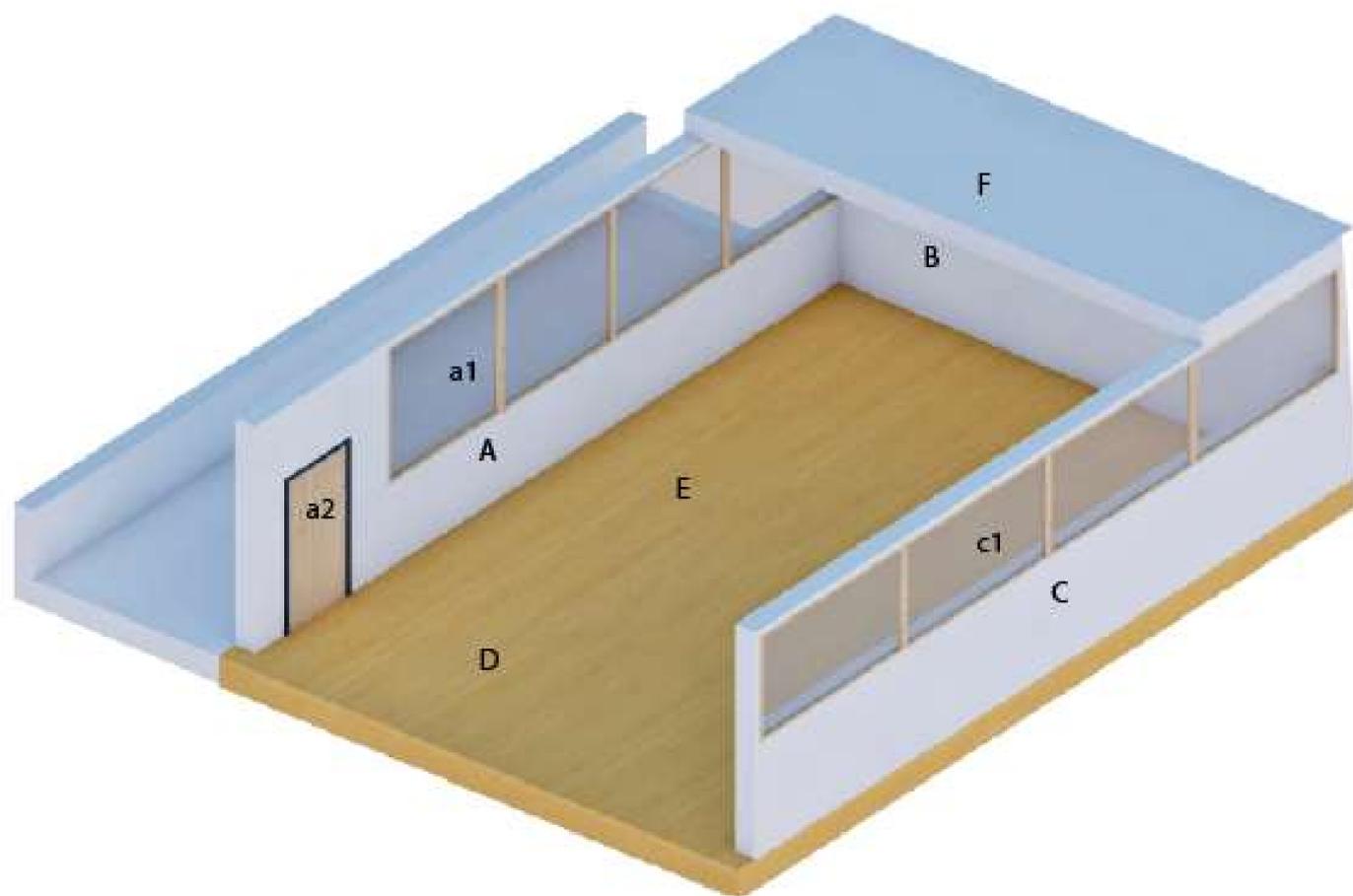


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,2084	0,8022
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,2735	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	sumatoria				31,2716	

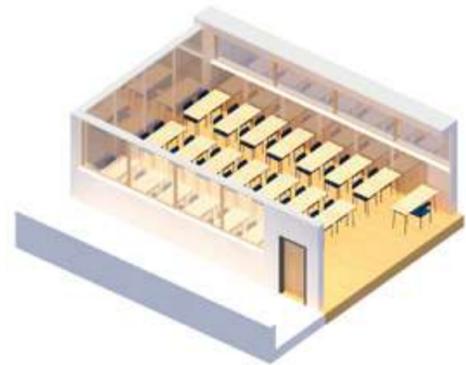


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,20835	0,7869
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,348064	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Reflejante	0,03	0,6	
sumatoria					31,8716	

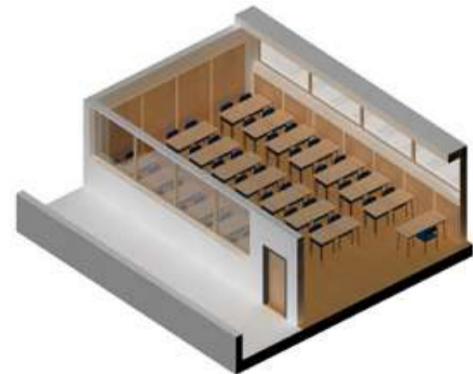


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,20835	0,7770
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,348064	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Reflejante	0,05	1	
sumatoria					32,2716	

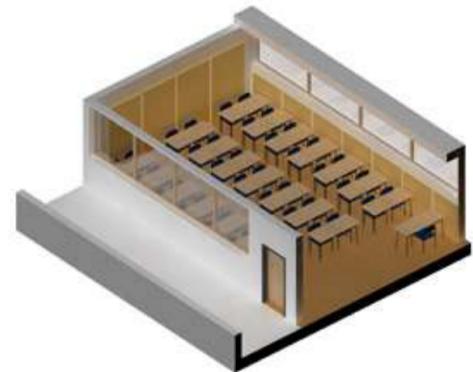
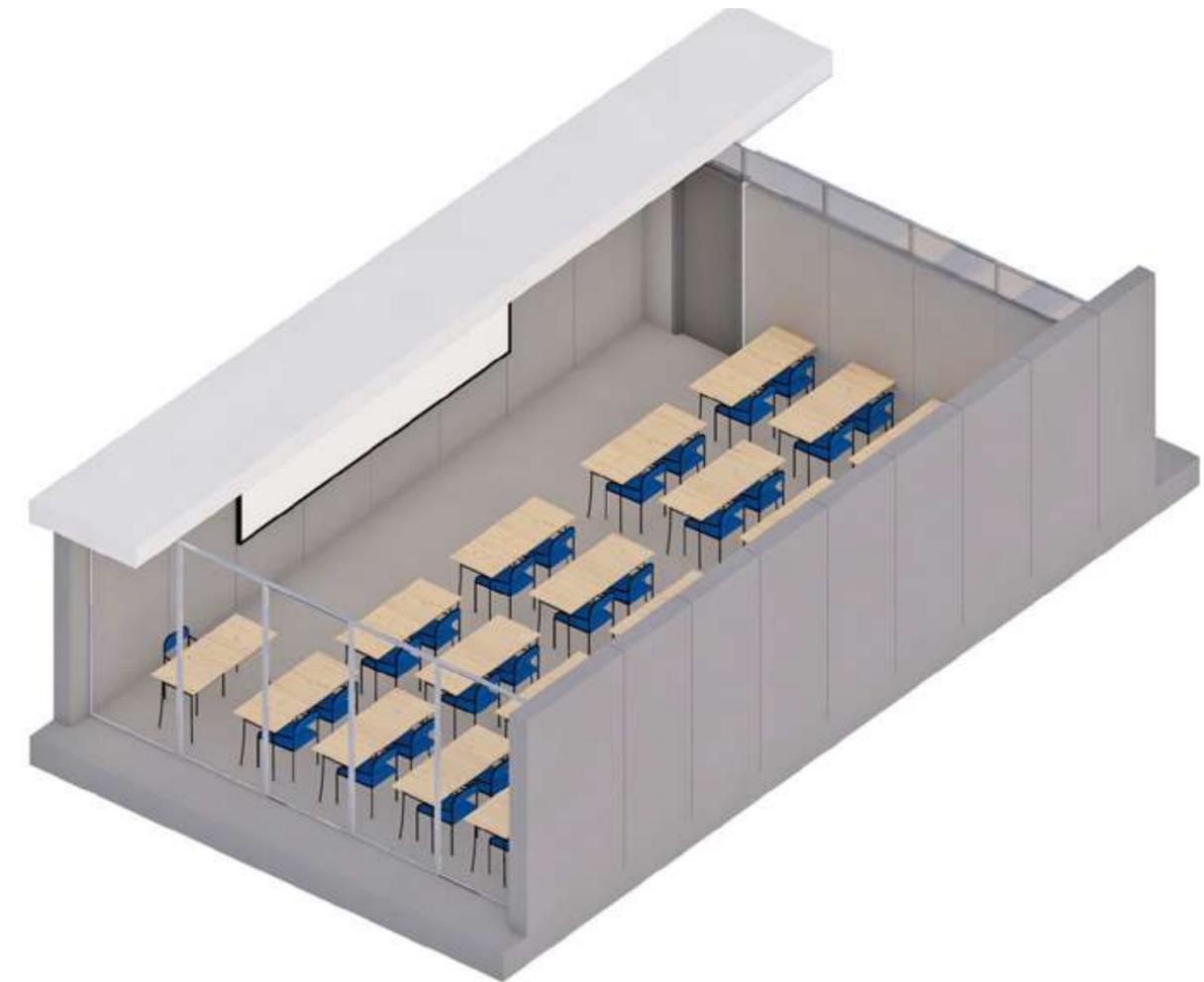


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,20835	0,7312
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,348064	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Reflejante	0,15	3	
sumatoria					34,2716	

# AULA B5103



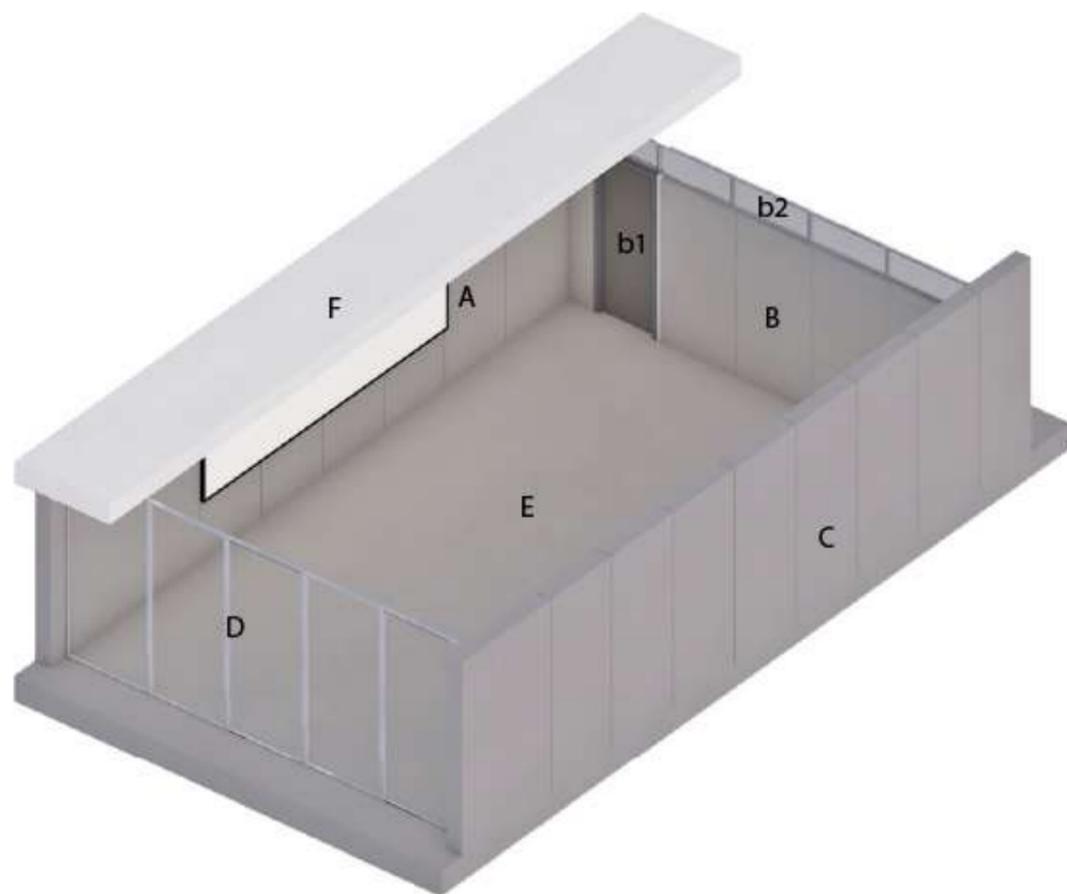


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	(1000 Hz) * n	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,7962
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
			sumatoria		36,6556	

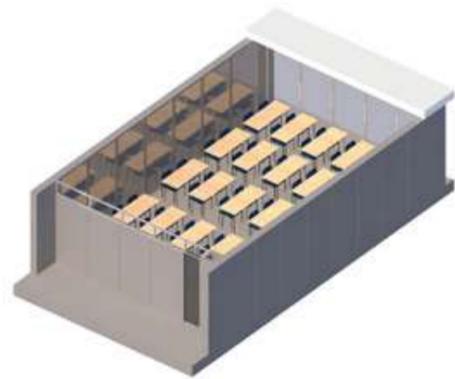


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha \cdot m^2$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,3948
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Reflejantes	0,03	0,6000	
	sumatoria				37,2556	

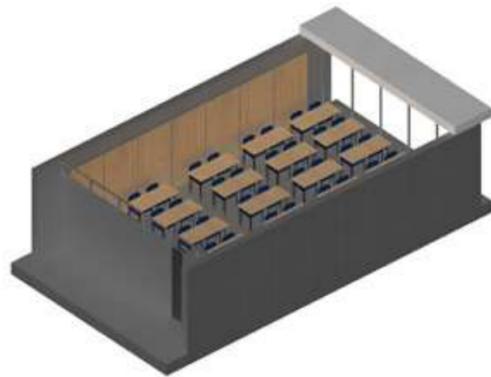


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha \cdot m^2$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,3927
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Reflejantes	0,05	1,0000	
	sumatoria				37,6556	

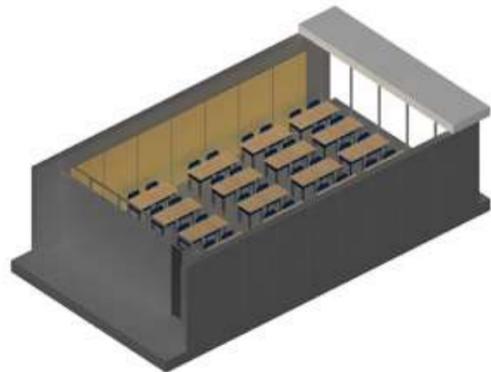
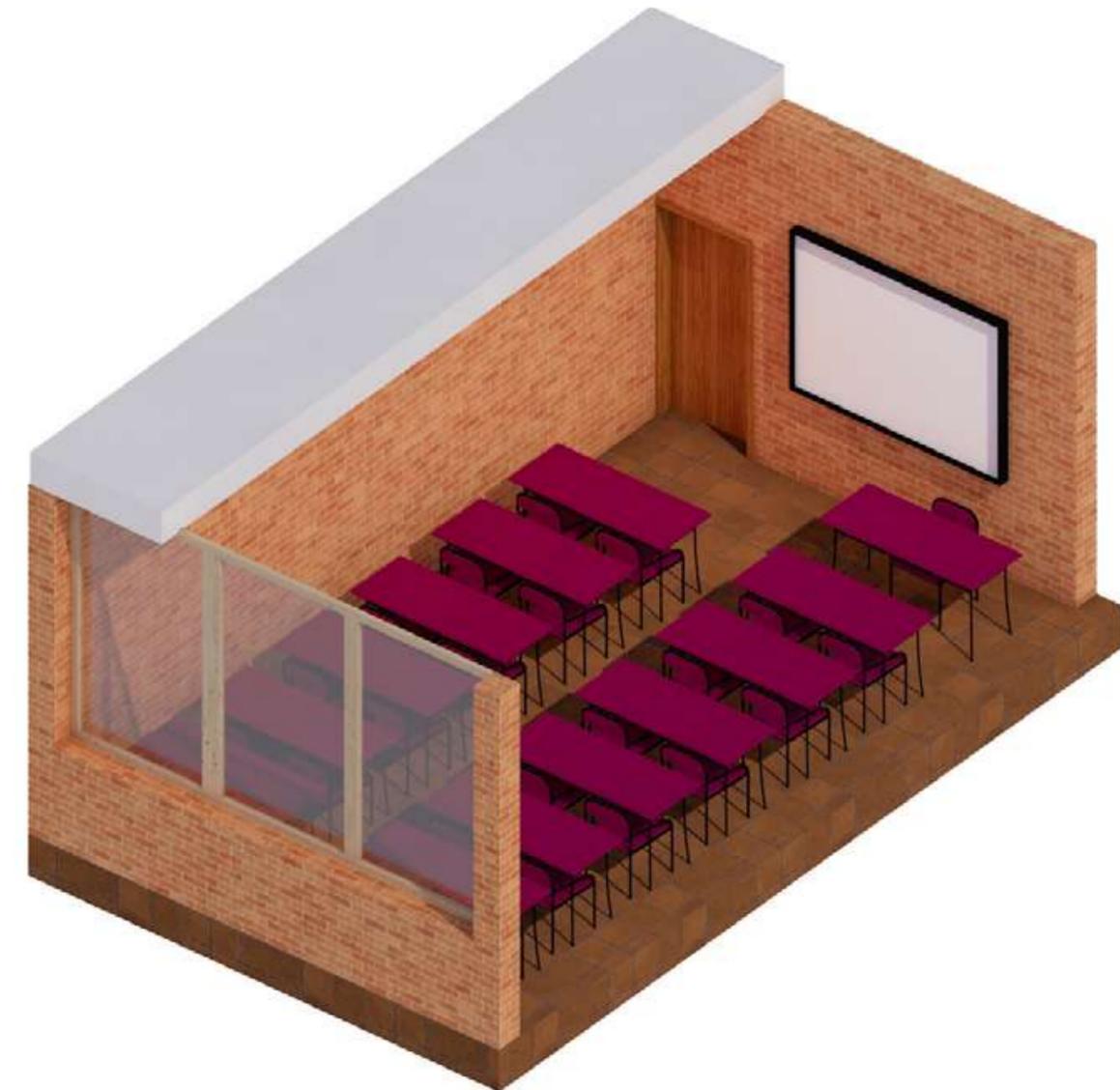


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha \cdot m^2$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,3824
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Reflejantes	0,15	3,0000	
	sumatoria				39,6556	

# AULA A5307



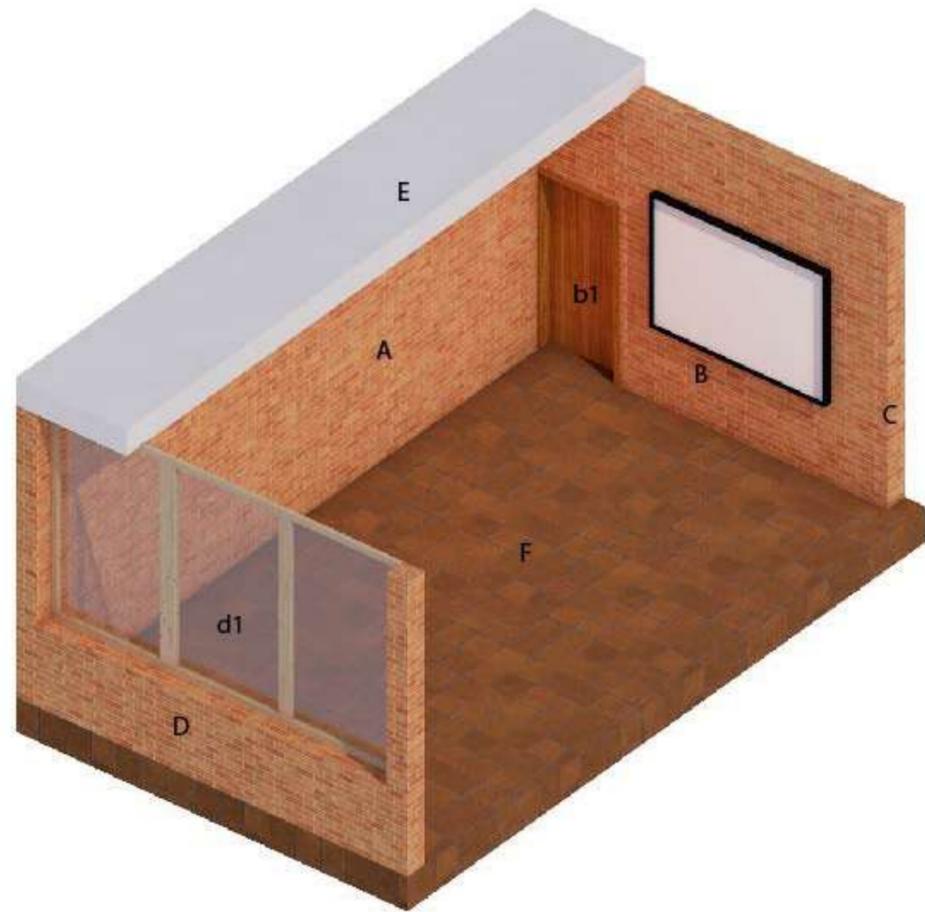


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,82
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	sumatoria				20,56	

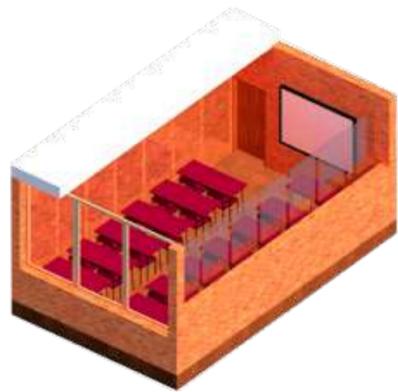


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,80
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
X	20	Reflejante	0,03	0,60		
	sumatoria			21,16		

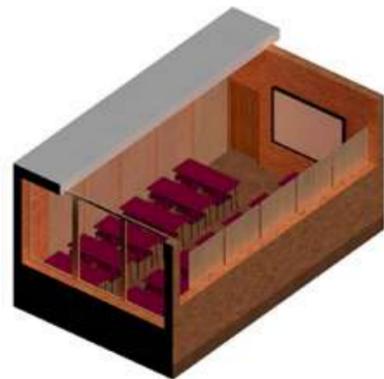


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,78
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
X	20	Reflejante	0,05	1,00		
	sumatoria			21,56		

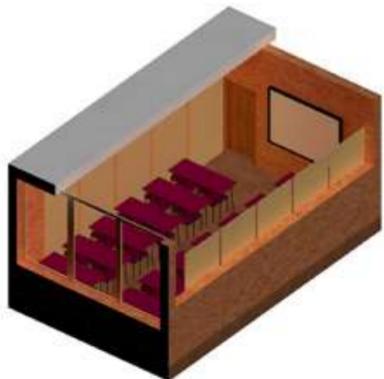
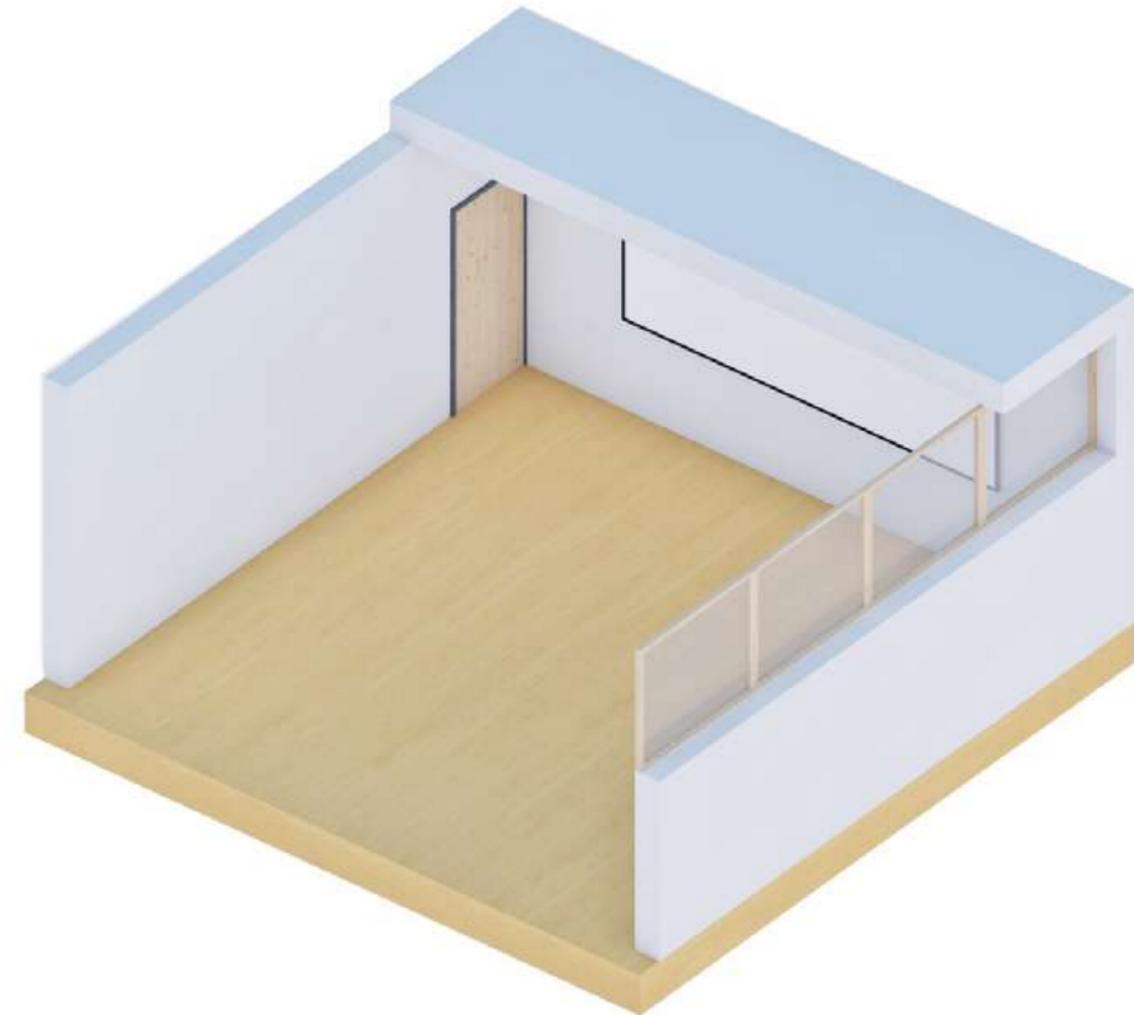


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,72
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
X	20	Reflejante	0,15	3,00		
	sumatoria			23,56		





# MATERIALES AISLANTES



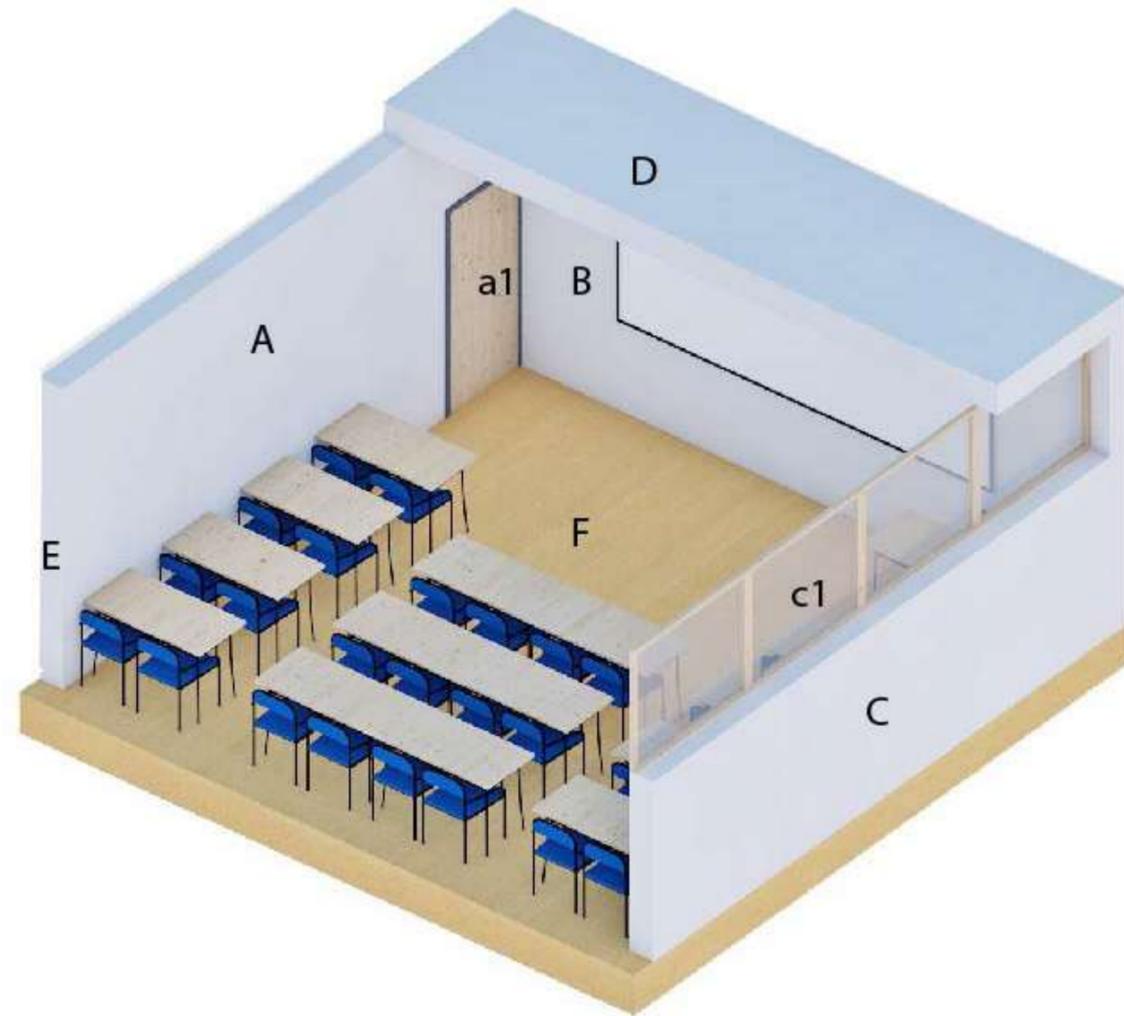


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,7359
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	sumatoria				22,12315	

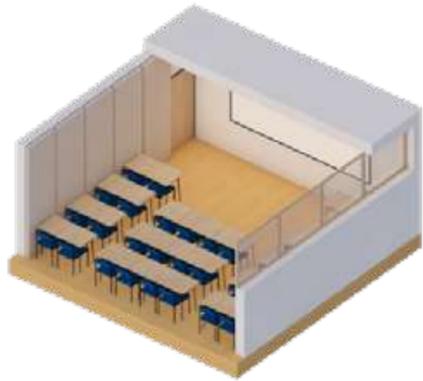


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,4161
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	X	20	Aislante	0,85	17,0000	
			sumatoria		39,12315	

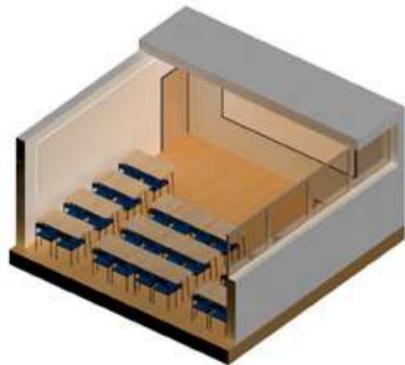


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,6379
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	X	20	Aislante	0,17	3,4000	
			sumatoria		25,52315	

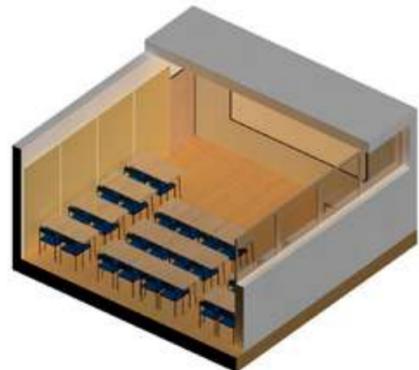
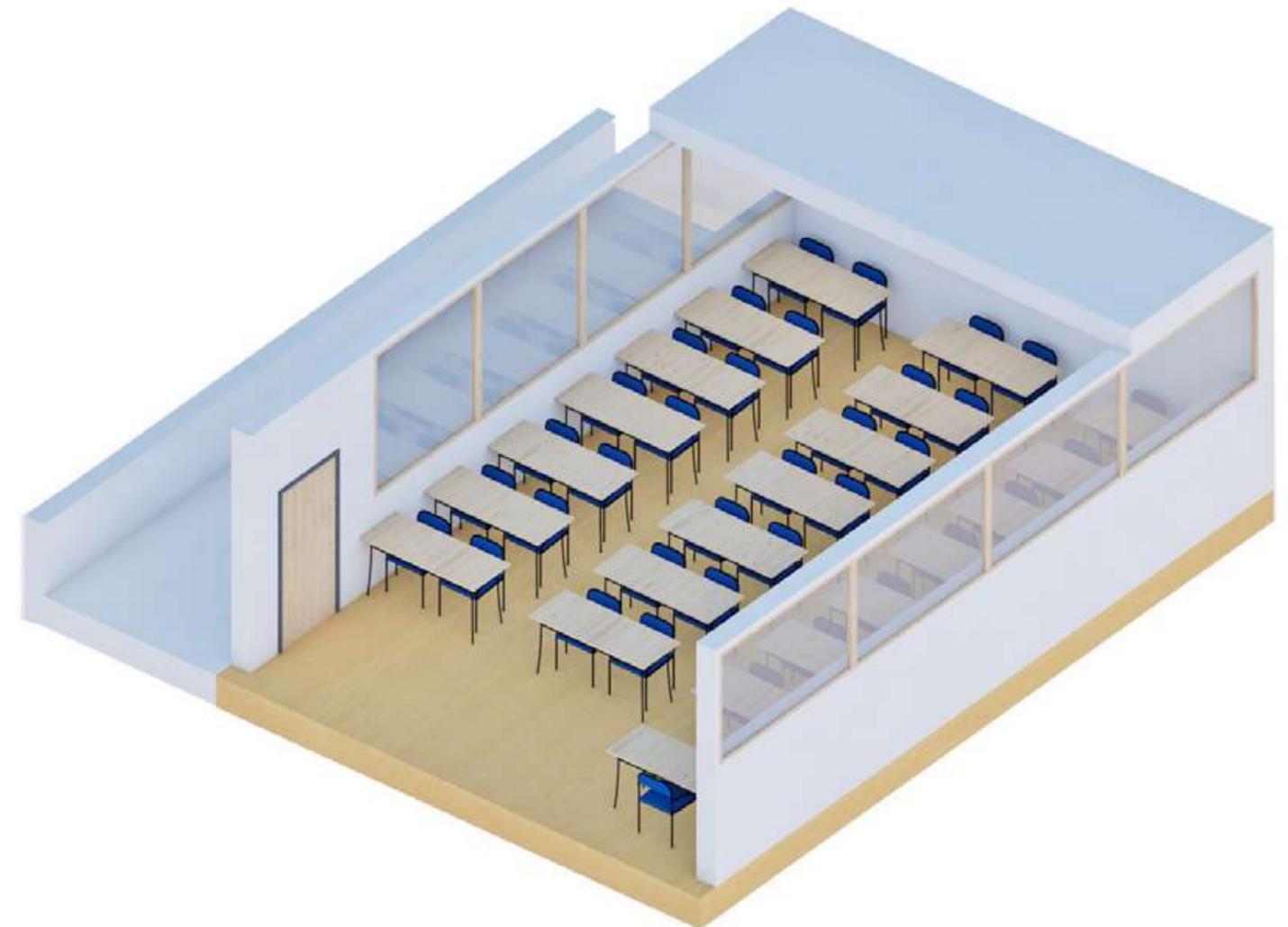


Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,6480
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	X	20	Reflejante	0,15	3,0000	
			sumatoria		25,12315	

# AULA B3103



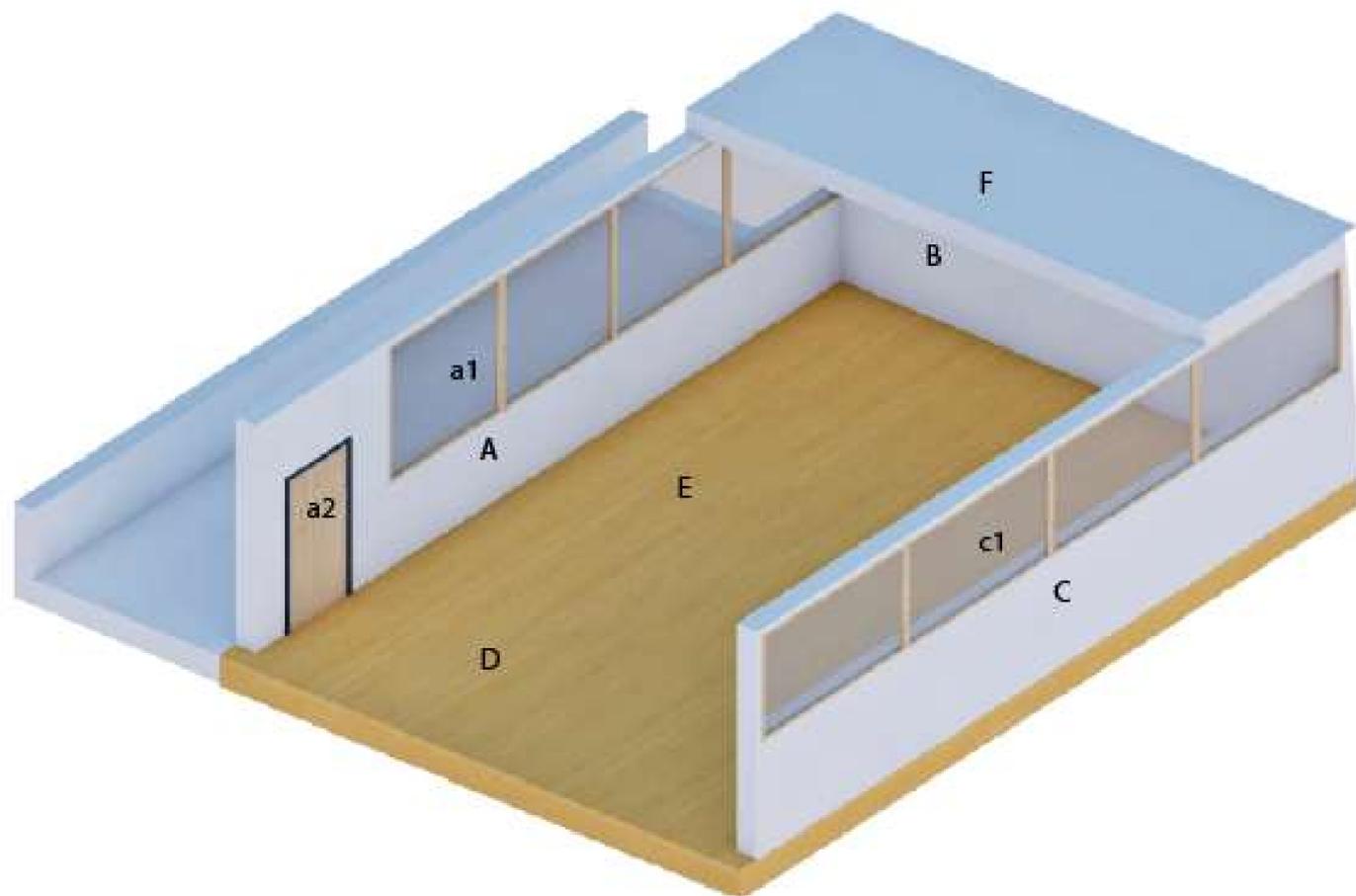


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,2084	0,8022
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,2735	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
H	21	Mesas	0,1	2,1000		
	sumatoria				31,2716	

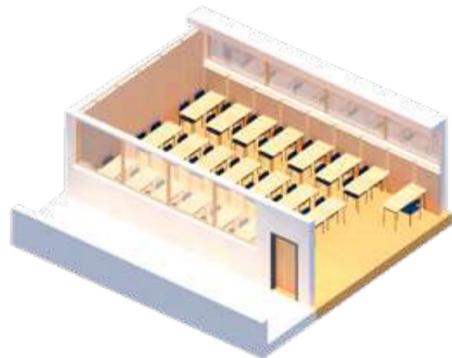


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,20835	0,5175
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,348064	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Aislante	0,85	17	
	sumatoria					

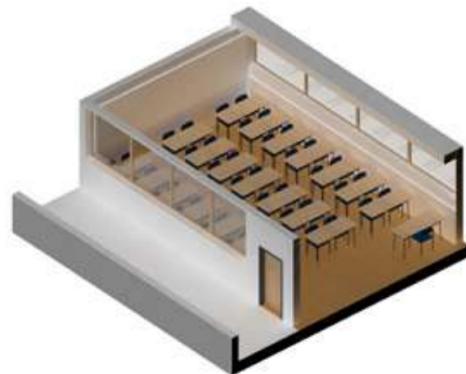


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,20835	0,7227
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,348064	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Aislante	0,17	3	
	sumatoria					

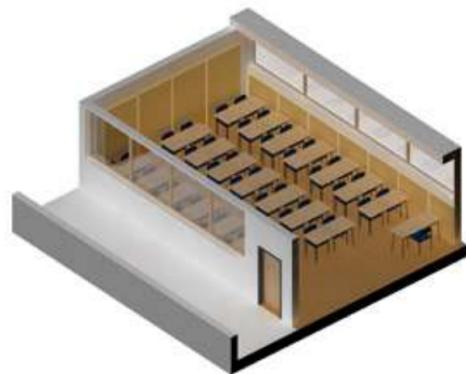
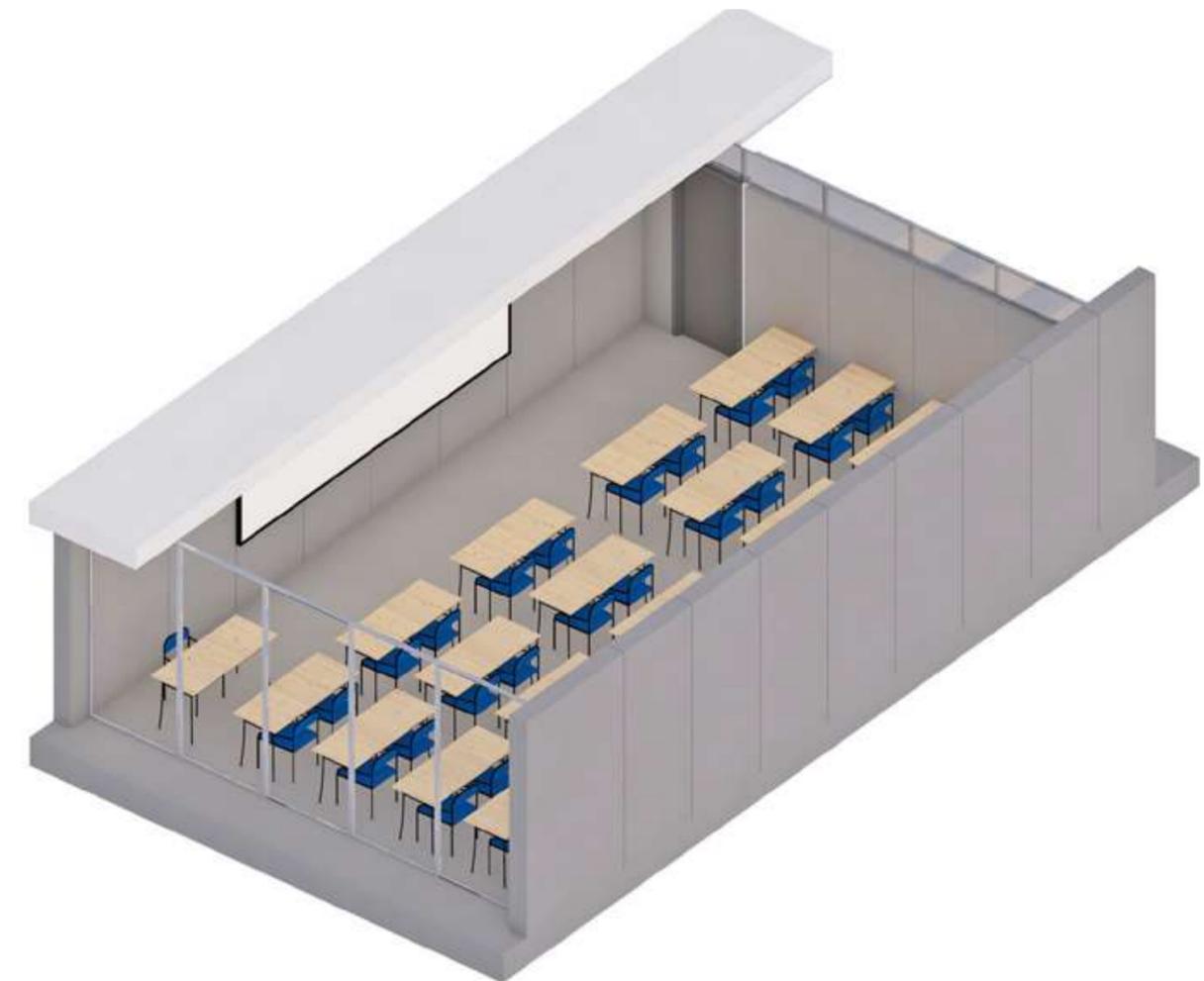


Tabla de superficies por m2 Aula B103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,20835	0,7312
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,348064	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	X	20	Aislante	0,15	3	
	sumatoria					

# AULA B5103



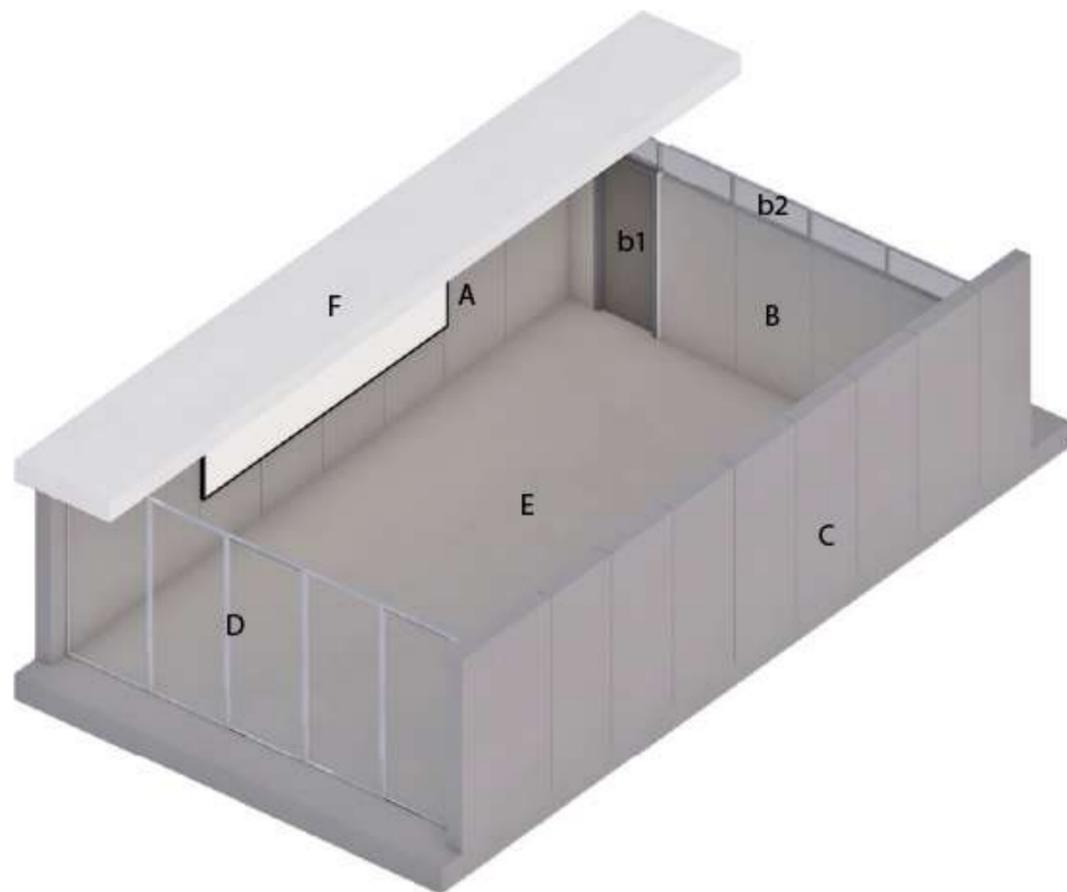


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	(1000 Hz) * n	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,7962
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
			sumatoria		36,6556	

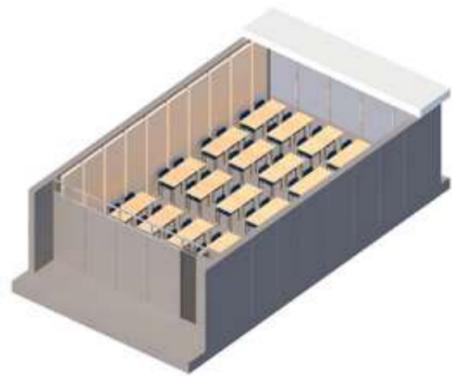


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha \cdot m^2$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,3231
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
X	20	Aislantes	0,85	17,0000		
			sumatoria		53,6556	

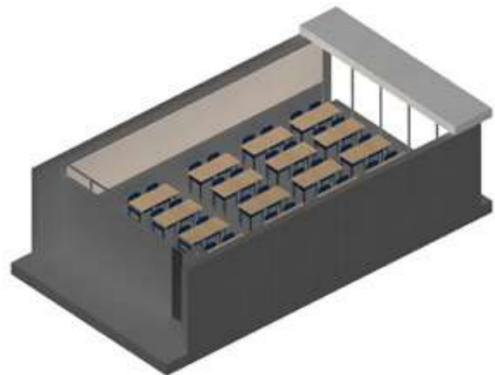


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha \cdot m^2$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,3804
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
X	20	Aislantes	0,17	3,4000		
			sumatoria		40,0556	

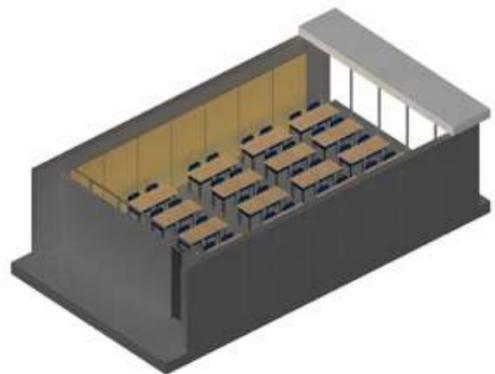
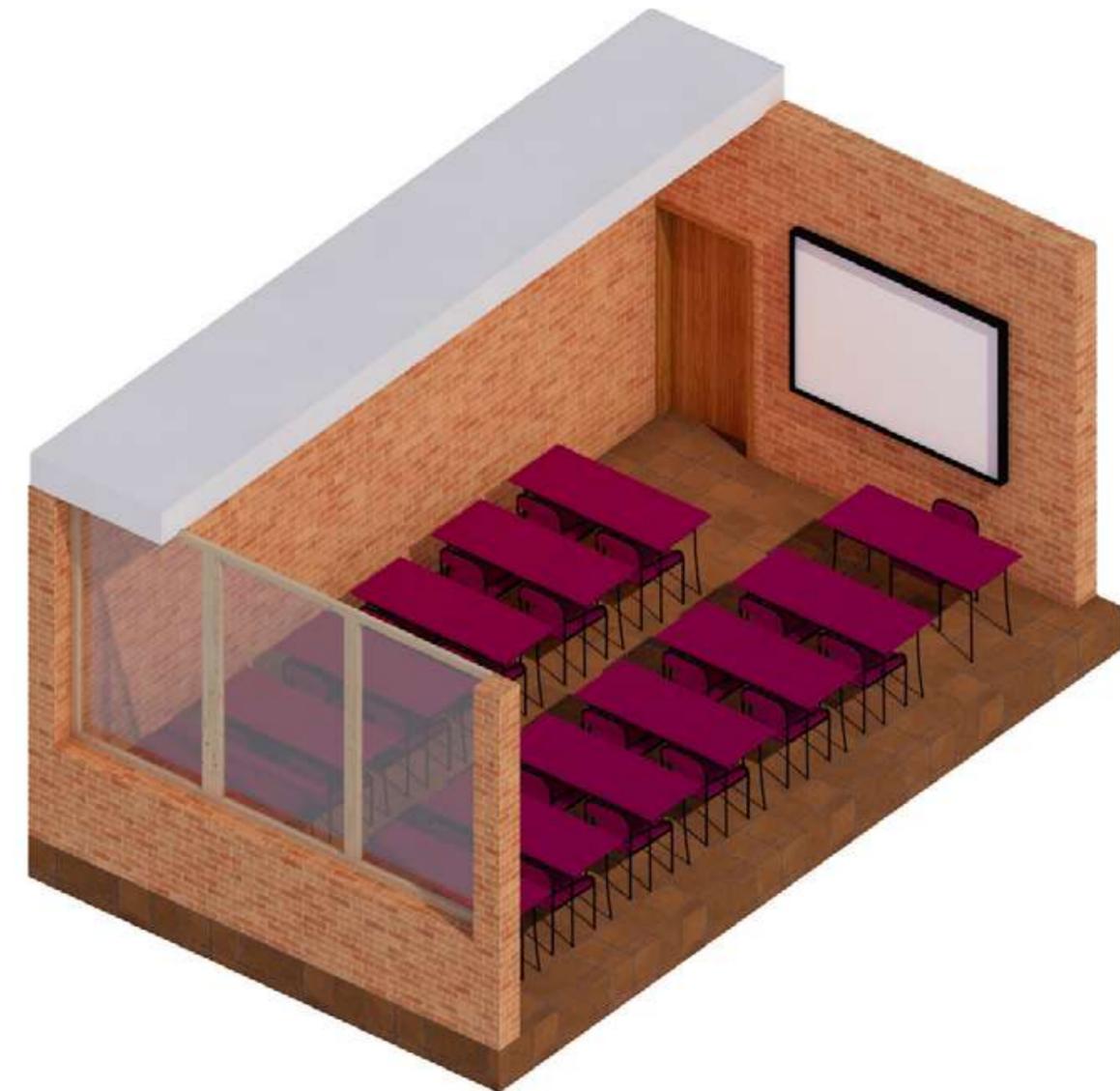


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha \cdot m^2$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,3824
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
X	20	Aislantes	0,15	3,0000		
			sumatoria		39,6556	

# AULA A5307



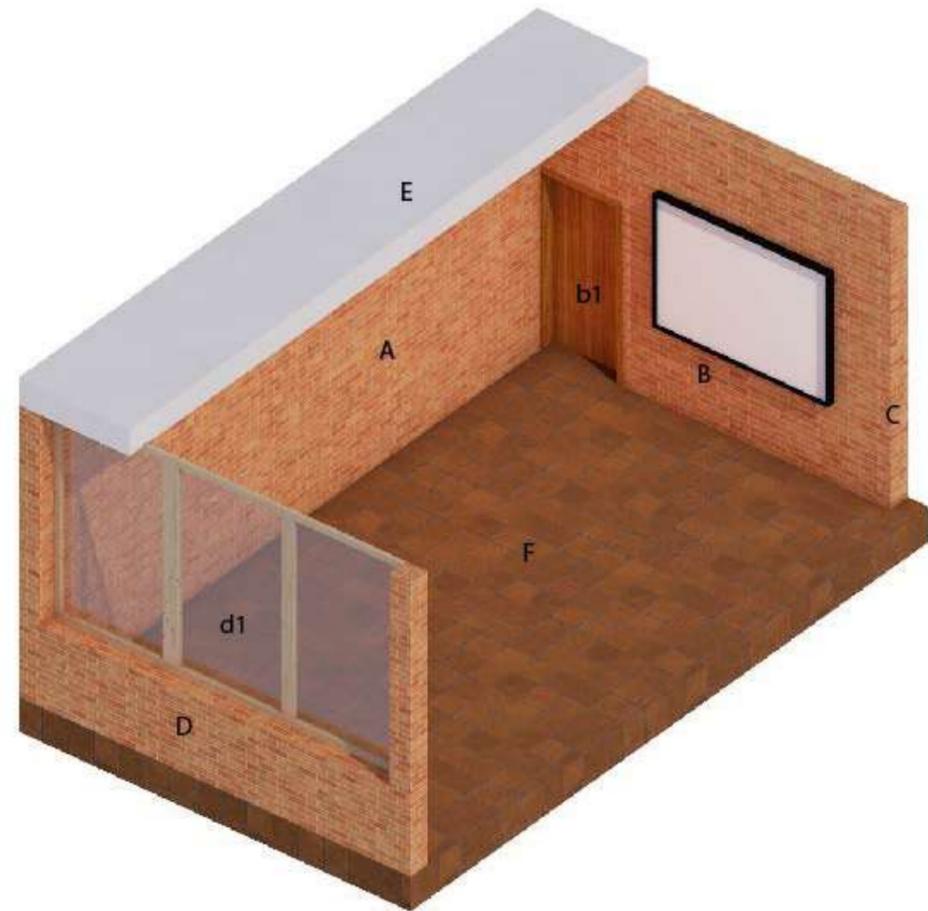


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,82
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	sumatoria				20,56	

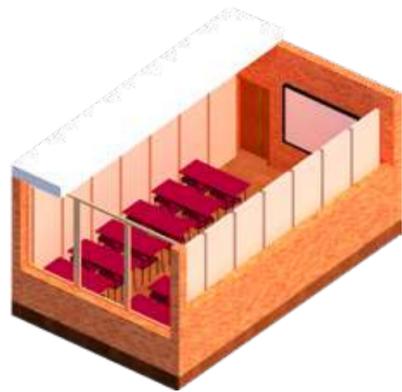


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha \cdot m^2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,45
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	X	20	Aislante	0,85	17,00	
sumatoria					37,56	

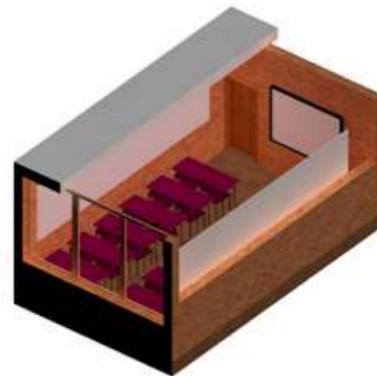


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha \cdot m^2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,70
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	X	20	Aislante	0,17	3,40	
sumatoria					23,96	

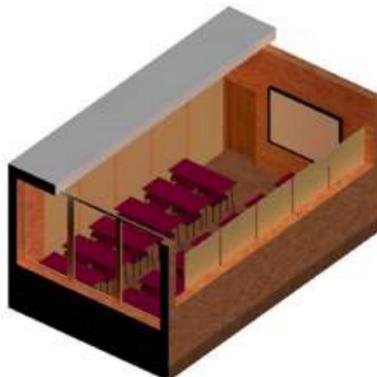


Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen m3	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha \cdot m^2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,72
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	X	20	Aislante	0,15	3,00	
sumatoria					23,56	



## 3.4. FENÓMENOS QUE CARACTERIZAN EL SONIDO

### 3.4.1. REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

El emisor se encuentra ubicado en el extremo más largo del aula, por lo que el sonido, tiene un recorrido largo para llegar al receptor, puesto que las superficies involucradas en este espacio, en sus dos extremos, se encuentran ubicados distantes, el uno del otro.

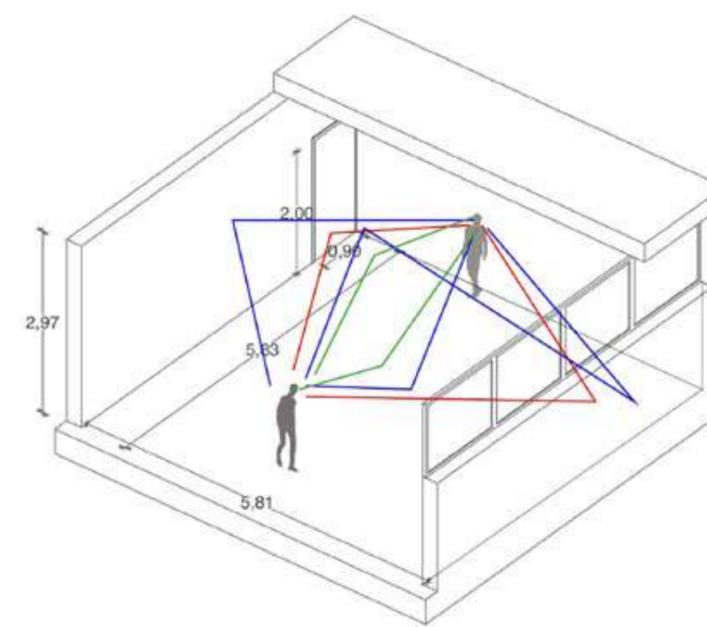
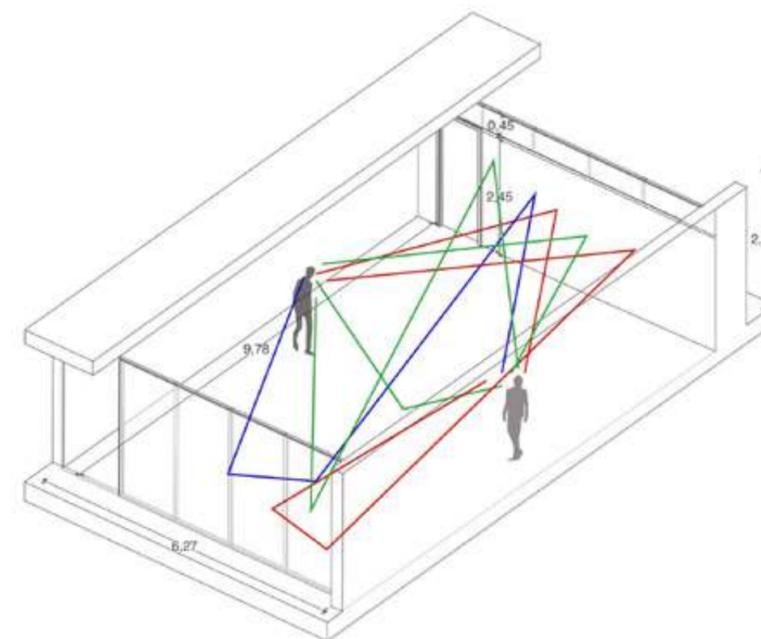
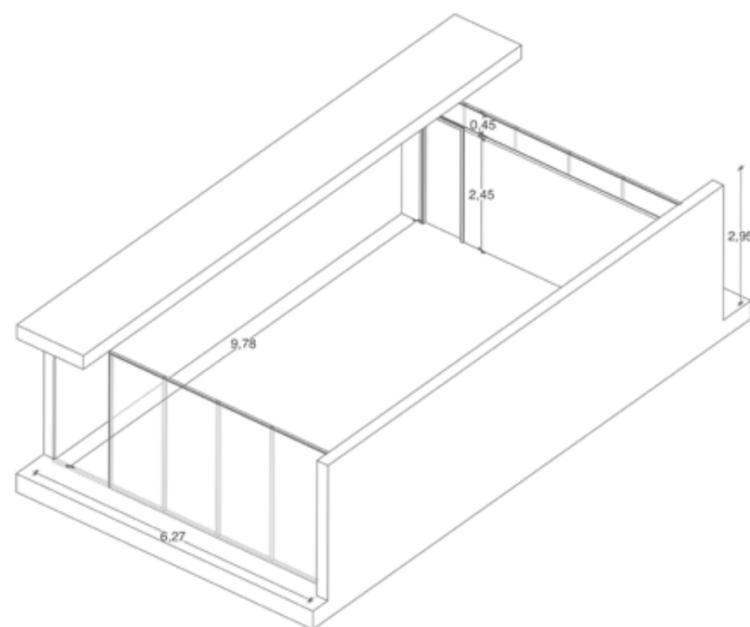


Ilustración 16. Fenómeno de la reflexión y refracción dentro del aula B5103 de la Universidad del Azuay. Sofía Guzmán F. 2019

### 3.4.2. ABSORCIÓN

Las superficies C., B. y E. son altamente porosas, por lo que se pueden decir que son más absorbentes que las superficies F. y D. a las cuales se les identifica como difusoras, por la calidad del terminado y por su coeficiente de absorción.

Cuando el coeficiente de absorción es un valor cercano a 1, quiere decir que es altamente absorbente, mientras el valor de coeficiente de absorción está más cercano a 0, quiere decir que sus propiedades absorbentes son pobres.

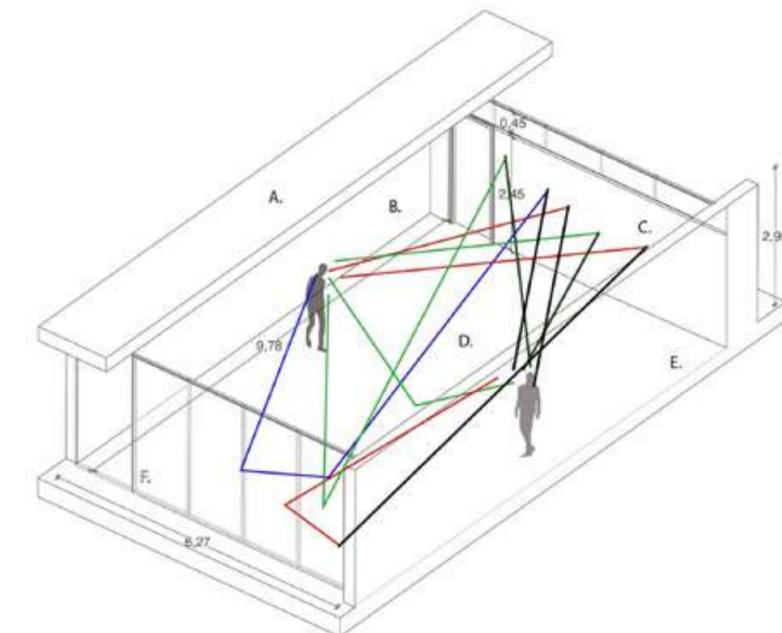
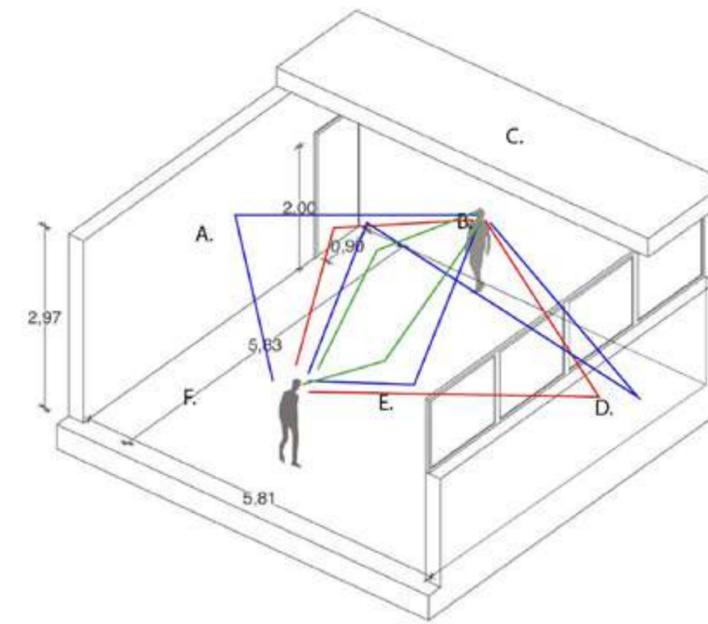
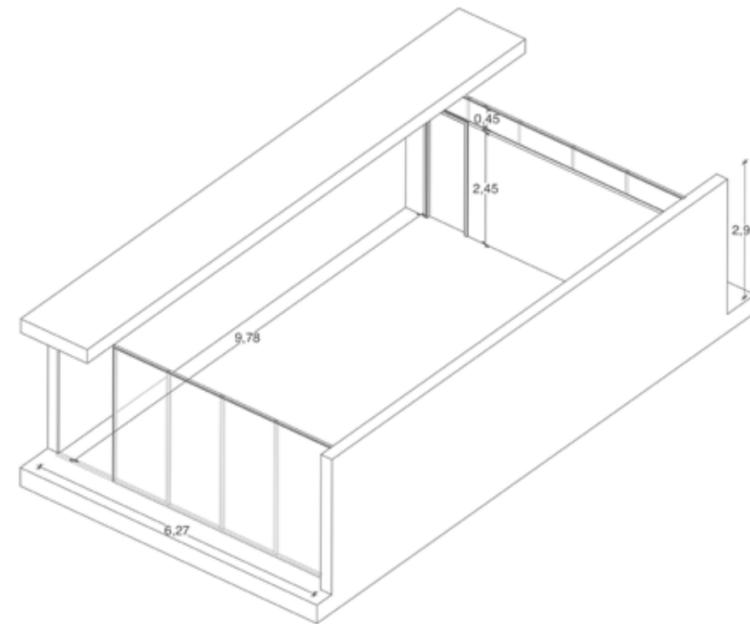


Ilustración 17. Fenómeno de absorción dentro del aula B5103 de la Universidad del Azuay, Sofía Guzmán F. 2019

### 3.4.3. DIFRACCIÓN

Existen dos aberturas, por donde fuga el sonido, se encuentran sobre las superficies C. y F. a manera de ventoleras, que sirven para ventilar el espacio.

Esto quiere decir que no todo el sonido emitido por el emisor llega a su receptor, sin embargo, se lo tomaría como un material de absorción "1", ya que al estar abiertas las ventoleras, absorbe todo el sonido.

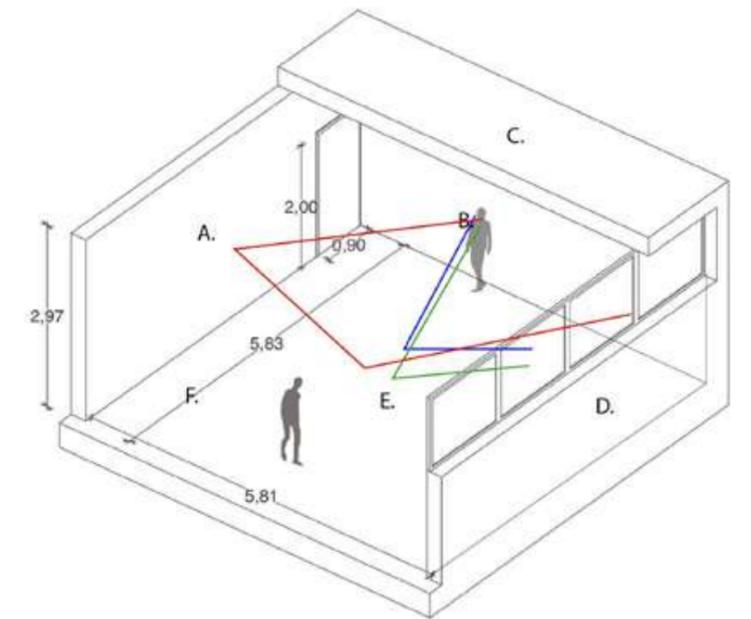
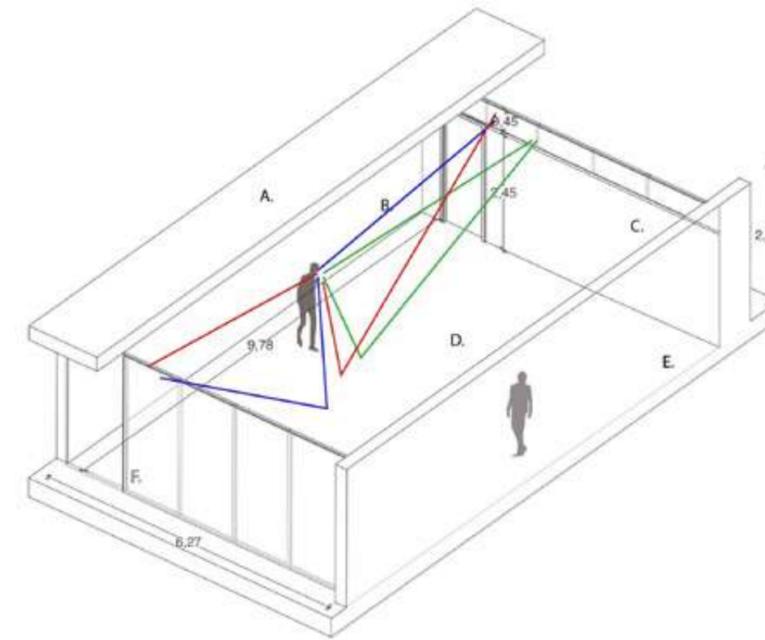
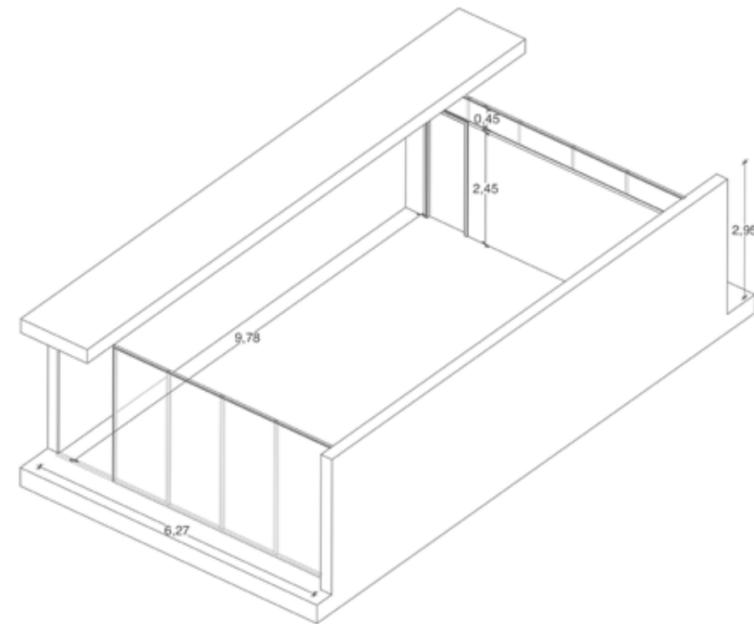


Ilustración 18. Fenómeno de difracción dentro del aula B5103 de la Universidad del Azuay. Sofia Guzmán F. 2019

### 3.4. CONCLUSIONES

El sonido tiene distintos parámetros a los cuales el espacio se "acomoda", puesto que el espacio y su materialidad, de igual manera condicionan al comportamiento del sonido. En el primer caso se puede observar que debido a la longitud del espacio y en donde se encuentra ubicado el emisor, el sonido debe recorrer distancias largas para llegar a los receptores del espacio, teniendo en cuenta que las primeras reflexiones son hacia las superficies más cercanas al emisor.

También se puede constatar que tiene 4 de 6 superficies altamente porosas, lo que quiere decir que absorben bien el sonido, sin embargo, la superficie del piso, al ser lisa y ser la más cercana al emisor no absorbe adecuadamente el sonido para evitar un tiempo de reverberación magnificado como se evidencia actualmente.

El mobiliario es sin duda un factor importante a tomar en cuenta para la acústica de espacios interiores, pues en esta experimentación se ha demostrado que aporta en la absorción del espacio para mejorar el tiempo de reverberación del mismo. Sin duda alguna en esta experimentación y dada la naturaleza del espacio, el mobiliario fue beneficioso para la acústica del espacio.

## 04. CONCEPTUALIZACIÓN

### INTRODUCCIÓN

Una vez realizada la experimentación en los diferentes espacios interiores, de distintas características matéricas, morfológicas y dimensionales dentro de la Universidad del Azuay, se proponen alternativas de aplicación de los materiales estudiados para el acondicionamiento acústico de espacios interiores, mediante la generación de un sistema de cálculo para determinar la disminución del tiempo de reverberación dentro de un espacio, así como el proceso de identificación de la superficie material que no aporta acústicamente en él.

Esta propuesta se basa en plantear estrategias sistemáticas para el uso de materiales que contrarrestarían un problema acústico, a manera de aplicación como revestimientos dentro de un espacio.

## 4.1. IDENTIFICACIÓN DE EFICACIA DE MATERIALES ESTUDIADOS SEGÚN SU COEFICIENTE DE ABSORCIÓN POR M2

Durante la experimentación del comportamiento del sonido en relación a los materiales dispuestos en cada espacio, se determinó que a mayor área de espacio que cubra el material de mayor coeficiente de absorción, mejor será el resultado del tiempo de reverberación dentro del mismo (es decir menor tiempo de reverberación en el espacio).

Para contrarrestar un problema acústico interior espacial es necesario determinar que superficie es la que menor absorción aporta, y de igual manera que valor de reverberación es al que se considera adecuado para el mismo.

Es necesario saber la absorción por frecuencia que tiene un m2 de un material (según sus características físicas antes estudiadas) para determinar cuál de ellos es el adecuado para la aplicación del mismo dentro de un espacio, teniendo en cuenta el área de disponibilidad de intervención.

El coeficiente de absorción es un valor estandarizado (en la mayoría de los casos), ya que, en varios artículos científicos, donde se estudia el comportamiento del material en relación al sonido, los valores coinciden. Para la aplicación del mismo, se utilizó la base de datos de coeficientes de absorción sonora de diferentes materiales realizada en el 2013, en el Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA) en Buenos Aires, Argentina.

En esta ocasión, se les dará nombre a los materiales usados para determinar su coeficiente de absorción por m2.

Es necesario determinar un volumen (m3) del metraje que se va a establecer, ya que es necesario para el cálculo del tiempo de reverberación del espacio que se quiere determinar; es por eso que se ha colocado como constante el valor de 2,40 m3 como el valor del volumen para el cálculo, determinando que la altura promedio de un espacio tiene 2.4 m, así el volumen del espacio es:  $V = a*b*h$

Donde:

- a= largo (1m)
- b= ancho (1m)
- h= altura (2.4m)

Material	Coefficiente de Absorción (CA)	Superficie a (m2)	Altura (m)	Área a m2	Incidencia de absorción (a*CA)	Volumen (m3)	Tiempo de Reverberación (s)
España azul gris 4cm de grosor Densidad 18	0,85	1	2,4	1	0,85	2,4	0,4546
Tela Filtro densidad 0,06kg/m3	0,15	1	2,4	1	0,15	2,4	2,5760
Gypsum Densidad 3kg/m2	0,05	1	2,4	1	0,05	2,4	7,7280
Melamina espesor 15mm	0,08	1	2,4	1	0,08	2,4	4,8300
Vidrio 6 mm	0,03	1	2,4	1	0,03	2,4	12,88
MDF 15 mm	0,15	1	2,4	1	0,15	2,4	2,576
Poliestireno Estrado espesor 4cm Densidad 12kg/m3	0,85	1	2,4	1	0,85	2,4	0,4546
Tela Polyester (95%)	0,17	1	2,4	1	0,17	2,4	2,2729

Tabla 15. Cálculo de tiempo de reverberación por m2 de cada material estudiado. Sofía Guzmán F. 2019

Indiscutiblemente hay dos materiales que dan resultados muy positivos, pues se considera que el coeficiente de absorción más cercano a 1 o de valor 1, es el material más eficiente.

El siguiente código QR redirige a un video explicativo sobre el funcionamiento y aplicación de la tabla.



## 4.1.2. ANÁLISIS DE MATERIALES SE- GÚN SU CLASIFICACIÓN

El emisor se encuentra ubicado en el extremo más largo del aula, por lo que el sonido, tiene un recorrido largo para llegar al receptor, puesto que las superficies involucradas en este espacio, en sus dos extremos, se encuentran ubicados distantes, el uno del otro.

### MATERIALES ABSORBENTES

Materiales Absorbentes	Coefficiente de Absorción	Superficie	Incidencia de absorción	Incidencia de absorción por 2.4 m <sup>3</sup> (s)
Esponja azul - gris 4cm de grosor Densidad 18 kg/m <sup>3</sup>	$\alpha$ (1000 Hz): 0.85	1 m <sup>2</sup>	0.85	0.4545
Tela fieltro Densidad 0.06kg/cm <sup>3</sup>	$\alpha$ (1000 Hz): 0.15	1 m <sup>2</sup>	0.15	2.576
Gypsum Densidad 3 kg/m <sup>2</sup>	$\alpha$ (1000 Hz): 0.05	1 m <sup>2</sup>	0.05	7.728

Tabla 16. Cálculo de incidencia de absorción por material y tiempo de reverberación. Sofía Guzmán F.

Incidencia de absorción por 2.4 m <sup>3</sup> (s)
0.4545
2.576
7.728

Este primer valor que se obtiene del cálculo de la fórmula de Sabine, quiere decir que el sonido emitido se mantiene 0.4545 segundos en 1 metro cúbico, donde las superficies que rodean este espacio es de esponja azul gris.

En este caso, este resultado de 2.576 segundos, no es bueno, pues quiere decir que el sonido emitido en el espacio de mismas dimensiones que el anterior se mantiene durante más tiempo en él, lo que quiere decir que tiene eco.

Este tercer resultado es aún menos beneficioso para la acústica del espacio, pues el eco es aún mayor.

### CONCLUSIÓN SOBRE LOS MATERIALES ABSORBENTES

Los materiales analizados tienen buena absorción en cuanto al volumen del espacio, incluso en el caso menos alentador, como lo es el del gypsum (según su densidad), se tiene algunas alternativas para mejorar el problema del espacio, y es el de aumentar la cantidad de material por m<sup>2</sup> manteniendo el mismo volumen del análisis inicial, pues las superficies que lo rodean son 6, por ende se puede intervenir en 6m<sup>2</sup> del espacio de ser necesario.

## MATERIALES REFLEJANTES

Materiales Reflejantes	Coefficiente de Absorción	Superficie	Incidencia de absorción	Incidencia de absorción por 2.4 m <sup>3</sup> (s)
Melamina espesos 15mm	$\alpha$ (1000 Hz): 0.08	1 m <sup>2</sup>	0.08	4.83
Vidrio 6 mm	$\alpha$ (1000 Hz): 0.03	1 m <sup>2</sup>	0.03	12.88
MDF 15mm	$\alpha$ (1000 Hz): 0.15	1 m <sup>2</sup>	0.15	2.576

Tabla 17. Cálculo de incidencia de absorción por material y tiempo de reverberación. Sofía Guzmán F.

Incidencia de absorción por 2.4 m <sup>3</sup> (s)
4.83
12.88
2.576

En este caso, el valor de absorción de la melamina, es mejor de lo esperado, para ser un material reflejante, los cuales se caracterizan por no ser buenos absorbentes, sino más bien se caracterizan por potenciar el sonido, en cualquier caso, que sea necesario.

El resultado del vidrio es el esperado, ya que, de todos los materiales, es el que reúne la mayor cantidad de características que lo hacen reflejante, la más importante, la brillantez del mismo.

El MDF, es un material que posee distintas características físicas; lo que lo hace entrar en la categoría de los materiales reflejantes y al mismo tiempo de los materiales aislantes. Lo que determina en que categorización pertenece, es su manera de empleo dentro del espacio. Para el propósito de este análisis, se simulará como si fuera un revestimiento sin mayor tratamiento y pegado a las paredes (sin espacio de por medio).

## CONCLUSIÓN SOBRE LOS MATERIALES REFLEJANTES

Las necesidades de un espacio según su uso son siempre distintas, no siempre se requiere que todos los espacios tengan las mismas características, en el caso de los materiales reflejantes podemos determinar, que, de ser el caso de tener un tiempo de reverberación excesivo para el espacio, la primera superficie en ser intervenida debería ser la reflejante, comúnmente las ventanas. En el caso de muchos espacios, las ventanas son la fuente de luz o ventilación natural, por lo que no sería correcto intervenir en esta superficie.

## MATERIALES AISLANTES

Materiales Aislantes	Coefficiente de Absorción	Superficie	Incidencia de absorción	Incidencia de absorción por 2.4 m <sup>3</sup> (s)
Poliestireno Estirado Espesor 4 cm Densidad 12kg/m <sup>3</sup>	$\alpha$ (1000 Hz): 0.85	1 m <sup>2</sup>	0.85	0.4545
Tela poliéster	$\alpha$ (1000 Hz): 0.17	1 m <sup>2</sup>	0.15	2.576
MDF 15mm	$\alpha$ (1000 Hz): 0.15	1 m <sup>2</sup>	0.05	2.576

Tabla 18. Cálculo de incidencia de absorción por material y tiempo de reverberación. Sofía Guzmán F.

Incidencia de absorción por 2.4 m <sup>3</sup> (s)
0.4545
2.576
2.576

Normalmente el poliestireno estirado es usado como aislante del sonido, y según sus valores podemos constatar que es un buen absorbente también, el manejo del material es muy práctico, puesto que no es pesado, y de igual manera su instalación sería más sencilla.

El poliéster es considerado un buen aislante del material, cuando forma parte de un módulo con otros materiales para configurar un panel acústico, sin embargo, por sí solo no representa una gran mejora para el espacio.

Como se había mencionado antes, el MDF pertenece a dos categorizaciones dependiendo de su modo de empleo, en este caso para que sea parte de los materiales aislantes, debe estar instalado con una cámara de aire, correctamente sellado, de esta manera, así el sonido sobrepase el material, se quedará atrapado en esta cámara de aire y poco a poco se ira desvaneciendo.

### CONCLUSIÓN SOBRE LOS MATERIALES AISLANTES

Estos materiales generalmente se usan con otro fin, como lo dice el nombre, para el aislamiento acústico, sin embargo, algunos de los valores que podemos apreciar, serían convenientes usar dentro de un espacio interior para el acondicionamiento acústico.

## 4.2. IDENTIFICACIÓN DE ESTADO ACTUAL DEL ESPACIO

Para la ejemplificación del proceso, se usarán las aulas, en las cuales previamente se realizaron las experimentaciones de algunos materiales, así como de las condiciones actuales, para saber cómo es el comportamiento del sonido en relación a algunos materiales.

En una primera instancia se identifica las dimensiones del espacio, así como los materiales que lo constituyen y se calcula el área de cada material presente en el espacio, y se establece los valores de coeficiente de absorción de cada uno de ellos, en base a la bibliografía establecida previamente.

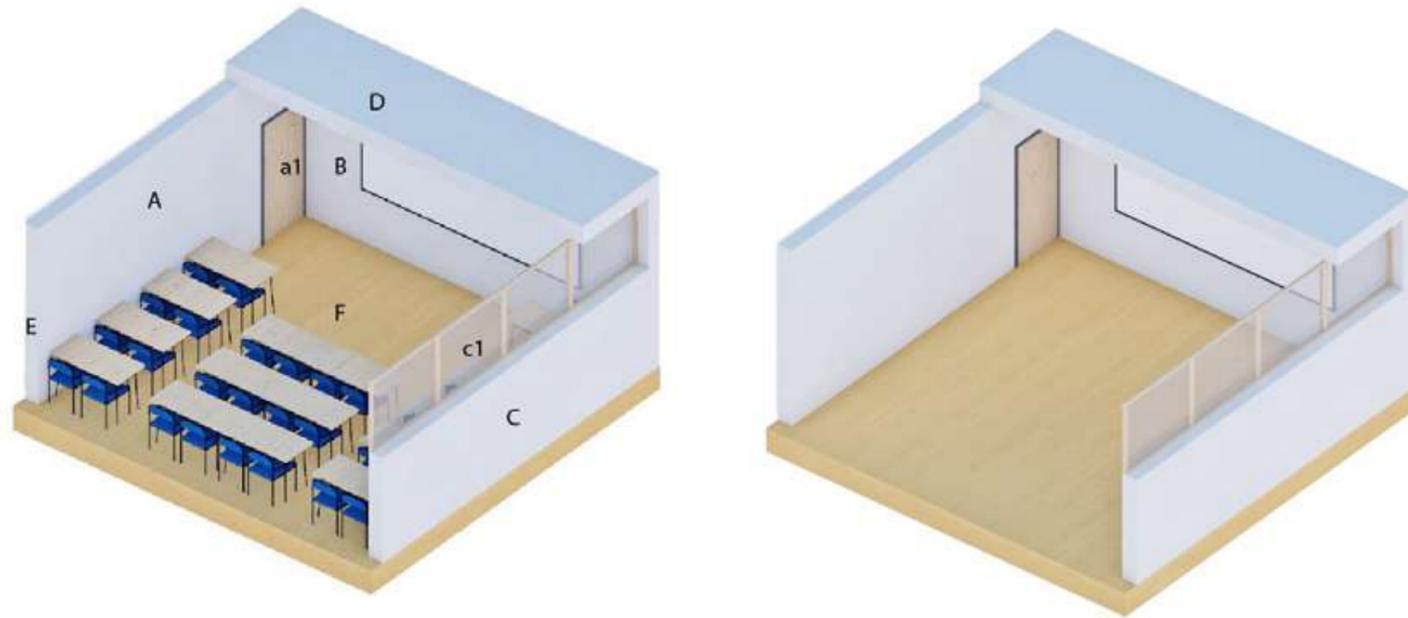
Normalmente se estudia el tiempo de reverberación de un establecimiento, es decir sin mobiliario, sin embargo, en esta ocasión se pone al mobiliario como constante, pues al ser un aula de clases su cantidad no variará y éstas se mantendrán dentro del espacio.

Para saber si el tiempo de reverberación es adecuado o no, en el espacio, se utilizan los datos de la tabla de "Tiempo de reverberación óptimo" del Manual de Arquitectura sintetizados en una tabla a continuación.

Tabla de Tiempo Reverberación óptimo	
Volumen m <sup>3</sup>	Rt (s)
100	0,25
125	0,6
150	0,63
200	0,68
250	0,7
300	0,72

Tabla 28. Tabla de tiempo de reverberación óptimo. Manual de Arquitectura, 2019

## 4.2.1. CASO 1: AULA B3101



La tabla de tiempo de reverberación óptimo da un tiempo de reverberación adecuado de acuerdo al volumen del espacio. El margen de exactitud con el que se maneja es de una variación de 0.02 segundos.

En este caso, según al volumen que tenemos del espacio el valor del tiempo de reverberación debería ser de 0,25 segundos, sin embargo, el valor inicial es de 0.7359 segundos.

Lo primero que se debe considerar son las superficies en las que se puede intervenir, y que a su vez sean las de mayor área de superficie en el espacio; y las superficies que no tienen un segundo uso, como una ventana que bien puede servir como una fuente de iluminación y de ventilación, estas no se podrán intervenir para la adecuación.

En la imagen se ven las superficies que se intervienen y con qué material, volviendo a hacer el cálculo de tiempo de reverberación para constatar su efectividad.

Si bien no se ha llegado al tiempo de reverberación ideal, se ha bajado el mismo de manera considerable, interviniendo 4 áreas, 2 de ellas siendo de superficies considerables dentro del espacio.

Tabla de Superficies por m2 Aula B3101						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Reflejante	0,02	0,3114	0,7359
	B	17,2557	Reflejante	0,02	0,3451	
	C	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	D	9,03	Reflejante	0,02	0,1806	
	E	34,04	Reflejante	0,02	0,6808	
	F	17,3448	Reflejante	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Reflejante	0,03	0,2483	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	sumatoria	22,12315				

Tabla 19. Tabla de cálculos con la fórmula de Sabine, situación actual aula B3101

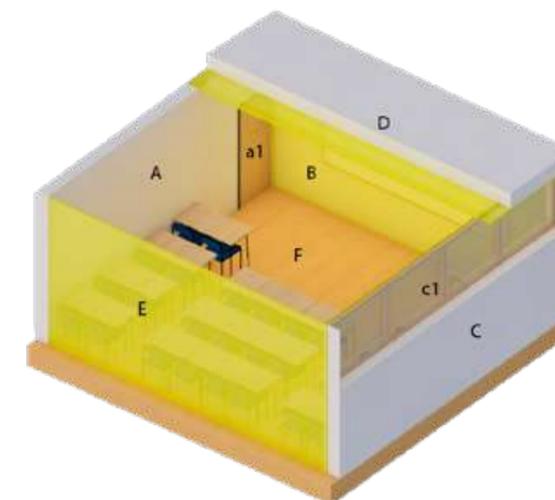
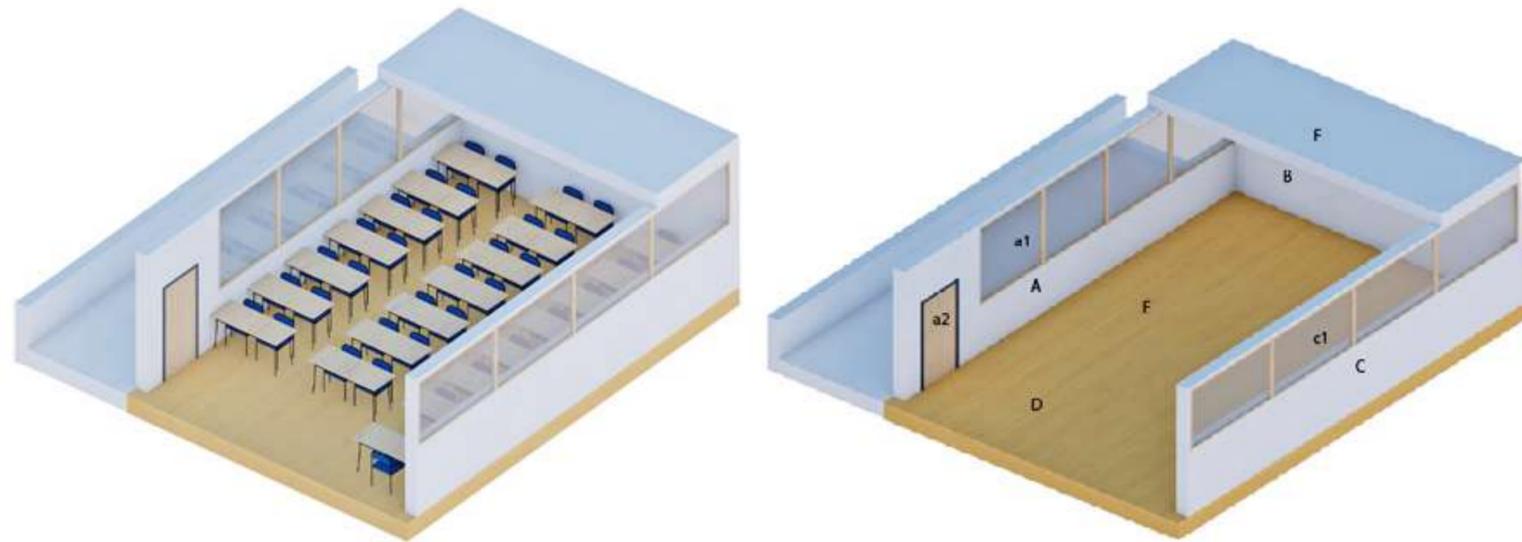


Figura 18. Aula B3101 áreas de posible intervención para corregir el problema acústico. Sofía Guzmán F. 2019

Tabla de superficies por m2 Aula B3101						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha \cdot m^2)$	Tiempo de
101,12	A	15,57	Enlucido	0,02	0,3114	0,2703
	B	17,2557	Enlucido	0,02	0,3451	
	C	34,04	Piñacos de yeso	0,06	2,0424	
	D	9,03	Poliestireno	0,85	7,6755	
	E	34,04	Poliestireno	0,85	28,934	
	F	17,3448	Enlucido	0,02	0,3469	
	a1	1,74	Melamina	0,08	0,1392	
	d1	8,278	Tela Filtro	0,15	1,2417	
	G	29	Sillas	0,61	17,6900	
	H	15	Mesas	0,1	1,5000	
	sumatoria	60,22621				

Tabla 21. Tabla de tiempo de reverberación óptimo. Sofía Guzmán. 2019

## 4.2.2. CASO 2: AULA B3103



Según la tabla de tiempo de reverberación óptimo, el mismo de este espacio debería ser entre 0.63 y 0.64 segundos, el actual es de 0.8022 segundos, podemos apreciar en la tabla de análisis que el material de las paredes (enlucido pintado) tiene un valor de coeficiente de absorción bastante mínimo, por lo que es en ellas en las que se tiene que intervenir.

Parte de la estrategia es instalar esponja azul gris, que es el material de los cuales se analizó, que mayor efectividad posee, en una de las superficies del espacio, según sea la necesidad.

A través de la tabla, se puede reemplazar los valores de coeficiente de absorción de cada material, en las áreas que se quiera instalar, de esa manera se sabe que efectividad tiene en el espacio.

Como ejemplo en esta aula, fue únicamente necesario cambiar el material de la superficie B, la cual es una de las paredes con mayor área de superficie, puesto que no posee ventanas ni puertas que condicionan el resto de las instalaciones al momento de intervenir en ella.

En este caso intervenir en una superficie que no es la más extensa del espacio, es suficiente para llegar al tiempo de reverberación requerido, teniendo como referencia al material con el que se decidió intervenir.

Tabla de superficies por m <sup>2</sup> Aula B103						
Volumen	Superficies	m <sup>2</sup>	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(\alpha * m^2)$	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Reflejante	0,02	0,2084	0,8022
	B	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	C	13,674	Reflejante	0,02	0,2735	
	D	17,4032	Reflejante	0,02	0,3481	
	E	51,684	Reflejante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Reflejante	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Reflejante	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Reflejante	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Reflejante	0,03	0,3586	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
	sumatoria			31,2716		

Tabla 22. Tabla de cálculos con la fórmula de Sabine, situación actual aula B3103

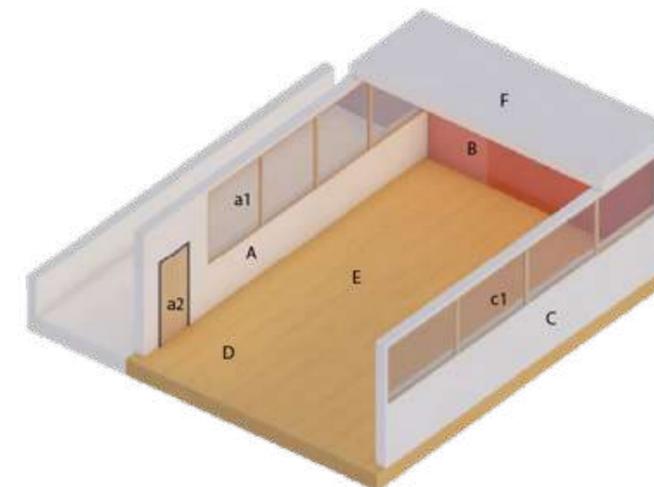


Figura 18. Aula B3101 áreas de posible intervención para corregir el problema acústico. Sofía Guzmán F. 2019

Tabla de superficies por m <sup>2</sup> Aula B103						
Volumen	Superficies	m <sup>2</sup>	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha$ (1000 Hz) * m <sup>2</sup>	Tiempo de
154,018	A	10,4175	Enlucido	0,02	0,20835	0,5487
	B	17,4032	Esponja	0,85	14,79272	
	C	13,674	Enlucido	0,02	0,27348	
	D	17,4032	Esponja	0,02	0,348064	
	E	51,684	Piso Flotante	0,02	1,03368	
	F	51,684	Enlucido	0,02	1,0337	
	a1	13,95	Vidrio 6 mm	0,03	0,4185	
	a2	1,74	Madera melaminica	0,08	0,1392	
	c1	11,954	Vidrio 6 mm	0,03	0,3586	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
	H	21	mesas	0,1	2,1000	
	sumatoria			45,716294		

Tabla 23. Tabla de tiempo de reverberación óptimo. Sofía Guzmán. 2019

### 4.2.3. CASO 3: AULA B5103

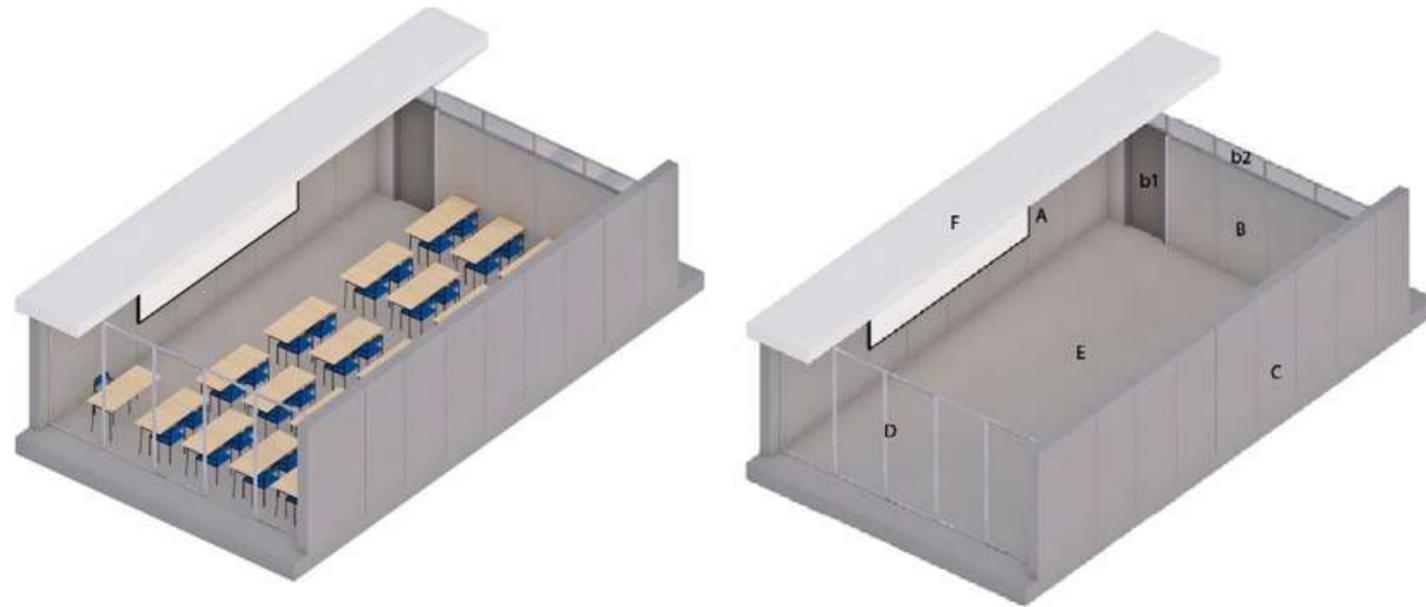


Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(1000 \text{ Hz}) * r$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	0,7962
	B	13,3413	Absorbente	0,09	1,2007	
	C	28,85	Absorbente	0,09	2,5965	
	D	19,3815	Reflejante	0,02	0,3876	
	E	61,3206	Reflejante	0,02	1,2264	
	F	61,3206	Absorbente	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Absorbente	0,03	0,0606	
	b2	3,135	Absorbente	0,08	0,2508	
	G	41	sillas	0,61	25,0100	
H	21	mesas	0,1	2,1000		
	sumatoria				36,6556	

Tabla 24. Tabla de cálculos con la fórmula de Sabine, situación actual aula B5103. Sofía Guzmán F, 2019

Esta aula pertenece a una de las edificaciones construidas más recientemente dentro de la universidad, el bloque B5. Las paredes están recubiertas por fibrocemento, el piso es de hormigón pulido y pintado y su cielo raso es de placas de yeso que están instaladas con perfiles metálicos. Cabe recalcar que una de las paredes, que es uno de los extremos más cortos, es de vidrio en su totalidad, piso-techo, pues cumple la función no solo de iluminación, sino de ventilación también, puesto que una parte de ella se abre a un balcón.

El análisis inicial determina que es el aula de mayor volumen que se ha estudiado, sus superficies matéricas, y en especial la de las paredes no son características de una construcción tradicional.

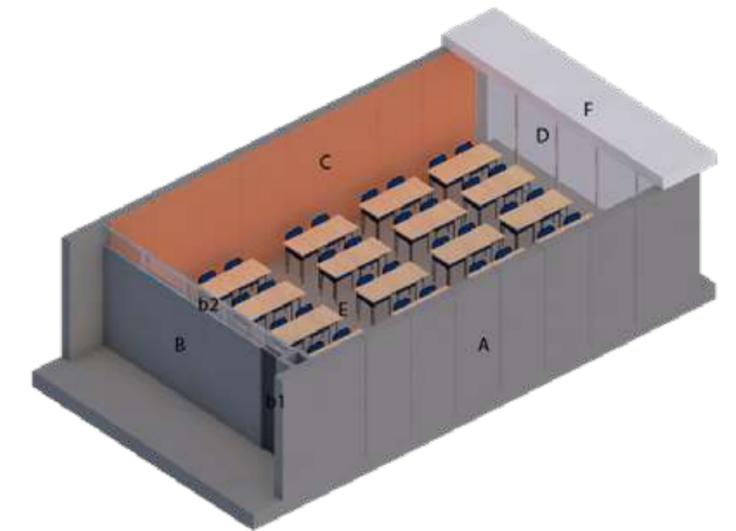
Según la tabla de Tiempo de Reverberación óptimo, por el volumen de esta aula, su tiempo de reverberación debería ser entre 0.65 y 0.66 segundos. Sin embargo, este oscila entre los 0.7962 segundos. De la tabla de análisis inicial se puede establecer que la superficie que mayor problema representa es el hormigón pulido y el vidrio, ambos considerados reflectantes.

En este caso para la intervención se escogió la superficie que tiene mayor extensión, la superficie denominada "C", pues esta no se ve comprometida de ninguna manera, ni compromete la función de otras superficies en el espacio.

Como se puede apreciar en la tabla, el tiempo de reverberación es mucho menor a lo que se cree necesario para que sea óptimo, al intervenir con esponja gris azul, lo ideal es cambiar de material que tenga un coeficiente de absorción menor al de la esponja gris azul, pero no mucho menor a ella, de esta manera se puede jugar con la tabla, que calcula los valores sistemáticamente.

Tabla de superficies por m2 Aula B5103							
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(1000 \text{ Hz}) * r$	Tiempo de	
181,2657	A	28,85	Fibrocemento	0,09	2,5965	0,4982	
	B	13,3413	Fibrocemento	0,09	1,2007		
	C	28,85	Esponja	0,85	24,5225		
	D	19,3815	Vidrio	0,02	0,38763		
	E	61,3206	Hormigón	0,02	1,226412		
	F	61,3206	Yeso	0,02	1,2264		
	b1	2,0205	Vidrio 6 mm	0,03	0,060615		
	b2	3,135	Madera	0,08	0,2508		
	G	41	Sillas	0,61	25,0100		
	H	21	Mesas	0,1	2,1000		
		sumatoria					58,581586

Tabla 25. Tabla de cálculos con fórmula de Sabine de tiempo de reverberación con posible intervención del espacio aula B5103. Sofía Guzmán F, 2019

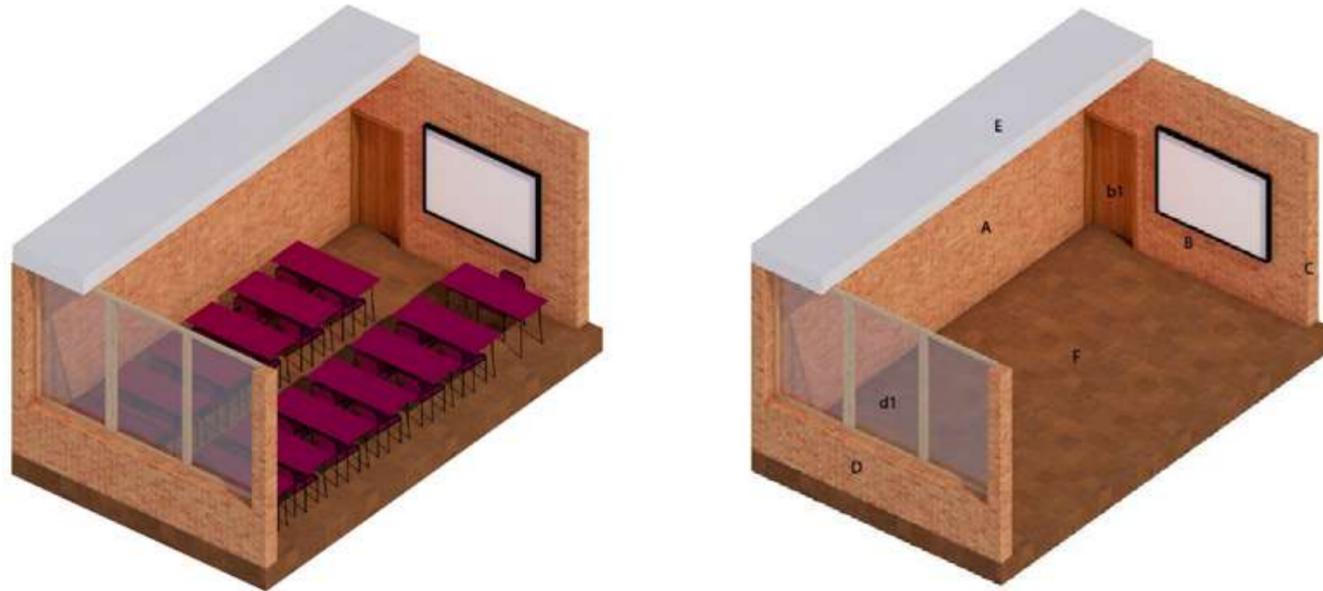


La siguiente tabla es una segunda opción, al intervenir en la superficie del extremo más pequeño del aula, se puede constatar que el tiempo de reverberación ha disminuido considerablemente, y se encuentra ahora en un equilibrio en relación con el volumen

Tabla de superficies por m2 Aula B5103						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$(1000 \text{ Hz}) * r$	Tiempo de
181,2657	A	28,85	Fibrocemento	0,09	2,5965	0,6014
	B	13,3413	Esponja	0,85	11,3401	
	C	28,85	Fibrocemento	0,15	4,3275	
	D	19,3815	Vidrio	0,02	0,38763	
	E	61,3206	Hormigón	0,02	1,226412	
	F	61,3206	Yeso	0,02	1,2264	
	b1	2,0205	Vidrio 6 mm	0,03	0,060615	
	b2	3,135	Madera	0,08	0,2508	
	G	41	Sillas	0,61	25,0100	
	H	21	Mesas	0,1	2,1000	
		sumatoria				

Tabla 26. Tabla de cálculos con fórmula de Sabine de tiempo de reverberación con posible intervención del espacio aula B5103 opción 2. Sofía Guzmán F, 2019

## 4.2.2. CASO 4: AULA A5307



Teniendo en cuenta el tamaño del aula, que es considerablemente pequeña, tiene un tiempo de reverberación muy elevado, puesto que, según la tabla del Tiempo de Reverberación Óptimo, el tiempo de reverberación en esta aula debería ser de 0.25 a 0.27 segundos.

En el análisis inicial se obtiene un tiempo de reverberación de 0.82 que es incluso mayor al tiempo del aula B5103, que tiene un volumen de 181.27 m<sup>3</sup>. En esta ocasión se ha optado por intervenir en las superficies A, C y D

Teniendo en cuenta el tamaño del aula, que es considerablemente pequeña, tiene un tiempo de reverberación muy elevado, puesto que, según la tabla del Tiempo de Reverberación Óptimo, el tiempo de reverberación en esta aula debería ser de 0.25 a 0.27 segundos.

En el análisis inicial se obtiene un tiempo de reverberación de 0.82 que es incluso mayor al tiempo del aula B5103, que tiene un volumen de 181.27 m<sup>3</sup>. En esta ocasión se ha optado por intervenir en las superficies A, C y D

En este caso se optó por utilizar esponja para la adecuación acústica, dado que las superficies son considerablemente pequeñas (en relación al volumen), así se puede optimizar el espacio que se tiene disponible para llegar al tiempo de reverberación óptimo al cual se requiere llegar.

Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$\alpha * m^2$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Aislante	0,02	0,52	0,82
	B	11,53	Aislante	0,02	0,23	
	C	25,94	Aislante	0,02	0,52	
	D	3,72	Aislante	0,02	0,07	
	E	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	F	61,32	Reflectante	0,02	1,23	
	d1	2,38	Reflectante	0,03	0,07	
	b1	1,8	Absorbente	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
H	13	mesas	0,1	1,30		
	sumatoria				20,56	

Tabla 27. Tabla de cálculos con fórmula de Sabine de tiempo de reverberación aula A5307. Sofía Guzmán F. 2019

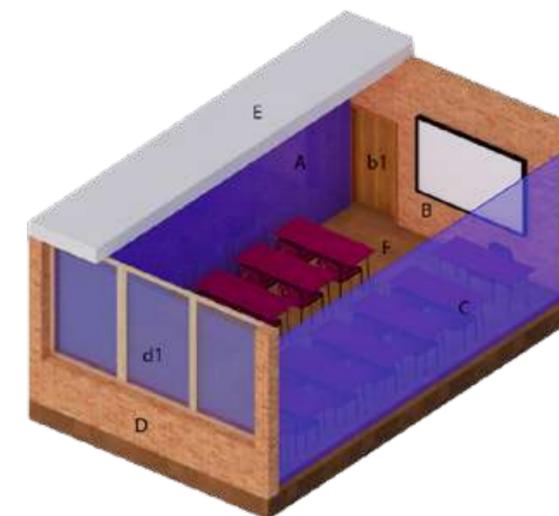


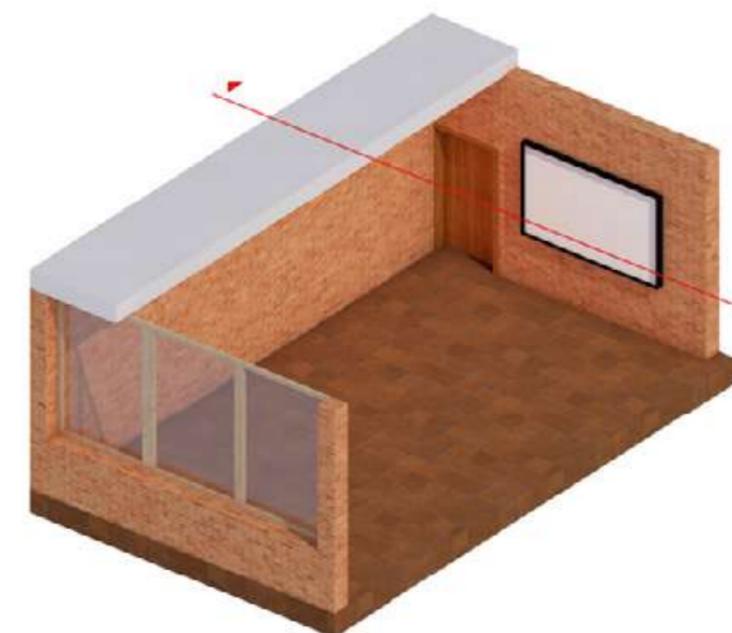
Tabla de superficies por m2 Aula A5307						
Volumen	Superficies	m2	Material	$\alpha$ (1000 Hz)	$1000 \text{ Hz} * r$	Tiempo de
104,79	A	25,94	Espuma Acústica	0,85	22,05	0,25
	B	11,53	Ladrillo visto	0,02	0,23	
	C	25,94	Espuma Acústica	0,85	22,05	
	D	3,72	Espuma Acústica	0,85	3,16	
	E	61,32	Enlucido	0,02	1,23	
	F	61,32	Ladrillo Pintado	0,02	1,23	
	d1	2,38	Vidrio 6 mm	0,03	0,07	
	b1	1,8	Madera	0,08	0,14	
	G	25	sillas	0,61	15,25	
	H	13	mesas	0,1	1,30	
	sumatoria				66,71	

Tabla 28. Tabla de cálculos con fórmula de Sabine de tiempo de reverberación con posible intervención del espacio aula A5307. Sofía Guzmán F. 2019.

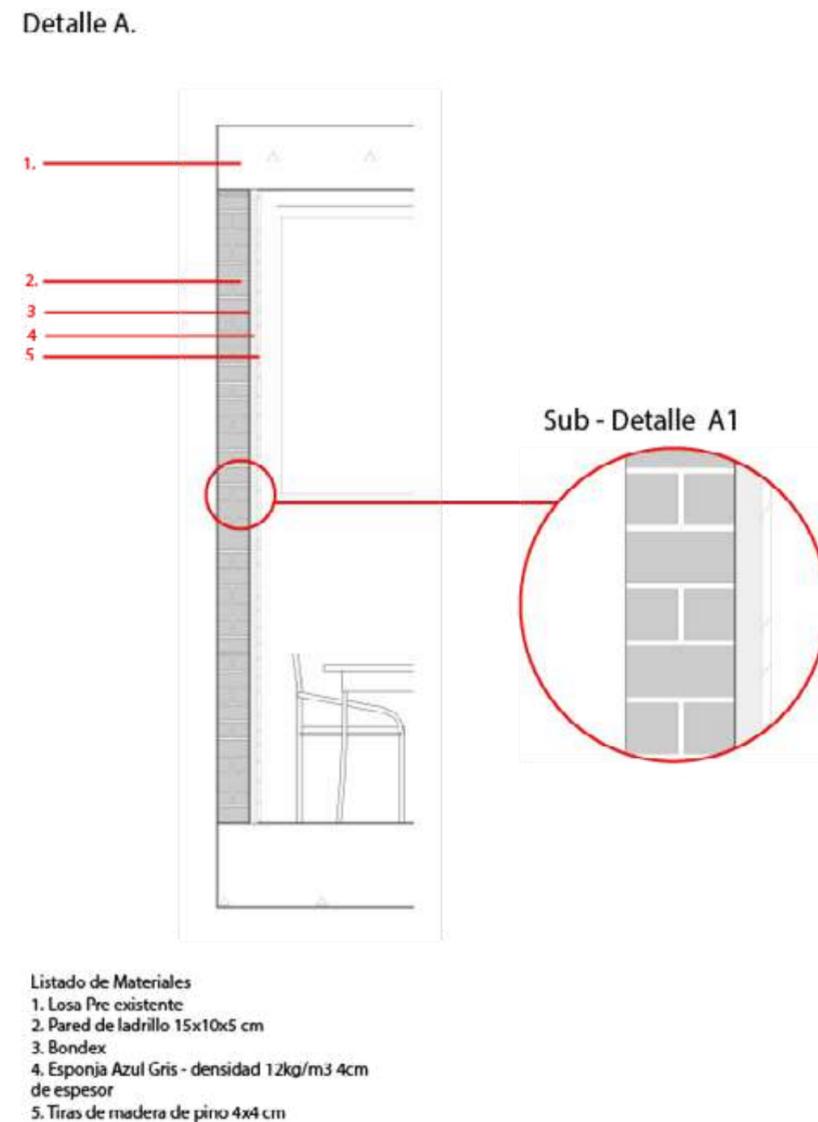
## 4.3. PROPUESTA DE ADECUACIÓN ACÚSTICA DE UN ESPACIO

### 4.3.1. ADECUACIÓN ACÚSTICA CON ESPONJA

Aula A5307



### 4.3.2. DETALLE CONSTRUCTIVO



### 4.3.3. PRESUPUESTO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL PROPONENTE:	Sofía Guzmán F.		HOJA	1 1	
PROYECTO:	Aula A5307 Acondicionamiento Acústico		CÓDIGO:	01.02	
RUBRO:	Revestimiento de Esponja		UNIDAD:	m2	
DETALLE:					
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor 5 % M/O					0,3300
SUBTOTAL M =					0,3300
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	JORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peon	1,000	\$3,6200	3,6200	0,8500	3,0770
Albañil	1,000	\$4,0900	4,0900	0,8500	3,4765
SUBTOTAL N =					6,5535
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Esponja Azul Gris 12 kg/m3 (2,44 x 1,22)	u	15,000	\$18,0000	270,0000	
Bondex	Kg	0,750	\$7,8000	5,8500	
Tornillos	Lb	1,000	\$12,0000	12,0000	
Tiras de madera de Eucalipto 4x4cm	u	20,770	\$4,0300	83,7031	
SUBTOTAL O =					371,5531
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =					0,0000
<b>TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)</b>					<b>378,4366</b>
INDIRECTOS Y UTILIDAD 20,00%					75,6873
OTROS INDIRECTOS .....					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					454,1239
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 454,12</b>

0

## 4.4. CONCLUSIONES

Es posible acondicionar las aulas de la Universidad cumpliendo los estándares establecidos por las normas internacionales abordadas en los primeros capítulos.

En esta ocasión se optó por acondicionar el aula que mayor problema presentaba en cuanto acústica, ya que eso implicaría un reto mayor, debido a su reducido tamaño.

Se cumplió con satisfacción el establecimiento de parámetros para proponer una estrategia al momento de abordar un problema acústico de cualquier espacio interior.

# REFERENCIA DE FIGURAS

## • IMÁGENES

- Imagen 1. Proceso de audición. [sites.google.com/site/lasondasyelsonido](https://sites.google.com/site/lasondasyelsonido) (Imagen digital en línea)
- Imagen 2. Evolución de la presión sonora total Pt en función del tiempo en un punto cualquiera del espacio. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 3. Parámetros característicos de una onda. Rodrigo Avilés, Rocío Perera Martín, 2017. Manual de acústica ambiental y arquitectónica
- Imagen 4. Ejemplos de oscilaciones de frecuencias 1 y 10 Hz. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos
- Imagen 5. Rango de frecuencias. Santiago Valero Granados, 2011. Acústica aplicada al interiorismo.
- Imagen 6. Rango aproximado de frecuencias (arriba) y longitudes de onda (abajo) de la audición humana. Rodrigo Avilés López, Rocío Perera Martín, 2017. Manual de acústica ambiental y arquitectónica
- Imagen 7. Tono puro y su espectro frecuencial. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 8. Sonido periódico complejo y su espectro frecuencial, primer armónico (f0) y su tercer armónico (3f0). Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 9. Pulso rectangular y su espectro frecuencial. Sonido transitorio. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 10. Niveles medios de presión sonora SPL, a 1 m de distancia, producidos por una persona hablando con diferentes intensidades de voz. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 11. Tracto vocal y representación esquemática del mismo. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 12. Contribución frecuencial al nivel de la voz y a la inteligibilidad de la palabra. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 13. Directividad de la voz humana en las bandas de octava comprendidas entre 500 Hz y 4 kHz (según Moreno y Pfretschner). Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 14. Tiempo de reverberación. Montserrat Figueras García, 2017. Estudio de acondicionamiento acústico de las aulas especiales.
- Imagen 15. Clasificación de niveles de espacios según Noise Rating (NR). [Engineeringtoolbox.com](https://www.engineeringtoolbox.com). Año desconocido
- Imagen 16. Noise Rating Curves clasificación según su frecuencia en una banda de octava. [Engineeringtoolbox.com](https://www.engineeringtoolbox.com). Año desconocido.
- Imagen 17. Diagrama NR. [Engineeringtoolbox.com](https://www.engineeringtoolbox.com). Año desconocido
- Imagen 18. Gráfico de tiempo de reverberación óptimo en base del volumen y tiempo de reverberación del espacio. Manual de Arquitectura. Arq. Estellés Díaz. 2009
- Imagen 19. Gráfica para la determinación del producto 4m (m es la constante de atenuación del sonido en el aire). Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 20. Proceso de disipación de energía en el interior de un material poroso situado delante de una pared rígida. Antoni Carrión, 1998. Diseño Acústico de espacios arquitectónicos.
- Imagen 21. Material absorbente a base de lana de vidrio (paneles PI-256 de Isover) [isover.cristaleriaespaña.com](https://www.isover.com). Año desconocido
- Imagen 22. Material absorbente a base de lana mineral (paneles BX Sprintex). [roclaine.cristaleriaespaña.com](https://www.roclaine.com). Año desconocido
- Imagen 23. Material Absorbente a base de espuma de resina de melamina (Ilsonic Pirámide de Illbruck) [Macco.cristaleriaespañola.com](https://www.macco.com). Año desconocido.
- Imagen 24. Material absorbente a base de espuma de poliuretano (Ilsonic Sonex) [Illbruck.cristaleriaespañola.com](https://www.illbruck.com). Año desconocido
- Imagen 25. Gráfico de comportamiento de la energía sonora con relación al material. [Ingacusticafacil.com](https://www.ingacusticafacil.com). Año desconocido
- Imagen 26. Ejemplo de tratamiento de un techo a base de baffles rectangulares absorbentes de lana mineral comprimida. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

- Imagen 27. Tratamiento acústico a base de cilindros absorbentes de lana mineral. Sonover de Wanner y Vinyas, S.A. Año desconocido
- Imagen 28. Comportamiento del espesor del material en relación a la frecuencia. [Ingenieriaacusticafacil.com](https://www.ingenieriaacusticafacil.com). Año desconocido
- Imagen 29. Micrófono para medir campo directo. [Ingenieriaacusticafacil.com](https://www.ingenieriaacusticafacil.com). Año desconocido
- Imagen 30. Manual de Arquitectura. Arq Estellés Díaz. 2009

## • TABLAS

- Tabla 1. Velocidad del sonido en distintos medios. Rodrigo Avilés López, Rocío Perera Martín, 2017. Manual de acústica ambiental y arquitectónica.
- Tabla 2. Velocidad del sonido en el aire, con una humedad relativa del 50%. Rodrigo Avilés López, Rocío Perera Martín, 2017. Manual de acústica ambiental y arquitectónica
- Tabla 3. Tabla de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva asociada. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Tabla 4. Características más relevantes del mensaje oral. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Tabla 5. Desarrollo de tabla de necesidades para cap 2. Sofía Guzmán. 2019
- Tabla 6. Coeficientes de absorción  $\alpha_{SAB}$  de materiales habitualmente utilizados en la construcción de recintos. Antoni Carrión, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- Tabla 7. Tabla de superficies con coeficientes de absorción para cálculo de tiempo de reverberación. Sofía Guzmán F. 2019

## • ILUSTRACIONES

- Ilustración 1. Representación gráfica del recorrido del sonido directo, reflexiones primarias y reflexiones tardías. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 2. Cuadro representativo de recorrido del sonido con sus partes. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 3. Ejemplificación de recorrido del sonido cuando existen las primeras reflexiones. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 4. Ejemplificación de recorrido del sonido cuando existen las primeras reflexiones y como consecuencia las refracciones. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 5. Ejemplificación de recorrido del sonido cuando hay absorción por parte de los materiales acústicos, cuando la energía choca con una superficie, no es la misma que cuando es apenas emitida. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 6. Ejemplificación de recorrido del sonido cuando hay obstáculo, la energía sonora se fuga por esa abertura u obstáculo con una superficie, Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 7. Ejemplificación del fenómeno acústico reverberación "tiempo que se mantiene el sonido en el espacio una vez emitido". Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 8. Clasificación de los materiales acústicos. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Antoni Carrión. 1998
- Ilustración 9. . Mapa mental de estrategias teóricas. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 10. Clasificación de materiales acústicos. Manual de acústica ambiental y arquitectónica. 2017
- Ilustración 11. Mapa mental de estrategias operativas. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 12. Mapa mental de criterios funcionales. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 13. Mapa mental de criterios funcionales. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 14. Modelo Operativo de tesis de acondicionamiento acústico. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 15. Fenómeno de la reflexión y refracción dentro del aula B5103 de la Universidad del Azuay. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 16. Fenómeno de absorción dentro del aula B5103 de la Universidad del Azuay. Sofía Guzmán F. 2019
- Ilustración 17. Fenómeno de difracción dentro del aula B5103 de la Universidad del Azuay. Sofía Guzmán F. 2019

# BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, V. (2009). Evaluación del acondicionamiento acústico y recomendaciones de diseño para salas de clases en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Santiago de Chile : Universidad de Chile .
- Amura, S., Mastrozzi, J. A., Barani, C. M., & Mastrozzi, M. A. (2013). Estudio y pautas para el acondicionamiento acústico de aulas de edificios para la educación . Buenos Aires : Universidad Argentina John F. Kennedy. Gabinete de Investigación y Vinculación Tecnológica.
- Avilés López, R., & Perera Martín, R. (2017). Manual de acústica ambiental y arquitectónica. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.
- Carrión, A. (1998). Diseño Acústico de espacios Arquitectónicos . Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya .
- Córdova, J. L. (2014). Materiales de aislamiento acústico sostenible . Cuenca : Universidad de Cuenca .
- CursodeAcústica. (2009). Efectos y Normativa, Efectos fisiológicos del ruido. Vizcaya: Universidad del País Vasco.
- Domingo, R. B. (2010). Acústica Medioambiental. Alicante : Editorial Club Universitario .
- Figueras, M. (2009). Estudio del acondicionamiento acústico de las aulas especiales i y ii de la escuela universitaria de arquitectura técnica de la Universidad de Coruña . Corruña : Escuela Universitaria de Arquitectura técnica de la Universidad de Coruña .
- García Londoño, J. S., & Villamil Ramírez, A. (2015). Proyecto Sonoro. Bogotá : Universidad Minuto de Dios .
- Granados, S. V. (2011). Acústica aplicada al interiorismo. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid .
- Guazha Herrera, M. E., & Rodríguez Torres, M. G. (2019). Evaluación y propuesta de acondicionamiento acústico para la sala de orquesta del Colegio. Loja : Universidad Técnica Particular de Loja .
- Hernández Van Maess, M. (2012). Ingeniería Acústica Fácil. Ingeniería Acústica para profesionales, Ingenieríaacusticafacil.com.
- Kepleis, N. E. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS). California : Journal of Exposure Science & Environmental pollutants .
- Limón, M. D. (2016). Seguridad y Salud en el Trabajo. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.
- Nieva, A. B. (2005). Guía de construcción sostenible . Alcalá: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud .
- Nitsche, R. (2018). Vibraciones y Ondas El sonido y la Luz . Bolívar: Universidad de Oriente .
- Palacios, F. P. (1997). Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos . Andalucía : Universidad de Granada Campus Universitario de Cartuja .
- Pineda, J. E. (2012). Efecto del sonido en el ser humano. Buenos Aires : Universidad de Palermo .
- Ruiz, L. (2014). Representación Gráfica de la primera reflexión en espacios destinados a la palabra . Cataluña : Universidad Politécnica de Cataluña .
- SA, U. I. (2009). Guía de aislamiento. Madrid: URSA Insulation.
- Vega, M. V. (2005). Contaminación sónica en un centro educativo universitario . Costa Rica : Ministerio de Publicidad Costa Rica .
- Vendrell, J. S., Galiana, L., & Reyna, A. L. (2011). Acústica Arquitectónica y Urbanística . Valencia : Universitat Politècnica de Valencia .
- Zapata, T. G., & Velásquez, M. d. (2005). El ruido y el diseño de un ambiente acústico . Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos .

## STRATEGIES FOR INTERNAL ACOUSTIC CONDITIONING

### ABSTRACT

This graduation project studies the behavior of sound within an interior space, analyzing the qualities that determine its quality and its behavior in relation to different materials. This was considered an important factor to take into account for interior acoustic conditioning. As a result of the acoustic analysis of the spaces, a measurable and quantifiable characteristic called reverberation time was found, which analyzes the materials and quantities of surfaces involved in it for its calculation. An analysis of strategy was obtained identifying the acoustic failure and a calculation system for the implementation of materials for its correction.

**Keywords:** Sound behavior, material performance, perceptual analysis, intervention, acoustic correction, calculation system.

---

Sofia Guzmán Freire

Author

---

Arq. Carlos Contreras

Thesis Director



A handwritten signature in blue ink is located in the bottom right corner. Below the signature, the text "Translated by Ing. Paúl Arpi" is written in black.