



**Universidad  
Andrés Bello®**

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería en Construcción

**PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO  
ACÚSTICO DE LA SALA R8-SAL603 DE LA  
UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO**

Memoria

Para optar al título de ingeniero en construcción

Autor

Andrés Mauricio Ardila Parra

Profesor guía:

Héctor Enrique Hernández López

Santiago de Chile

2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Este camino que decidí tomar no estuvo libre de dificultades, las cuales me hicieron crecer como persona y como profesional.

Agradecer especialmente a mi familia, la cual me presto todo su apoyo en todo este camino, agradecerle de forma especial a mis padres Darío Ardila y Gladys Parra, los cuales se esforzaron día a día para que yo pudiera tener una educación y salir adelante, dándome todos sus valores, haciendo de mí una mejor persona.

Agradecer a mis hermanas Diana, Isabel, Jennifer, las cuales me apoyaron todo este tiempo, las que son un modelo a seguir para mí.

Agradecer a todas las personas que estuvieron y me apoyaron en la Universidad, en especial a Francesca, Jennifer, Joaquín, Nicolás, Omar, Valentina siendo parte esencial de mi vida, las cuales fueron en momentos muy difíciles un apoyo fundamental en este proceso.

Finalmente, pero no menos importante quiero agradecer al Profesor Héctor Hernández López, por aceptarme y por su capacidad para guiar mis ideas y darme el camino correcto por donde seguir, teniendo siempre palabras de ánimo que me hacían tener más ganas de salir adelante con la tesis.

*Dedicado a la persona más especial en mi vida, aunque ya no esté en la forma física, sé que estuviste conmigo en cada paso que di este último año, eres por la que me esfuerzo cada día, sin ti no sería la persona que soy ahora, me hubiera gustado que estuvieras conmigo en este momento de mi vida.*

*Te Amo Mamá*

*Dedicado a la memoria de Gladys Patricia Parra Vásquez*

## Índice de Contenido

Índice de Figura.....	5
Índice de Tabla.....	6
Índice de Ecuación.....	6
<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1.    Objetivos generales:.....	2
2.2.    Objetivos específicos:.....	2
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1.    Reseña histórica.....</b>	<b>3</b>
<b>3.2.    Ruido .....</b>	<b>5</b>
<b>3.3.    Clasificación de los ruidos según dB(A) .....</b>	<b>6</b>
<b>3.4.    Aislamiento acústico .....</b>	<b>7</b>
<b>3.5.    Acondicionamiento acústico .....</b>	<b>9</b>
3.5.1.    Materiales acondicionantes .....	10
3.5.2.    Difusores acústicos .....	13
3.5.3.    Reflectores acústicos.....	14
<b>3.6.    Materiales de construcción.....</b>	<b>17</b>
<b>3.7.    El ruido en las salas de clases.....</b>	<b>17</b>
<b>3.8.    Descripción técnica de la sala de clase.....</b>	<b>19</b>
<b>3.9.    Planos del aula en estudio .....</b>	<b>20</b>
<b>3.10.    Fotografías de la sala de clase.....</b>	<b>23</b>
<b>3.11.    Audio de una clase en el aula.....</b>	<b>23</b>
<b>3.12.    Mapa de ubicación .....</b>	<b>24</b>
<b>3.13.    Mapa de ruido.....</b>	<b>25</b>
<b>3.14.    Análisis técnico .....</b>	<b>28</b>
3.14.1.    Diagnóstico.....	30
<b>3.15.    Análisis técnico de soluciones .....</b>	<b>32</b>
3.15.1. <b>SOLUCIÓN 1 .....</b>	<b>32</b>
3.15.2. <b>SOLUCIÓN 2 .....</b>	<b>35</b>

3.15.3. SOLUCIÓN 3 .....	37
3.16. Resumen técnico de soluciones propuestas .....	39
3.17. Evaluación económica de las soluciones propuestas .....	40
3.18. Diagnostico técnico y económico de las soluciones propuestas .....	41
4. CONCLUSIÓN .....	43
5. BIBLIOGRAFÍA .....	44

## Índice de Figura

<b>Figura 1:</b> Escala de ruido .....	6
<b>Figura 2:</b> Comportamiento de las ondas sonoras en materiales absorbentes .....	10
<b>Figura 3:</b> Comportamiento de las ondas sonoras en materiales difusores .....	13
<b>Figura 4:</b> Comportamiento de las ondas sonoras en materiales reflectores .....	14
<b>Figura 5:</b> Plano e planta .....	20
<b>Figura 6:</b> Plano de elevación (norte y este) .....	21
<b>Figura 7:</b> Plano de elevación (sur y oeste) .....	22
<b>Figura 8:</b> Fotografías de la sala de clases .....	23
<b>Figura 9:</b> Mapa de ubicación de la sala 603 .....	24
<b>Figura 10:</b> Mapa de ruido ciudad de Santiago, Chile .....	25
<b>Figura 11:</b> Mapa de ruido .....	26
<b>Figura 12:</b> Espumas fonoabsorbentes ECO Sonoflex con cuñas .....	32
<b>Figura 13:</b> Cortina tipo luminette tipo angélica forma de “s” .....	33
<b>Figura 14:</b> Sello automático inferior sonoflex .....	34
<b>Figura 15:</b> Tapizado absorbente acusticaintegral .....	35
<b>Figura 16:</b> Cortina Roller Quantum .....	35
<b>Figura 17:</b> Puerta acústica y corta fuego RS5FS .....	36
<b>Figura 18:</b> Paneles acústicos absorbentes .....	37
<b>Figura 19:</b> Cortina Silhouette tela Bon Jour 2” .....	37
<b>Figura 20:</b> Puerta RS6 .....	38

## Índice de Tabla

<b>Tabla 1:</b> Tiempos máximos de reverberación.....	16
<b>Tabla 2:</b> Factores de dB(A) con tiempos críticos de exposición.....	19
<b>Tabla 3:</b> Coeficiente de absorción $\alpha$ para diferentes materiales .....	27
<b>Tabla 4:</b> Aislación acústica de la sala en estudio.....	28
<b>Tabla 5:</b> Tiempo de reverberación de la sala en estudio .....	29
<b>Tabla 6:</b> Tiempo de reverberación de la sala estudio en diferentes casos.....	30
<b>Tabla 7:</b> Comparación técnica de las soluciones propuestas .....	39
<b>Tabla 8:</b> Evaluación económica de las soluciones propuestas .....	40
<b>Tabla 9:</b> Tiempo de reverberación solución 4.....	42
<b>Tabla 10:</b> Análisis económico de solución 4 .....	42

## Índice de Ecuación

<b>Ecuación 1:</b> Nivel de ruido en el interior .....	7
<b>Ecuación 2:</b> Aislación de los materiales .....	8
<b>Ecuación 3:</b> Absorción media de cada local .....	10
<b>Ecuación 4:</b> Para calcular coeficiente medio de absorción ( $\alpha_m$ ).....	11
<b>Ecuación 5:</b> Tiempo de reverberación .....	16
<b>Ecuación 6:</b> Tiempo óptimo de reverberación .....	17

## **RESUMEN**

El presente estudio propone una solución para lograr el confort acústico del aula de clases R8-SAL603 de la Universidad Andrés Bello. Nace la necesidad de buscar la forma apropiada de acondicionar el aula, por los problemas acústicos que esta tiene, causando a la población educacional diferentes déficit en el aprendizaje asociados por la falta de claridad con la que se disipa el sonido, los que podrían causar incluso problemas de salud ya que no se cumple con el estándar máximo de reverberación para las aulas de clase.

Para llevar a cabo este proyecto se analizaron diversos materiales tanto técnica y económicamente para poder crear tres soluciones diferentes, las cuales cumplieran con los estándares mínimos de reverberación.

Para el análisis técnico se procedió a calcular el tiempo de reverberación, primero de la sala de clase sin las soluciones propuestas para así verificar que la sala no cumplía con el tiempo máximo de reverberación y después con las soluciones propuestas, para verificar que cumplían con este, y así poder elegir la mejor solución en conjunto con el análisis económico.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Chile, la contaminación acústica presenta un constante crecimiento, viéndose afectado por los siguientes factores: tránsito rodado, obras de construcción, industrias, bares, clubs y discotecas (Ministerio del medio ambiente, 2011, p.177 cap. 4).

Dicha problemática plantea la necesidad de investigar y proponer el uso de materiales que permitan acondicionar y aislar distintos ruidos molestos con el fin de lograr el confort acústico.

En este ámbito el ingeniero en construcción es fundamental para desarrollar proyectos que permitan el acondicionamiento de espacios habitacionales que lo requieran. Su formación en el área lo convierte en el profesional más idóneo, con facultades y conocimiento del comportamiento de los materiales de construcción, pudiendo de esta manera enfocar y optimizar los procesos a realizar.

Los ruidos comienzan a ser molestos e incluso dolorosos, cuando superan los 120 decibeles (dB) lo que define la Real academia española como sinónimo de decibelio el cual es, unidad de intensidad acústica equivalente a la décima parte de un belio. Tomando como sugerencia lo indicado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual indica que los colegios deben tener un máximo de 35 dB dentro de las salas de clase. Siendo este un límite adecuado para tener un aprendizaje idóneo. (MINVU, 2006, p.11)

Además de los problemas de contaminación acústica exteriores, se le suma la deficiencia intrínseca de los materiales de construcción para poder crear un confort acústico dentro del aula de clase, presentándose algunos como la reverberación, eco y la reflexión, los cuales pueden afectar al aprendizaje asociado a una falta de concentración que estos puedan prestar en el aula de clase.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos generales:**

- ✓ Evaluar técnica y económicamente diferentes soluciones para el mejoramiento acústico de la sala de clases R8-SAL603.

### **2.2. Objetivos específicos:**

- ✓ Diagnosticar el confort acústico de la sala de clases R8-SAL603
- ✓ Establecer 3 diferentes soluciones constructivas para mejorar el aislamiento acústico, reverberación y la estanqueidad al ruido de la sala R8-SAL603.
- ✓ Evaluar técnica y económicamente las diferentes soluciones acústicas propuestas.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Reseña histórica**

En el contexto nacional, existen diferentes materiales para el diverso acondicionamiento de una habitación, los cuales son muy tecnológicos, novedosos y cumplen un rol muy importante para la construcción en la actualidad, ya que las viviendas, edificios y locales de trabajo se están construyendo con un nivel de acondicionamiento que permita obtener el confort acústico.

La contaminación acústica está en crecimiento, lo que se debe según el ministerio del medio ambiente a que la ciudad está creciendo a pasos constantes, produciendo el aumento del parque automotriz que es una de las principales fuentes de ruido de las zonas urbanas (Ministerio del Medio Ambiente, 2012,p. 177). Estudios realizados en la ciudad de Santiago arrojan que el 54% de la población se encuentran expuesta a niveles superiores de los 65 dBA durante el día y un 60% se encuentra expuesto a 55 dBA durante la noche. (Ministerio del medio ambiente, 2011, p.19)

La construcción casi olvidada que presenta menor recurso para protegerse del aumento de la contaminación acústica es la de establecimientos educacionales, ya que quienes cuentan con algún tipo de acondicionamiento acústico son escasos y la mayoría de estos son establecimientos privados. Se obtuvieron datos del Ministerio de Educación (MINEDUC), el cual se refiere a la inversión de un capital durante el periodo que comprende los años 2014 y 2015 para la mantención y el acondicionamiento de los establecimientos educacionales públicos, sin embargo no establece cual de ese porcentaje fue destinado al acondicionamiento acústico de las aulas de clase. (Ministerio de educación, 2015, p.41-42)

Actualmente, se tiene como referencia lo que señala la norma acústica de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC, Artículo 4.1.6) la cual da a conocer en su manual de aplicación reglamentación acústica que “Las exigencias acústicas que se señalan en este artículo serán aplicables sólo a los elementos que separen o dividan unidades de viviendas que sean parte de un edificio colectivo, o entre unidades de vivienda de edificaciones continuas, pareadas, o entre las unidades de vivienda que estén contiguas a recintos no habitables.” (Equipo plataforma arquitectura, 2014) Lo antes descrito no considera las separaciones interiores, ni tampoco las aplicaciones prácticas para establecimientos educacionales. Teniendo en cuenta que esta aplicación fue realizada el año 2006, se podría sospechar que muchas de las casas construidas con anterioridad, no presentan las aplicaciones habladas en este manual.

### **3.2. Ruido**

El ruido es uno de los contaminantes más comunes que se pueden encontrar en las ciudades, siendo definido por la Real Academia Española (RAE) como “sonido inarticulado, por lo general desagradable”. Cabe resaltar que esto depende de cada persona ya que para algunos puede ser un sonido agradable o tolerable para otros lo pueden considerar un ruido molesto e incluso doloroso.

La sociedad chilena de acústica (SOCHA) establece las siguientes clasificaciones:

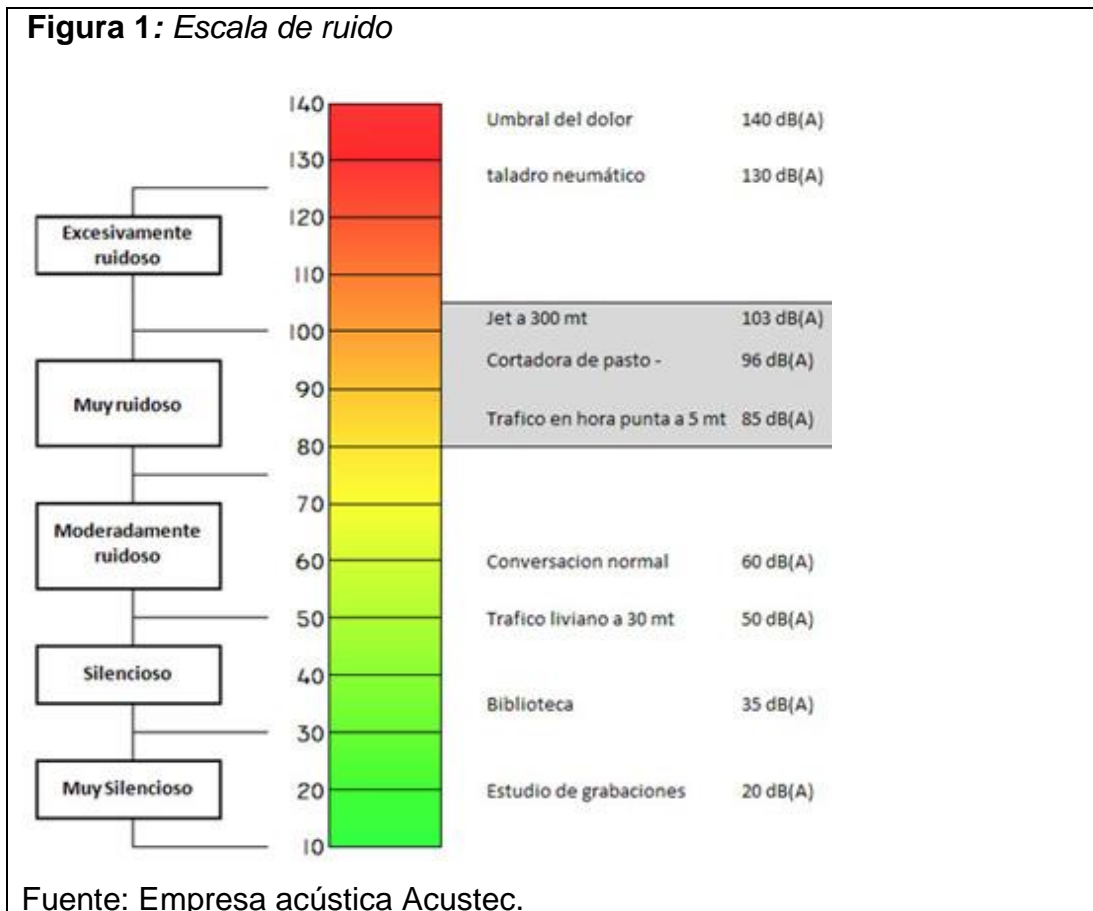
Fuente Fija: es en la que la fuente del ruido está fija o en un lugar determinado, como las discotecas y bares.

Fuente Móvil: son las que aportan mayor contaminación a las zonas urbanas, siendo esta el parque automotriz. (Valdebenito, 2012, p. 6)

El ruido se mide en dB, el cual es una “unidad adimensional utilizada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera, el decibel es utilizado para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora”. (Lucic Y., 2009, p. 12)

### 3.3. Clasificación de los ruidos según dB(A)

En la siguiente tabla se representan los diferentes rangos de sonidos clasificado por dB(A); “Escala de medida de niveles que se establece, mediante el empleo de la curva de ponderación A, para compensar las diferencias de sensibilidad del oído humano. Estas curvas calculan la relación existente entre la frecuencia y la intensidad (en decibeles). Distintas frecuencias dentro del campo auditivo. Se utiliza como unidad el decibel A. Este un buen indicador del riesgo auditivo”. (Lucic Y., 2009, p. 12)



### 3.4. Aislamiento acústico

Se entiende por este, a la protección de los ambientes para que el sonido generado dentro de la habitación no salga a los lugares próximos y que los ruidos molestos del ambiente exterior entren a la habitación.

Chile tiene un gran avance en la construcción de viviendas y locales educacionales refiriendo estos avances en procesos de aislamiento, ya que hay una normativa acústica obligatoria de aislamiento en todas las casas (Delannoy J, 2009), pero no se señala específicamente aislamiento para recintos educacionales.

Se usará este concepto para dar un aislamiento acústico adecuado a cada aula de clases, para lograr esto se es necesario investigar cual es la mayor fuente de sonido (ruidos molestos del medio ambiente) y los diferentes factores físicos que se generan por el ruido molesto en cada local estudiantil.

Teniendo estos datos arrojados por estudios se podrá llevar a cabo los proyectos de construcción adecuados para cada local estudiantil, se podrá llegar a niveles de trasmisión e ingreso del sonido mínimo, y eventualmente logrando corregir todas las falencias en el aula se podrá no tener ruidos molestos, logrando el acordonamiento y confort adecuado.

El nivel de ruido que ingresa al interior de cada establecimiento depende directamente del ruido exterior y la capacidad que tenga cada material para poder aislar, determinándose con la siguiente ecuación.

***Ecuación 1: Nivel de ruido en el interior***

Nivel ruido interior= Nivel de ruido exterior – aislación acústica de la envolvente

Para poder determinar el aislamiento acústico que tiene un establecimiento es necesario determinar el aislamiento que presenta cada elemento según su masa.

**Ley de masa:** entre mayor densidad de los elementos y espesor de estos se mejorara la aislación de los establecimientos, esta nos indica que el aislamiento aumenta 6dB por duplicación de masa.

Para determinar la aislación que presenta cada material es necesario determinar la masa en  $\text{Kg/m}^2$  y la frecuencia del sonido de cada uno, para poder ocupar la siguiente formulación.

***Ecuación 2: Aislación de los materiales***

$$A = 20 \log M \cdot f - 47$$

A= aislación en dB

M= masa en  $\text{Kg/m}^2$

f= frecuencia del sonido

### **3.5. Acondicionamiento acústico**

El acondicionamiento acústico es independiente de la aislación acústica ya que se agrega después de haber construido el ambiente o a viviendas y locales con una antigüedad mayor de construcción, se refiere a agregados porque son diferentes materiales que se pueden aplicar o incorporar al interior de la habitación, incluso en el exterior para que los ruidos molestos no entren ni salgan del local.

Existen variados y de diferentes calidades de materiales que dan acondicionamiento, que se pueden aplicar para lograr un grado de difusión acústica uniforme, la meta del confort acústico y que dan solución a diferentes fallas arquitectónicas y constructivas del edificio.

Es la parte fundamental de la investigación, ya que con el acondicionamiento adecuado que se le presté a al aula de clase, se puede resolver, eliminar o mejorar problemas que se generen en la aislación acústica presentes en los edificios, locales, viviendas o establecimientos educacionales que estén situados en lugares con ambientes cercanos de zonas ruidosas móviles o con problemas de contaminación acústica constante fija.

Los establecimientos educacionales no cuentan con una buena aislación acústica por lo que se hace muy importante acondicionar de forma agregada las aulas de clases para que los ruidos molestos no interrumpen el normal funcionamiento de estos.

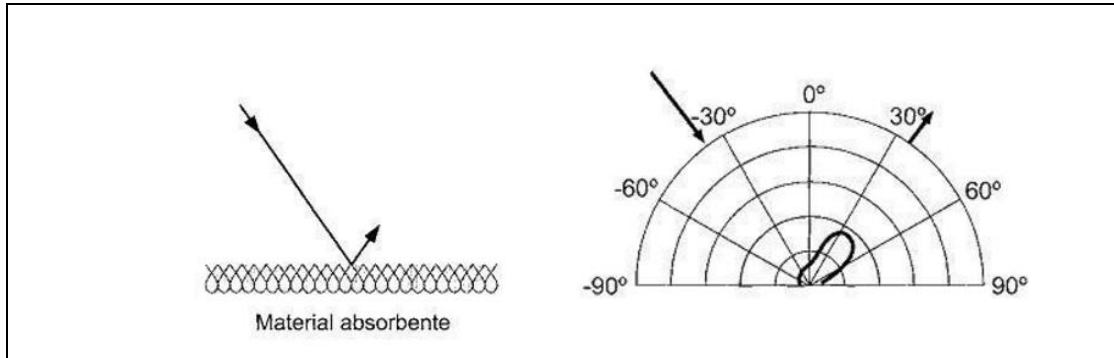


### 3.5.1. Materiales acondicionantes

#### a) Absorbentes acústicos

Cumple la función de acondicionar los recintos ya que absorbe, reteniendo las ondas sonoras que se producen, no dejando entrar a otros ambientes el ruido provocado, este material absorbente disminuyen al máximo el porcentaje de sonido que se refleja, disminuyendo a su vez la vibración molesta y reverberaciones.

**Figura 2:** Comportamiento de las ondas sonoras en materiales absorbentes



"Diseño acústicos de espacios arquitectónicos", Antonio Carrión isbert. Ediciones UPC.

#### **Ecuación 3:** Absorción media de cada local

$$A = \alpha_m \cdot S$$

A= Absorción acústica

$\alpha_m$  = Coeficiente medio de absorción

S= Superficie del material en m<sup>2</sup>

**Ecuación 4:** Para calcular coeficiente medio de absorción ( $\alpha_m$ )

$$\frac{\alpha_1 * S_1 + \alpha_2 * S_2 \dots \alpha_n * S_n}{S_1 + S_2 + \dots S_n}$$

Con:

$\alpha$ = Coeficiente de absorción de la superficie

S= superficie del elemento

Estos materiales se pueden clasificar en diferentes tipos:

- **Materiales resonantes**

Este material absorbente es de frecuencias específicamente bajas por lo general actúa con frecuencias anteriormente determinadas, por lo que la frecuencia de absorción del material es la misma que el incidente para cada habitación, se ocupa comúnmente en las salas de cine; música; teatros, ayuda a evitar las vibraciones producidas por las ondas sonoras. En su mayoría se diseñan en forma puntiaguda por lo que no tendría un diseño arquitectónico amigable a la vista.

- **Materiales porosos**

Como su nombre lo indica están constituidos por poros que son los que disipan la energía acústica generada por los diferentes problemas que se indiquen y esta energía la transforma en calor, la eficacia de este elemento es para frecuencias medias o altas, esto es dependiendo de los grosores que sean utilizados en los diferentes materiales, como lo son la fibra de vidrio, el corcho etc.

Este tipo de material está compuesto de las dos siguientes clases:

- **Elásticos**

Está compuesto por un cuerpo elástico por lo que está expuesto a mayores vibraciones que el del tipo rígido, su función es absorber las ondas sonoras en las cavidades o poros. Se suelen instalar de a dos o más capas dejando entre medio aire aumentando coeficiente de absorción del material y es lo recomendado para que tenga una buena absorción del sonido. Para tener una mejor absorción y aumentar de forma considerable la eliminación del sonido se puede instalar más capas de la misma forma que las anteriores, dejando aire entre medio.

- **Rígidos**

Este material de tipo rígido, constituido como lo dice su nombre por un esqueleto rígido poroso, se caracterizan por aumentar su absorción acústica a medida que se aumenta la frecuencia del sonido, mientras más fuerte sea el sonido producido mayor será la absorción que tenga el material. Su ventaja principal de los otros materiales es la fácil adaptación que se tiene ya sea en construcciones antiguas como en nuevas. Si se requiere cubrir un área con una frecuencia de sonido baja este material también sirve solo se debe bajar su espesor, y dejando una capa de aire entre el material y la pared mejora su capacidad para absorber dicha frecuencia

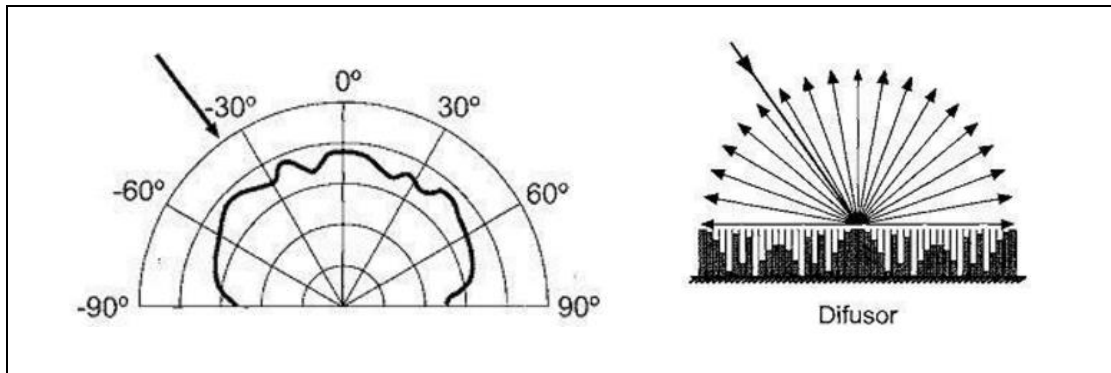
### 3.5.2. Difusores acústicos

Es un material de superficie irregular de formas geométricas con diferentes tamaños y ángulos, que generalmente está compuesto por elementos rígidos como los son la madera.

La difusión de un material es la capacidad de este para difuminar el sonido producido que se refleje en múltiples direcciones, disminuyendo uniformemente el sonido en todo ambiente eliminando “dead spots” o también definido como zonas muertas, las cuales son las que no le llega el sonido producido.

Este tipo de acondicionamiento se ocuparía para cubrir el déficit de proyección del sonido que dejan los absorbentes acústicos.

**Figura 3:** Comportamiento de las ondas sonoras en materiales difusores



**Fuente:** “Diseño acústicos de espacios arquitectónicos”, Antonio Carrión isbert. Ediciones UPC.

Como se muestra en la figura 3, los difusores sirven para redirigir las ondas del sonido a diferentes lugares, esto sirve para que el sonido sea más envolvente.

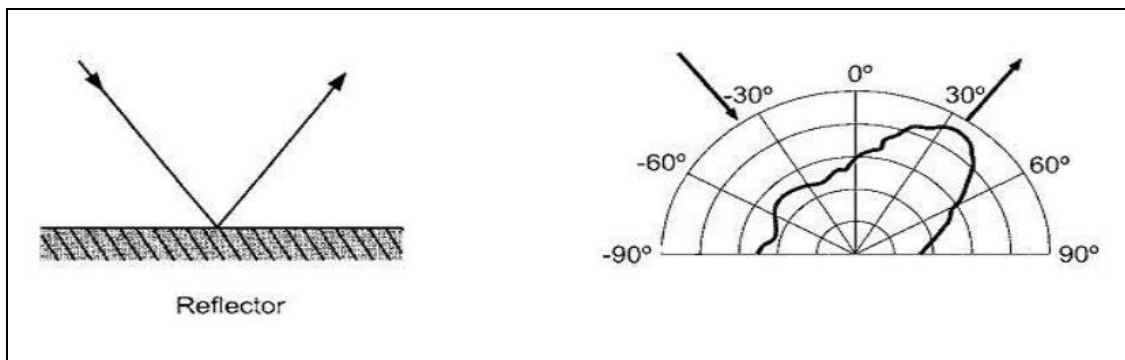
### 3.5.3. Reflectores acústicos

Es un material de superficie lisa, no porosa y total mente rígida, este presenta sus dimensiones mucho más grandes que la longitud de las ondas del sonido.

El reflejar el sonido es la capacidad de un material para “reflejar la mayor parte de las ondas sonoras que inciden sobre ellas” (Carrion A., 2008, p. 1)

Los reflectores hacen posible que aparezca un tipo de fenómenos como lo es la reflexión.

**Figura 4:** Comportamiento de las ondas sonoras en materiales reflectores



Fuente: “Diseño acústicos de espacios arquitectónicos”, Antonio Carrión isbert. Ediciones UPC.

#### - Reflexión del sonido

Es cuando la onda del sonido rebota en un elemento sólido en dirección al mismo medio de propagación, el sonido que llega al elemento solido no es reflejado por completo o en plenitud ya que una parte del sonido que llega al elemento solido es absorbida por este.

Esto produce dos tipos de reflexión el que llega al elemento sólido y no rebota se llama incidente y el sonido que rebota en el objeto solido se llama reflejado este último puede cambiar la trayectoria si el elemento solido donde choca es rugoso o tiene elementos geométricos que alteren su dirección con menos energía que la inicial.

Este fenómeno producido por el sonido ayuda a que el receptor de las ondas sonoras escuche claramente lo que se dice en la sala o lo que quiere expresar el que inicia la onda sonora, esto se produce en mayor medida a las salas de un teatro o cine para que cubran el mayor espacio posible de la habitación, esto no se formaría de igual manera en espacios reducidos como lo son las aulas de clase, ya que el espacio entre el que produce la onda sonora y el receptor de esta misma es mínima o de menor distancia comparada con la de una sala de teatro o cine. Por lo que el fenómeno en cuestión no se produciría con mucha frecuencia dentro de las aulas de clase.

Sabiendo ya que el hormigón nos ayuda a eliminar uno de los fenómenos como lo son la reflexión, así mismo este nos puede producir algunos otros fenómenos como el eco y la reverberación.

#### - **Eco**

Este fenómeno es causado por el sonido reflejado, se forma cuando la voz o la onda sonora de un elemento se repiten hacia la fuente inicial del sonido.

Dependerá de la distancia en la que se encuentre la persona que emita el sonido de algún objeto sólido como una pared que se tenga en la aula de clase para que se forme este, ya que esta onda sonora suele ser causada por distancias grandes, teniendo en cuenta su distancia mínima de 17 metros y máxima de 34 metros, ya que se va desgastando y perdiendo la fuerza del sonido. El eco se demora más de 50 milisegundos en ser devuelto por la reflexión.

## - Reverberación

Es también uno de los fenómenos causados por la reflexión que consiste en la permanencia del sonido mientras la fuente original del este está en proceso o como parte integra del sonido.

Por lo general se produce en lugares vacíos que tienen paredes solidas o rodeado de estas, para que el sonido sea reflexionado en diferentes direcciones y las ondas se superpongan para generar el fenómeno, el elemento solido en cuestión tiene que estar a menos de 17 metros de distancia de la fuente inicial del sonido, se produce en paredes techos y suelos. Se demora menos de 40 milisegundos en producirse la reverberación.

### ***Ecuación 5: Tiempo de reverberación***

Es el tiempo que se demora en reducir el nivel de presión del sonido en 60Db

$$T= 0.163 (V/A)(s)$$

V= Volumen de la sala en m<sup>3</sup>

A= Absorción sonora media

El tiempo de reverberación máximo para las salas de clase depende de su volumen.

***Tabla 1: Tiempos máximos de reverberación***

Espacio de aprendizaje	Tiempo máximo de reverberación para octavas de bandas 500,1000 y 2000 Hz en [s]
Volumen encerrado < 283 m <sup>2</sup>	0,6
Volumen encerrado > 283 m <sup>3</sup> y < a 566 m <sup>3</sup>	0,7
Volumen encerrado > 566 m <sup>3</sup>	(*)

**Fuente:** Acoustical Society of America, ANSI S12.60-2002

**Ecuación 6:** *Tiempo óptimo de reverberación*

$$T_{rop}: 0,32 + 0,17 \log V = s$$

V= volumen m<sup>3</sup>

### **3.6. Materiales de construcción**

#### **- Hormigón**

Se define como “material compuesto por un medio conglomerante que será el cemento, partículas de áridos y agua. Eventualmente aditivos y adiciones” (Sanhueza M, Hormigón).

##### **o Pro y contras**

Este carece de absorción acústica lo que para el caso no sería bueno ya que el hormigón se caracteriza por ser un material que refleja el sonido, y que por lo tanto puede causar reverberaciones. Es un material que se comporta muy bien a la aislación ya que por su masa es capaz de aislar muy bien los ruidos del exterior. (Embconstruccion, 2003)

#### **- Tabique o separación interior**

Son estructuras de madera o metal que están compuestas con listones de yeso-cartón, a las cuales se les puede agregar diferentes tipos de aislaciones. Ya sea contra incendios, humedad. Esta atenúa las frecuencias bajas del sonido

### **3.7. El ruido en las salas de clases**

Los problemas más constantes en las salas de clase es la mala aislación acústica, generando molestias y diversos problemas en los estudiantes y profesores como:



**Problemas de salud:**

En los profesores los problemas más comunes que se les presenta es el agotamiento y estrés por el esfuerzo físico extra que deben hacer para poder ser entendidos y el desgaste de la voz, ya que con una mala aislación, la voz se disipa y no llega en su totalidad a las personas a las que va dirigida, por lo que se ven obligados a hablar más fuerte y así desgastar su voz generando patologías. (Lucic Y., 2009, p. 12)

En los alumnos debido al contante ruido y molestias dentro de la sala de clase y según (Lucic Y., 2009, p. 12) estos se pueden ver afectados en leves problemas auditivos como otitis, alteración de los huesillos por golpe y la destrucción timpánica, dependiendo del nivel de ruido.

**Problemas educacionales:**

Se ven afectados directamente los estudiantes, en la falta de concentración, aprendizaje y memoria, siendo esto un problema para el normal funcionamiento de actividades en clase.

Como indica (Lucic Y., 2009, p. 16) los dB(A) máximos permitidos adentro de las aulas de clase no debe superar los 35 dB(A) como indica en la tabla2. En esta también se indican los máximos permitidos para patios de colegios. Y si tomamos como referencia la figura 1, la sala de clases seria comparable con una biblioteca y los patios de los colegios lo compararíamos como trafico liviano.

**Tabla 2: Factores de dB(A) con tiempos críticos de exposición**

AMBIENTE ESPECIFICO	EFEECTO CRITICO EN LA SALA	dB(A) máx. recomendado	TIEMPO DE EXPOSICION
Salas de clases preescolar y escolar	Ininteligibilidad del habla, deterioro de la captación de los mensajes	35	Durante el periodo de clases
Colegios, patio de recreo	Molestias (fuente externa)	55	Durante la actividad
Industrial, comercial, shopping, trafico	Impedimento de la audición	70	24 hrs
Exterior, espacios de viviendas (barrios)	Molestias leves en el día, molestias moderadas en la noche	50-55	16 hrs

**Fuente:** Yerco D, El ruido como problema en el aprendizaje

### 3.8. Descripción técnica de la sala de clase

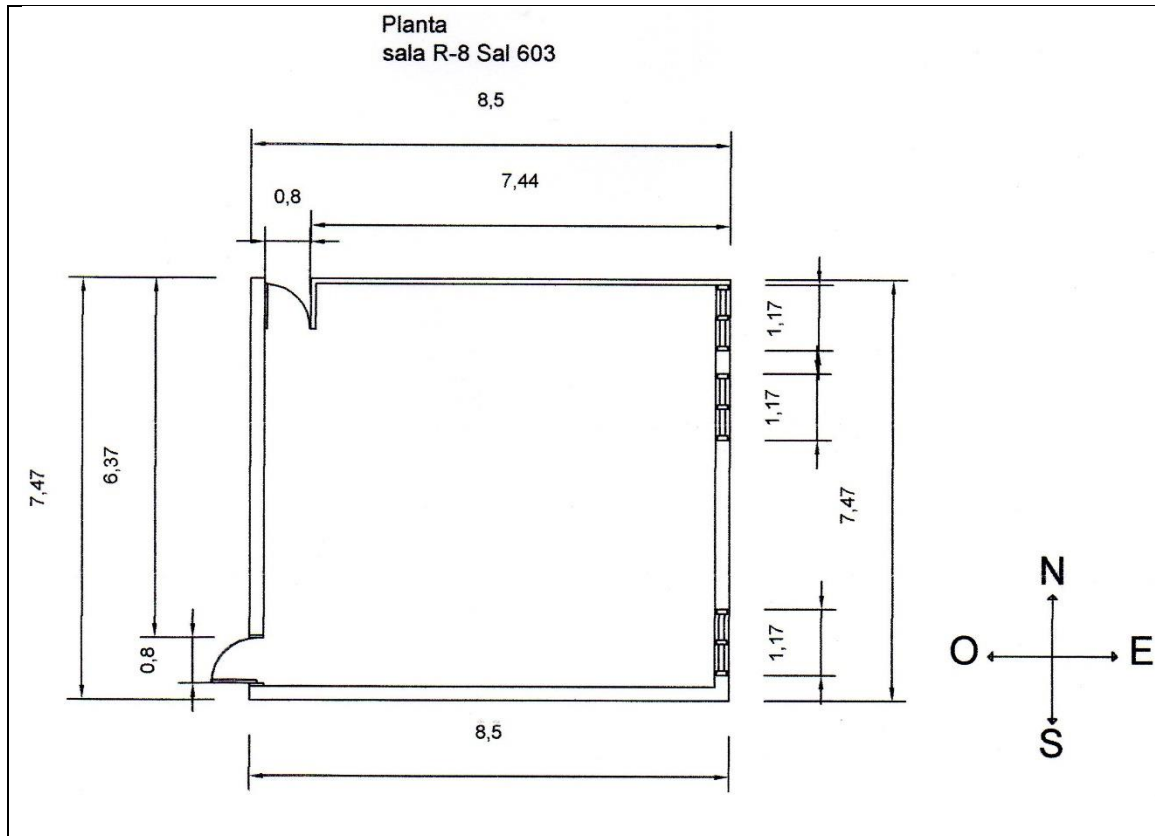
La sala en cuestión tiene 63,5 m<sup>2</sup> totales, está ubicada en Echaurren 237, Santiago, Región Metropolitana, piso 6.

Cuenta con 112.96 m<sup>2</sup> de envolvente, los cuales están desglosados en, 86,49m<sup>2</sup> de hormigón pintado de color blanco, correspondiente a los muros Oeste, Este y Sur; el cual es un 76,57% de los muros totales y 18,89 m<sup>2</sup> de tabique correspondiente al Norte el cual es 16,72% de los muros totales. Cuenta con 3 ventanas al Este, cada ventana es de 117x120 cm con marco de aluminio, los cuales son 4,21 m<sup>2</sup> correspondientes a 3,7 % de los muros. Tiene dos accesos, las puerta son de madera de 80x210 cm con 3,36 m<sup>2</sup> lo que corresponde a 2,9% del total. La losa inferior o piso es de hormigón, está cubierto con baldosas que corresponde a 63,5m<sup>2</sup>. La losa superior o el cielo es de hormigón, está prácticamente desnudo, solo está pintado de color blanco con 63,5 m<sup>2</sup>.

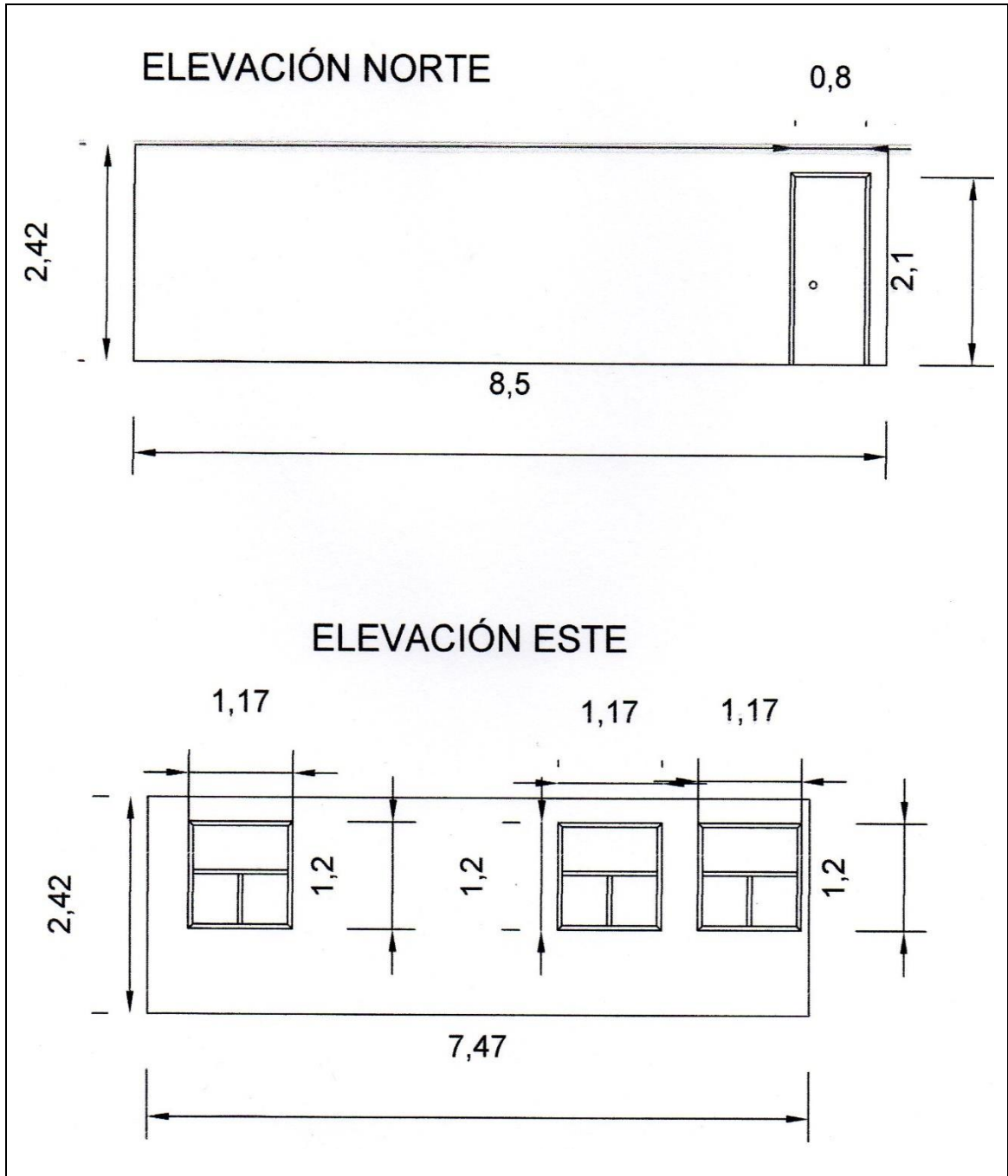
El aula cuenta con 47 asientos tipo universitario simple plástica, 1 escritorio con computador y la pizarra adherida en el muro Sur.

### 3.9. Planos del aula en estudio

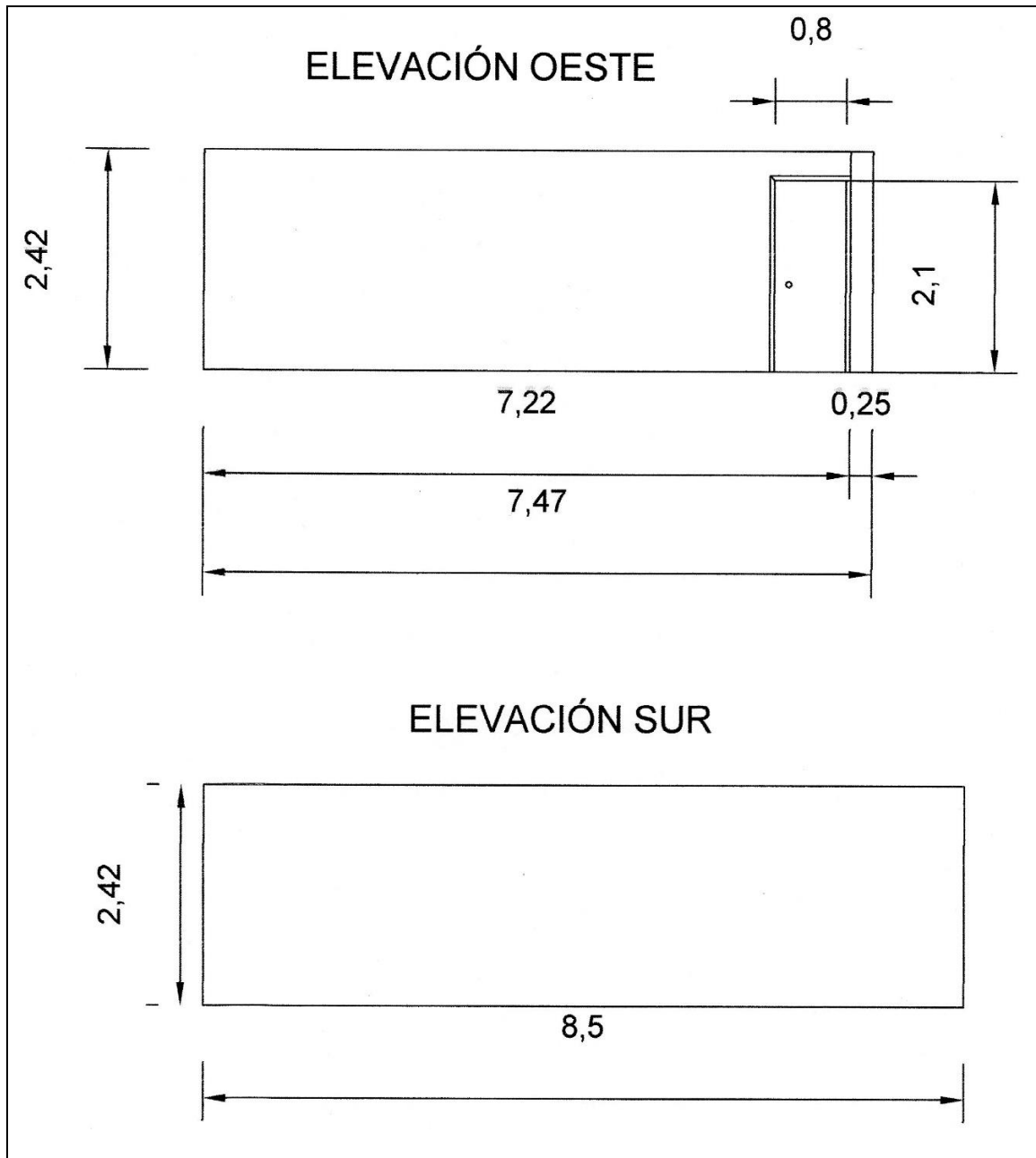
*Figura 5: Plano e planta*



**Figura 6:** Plano de elevación (norte y este)

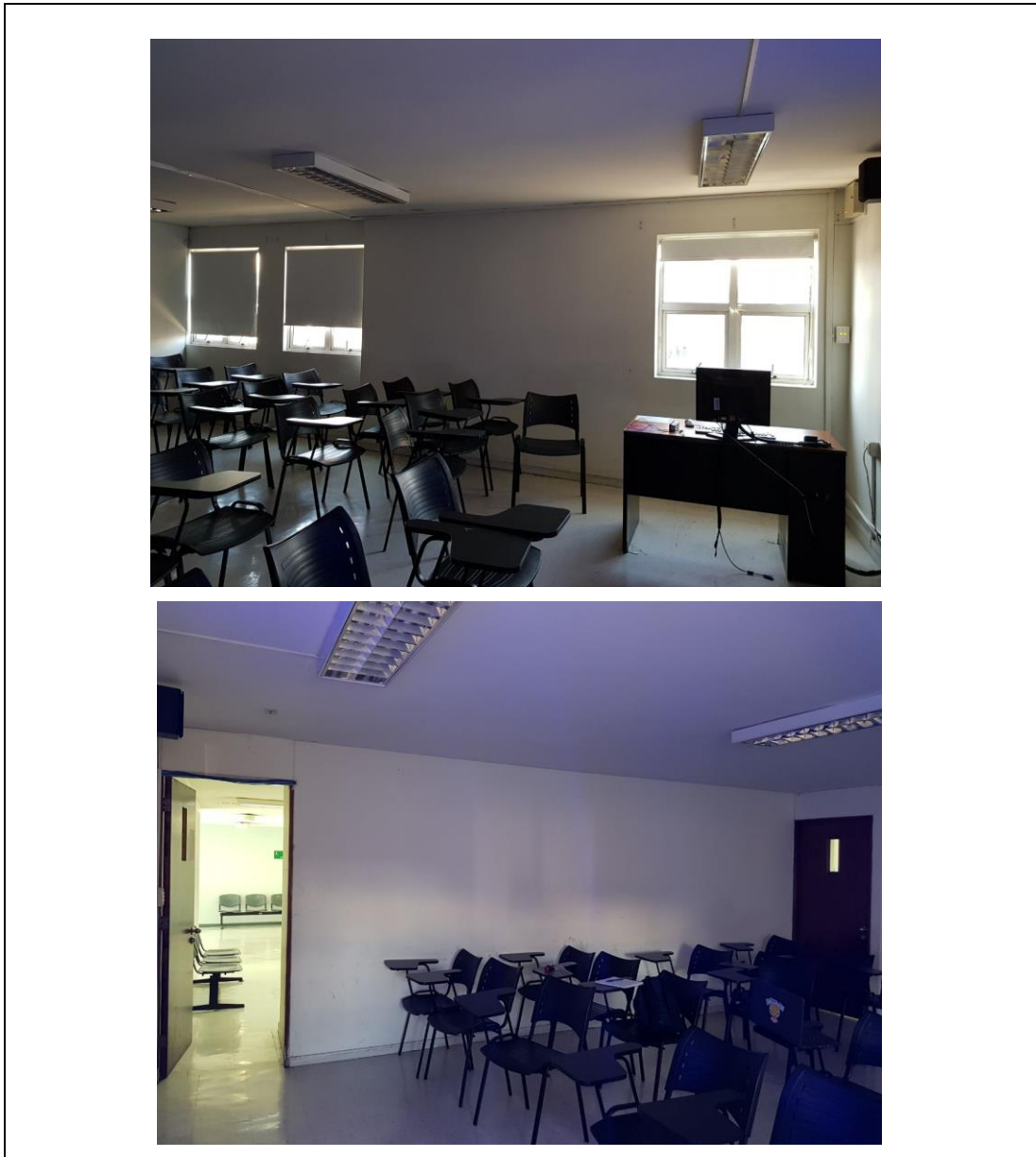


**Figura 7:** Plano de elevación (sur y oeste)



### 3.10. Fotografías de la sala de clase

*Figura 8: Fotografías de la sala de clases*



**Fuente:** Elaboración Propia

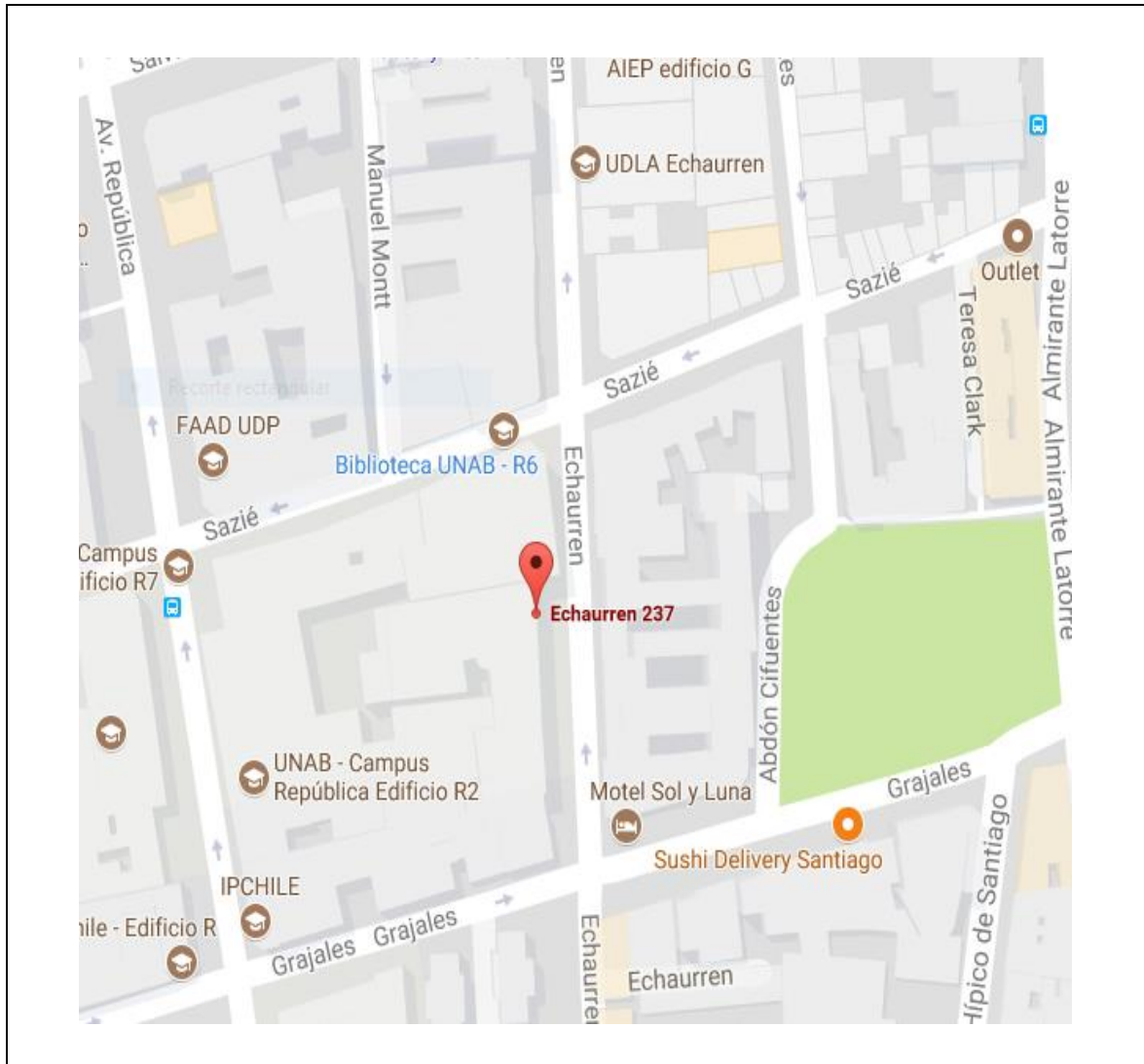
### 3.11. Audio de una clase en el aula



WhatsApp Audio 2017-09-13 at 16.04.17.mp4

### 3.12. Mapa de ubicación

**Figura 9:** Mapa de ubicación de la sala 603

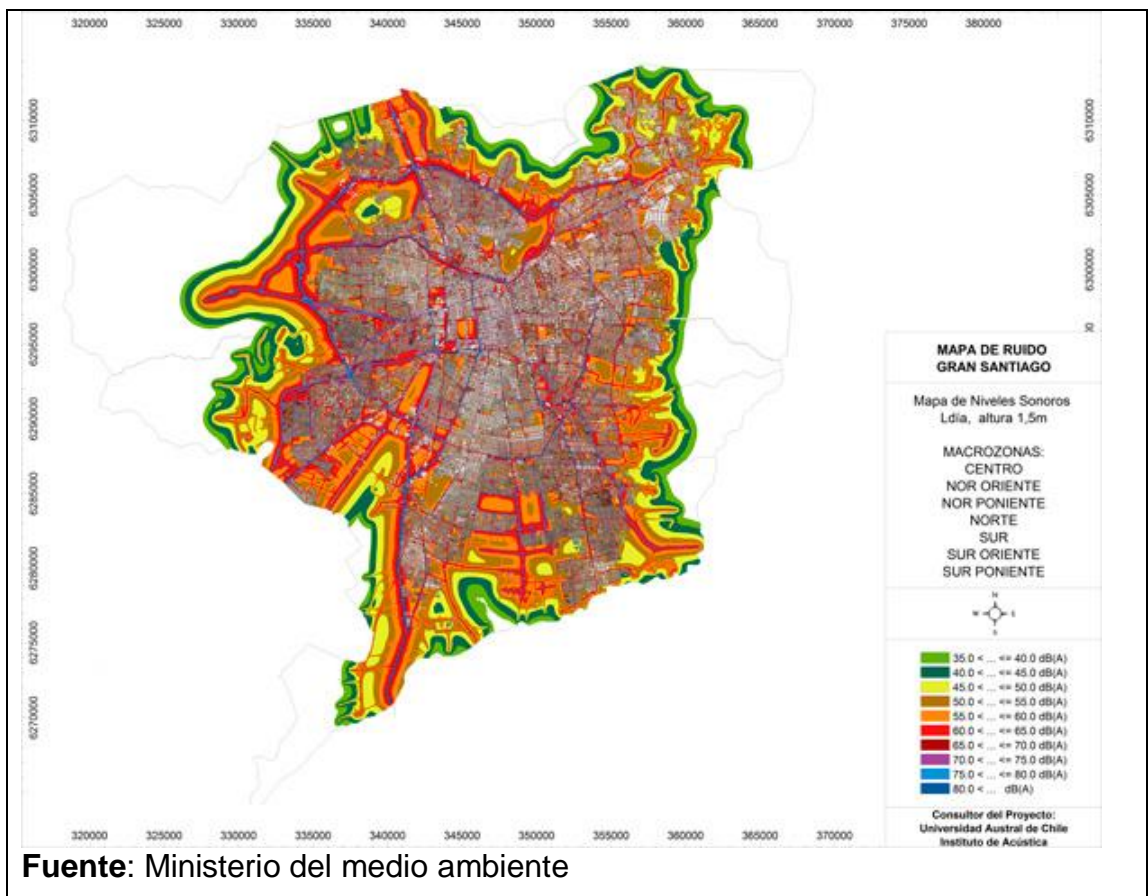


**Fuente:** Googlemaps

### 3.13. Mapa de ruido

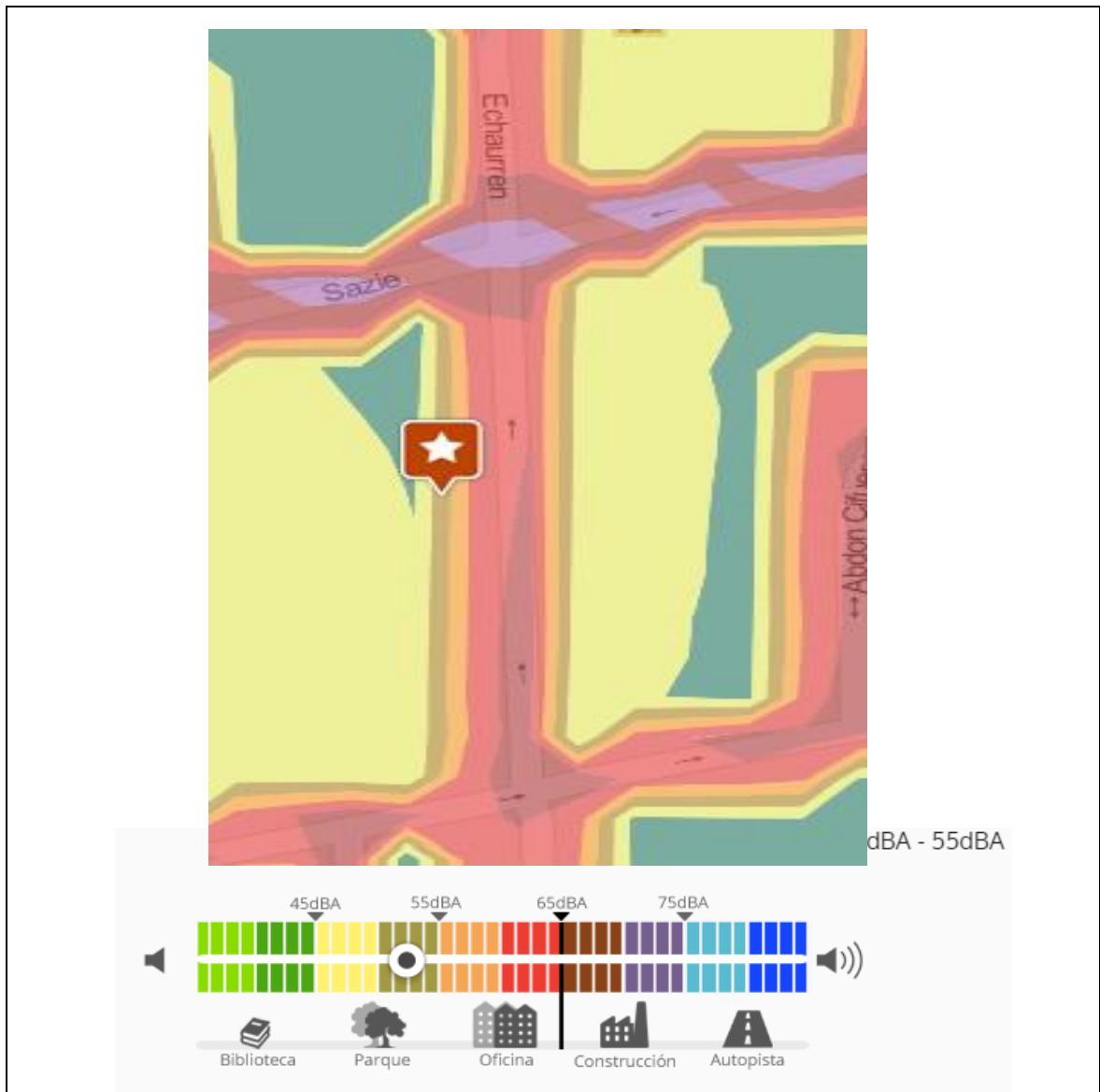
Durante el 2011 el ministerio de medio ambiente elaboro mapas de ruido para analizar las posibles medidas de control de ruido, así disponer de información verídica de la situación de barrios, comunas y ciudades. En este mapa se muestra con escala de colores los diferentes barrios donde se es necesario invertir y aquellos lugares tranquilos que se deben proteger y evitar el aumento del ruido. (Sinia, 2011).

**Figura 10:** Mapa de ruido ciudad de Santiago, Chile





En la figura 11 se muestra la calle a analizar, la cual con el siguiente mapa de ruido se ve que la zona está afectada con 55 dBA como mínimo y 65 dBA en su máximo.



**Figura 11:** Mapa de ruido

**Fuente:** Mapcity.cl

**Tabla 3: Coeficiente de absorción  $\alpha$  para diferentes materiales**

Material	Coeficiente de absorción $\alpha$ a la frecuencia					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso (Durlock) 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
Alfombra de goma 0,5 cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Alfombra de lana 1,2 kg/m <sup>2</sup>	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 kg/m <sup>2</sup>	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m <sup>2</sup>	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m <sup>2</sup> fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m <sup>3</sup> ) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m <sup>3</sup> ) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m <sup>3</sup> ) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m <sup>3</sup> ) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Panel cielorraso Spanacustic (Manville) 19 mm	–	0,80	0,71	0,86	0,68	–
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4 mm	–	0,72	0,61	0,68	0,79	–
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	–	0,70	0,61	0,70	0,78	–
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	–	0,72	0,62	0,69	0,78	–
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) 5/8"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWI) 5/8"	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77
Asiento de madera (0,8 m <sup>2</sup> /asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Asiento tapizado grueso (0,8 m <sup>2</sup> /asiento)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Personas en asiento de madera (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,34	0,39	0,44	0,54	0,56	0,56
Personas en asiento tapizado (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,53	0,51	0,51	0,56	0,56	0,59
Personas de pie (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,25	0,44	0,59	0,56	0,62	0,50

Fuente: Acústica Arquitectónica

### 3.14. Análisis técnico

A modo de ejemplo se calcula el aislamiento para muro N con la ecuación 2:

$$A = 20 \log M \cdot f - 47$$

$$A = 20 \log (70 \cdot 500) - 47$$

$$A = 44$$

**Tabla 4:** Aislación acústica de la sala en estudio

Elemento	Fr HZ	Reducción acústico (dB)	M <sup>2</sup>	dB*
Muro N Y/C e= 0,10m (700t/m <sup>3</sup> )	500	45	18,9	850,5
Muro S HA e= 0,25m (2,4t/m <sup>3</sup> )	500	45	20,6	927
Muro E HA e= 0,25m (2,4t/m <sup>3</sup> )	500	45	31,7	1426,5
Muro O HA e= 0,25m (2,4t/m <sup>3</sup> )	500	45	34,2	1539
3 Ventana e= 3mm	500	30	4,2	126
2 Puertas e= 2cm	500	30	3,36	100,8
Cielo e= 0,25m	500	45	63,5	2857,5
<b>TOTAL</b>			<b>176,4</b>	<b>7827,3</b>

**\*datos obtenidos según lo observado, especificaciones técnicas y O.G.U.C artículo 4.1.6**

**\*se supone hermeticidad de la sala**

- Aislamiento acústico ponderado

$$dB = \frac{7827,3}{176,46} = 44,5 \text{ dB}$$

- Teniendo en cuenta los máximos decibeles que se pueden llegar a sentir en las afueras del establecimiento como se mostró en la figura 11, la sala presentaría 20,5db al interior de esta, lo que estaría dentro de los límites permitidos que son 35db.

Posteriormente, según los datos obtenidos en la Tabla 3 se obtendrá la asertividad sonora media

**Tabla 5:** Tiempo de reverberación de la sala en estudio

Elemento	Superficie m <sup>2</sup>	Absorción (%)	Abs * Sup m <sup>2</sup>	Tipo de superficie
CIELO	63,5	1	0,635	Hormigón pintado
MURO N	18	5	0,9	Placa de yeso
MURO S	21	1	0,21	Hormigón pintado
MURO E	15,4	1	0,15	Hormigón pintado
MURO O	13,9	1	0,139	Hormigón pintado
SUELO	63,5	6	3,81	Parques sobre asfalto
VENTANAS	4,2	2	0,084	Vidrio
PUERTAS	3,4	10	0,34	Madera
47 ASIENTOS	38	3	1,14	Asientos
47 PERSONAS SENTADAS	38	44	16,72	Personas sentadas
<b>TOTAL</b>	<b>278,9</b>		<b>24,132</b>	

$$\text{Volumen: } 8,5 \times 7,57 \times 2,42 = 153,6579 \text{ m}^3$$

Con la ecuación 5 se obtendrá el tiempo de reverberación que tiene la sala de clase

$$\text{Tiempo de reverberancia} = 0,161 \frac{153,66}{24,132} = 1,03 \text{ s}$$

Debido a que el tiempo de reverberación supera el tiempo máximo recomendado de la Tabla 1, no tendría una reverberación adecuada.

Aplicando la ecuación 6 se tendrá la reverberación óptima que debería tener el espacio a evaluar.

$$Tr_{op}: 0,32 + 0,17 \log 153,65 = 0,69 \text{ s}$$

Lo que concuerda aproximadamente con los datos propuestos para los establecimientos educacionales en la tabla 1.

Se realizó un análisis para conocer el comportamiento de la reverberación en el aula de clase, estableciendo tres condiciones diferentes que influyen en el tiempo de reverberación:

- considerando la mitad de los asientos ocupados
- considerando la sala sin personas sentadas
- considerando más sillas teniendo un total de 60, aumentando la cantidad de oyentes

Los datos obtenidos de este análisis se muestran a continuación.

**Tabla 6:** *Tiempo de reverberación de la sala estudio en diferentes casos*

	Abs * Sup m2	Tiempo de reverberación (s)
50% de asientos ocupados	23,402	1,05 s
Sin personas sentadas	7,258	3,4 s
Con 60 personas sentadas	28,378	0,8 s

### 3.14.1. Diagnóstico

Debido a que el tiempo de reverberación que se obtuvo en el espacio a evaluar fue de 1,03 segundos el cual supera el tiempo óptimo correspondiente a 0,69 segundos para esta aula de clase, no se están cumpliendo los niveles aconsejables de reverberación, por otra parte se tiene como referencia que las aulas de clase según lo indicado en la tabla 1 el tiempo de reverberación óptimo para las aulas que tienen un volumen inferior a  $283\text{m}^3$  corresponde a 0,6 segundos lo que tampoco se cumple, pero se estaría cumpliendo los rangos de aislación aprobados para establecimientos educacionales.

Haciendo referencia a los datos obtenidos en la tabla 6 se obtiene que si la cantidad de personas sentadas disminuye el tiempo de reverberación se ve aumentado considerablemente llegando a su máximo de 3,4 segundos, por otra

parte si esta cantidad de personas se ve aumentada este tiempo se ve disminuido casi llegando a los segundos ideales, pero se vería afectado el confort que tiene las personas en la sala ya que estarían muy apretadas.

Basado en estos datos se buscaran mejorar el confort acústico del aula solucionando el problema de reverberación ya sea con sistemas constructivos fijos (infraestructura) o cambiando los bienes móviles (inmobiliarios) para llegar al tiempo de reverberación óptimo de la tabla 1.

### 3.15. Análisis técnico de soluciones

#### 3.15.1. SOLUCIÓN 1

##### Cielo:

Espumas fonoabsorbentes ECO Sonoflex con cuñas: adecuadas para obtener la máxima prestación acústica en acondicionamiento y control de ruido. Se fijan fácilmente con adhesivo de contacto. Livianas y fáciles de transportar. No se degradan.

##### Características técnicas:

- Densidad: 11 kg/m<sup>3</sup>.
- Flamabilidad: RE2 IRAM 11910-3 y HBF UL94.
- Conductividad térmica: ASTM C518; K=0,036 W/m°C.

##### Presentación:

- Dimensiones: 61 x 122 cm.
- Superficie vista: Cuñas anecoicas.
- Espesor nominal: 20, 35 y 50 mm.

Es económica, buen resultado acústico y tratado con retardante de llamas.

**Figura 12:** *Espumas fonoabsorbentes ECO Sonoflex con cuñas*

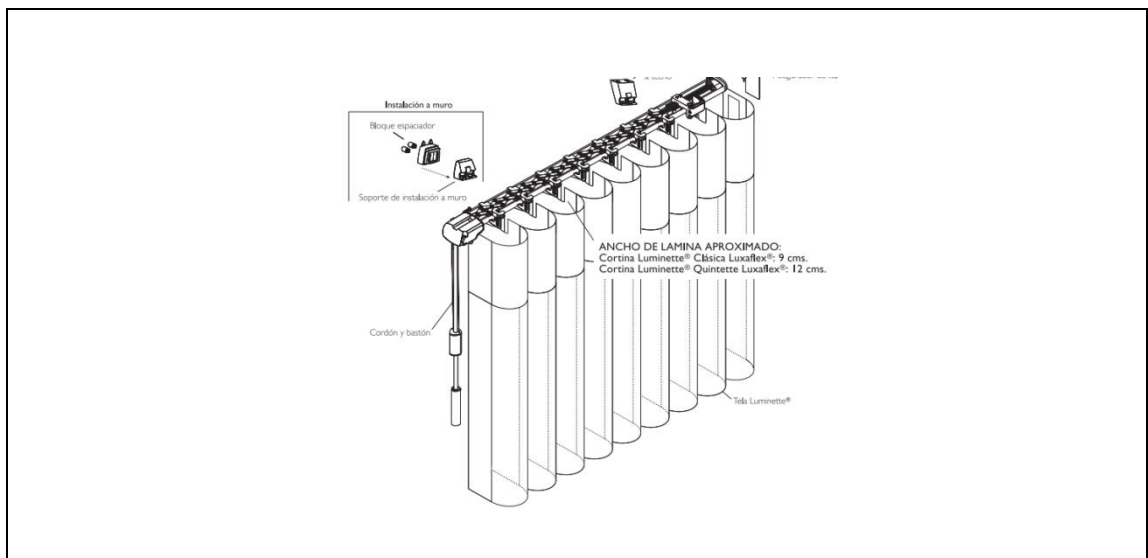


**Fuente:** Sonoflex

## Cortinas:

Luminette tipo angélica: Esta cortina se caracteriza por sus curvas uniformes en forma de “S” a lo largo de toda la cortina, compuestas por láminas verticales de tela insertas entre dos velos traslúcidos. Mejorando la absorción acústica y también protege de los rayos UV.

**Figura 13:** Cortina tipo luminette tipo angélica forma de “s”



**Fuente:** hunterdouglas.cl

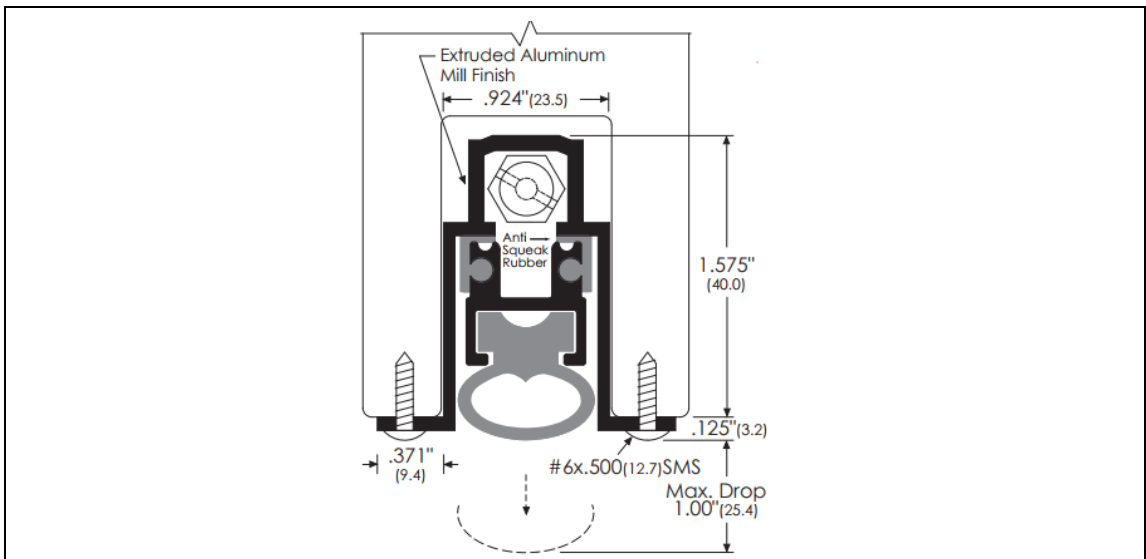


## Puertas:

Sello automático inferior: Permiten lograr el cierre hermético de puertas. Se instalan en la parte baja de la puerta y al momento del cierre, hace presión automáticamente un sistema mecánico que deja caer el sello de aluminio y neopreno hacia el piso.

Esto ayuda a la estanqueidad mejorando así la aislación acústica del aula.

**Figura 14:** Sello automático inferior sonoflex



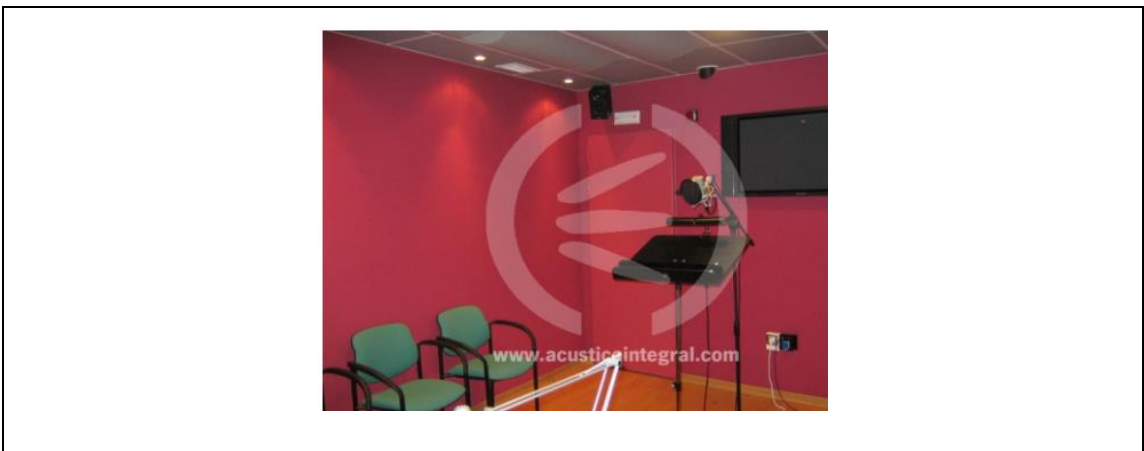
**Fuente:** sonoflex.cl

### 3.15.2. SOLUCIÓN 2

#### Cielos:

Tapizados absorbentes: Mejora de la respuesta absorbente y tiempos de reverberación para todo tipo de locales donde las soluciones estándar no son posibles. Fácil instalación y un Diseño innovador.

**Figura 15:** Tapizado absorbente acusticaintegral



**Fuente:** acusticaintegral.cl

#### Cortina:

Cortina Roller Quantum: libres de PVC y VOC, con componentes reciclables, fácil de instalación. Absorben y aíslan los ruidos molestos y sea que provengan tentó del exterior como del interior de una habitación.

**Figura 16:** Cortina Roller Quantum



**Fuente:** hunterdouglas.cl

**Puertas:**

Puerta acústica y corta fuego RS5FS: Es una puerta robusta de dos hojas de 1,2 mm relleno de material fono absorbente. Sin marco inferior lo que mejora la estanqueidad.

***Figura 17: Puerta acústica y corta fuego RS5FS***



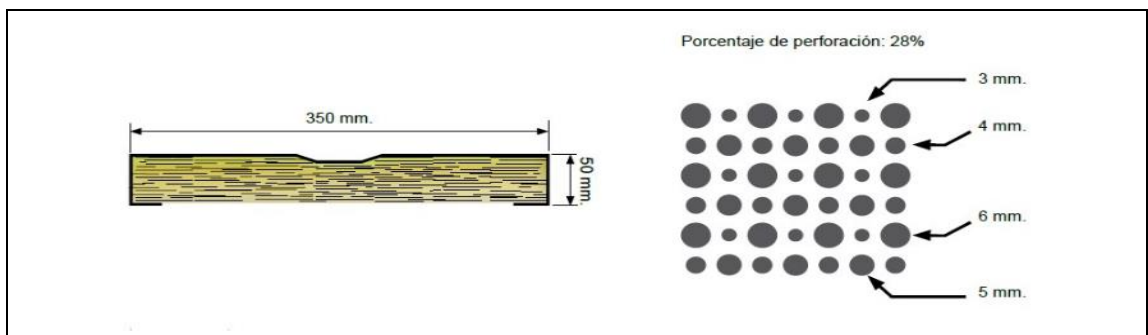
**Fuente:** Acusticaintegral.cl

### 3.15.3. SOLUCIÓN 3

#### Cielo:

Paneles acústicos absorbentes: Paneles modulares de alta resistencia mecánica con acabado prelacado de mayor durabilidad. Fácil y rápido sistema de montaje. Multiperforado con 4 distintos diámetros que mejora el índice de absorción de la tradicional chapa perforada. Diseño único y exclusivo.

**Figura 18:** Paneles acústicos absorbentes



**Fuente:** Acusticaintegral.cl

#### Cortina:

Cortina Silhouette tela Bon Jour 2": cortina con funcionamiento de persiana, absorbe los ruidos molestos, es de 100% poliéster con tratamiento antiestático.

**Figura 19:** Cortina Silhouette tela Bon Jour 2"



**Fuente:** hunterdouglas.cl

**Puertas:**

Puerta RS6: no cuenta con marco inferior que permite el tránsito libre de tropezos. Con un aislamiento acústico de 38 dB. Doble burlete tubular en la zona inferior de la hoja para un ajuste perfecto sobre el suelo.

***Figura 20: Puerta RS6***



**Fuente:** Acusticaintegral.cl

### 3.16. Resumen técnico de soluciones propuestas

**Tabla 7:** Comparación técnica de las soluciones propuestas

	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	COMPARATIVO
<b>Absorción <math>\alpha</math> cielo</b>	0,73	0,45	1,00	0,01
<b>Absorción <math>\alpha</math> cortinas</b>	0,45	0,25	0,3	-
<b>Aislación de Puertas</b>	40dB	41dB	38dB	30dB
<b>Aislación de cielo</b>	48dB	50dB	95dB	45dB
<b>Aislación de cortinas</b>	35dB	30dB	35dB	-
<b>Estanqueidad</b>	SI	SI	SI	No
<b>Reverberación (s)</b>	0,34	0,47	0,28	1,03
<b>Aislación acústica ponderada</b>	46,4	47,09	57,95	44,5
<b>% mejora en aislación</b>	4,27%	5,82%	30%	-
<b>Otros beneficios</b>				
<b>Ecológico</b>	2	4	2	
<b>Retardador de fuego</b>	2	2	4	
<b>Aislante térmico</b>	4	4	4	
<b>Fácil instalación</b>	5	5	4	
<b>Protección UV</b>	SI	SI	SI	

Escala de medida de los beneficios

(1) Nada; (2) Poco; (3) Neutro; (4) Muy; (5) Excelente

### 3.17. Evaluación económica de las soluciones propuestas

Se procederá a realizar una evolución económica a las soluciones entregadas en el punto 3.16.1. Para así comparar y seleccionar la solución adecuada que se propondrá para el aula de clase.

**Tabla 8:** Evaluación económica de las soluciones propuestas

SOLUCIÓN 1					
	DESCRIPCIÓN	P.U	CANTIDAD	P TOTAL	UF
CIELO	Espuma eco nosoflex 1,22 x 0,61x 0,020	\$8.694	85	\$ 738.990	27,33
CORTINA	Luminette tipo angelica	\$189.990	3	\$ 569.970	21,08
PUERTA	Sello automático inferior	\$ 93.560	2	\$ 187.120	6,92
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1.496.080</b>	<b>55,33</b>
SOLUCIÓN 2					
	DESCRIPCIÓN	P.U	CANTIDAD	P TOTAL	UF
CIELO	Tapizado absorbente 25mm	\$6.990	63	\$443.830	16,42
CORTINA	Roller Quantum	\$139.990	3	\$419.970	15,53
PUERTA	RSSFS	\$179.990	2	\$359.980	13,39
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1.223.780</b>	<b>45,26</b>
SOLUCIÓN 3					
	DESCRIPCIÓN	P.U	CANTIDAD	P TOTAL	UF
CIELO	Panel acústico absorbente	\$10.670	75	\$800.250	29,60
CORTINA	Silhouette tela BonJour 2"	\$114.960	3	\$344.880	12,76
PUERTA	RS6	\$159.990	2	\$319.980	11,84
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1.465.110</b>	<b>54,19</b>

\* Precios indicados en la tabla anterior vienen incluidos con instalación

\*Tapizado absorbente 25mm Cantidad en m2

### **3.18. Diagnostico técnico y económico de las soluciones propuestas**

De las soluciones propuestas el área donde hay una mayor disminución en el tiempo de reverberación es el cielo, ya que es el que tiene mayor superficie y con los  $\alpha$  de absorción más grandes.

Todos los materiales propuestos, incluyendo los materiales para cubrir el cielo ayudan a disminuir de forma adecuada la reverberación que se encuentra en el aula de clase. Cumpliendo así con la reverberación adecuada para un aula de clase la cual está indicada en la tabla 1, como un tiempo máximo de 6 segundos, llegando incluso a obtener un tiempo mucho menor que este, anteriormente señalado. Por lo que todas soluciones propuesta cumplirían con la disminución del tiempo de 1,03 segundos iniciales, agregando a su diferente forma otros beneficios al aula como, aislación acústica la cual puede llegar a mejorar hasta en un 30% dependiendo de la solución, aislación térmica y protección UV entre otros.

En el ámbito económico las soluciones que tienen mayor precio son las que disminuyen en mayor cantidad la reverberación en el aula de clase, sin quitarle merito a la solución más economía que de igual forma cumple con la disminución de la reverberación.

Además si se busca economizar de mayor manera en dar solución al problema se puede generar con los diferentes materiales propuestos una solución 4, que cumpla con la disminución de la reverberación y a un menor costo.



**Tabla 9:** Tiempo de reverberación solución 4

<b>SOLUCIÓN 4</b>		<b>COMPARATIVO</b>
<b>Absorción <math>\alpha</math> cielo</b>	0,45	0,01
<b>Absorción <math>\alpha</math> cortinas</b>	0,3	-
<b>Aislación de Puertas</b>	40dB	30dB
<b>Aislación cielo</b>	50dB	45dB
<b>Aislación cortinas</b>	35dB	-
<b>Estanqueidad</b>	SI	NO
<b>Reverberación (segundos)</b>	0,46	-
<b>Aislación acústica ponderada</b>	47	44,5
<b>% de mejora en aislación</b>	5,6%	-

**Tabla 10:** Análisis económico de solución 4

<b>SOLUCIÓN 4</b>				
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P.U</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P TOTAL</b>
<b>CIELO</b>	Tapizado absorbente 25mm	\$6.990	63	\$ 443.830
<b>CORTINA</b>	Silhuoette tela Bon Jour 2"	\$114.960	3	\$ 344.880
<b>PUERTA</b>	Sello automático inferior	\$93.560	2	\$ 187.120
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 975.830</b>

#### 4. CONCLUSIÓN

Este proyecto ha tenido como finalidad el acondicionamiento acústico teórico de la sala de clase R8- SAL603 de la Universidad Andrés Bello, la cual presenta problemas con la reverberación que se produce en esta, así poder cumplir con lo recomendable para un aula de clase y lograr el confort acústico con el fin de ayudar a los alumnos a tener un mejor rendimiento y también cuidar de su salud.

Al hacer un análisis técnico se puede demostrar que es posible disminuir el tiempo de reverberación logrando incluso un tiempo inferior a lo recomendado en las aulas de clase que es de 0,6 segundos y también logrando mejoras en otras aspectos como lo es la aislación, la cual nos mostró 3 soluciones posibles para lograr la disminución de este tiempo, finalmente se elige la solución que obtuvo mayor disminución en este tiempo que fue la solución 3 con 0,28 segundos y una mejora en la aislación del 30%, se estaría cumpliendo de forma teórica con lo analizado anteriormente. Tomando en cuenta el análisis económico realizado la solución 3 no sería la más conveniente en el ámbito económico ya que es una de las que tiene mayor precio, por lo que se tomó la decisión de que dentro de las 3 soluciones propuestas para disminuir el tiempo de reverberación de la sala de clase se tomaría un material de cada uno para así crear la solución 4, que cumpliera con el tiempo adecuado de reverberación y también fuera más económica que las otras 3 soluciones propuestas.

Luego de realizar los análisis anteriormente mencionados, se puede concluir que se puede llevar a cabo la realización de este proyecto, ya que de acuerdo al análisis técnico y económico, indican que es un proyecto viable que tiene más ventajas que desventajas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Acustec, Medición de ruidos molestos

[http://acustec.cl/ruidos\\_molestos\\_medicion\\_ds\\_146.html](http://acustec.cl/ruidos_molestos_medicion_ds_146.html)

Acoustical Society of America, (2002), Acoustical performance criteria, desing requirements, ans guidelines for schools

[http://www.soundivide.com/uploads/content\\_file/asa\\_acoustic\\_requirements\\_for\\_schools-50.pdf](http://www.soundivide.com/uploads/content_file/asa_acoustic_requirements_for_schools-50.pdf)

Delannoy J, (2009), Principales avances y desafíos de un mercado en constante crecimiento.

<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=692&edi=30&xit=aislacion-termica-y-acustica-principales-avances-y-desafios-de-un-mercado-en-constante-cambio>

Escuela universitaria de música, Acústica Arquitectónica, cap 4,

<http://www.eumus.edu.uy/eme/ensenanza//acustica/apuntes/cap04.pdf>

Equipo Plataforma Arquitectura. (2014).

<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/756705/materiales-aislacion-y-absorcion-acustica#>

EMB Construcción, (2003), Propiedades acústicas del hormigon

<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=2152&tip=7&xit=las-propiedades-acusticas-del-hormigon>

Materiales a condicionante acústicos

[https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_08\\_09/io6/public\\_html/Paginas/difu.html](https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_08_09/io6/public_html/Paginas/difu.html)

Ministerio del Medio Ambiente. (2012). Capítulo 4: Ruido. El Ruido Es Un Contaminante Invisible, 169–183. Retrieved from

[http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016\\_Capitulo\\_4.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_4.pdf)

Ministerio de educación, (2015), Plan estratégico de infraestructura escolar

<http://portales.mineduc.cl/usuarios/iescolar/imagen/2015/Estrategico/files/assets/common/downloads/publication.pdf>

Ministerio del medio ambiente, (2011), Informe del estado del medio ambiente

[http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016\\_resumen\\_ejecutivo2011.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_resumen_ejecutivo2011.pdf)

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Manual reglamentación acústica

[www.minvu.cl/incjs/download.aspx?gls...manual\\_reglamentacion\\_acustica.pdf](http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?gls...manual_reglamentacion_acustica.pdf)

Sánchez C., Dujovne L., Poo C., (2006). Manual de aplicaciones reglamentación acústica

[http://www.minvu.cl/opensite\\_20070402125030.aspx](http://www.minvu.cl/opensite_20070402125030.aspx)

Sanhuesa M, Hormigón

<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/hormigon1Intro.pdf>

Valdebenito, I. D.S. N ° 38/11 MMA Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica.

<http://www.socha.cl/wp-content/uploads/2013/06/1-PPT-DS38-MMA-Ruido-FF-Seminario-Ruido-MMA-2012.pdf>

Sistema nacional de información ambiental, 2012, Mapa de ruido del gran Santiago

<http://www.sinia.cl/1292/w3-article-52084.html>

Yerco D., (2009), el ruido como problema en el aprendizaje

[http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-lucic\\_y/pdfAmont/aq-lucic\\_y.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-lucic_y/pdfAmont/aq-lucic_y.pdf)

Espumas fonoabsorbentes ECO Sonoflex con cuñas

<http://www.sonoflex.cl/soluciones/cunas-anecoicas-2/>

Cortina tipo luminette tipo angélica forma de “s”

[https://www.hunterdouglas.cl/cortinas/uploads/cl/productos\\_documentacion/Manual\\_Luminette.pdf](https://www.hunterdouglas.cl/cortinas/uploads/cl/productos_documentacion/Manual_Luminette.pdf)

Sello automático inferior sonoflex

<http://www.sonoflex.cl/soluciones/sello-automatico-inferior/>

Tapizado absorbente acusticaintegral

<http://www.acusticaintegral.com/6368/acustiart-p/>

Cortina Roller Quantum

[https://www.hunterdouglas.cl/cortinas/uploads/cl/productos\\_documentacion/MT-Roller-Quantum\\_Junio2017.pdf](https://www.hunterdouglas.cl/cortinas/uploads/cl/productos_documentacion/MT-Roller-Quantum_Junio2017.pdf)

Puerta acústica y corta fuego RS5FS

<http://www.acusticaintegral.com/wp-content/uploads/2017/10/FC-RS5FS-Rev4.pdf>

Paneles acústicos absorbentes

<http://www.acusticaintegral.com/524/acustison-50a/>

Cortina Silhouette tela Bon Jour 2”

[https://www.hunterdouglas.cl/cortinas/uploads/cl/productos\\_documentacion/Manual-Silhouette\\_Marzo-2017.pdf](https://www.hunterdouglas.cl/cortinas/uploads/cl/productos_documentacion/Manual-Silhouette_Marzo-2017.pdf)

Puerta RS6

[http://www.acusticaintegral.com/816/puertas\\_acusticas\\_rs6-38-y-47db/](http://www.acusticaintegral.com/816/puertas_acusticas_rs6-38-y-47db/)

O.G.U.C artículo 4.1.6

<http://www.modulor.cl/leyes/oguc/contenido%20oguc/oguc139.html>