



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CALIDAD ACÚSTICA DE AULAS
ESCOLARES EN ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES DE LA ZONA URBANA
DE LA CIUDAD DE TEMUCO**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

AUTOR: GUISSELLE ESTEFANÍA ARROYO NAVARRO
PROFESOR GUÍA: PAULINA WEGERTSEDER MARTÍNEZ

CONCEPCION, 23 de Julio de 2018

"It's time to start designing for the ears..."

- Julian Treasure

Resumen

Los establecimientos educacionales en Chile, no son regidos por una normativa acústica que especifique los rangos adecuados para criterios relevantes en la acústica del aula tales como el tiempo de reverberación, la inteligibilidad de la palabra o el nivel de ruido externo, conceptos relacionados directamente con la comunicación vía oral. Se reconocen como avances en esta área la publicación de los Términos de Referencia (TDR) el año 2012, el que indica las estrategias de diseño para edificaciones públicas nuevas.

El aumento de los niveles de ruido en Temuco en los últimos 10 años, según declara el Ministerio del medio ambiente no tiene relación con los planes de mejoramiento de escuelas municipales que plantea el Ministerio de Educación, en donde no se consideran indicadores relacionados con la calidad acústica de las aulas, solo infraestructura general.

El objetivo de esta investigación es analizar la calidad acústica de las aulas escolares existentes en la ciudad de Temuco, según sistema constructivo en escenarios de ruido ambiental similar en donde se analizarán las características físico -constructivas y el volumen del aula para determinar los casos representativos. Se realizará a través de mediciones in-situ guiadas por la norma ISO-3382, en donde se medirá tiempo de reverberación (RT), ruido de fondo (Leq), pérdida de la consonante (%Alcons) e inteligibilidad de la palabra (STI) de cuatro establecimientos de materialidad de hormigón armado y entornos de ruido similar considerando que tres de ellos no tienen proyecto acústico.

El establecimiento que cuenta con tratamiento acústico presenta resultados dentro de los rangos permitidos según el TDR y los estándares internacionales. A diferencia de los otros establecimientos que no cumplen con ningún estándar, los resultados entregan datos concretos de la influencia de la terminación interior de los recintos ya que, el que está recubierto de madera, a pesar de tener una mala aislación acústica, cumple con el RT generando un mejor entendimiento de las palabras.

A nivel general se puede concluir que, a pesar de tener entornos y sistemas constructivos similares, la terminación interior del aula, la proporción de las ventanas y la correcta mantención de los materiales, permite tener una mejor comprensión de la palabra en el aula a través del tiempo de reverberación y la inteligibilidad de ésta.

Palabras claves: Calidad acústica – Análisis Experimental – Aulas Escolares - Desempeño acústico

Abstract

The schools in Chile are not governed by an acoustic norm that specify the acoustic criteria in classrooms such as reverberation time, speech intelligibility or the external noise level which are concepts directly related to oral communication. The appearance of the manual “*Términos de Referencia*” in 2012 is recognized as progress in this area which indicates design strategies for new public buildings.

The noise level increasement in Temuco for the last 10 years, according to the ministry of Environment, is not related to the improvement plans of state schools proposed by the Ministry of Education, where indicators related to acoustic quality are not considered.

The purpose of this investigation is to analyze the acoustic quality of the classrooms from schools that are already built, according to the constructive system in scenarios of similar environmental noise where the structure and the volume will be analyzed to determine representative studio cases.

It will be done through experimental analysis guided by the norm ISO-3382 measuring the reverberation time (RT), background noise (L_{eq}), loss of consonant (%Alcons) and the speech intelligibility (STI).

The last case has acoustic treatment and the results are in the allowed ranges according to TDR and the international standards. The other cases are out of range and the results are related to the influence of the wood on the interior surface of the classroom and even if they have poor acoustic insulation, the reverberation time is considered good and have a better speech intelligibility.

In general, it can be concluded that, despite having similar noise environments and construction systems, the interior finish of the classroom, windows proportions and the right maintenance of the materials allows a better understanding of the words in the classroom improving the speech intelligibility through the reverberation time

Keywords: Acoustic Quality - Experimental Analysis – Classrooms – Acoustic performance

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Hipótesis.....	3
1.2 Objetivo general	3
1.3 Objetivos Específicos	3
1.4 Metodología	3
Capítulo 2. Desarrollo Teórico y Normativo.....	6
2.1 Principios físicos de la acústica.....	6
2.2 Acústica en la Arquitectura	8
2.2.1 Factores Influyentes en la calidad acústica de aulas escolares.....	9
2.3 Aspectos Normativos: Nacional e Internacional	14
2.3.1 Normativa Acústica Nacional	14
2.3.2 Normativa Acústica Internacional	16
Capítulo 3. Métodos de Evaluación	18
3.1 Método de medición Experimental ISO 3382-2	18
3.2 Método de evaluación cualitativo: Percepción del Usuario	20
Capítulo 4. Casos de estudio: Establecimientos Educativos	21
4.1 Escuela Andrés Bello.....	24
4.2 Escuela Los Trigales.....	26
4.3 Escuela Millaray.....	28
4.4 Liceo Pablo Neruda.....	30
Capítulo 5. Resultados de desempeño acústico	33
5.1 Análisis experimental: medición in – situ.....	33
5.1.1 Tiempo de reverberación (RT).....	33
5.1.2 Inteligibilidad de la palabra (STI)	41
5.1.3 Pérdida de la Consonante (Alcons%)	44
5.1.4 Ruido de fondo (Leq)	45

5.2	Análisis Teórico: Tiempo de Reverberación y %Alcons.....	48
5.3	Resumen resultados in-situ y teórico	52
5.4	Análisis cualitativo: percepción del usuario	54
5.5	Comparación análisis cualitativo y cuantitativo	60
5.6	Diagnóstico de calidad acústica interior de aulas escolares	65
	Conclusiones.....	68
	Referencias bibliográficas	72
	ANEXO I. IMÁGENES AULAS ESCOLARES.....	74
	ANEXO II. FICHA DE MEDICIÓN IN-SITU	78
	ANEXO III. GRAFICOS DE CAIDA DE ENERGÍA	80
	ANEXO IV. ENCUESTA Y TABLA RESUMEN.....	84
	ANEXO V. ELEMENTOS DE MEDICIÓN.....	85

Índice de figuras

Figura 1:	Reflexiones y cola reverberante (A. Carrión)	12
Figura 2:	Imágenes mediciones in-situ.....	19
Figura 3:	Ubicación casos de estudio (Elaboración Propia).....	22
Figura 4:	Rango de Decibeles (MMA).....	22
Figura 5:	Ubicación establecimientos sobre mapa de ruido (Elaboración propia).....	23
Figura 6:	Escuela Andrés bello (Google Maps)	24
Figura 7:	Planta aula tipo A	25
Figura 8:	Nivel de ruido Andrés Bello (MapCity)	26
Figura 9:	Escuela los Trigales (Google Maps)	26
Figura 10:	Planta aula tipo B.....	27
Figura 11:	Nivel de ruido Escuela Los Trigales (MapCity).....	28

Figura 12: Escuela Millaray (Google Maps)	28
Figura 13: Planta Aula tipo C	30
Figura 14: Nivel de ruido Escuela Millaray (MapCity)	30
Figura 15: Liceo Pablo Neruda (Google Maps)	31
Figura 16: Planta Aula tipo D	32
Figura 17: Nivel de Ruido Liceo Pablo Neruda (MapCity)	32
Figura 18: Plano ruido de impulso (Aula tipo A)	34
Figura 19: Combinaciones (Aula tipo A)	34
Figura 20: Ubicación ruido de impulso (Aula tipo B)	36
Figura 21: Combinaciones (Aula tipo B)	36
Figura 22: Ubicación Ruido de impulso (Aula tipo C)	38
Figura 23: Combinaciones (Aula tipo C)	38
Figura 24: Ubicación ruido de impulso (Aula tipo D)	40
Figura 25: Combinaciones (Aula tipo D)	40
Figura 26: Ruido de fondo Aula tipo A	45
Figura 27: Ruido de fondo Aula tipo B	45
Figura 28: Ruido de fondo Aula tipo C	46
Figura 29: Ruido de fondo Aula tipo D	46

Índice de gráficos

Gráfico 1: Curva energía - tiempo	11
Gráfico 2: Audiometría del habla (Adaptación de la Academia Americana de Audiología)	13
Gráfico 3. Tiempo de reverberación in-situ	41
Gráfico 4. Inteligibilidad de la palabra	43

Gráfico 5. Perdida de la consonante	44
Gráfico 6. Ruido de fondo	47
Gráfico 7: Análisis teórico %AlCons (Antoni Carrion)	51
Gráfico 8: Pregunta N° 1.....	54
Gráfico 9: Pregunta N°2	55
Gráfico 10: Pregunta N° 3.....	55
Gráfico 11: Pregunta N°4.....	56
Gráfico 12: Pregunta N°5.....	56
Gráfico 13: Pregunta N° 6.....	57
Gráfico 14: Pregunta N°7.....	57
Gráfico 15: Pregunta N°8.....	58
Gráfico 16: Pregunta N° 9.....	58
Gráfico 17: Pregunta N°10.....	59
Gráfico 18: Pregunta N° 11.....	59
Gráfico 19. Ruido de fondo y % Confort.....	61
Gráfico 20. Inteligibilidad de la palabra y % de claridad auditiva.....	62
Gráfico 21. Tiempo de reverberación y % de afirmación.....	63

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación de ambientes Nch 352	14
Tabla 2: Estándares TDRé	15
Tabla 3: Estándares CTE	16
Tabla 4: Estándares ANSI S12.60-2002	16
Tabla 5: Estándares Building Bulletin 93	16

Tabla 6: Comparación de normativas (Elaboración propia).....	17
Tabla 7. Combinaciones fuente-micrófono (ISO 3382, 2008).	18
Tabla 8: Variables fijas y dinámicas (elaboración propia)	19
Tabla 9: Establecimientos Educativos Temuco (Elaboración Propia)	21
Tabla 10: Variables escogidas.....	23
Tabla 11: Casos representativos (elaboración propia).....	23
Tabla 12: Características Aula tipo A.....	25
Tabla 13: Características Aula tipo B.....	27
Tabla 14: Características Aula tipo C.....	29
Tabla 15: Características Aula tipo D	32
Tabla 16: Tiempo de reverberación in-situ (Aula tipo A)	33
Tabla 17: Tiempo de reverberación in-situ (Aula tipo B)	35
Tabla 18: Tiempo de reverberación (Aula tipo C).....	37
Tabla 19: Tiempo de reverberación (Aula tipo D).....	39
Tabla 20: Resumen Tiempo de reverberación.....	41
Tabla 21: Rangos Inteligibilidad de la palabra (Elaboración Propia).....	41
Tabla 22: Inteligibilidad de la palabra (Aula tipo A).....	42
Tabla 23: Inteligibilidad de la palabra (Aula tipo B)	42
Tabla 24: Inteligibilidad de la palabra (Aula tipo C)	42
Tabla 25: Inteligibilidad de la palabra (Aula tipo D).....	43
Tabla 26: resumen inteligibilidad de la palabra.....	43
Tabla 27: Rangos porcentaje perdida de la consonante	44
Tabla 28: Resumen resultados Aulas	44

Tabla 29: Resumen ruido de fondo.....	47
Tabla 30: Tiempo de reverberación teórico Aula tipo A	48
Tabla 31: Tiempo de reverberación teórico Aula tipo B	49
Tabla 32: Tiempo de reverberación teórico Aula tipo C	49
Tabla 33: Tiempo de reverberación teórico Aula tipo D	49
Tabla 34: Tiempo de reverberación teórico	50
Tabla 35: Valores %Alcons.....	51
Tabla 36: Resumen de resultados in-situ y teórico (elaboración propia)	52
Tabla 37 Características físico-constructivas por Aula	60
Tabla 38: Tendencias por aula: cuantificación análisis cualitativo	60
Tabla 39. Análisis experimental y cumplimiento normativo	60
Tabla 40: Diagnostico aulas (elaboración propia).....	67

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Ecuación de Sabine (A. Carrión)	48
Ecuación 2: Ecuación niveles de presión (A. Carrión)	50

Capítulo 1. Introducción

Entre muchos aspectos de interés para la mejora de la sustentabilidad en Establecimientos educacionales, el confort acústico tiene un papel primordial para mejorar el aprendizaje de los estudiantes y la salud de los docentes. Recientemente la investigación en el campo acústico se centró en la calidad de la audición y en los efectos del ruido en entornos de aprendizaje. Un buen entorno acústico se logra principalmente mediante la minimización de las contribuciones de ruido de fuentes externas y de fuentes internas. Además, se garantiza una buena comunicación cuando la acústica de la sala y los parámetros de inteligibilidad se encuentran en los rangos aceptables para fines de enseñanza y aprendizaje (G.E. Puglisi, 2015).

El aula escolar es un lugar en donde se educa al individuo. Cuando los docentes se comunican o dan instrucciones, para los estudiantes en las aulas es importante que los mensajes se transmitan de manera efectiva y clara entre ellos (S.K. Tang & M.H. Yeung, 2005).

Los establecimientos educacionales en Chile, no son regidos por una normativa acústica que especifique los rangos adecuados para criterios relevantes en la acústica del aula como el tiempo de reverberación, la inteligibilidad de la palabra, el nivel de ruido externo, etc. En el año 2012 fueron publicados los Términos de Referencia (TDRe), el cual indica las estrategias de diseño para edificaciones publicas nuevas que son fiscalizadas por el Ministerio de Obras Públicas que detalla los criterios antes mencionados.

En la ciudad de Temuco los niveles de ruido han aumentado en los últimos 10 años y así lo indica el mapa de ruido ambiental elaborado por el Ministerio del Medio ambiente (MMA), que muestra los niveles en todas las calles de la Zona urbana. Existen colegios que datan con más de 50 años. Por lo tanto, estas edificaciones tienen una vida útil mucho mayor que una vivienda, lo que indica que, por la cantidad de años, tienen sistemas constructivos muy simples y se desconoce el desempeño acústico actual de estas aulas.

El año 2008 se hizo un diagnóstico de los establecimientos educacionales a nivel nacional, en donde el Ministerio de Educación manifiesta la deficiencia que existe a nivel de arquitectura. Como consecuencia de esto el año 2012 se formulan planes de desarrollo y proyectos de infraestructura. Un año más tarde el Estado plantea un mejoramiento de infraestructura en algunos

establecimientos educacionales, por ejemplo, en la ciudad de Temuco: Escuela Los Trigales, Campos Deportivos, Escuela Millaray, entre otros.

Teniendo como objetivo remodelaciones en reparación de baños, pinturas, cercos, pavimentos, etc. En las escuelas municipales no existe un plan de mejora asociado a la infraestructura al interior de las aulas de los establecimientos educacionales, no sé considera que el estudiante permanece en ella más del 80% de la jornada escolar. Por lo anterior y tal como lo respalda el Ministerio de Salud, los niveles (dB) de presión sonora deben estar dentro de los rangos recomendados evitando graves consecuencias tanto para la salud del docente como para el aprendizaje de los estudiantes.

De acuerdo a lo antes mencionado el estudio se enfoca en analizar el desempeño acústico de las aulas escolares existentes, enfatizando en las características arquitectónicas espaciales para determinar cuáles son los factores que afectan en la calidad acústica de las aulas.

1.1 Hipótesis

Las variables **arquitectónicas espaciales y las características físico-constructivo** de las aulas escolares influyen directamente en la calidad acústica medida en el interior del aula quedando fuera del rango establecido por los estándares acústicos nacionales e internacionales.

1.2 Objetivo general

Diagnosticar la calidad acústica de las aulas escolares de establecimientos educacionales municipales existentes en la ciudad de Temuco, basado en un estudio comparativo entre el análisis experimental y la percepción del usuario.

1.3 Objetivos Específicos

- 1) Catastrar estadísticamente las variables arquitectónicas espaciales y características físico-constructivo de establecimientos educacionales existentes emplazados en áreas urbanas con niveles de ruido ambiental similar, determinando casos representativos en la ciudad.
- 2) Diagnosticar la calidad acústica de las aulas representativas a través de análisis experimental en aulas escolares de establecimientos educacionales seleccionados para caso de estudio.
- 3) Evaluar la percepción del usuario a través de encuestas para una posterior comparación con los resultados obtenidos desde la medición.
- 4) Establecer diagnóstico de la calidad acústica de las aulas desde la comparación de los resultados obtenidos de casos de estudios representativos con los estándares nacionales e internacionales.

1.4 Metodología

La metodología a utilizar será un método mixto con análisis cuantitativo y cualitativo a través de estudio de casos.

Objetivo Especifico 1: Catastrar estadísticamente las variables arquitectónicas espaciales y características físico-constructivo de establecimientos educacionales existentes emplazados en

áreas urbanas con niveles de ruido ambiental similar, determinando casos representativos en la ciudad.

- Catastro de establecimientos educacionales en la zona urbana de Temuco, según registro del Ministerio de Educación, diferenciando los establecimientos según Sistema Particular y Sistema Municipal.
- A partir del catastro se seleccionarán aquellos que impartan enseñanza básica y media del sistema municipal que sean representativos en cuanto a su sistema constructivo, entorno de ruido y superficie construida.
- De este grupo de establecimientos se seleccionarán cuatro casos, que se diferencien en variables arquitectónicas espaciales de diseño interior y las características físico-constructivo del espacio, permitiendo realizar un análisis comparativo en el diagnóstico. Tres de ellos no cuentan con proyecto acústico y un cuarto caso que si tiene proyecto acústico, el que servirá de referencia en el estudio.

Objetivo Especifico 2: Diagnosticar la calidad acústica de las aulas representativas a través de análisis experimental en aulas escolares de establecimientos educacionales seleccionados para caso de estudio.

- Realizar visitas a terreno, según casos de estudio escogidos, para seleccionar aulas y concretar mediciones.
- Realizar mediciones in-situ de tiempo de reverberación, ruido de fondo, entre otros, de acuerdo a método de medición declarado por la norma ISO 3382-2 con micrófono omnidireccional, sonómetro certificado y analizador de espectro.

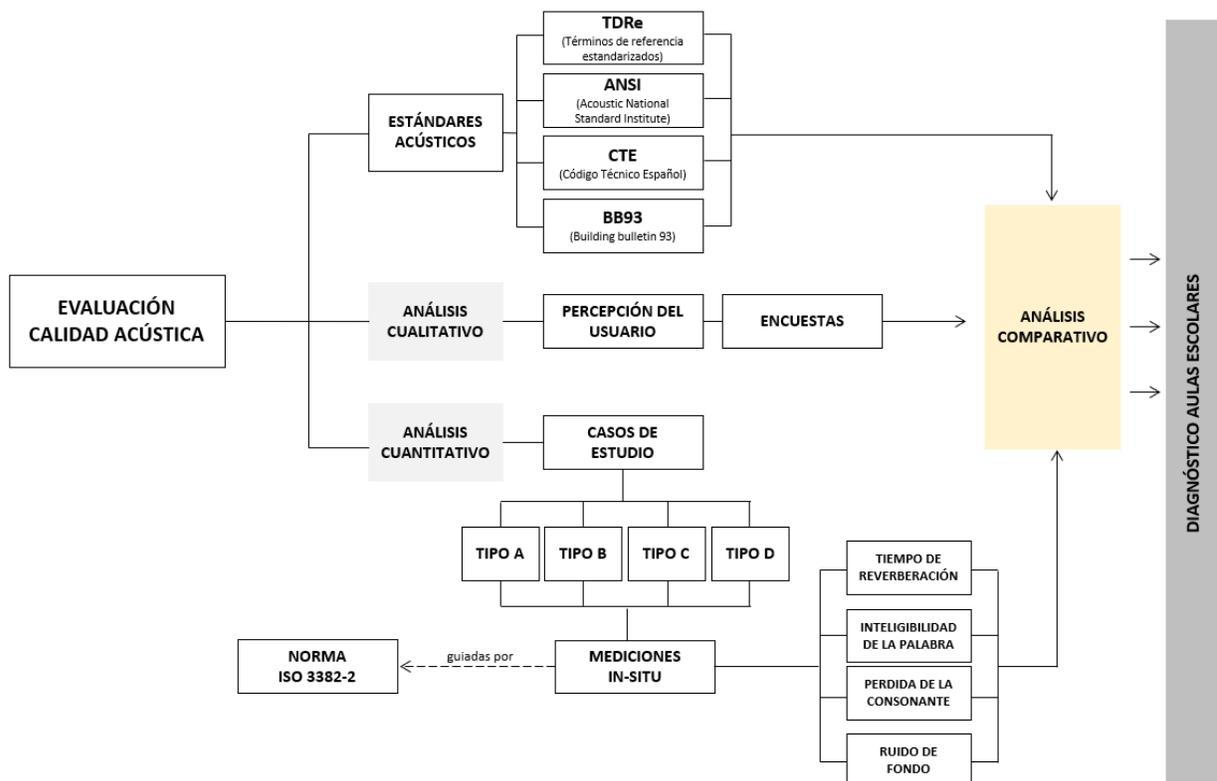
Objetivo Especifico 3: Evaluar la percepción del usuario a través de encuestas para una posterior comparación con los resultados obtenidos desde la medición.

- Utilizando una encuesta de referencia tipo se aplicará a estudiantes de las aulas estudiadas.
- Los resultados obtenidos de niveles de satisfacción de usuarios serán comparados con niveles obtenidos desde medición in-situ.

Objetivo Especifico 4: Establecer diagnóstico de la calidad acústica desde la comparación de los resultados obtenidos de casos de estudios representativos con los estándares nacionales e internacionales.

- Realizar tablas comparativas de los casos de estudios con estándares seleccionados desde el estado del arte.
- Analizar resultados en virtud de la comparación de mediciones in-situ con estándares nacionales e internacionales.
- Realizar diagnóstico detallado del desempeño acústico de las aulas a partir de los resultados obtenidos del cruce de las variables medidas in-situ, percepción del usuario y los estándares establecidos.

Mapa conceptual metodología



Capítulo 2. Desarrollo Teórico y Normativo

2.1 Principios físicos de la acústica

La acústica es una rama de la física que está encargada de estudiar la generación, propagación, recepción y almacenamiento del sonido a través de la detección de ondas mecánicas que se escuchan en una banda de frecuencias llamadas ondas sonoras.

El sonido es el nombre que le damos a toda sensación auditiva, debida a la llegada a nuestro oído de una onda acústica aérea, siendo el tímpano sensible a las variaciones de presión que acompañan a la propagación de una onda así. El foco de la onda es conocido como foco sonoro o fuente sonora; la onda, como onda sonora y su velocidad, como “velocidad del sonido”. Ello conduce a llamar sonido no solamente a la sensación fisiológica, sino también a la perturbación física que la origina. El oído humano solo percibe los sonidos cuya frecuencia se encuentra comprendida entre dos límites, variables según los individuos pero que se sitúan aproximadamente entre 20 y 20.000 Hz. Por debajo se encuentran los infrasonidos y por arriba los ultrasonidos (Élie Lévy, 1992).

En la teoría de la acústica existen una variedad importante de conceptos que son relevantes para el entendimiento de cómo funciona el sonido en el espacio.

Algunos conceptos relevantes son:

- **Aislamiento acústico:** capacidad del elemento constructivo para atenuar el paso del sonido de un recinto a otro.
- **Bandas de octava:** intervalos de un conjunto de frecuencias agrupadas para el análisis acústico.
- **Decibel (dB):** unidad adimensional utilizada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia.
- **Decibel A dB(A):** unidad de medida del ruido que toma en cuenta las diferencias de sensibilidad que el oído humano tiene para distintas frecuencias dentro del campo auditivo.
- **Espectro:** es la representación gráfica de un sonido que incluye datos sobre las frecuencias y niveles de presión sonora.

- **Frecuencia (f):** número de pulsaciones de una onda acústica senoidal ocurridas en un tiempo de un segundo
- **Nivel continuo equivalente (Leq):** es la media energética del nivel de ruido promediado en un intervalo de tiempo.
- **Longitud de onda:** distancia en metros recorrida por el sonido durante un ciclo.
- **Presión sonora:** incremento variable de la presión atmosférica que resulta de la presencia o la ausencia de sonido.
- **Puente acústico:** discontinuidad de un elemento constructivo que genera una mayor transmisión de la energía acústica.
- **Refracción:** desviación de una onda ocasionada por diferencias en la velocidad de onda a través de un medio no uniforme.
- **Reverberación:** fenómeno de persistencia del sonido en el interior de un recinto, una vez cesada la fuente de ruido, debido a reflexiones sucesivas en los cerramientos del mismo.
- **Ruido:** fenómeno sonoro desagradable o molesto, indeseable, por consiguiente, cualquiera sea su origen o características fisiológicas.
- **Ruido blanco:** Sonido complejo en el que la densidad espectral energética es independiente de la frecuencia.
- **Ruido de fondo:** aquel ruido que prevalece en ausencia del ruido generado por una fuente fija a medir.
- **Ruido rosa:** Sonido complejo en el que la densidad energética espectral es inversamente proporcional a la frecuencia
- **Sonido Complejo:** todo sonido que no es simple es llamado complejo o compuesto. La perturbación que se produce a su paso por un punto puede ser considerada, en efecto, como resultante de la suma de varias perturbaciones sinusoidales.
- **Sonido Simple:** sonido producido por una variación de presión, función sinusoidal del tiempo. También decimos que se trata de un sonido sinusoidal.
- **Tiempo de reverberación (RT):** tiempo en que la energía acústica se reduce a la millonésima parte de su valor inicial, una vez cesada la emisión de la fuente sonora.

En la vida cotidiana nos encontramos casi siempre con sonidos compuestos por varias frecuencias a la vez. Cuando estos sonidos son causa de molestia, se denominan ruidos. En el caso de las ciudades, el ruido constituye uno de los contaminantes más nocivos para la salud humana. Es causante de

distintas alteraciones en las personas tales como estrés, mal dormir, falta de concentración e irritabilidad, entre otras. Así, el grado de molestia dependerá de la frecuencia del ruido, amplitud, duración, variación temporal y del ruido de fondo del lugar (Manual de aplicación: Reglamentación acústica, 2006).

2.2 Acústica en la Arquitectura

Existe una relación directa entre el diseño arquitectónico y el uso que tendrá el espacio, es por eso que cuando se habla de aulas escolares se hace relación a los prototipos existentes que se dan en mayor porcentaje a nivel nacional, aquellos que son rectangulares, con terminaciones frías y lisas¹ y con una fachada completamente vidriada. Es aquí cuando la calidad acústica entra a jugar el rol principal, ya que como se mencionó anteriormente, la comunicación vía oral es lo primordial para el proceso de enseñanza y la comunicación entre docente-estudiante.

Cuando los estudiantes no pueden escuchar con eficacia en la escuela, es más probable que tengan dificultad para mantenerse concentrados en sus tareas, y la disciplina y cooperación son más difíciles de mantener (Gallup, 1986). Algunos docentes tienen voces inherentemente fuertes y pueden proyectar sus voces durante largos períodos de tiempo sin cansarse. Otros docentes, sin embargo, tienen voces relativamente débiles y se estresan cuando se les obliga a elevar su nivel de voz. Cuando los docentes usan sus voces para compensar los altos niveles de ruido, también están más cansados al final de la jornada escolar (Berg, 1993).

Aulas, especialmente aquellas para niños menores de 16 años, son quizás uno de los lugares interiores más importantes para los seres humanos. La comunicación efectiva entre docentes y niños es de crucial importancia para nuestra próxima generación. Para garantizar que los niños puedan recibir instrucciones correctas y claras por parte de los maestros y que los maestros puedan monitorear el desarrollo de los niños, la calidad acústica de las aulas debe mantenerse a un alto nivel (S.K. Tang, 2007).

Una buena calidad acústica es esencial para el confort y la productividad en espacios de trabajo. En espacios cerrados, donde el intercambio oral de información o los procesos de aprendizaje implican una comunicación verbal intensiva, se requiere un buen diseño para optimizar la función principal a

¹ Se entiende como frías y lisas las terminaciones que son mayormente en bruto como el hormigón pintado sin ningún tratamiento específico de terminación.

la que se destinan los espacios. Sin embargo, de la experiencia cotidiana, cada uno de nosotros seguramente notó que las aulas, salas de conferencias o salas de adoración pueden ser acústicamente satisfactorias e insatisfactorias. Esto se traduce, en general, por juicios como "esta habitación tiene una mejor acústica que la otra" o "seguimos las clases en esta sala más cómodamente que en la otra habitación" ... etc. Del mismo modo, damos evaluaciones acústicas a veces diferentes para la misma habitación. Estas impresiones subjetivas dependen de la posición de la persona en el local y también pueden variar de una persona a otra. De hecho, dos personas pueden tener diferentes impresiones con respecto a la misma señal de sonido en el mismo lugar en una habitación particular (A. Gramez, 2016).

El confort acústico, es aquel dato subjetivo que entrega el usuario que tiene relación directa con el acondicionamiento interior del espacio como también los factores de ruido exterior. Siendo este un factor relevante cuando se evalúa la calidad acústica de un aula escolar, considerando la percepción del usuario como elemento fundamental para el contraste de los resultados.

2.2.1 Factores Influyentes en la calidad acústica de aulas escolares

En la acústica de los recintos existen diversos aspectos que tienen que ver con la reflexión, absorción y difusión del sonido al interactuar con las superficies que los limitan. Dichas superficies elevan la reverberación y la resonancia que son propiedades de extraordinaria importancia para el control acústico de cualquier espacio (V.O. Knudsen, 1978).

Una cuestión central frente al problema acústico es la distinción entre acondicionamiento y aislamiento acústico, conceptos no siempre claramente diferenciados entre quienes se aproximan a la acústica arquitectónica. Si por una parte el acondicionamiento acústico apunta al mejoramiento de unas ciertas características acústicas en función de unas condiciones buscadas (para la construcción de una atmosfera, la escucha musical o la comunicación eficaz), el aislamiento acústico busca reducir al mínimo las potenciales interferencias entre sonidos o ruidos y los usuarios que los emiten y los perciben (R. D'Alençon, 2008).

Un espacio arquitectónico destinado al habla, como es el caso de las aulas escolares debe tener condiciones óptimas en la acústica para favorecer la comunicación vía oral.

Los parámetros acústicos que influyen en la calidad interior son:

- Ruido de fondo, medida en decibeles
- Tiempo de reverberación, medida en segundos
- Inteligibilidad de la palabra
- Pérdida de la consonante

Para poder controlar estos parámetros, la materialidad es uno de los factores más relevantes, no tan solo por la parte constructiva de la aislación acústica, sino que también por la terminación interior de los recintos, ya que mientras mejor capacidad de absorción tenga el material que da directamente con la proyección de la voz, mejor será el resultado en términos de tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra. Hoy en día existen materiales en los cuales su capacidad de absorción puede ser hasta de un 90% lo que puede ayudar considerablemente en la calidad interior de las aulas.

- **Ruido de fondo (Leq)**

El ruido de fondo es aquel que se mantiene en ausencia de ruidos generados por fuentes fijas, que para el caso de la espacialidad de aulas escolares es relevante saber que tan alto es el ruido de fondo en comparación con el exterior ya que los establecimientos, la mayoría está ubicado en zonas de alto ruido ambiental.

- **Tiempo de reverberación (RT)**

La caída del nivel de presión sonora va relacionada con la rapidez en la que el sonido se absorbe en una superficie, a mayor absorción la atenuación es mayor y más rápida lo que permitiría una mejor calidad acústica del recinto. Cuando el sonido permanece más en un recinto se debe a que las superficies son menos absorbentes y “rebota” más la proyección de la voz.

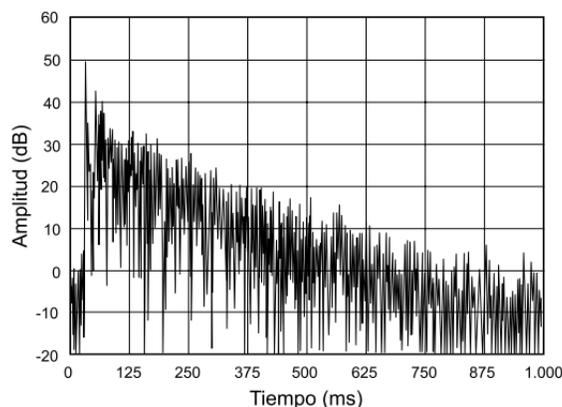
Para cuantificar la reverberación se utiliza el término tiempo de reverberación medido en segundos. Para espacios destinados a la comunicación vía oral se recomienda obtener resultados de RT más bajos con el fin de que la inteligibilidad de la palabra sea mejor.

El tiempo de reverberación está asociado directamente con el volumen del recinto y con el porcentaje de absorción que tengan las superficies de los materiales, por lo que se relaciona con la energía que se absorbe y la que incide.

En la práctica, la determinación del RT se realiza aplicando el método de Schroeder. Dicho investigador demostró matemáticamente que la curva promedio se puede obtener de forma

totalmente equivalente a base de integrar todas las contribuciones energéticas asociadas a una única curva energía-tiempo como se muestra en Gráfico 1, desde un instante de tiempo infinito hasta el instante inicial (A. Carrión, 1998).

Gráfico 1: Curva energía - tiempo



- Inteligibilidad de la palabra (STI)

La inteligibilidad en las aulas, o en cualquier otro recinto dedicado a la palabra, viene determinada por la combinación del tiempo de reverberación y el ruido de fondo. Las combinaciones de ambas características que dan lugar a una inteligibilidad de la palabra dada no son únicas (V.E. González, 2008).

La inteligibilidad se mide a través del índice de articulación, que indica el porcentaje de aciertos en la comprensión de una cantidad de emisiones vocales. Hay tres tipos de índices: el índice de articulación silábico, en el que se hace escuchar al sujeto cierta cantidad de sílabas sueltas sin sentido, el índice de articulación de palabras, para el cual se utilizan palabras en general de dos sílabas, y el índice de articulación de frases, que utiliza frases completas. En todos los casos las emisiones son fonéticamente balanceadas, es decir, los fonemas aparecen en la misma proporción que en el habla normal (F. Miyara, 1996).

A pesar de que se analiza en distintas frecuencias el valor que más se considera es el de 2 kHz ya que es la que más contribución tiene al entendimiento de la palabra.

Al analizar la evolución temporal del sonido reflejado en un punto cualquiera del recinto objeto de estudio, se observan básicamente dos zonas de características notablemente diferenciadas: una

primera zona que engloba todas aquellas reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo y que reciben el nombre de primeras reflexiones o reflexiones tempranas y una segunda formada por reflexiones tardías que constituyen la denominada cola reverberante (A. Carrión, 1998).

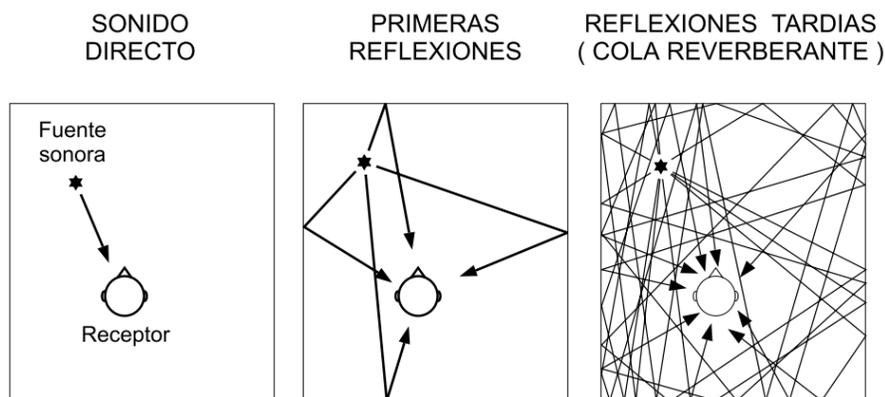


Figura 1: Reflexiones y cola reverberante (A. Carrión)

La inteligibilidad de la palabra también se asocia con el tono que tienen las personas, marcados por la diferencia de género².

El tono se define como la altura o elevación de la voz que resulta de la frecuencia de las vibraciones de las cuerdas vocales. Si estos músculos vibran un número elevado de veces por segundo, aumenta su tensión, la altura es mayor, la voz se eleva y, en definitiva, se escucha más aguda. Por el contrario, a menor frecuencia, menos vibraciones por segundo, menor tensión de las cuerdas vocales, la voz descende y, por tanto, se percibe más grave. Las vibraciones de un sonido agudo son, dentro de la unidad de tiempo, más numerosas que las de un sonido grave. En consecuencia, el tono es la propiedad de la voz que permite clasificar el sonido en una escala de frecuencia tonal, de más agudo a más grave (E. Rodero, 2001).

² Los discursos orales fluctúan entre las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz, identificando a hombres en bajas frecuencias y mujeres en altas frecuencias.

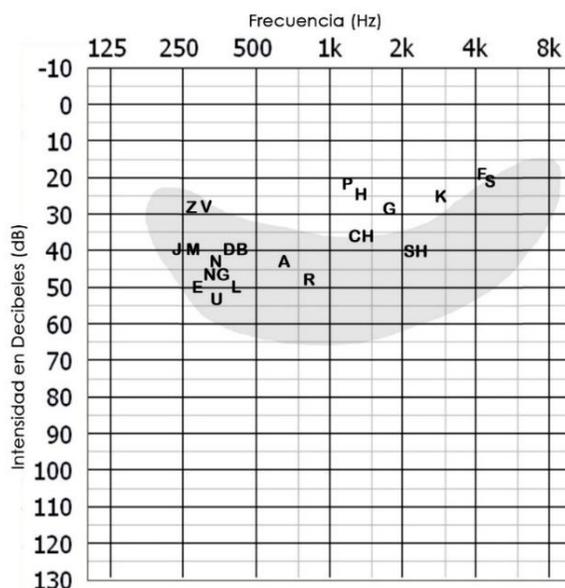
- **Pérdida porcentual de articulación de las consonantes (%Alcons)**

La inteligibilidad de la palabra va relacionada con el porcentaje de pérdida de la articulación de consonantes la cual indica que estas tienen mayor importancia que las vocales al momento de escuchar un discurso ya que una vez que se entienden claramente las consonantes el discurso en general es mucho más claro.

Articular significa pronunciar distintivamente las consonantes, ya que éstas son las que dan inteligibilidad al habla, mientras que las vocales confieren el timbre, el color, a la voz. Una articulación adecuada indica control de los órganos fonoarticulatorios (lengua, labios, velo, mandíbula y dientes), proporciona inteligibilidad al mensaje y ésta garantiza el interés del interlocutor. La articulación está íntimamente vinculada a la resonancia; si se articula de manera correcta se crea un adecuado espacio en el tracto vocal que favorece la proyección de la voz (I. Cobeta, 2013).

En Grafico 2 se muestra la Audiometría del habla o también conocida como “Banana del habla” que indica que, si hay letras debajo de la curva que se muestra, conlleva a una pérdida de la inteligibilidad.

Gráfico 2: Audiometría del habla (Adaptación de la Academia Americana de Audiología)



2.3 Aspectos Normativos: Nacional e Internacional

En Chile actualmente no existe una normativa acústica que especifique categorías dentro de los criterios existentes, tales como la inteligibilidad de la palabra y tiempos de reverberación que afectan directamente a la comunicación vía oral.

2.3.1 Normativa Acústica Nacional

- Norma Chilena Nch 352 -1 Of. 2000

La normativa Chilena indica las Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios. Esta norma aplica para todos los edificios que deban construirse en zonas urbanas y edificios industriales y se clasifican según indica Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de ambientes Nch 352

Ambiente muy tranquilo	30 o menos dB		
Ambiente tranquilo	30	40	dB
Ambiente moderadamente tranquilo	40	50	dB
Ambiente ruidoso	50	60	dB
Ambiente muy ruidoso	60	70	dB
Ambiente insoportable	70	80	dB
Ambiente inadmisible	más de 80		dB

Además de la clasificación de ambientes la Norma Chilena divide en cuatro grupos los locales para categorizar según se indica a continuación:

Grupo 1: Locales que deben ser totalmente aislados de las ondas sonoras exteriores como estudios de grabación de películas cinematográficas o de discos, salas de transmisión, sala de hospitales, estudios de música, escuelas, bibliotecas y de audición de alta calidad.

Grupo 2: Locales parcialmente aislados, como hoteles, departamentos, casas habitación, locales destinados a culto, oficinas profesionales o comerciales, otras salas de audición que no estén en grupo 1.

Grupo 3: Locales sin exigencias acústicas, como estadios, mercados, restaurantes. Etc.

Grupo 4: Locales ruidosos, como fábricas, estaciones de ferrocarril, imprentas, etc.

La Nch menciona en términos generales considerar los conceptos de termino de reverberación, solo indicando que los materiales escogidos debieran tener una “condición óptima”.

- **OGUC Art 4.1.5 - 4.1.6**

Al igual que en la Nch 352, la cual trabaja en forma complementaria con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, de clara en el Artículo 4.1.5 la siguiente clasificación:

Local 1: deben ser totalmente aislados de ondas sonoras exteriores tales como, estudios de grabación de películas cinematográficas, salas de transmisión de radiotelefonía, salas de hospitales, de estudios de música, de escuelas, bibliotecas y audición de alta calidad.

Local 2: Locales parcialmente aislados, como hoteles, departamentos, casas habitación, locales destinados a culto, oficinas profesionales o comerciales, otras salas de audición que no estén en Local 1.

Local 3: Locales sin exigencias acústicas, como estadios, mercados, restaurantes. Etc.

Local 4: Locales ruidosos, como fábricas, estaciones de ferrocarril, imprentas, etc.

El artículo 4.1.6 indica que las exigencias acústicas que se señalan en el artículo sólo serán aplicables 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 o entre unidades de viviendas de edificaciones pareadas o entre las unidades de vivienda que estén contiguas a recintos no habitables.

- **Términos de Referencia estandarizados (TDRe)**

Los términos de referencia estandarizados son una guía de diseño para edificios nuevos de la dirección de arquitectura del Ministerio de obras públicas el cual fue publicado el año 2012 como primera parte, para luego el año 2015 renovarse.

Estos términos consideran parámetros de eficiencia energética y confort ambiental en donde se aclara un ítem completo de Confort Acústico que data los siguientes estándares según **Tabla 2**

Tabla 2: Estándares TDRe

Tiempo de Reverberación (s)	0.7 s
Inteligibilidad de la palabra (STI)	STI > 0.6

2.3.2 Normativa Acústica Internacional

- **España: Código Técnico: Documento básico DB-HR (CTE)**

Esta normativa, denominado también código técnico se divide en tres partes fundamentales, la primera declarada recintos para espectáculos, la segunda tiempo de reverberación de recintos ordinarios y la tercera que es para espacios abiertos. Para este caso es la segunda parte la que afecta directamente con las variables a estudiar.

Tabla 3: Estándares CTE

Tiempo de Reverberación (s)	Desocupado – 0.7 s
Aislamiento Acústico de fachadas	> 30 dB

- **Estados Unidos: Acoustical National Standard Institute ANSI s12.60-2002 (ANSI)**

Esta normativa, Criterio de comportamiento acústico, requerimientos de diseño y guías para colegios, analiza los parámetros acústicos que debe tener un colegio para una buena calidad acústica de las aulas, normando los datos de la siguiente forma:

Tabla 4: Estándares ANSI S12.60-2002

Tiempo de Reverberación (s)	RT < 0.6
Inteligibilidad de la palabra (STI)	-----

- **Inglaterra: Building Bulletin 93 (BB93)**

El boletín de edificación indica criterios para distintas edificaciones en donde una de ellas son los establecimientos educacionales, en esto indica criterios de diseño para interior y exterior.

Los parámetros son:

Tabla 5: Estándares Building Bulletin 93

Tiempo de Reverberación (s)	RT < 0.8 s
Inteligibilidad de la palabra	STI ≥ 0.6 s
Ruido de fondo	Leq ≤ 35

A continuación, se muestra un cuadro resumen en **Tabla 6** de los aspectos normativos nacionales e internacionales.

Tabla 6: Comparación de normativas (Elaboración propia)

AULAS	O.G.U.C.	Nch 352	TDRé	CTE	ANSI	BB 93
	Chile	Chile	Chile / publico	España	USA	Reino unido
RUIDO DE FONDO (Leq)	NO SE CONSIDERA	NO SE CONSIDERA	-	-	Leq < 35 DB	Leq ≤ 35 DB
TIEMPO DE REVERBERACIÓN (s)			0,7	RT ≤ 0.7	RT < 0.6	RT < 0.8
INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA (STI)			STI > 0,6	-	-	STI ≥ 0,6
AISLAMIENTO ACUSTICO DE FACHADAS			NED ≤ 65 Dba (30DB)	> 30 DB	min 45 DB	-
	NED > 65 dBA (ned-35db)					

Queda demostrado que las normas chilenas existentes no consideran parámetros relevantes en la calidad acústica y que a pesar de que el TDRé considera estos factores, la cantidad de establecimientos educacionales existentes que no fueron diseñados con estos parámetros son bastantes, lo que deja a Chile en niveles muy básicos respecto de la de normativa acústica en comparación a los estándares de países anteriormente mencionados.

Capítulo 3. Métodos de Evaluación

3.1 Método de medición Experimental ISO 3382-2

La norma específica tres niveles de exactitud de la medición: control, ingeniería y precisión. La principal diferencia se refiere al número de posiciones de medición y por lo tanto al tiempo requerido para realizar las mediciones.

Existen varias razones para medir el tiempo de reverberación. En primer lugar, el nivel de presión acústica de las fuentes sonoras, la inteligibilidad de la palabra, y la percepción de la privacidad en un recinto dependen mucho del tiempo de reverberación. En segundo lugar, el tiempo de reverberación se mide para determinar el término de corrección de la absorción del recinto inherente en múltiples mediciones acústicas.

En muchos recintos, el número de personas presentes puede influir en el tiempo de reverberación. Las mediciones del tiempo de reverberación se deberían realizar en un recinto sin personas. Sin embargo, se puede permitir que un recinto con hasta dos personas presentes represente su estado vacío, salvo que se especifique lo contrario (ISO 3382-2, 2008).

Para la medición de la calidad acústica se utilizara el método lo establecido por la ISO 3382 del Método de ruido interrumpido en estado desocupado, el cual indica que es un procedimiento para la obtención de las curvas de caída mediante la grabación directa de la caída del nivel de presión acústica después de excitar un recinto con ruido de banda ancha o de ancho de banda limitado, en un estado de ocupación desocupado el cual indica que es la situación del recinto en que está preparado para su uso por locutor o intérpretes, pero en ausencia de todas las personas.

Tabla 7. Combinaciones fuente-micrófono (ISO 3382, 2008).

	Control	Ingeniería ^a	Precisión
Combinaciones fuente-micrófono	2	6	12
Posiciones de la fuente ^b	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Posiciones de micrófono ^c	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Número de decrecimientos en cada posición (método del ruido interrumpido)	1	2	3
^a Cuando el resultado se utiliza para un término de corrección en otras mediciones del nivel de ingeniería, solo se requiere una posición de la fuente y tres posiciones de micrófono. ^b Para el método del ruido interrumpido, se pueden utilizar simultáneamente fuentes no correlativas. ^c Para el método del ruido interrumpido y cuando el resultado se utiliza para un término de corrección, se puede utilizar una percha de micrófono rotativo en lugar de múltiples posiciones de micrófono.			

La cantidad de mediciones lo establece la ISO 3382 que indica que son 6 combinaciones de distintas posiciones de micrófono y fuente y que deben estar separadas mínimo a 2 metros a una altura promedio de 1 metro como se muestra en **Figura 2** (Todas las imágenes en **ANEXO I**).



Figura 2: Imágenes mediciones in-situ

Los parámetros a medir de manera experimental serán:

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

RUIDO DE FONDO

INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA

PERDIDA DE LA CONSONANTE

Los elementos a utilizar serán:

MICRÓFONO OMNIDIRECCIONAL C03 MULTI-PATTERN CONDENSER

SONÓMETRO PULSAR – MODELO 52 (CERTIFICACIÓN: 10714.2)

CALIBRADOR PULSAR – CLASE 1 (CERTIFICACIÓN: 10714.2)

PARLANTE AMPLIFICADOR APL- 400

INTERFAZ DE AUDIO – TASCAM US-122MK II

FUENTE EMISORA DE SONIDO DE IMPULSO (GLOBO N°5)

RUIDO ROSA

ANALIZADOR DE ESPECTRO

Para el análisis de aulas se establecieron variables fijas y dinámicas que indicarán de qué manera se hará el estudio en cada caso, como se indica en Tabla 8:

Tabla 8: Variables fijas y dinámicas (elaboración propia)

VARIABLES FIJAS	VARIABLES DINAMICAS
ENTORNO (NIVEL DE RUIDO EN DB)	TERMINACIÓN INTERIOR
SISTEMA CONSTRUCTIVO	ALTURA (M3)
TIPO DE VIDRIO Y MARCO SUPERFICIE (M2)	SUPERFICIE VIDRIADA POR FACHADA

3.2 Método de evaluación cualitativo: Percepción del Usuario

Para poder tener un resultado más óptimo respecto de las mediciones in-situ se considera la percepción de los estudiantes al interior de las aulas escolares con el fin de complementar la información obtenida. Recopilando los elementos que se necesitan analizar se elaboró una encuesta basada en la tesis “Estudio del confort acústico en oficinas de planta libre del edificio de administración de la universidad del Bio-Bio, a través de la percepción de los usuarios y de los índices de valoración acústica” acomodando los ítems a establecimientos educacionales. (ANEXO V).

En la aplicación de la encuesta se tomará en cuenta la opinión de los estudiantes en el aula escolar evaluada en terreno, considerando que varió en los distintos casos de estudio entre 6° y 8° básico (11 – 14 años), logrando determinar de qué manera afectan los ruidos externos o internos en la comprensión del lenguaje hablado, indicando si se encuentran cómodos o incómodos en el aula escolar, la claridad con la que escuchan al docente, etc.

Las preguntas se enfocaron de acuerdo a los parámetros medidos in-situ (tiempo de reverberación (RT), inteligibilidad de la palabra (STI), porcentaje de pérdida de la consonante (%Alcons) y Ruido de fondo (Leq)) asociando cada uno a conceptos relacionados entre sí.

El RT se asociará al porcentaje de estudiantes dentro del aula que oyen un eco, el STI y el %Alcons a n° de estudiantes que oirán con claridad el discurso del docente y el Leq al porcentaje de confort acústico que tienen los estudiantes al interior del aula, considerando ruidos externos de automóviles o del pasillo.

Los resultados obtenidos se graficarán para un mejor entendimiento y se cuantificarán con porcentajes para la posterior comparación con la evaluación experimental.

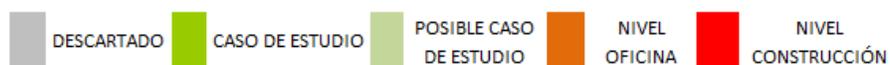
Capítulo 4. Casos de estudio: Establecimientos Educativos

La ciudad de Temuco, a pesar de tener una forma más horizontal³, en términos educacionales se conecta de manera vertical, teniendo distintos establecimientos en la zona norte y sur de la ciudad.

Para la elección de casos de estudio se analizaron los establecimientos educacionales a nivel urbano, comenzando con un análisis general de clasificación de los establecimientos de Temuco por dependencia (Municipal, Particular subvencionado y Particular pagado), seleccionando solo los establecimientos municipales; en estos casos se aplicaron filtros tales como nivel de enseñanza, materialidad, ubicación según ruido, etc.

Tabla 9: Establecimientos Educativos Municipales Temuco (Elaboración Propia)

NOMBRE	UBICACIÓN	ESTADO	NIVEL DE ENSEÑANZA	N° PISOS	MATERIALIDAD	ALUMNOS POR SALA PROMEDIO	NIVEL DE RUIDO RANGO	
COLEGIO ALONSO DE ERCILLA	1 NORTE 01275	RENOVADO 2003	BÁSICA Y MEDIA	3	HORMIGÓN	24	65 - 70 dB	
COLEGIO MUNDO MÁGICO	URUGUAY 1450	NUEVO 2017	BÁSICA	4	HORMIGÓN	33	70 - 75 dB	
COMPLEJO EDUC. UN AMANECER EN LA ARAUCANÍA	VENECIA ESQUINA GARIBALDI		BÁSICA Y MEDIA	2	HORMIGÓN	26	55 - 60 dB	
ESCUELA ANDRES BELLO	PRIETO SUR 1101	REGULAR	BÁSICA	2	HORMIGÓN	24	75 - 80 dB	
ESCUELA ARTÍSTICA ARMANDO DUFÉY BLANC	X							
ESCUELA ARTURO PRAT	GENERAL MACKENNA 685	CENTRO	BÁSICA	2	ALBAÑILERÍA	28	70 - 75 dB	
ESCUELA BOTROLHUE	X CAMINO LABRANZA KM 7.5		BÁSICA	X	X	1	X	
ESCUELA BOYECO	X CAMINO CHOL CHOL KM10	RURAL	BÁSICA	X	X	32	X	
ESCUELA CAMPOS DEPORTIVOS	GABRIELA MISTRAL 01055	RENOVADO 2012	BÁSICA	3	HORMIGÓN	28	65 - 70 dB	
ESCUELA COLLIMALLIN	X COLLIMALLIN		BÁSICA	X	X	5	X	
ESCUELA CONOCO CHICO	X CONOCO-CHICO		BÁSICA	X	X	4	X	
ESCUELA DE ADULTOS MANUEL ROJAS	X			X	X		X	
ESCUELA LABRANZA	X			X	X		X	
ESCUELA LIRCAY	X CAMINO A TROMEN KM 10		BÁSICA	X	X	1	X	
ESCUELA LLAIMA	COQUIMBO 745 POB. LLAIMA	REGULAR	BÁSICA	2	ALBAÑILERÍA	36	60 - 65 dB	
ESCUELA LOS AVELLANOS	ARMANDO JOBET 0201	SIMPLE	BÁSICA	2	ALBAÑILERÍA	22	50 - 55 dB	
ESCUELA LOS TRIGALES	IGNACIO CARRERA PINTO 920	RENOVADO 2012	BÁSICA	2	HORMIGÓN	30	75 - 80 dB	
ESCUELA MANÍO CHICO	X CAMINO CHOL CHOL KM 7	RURAL	BÁSICA	X	X	5	X	
ESCUELA MANUEL RECABARREN	AV. ITALIA 02375	RENOVADO 2002	BÁSICA	3	HORMIGÓN	20	65 - 70 dB	
ESCUELA MILLARAY	RAYEN 1010	RENOVADO 2012	BÁSICA	2	HORMIGÓN	27	75 - 80 dB	
ESCUELA MOLLULCO	X CAMINO TROMEN KM 20	RURAL	BÁSICA	X	X	13	X	
ESCUELA MUNICIPAL EL TRENCITO	A. VARAS 1499	PRECARIO	BÁSICA	2	MADERA	20	60 - 65 dB	
ESCUELA PEDRO DE VALDIVIA	AV. PEDRO DE VALDIVIA 0991	SIMPLE	BÁSICA	2	MADERA	19	65 - 70 dB	
ESCUELA REDUCCION MONTE VERDE	X REDUCCION MONTE VERDE		BÁSICA	X	X	4	X	
ESCUELA REDUCCION RALUNCOLLAN	X CAMINO CHOLCHOL KM 3	RURAL	BÁSICA	X	X	2	X	
ESCUELA SANTA ROSA	CATRIHUALA 0485	PRECARIO	BÁSICA	2	MADERA	32	70 - 75 dB	
ESCUELA ESTÁNDAR	X MATTA 0151		BÁSICA	X	X	23	X	
ESCUELA TROMEN ALTO	X KM 15 CAMINO TROMEN	RURAL	BÁSICA	X	X	2	X	
ESCUELA TROMEN BAJO	X TROMEN BAJO	RURAL	BÁSICA	X	X	1	X	
ESCUELA VILLA ALEGRE	X CONCEPCIÓN 01165	PRECARIO	BÁSICA	1	MADERA	14	X	
ESCUELA VILLA CAROLINA	BOYECO CON P DE VALDIVIA	RENOVADO 2002	BÁSICA	3	HORMIGÓN	24	60 - 65 dB	
LICEO BICENTENARIO DE TEMUCO	CAUPLICAN 105		BÁSICA Y MEDIA	1	ALBAÑILERÍA	34	70 - 75 dB	
LICEO GABRIELA MISTRAL DE TEMUCO	ANTONIO VARAS 630	CENTRO	BÁSICA Y MEDIA	3	HORMIGÓN	25	55 - 60 dB	
LICEO PABLO NERUDA	BALMACEDA 659	NUEVO 2013	BÁSICA Y MEDIA	3	HORMIGÓN	39	70 - 75 dB	
LICEO POLIVALENTE DE ADULTOS SELVA SAAVEDRA								



³ El crecimiento de Temuco se ha dado desde la zona centro hacia los extremos en dirección poniente y oriente definiendo la ciudad geoméricamente más alargada.

En la Figura 3 se muestra la ubicación de los establecimientos a estudiar, de los cuatro solo el Liceo Pablo Neruda presenta proyecto acústico de acuerdo a su renovación completa el año 2013.



Figura 3: Ubicación casos de estudio (Elaboración Propia)

De acuerdo al mapa de ruido que presenta el Ministerio de medio ambiente el año 2016 existe un rango de decibeles que muestra el nivel de ruido máximo recomendado según zona como indica Figura 4.



Figura 4: Rango de Decibeles (MMA)

Se tomo como referencia, considerando las variables mencionadas en Tabla 8 las siguientes variables dinámicas declaradas en Tabla 10.

Tabla 10: Variables escogidas

VARIABLES FIJAS		VARIABLES DINAMICAS	
ENTORNO (NIVEL DE RUIDO EN DB)	70 - 80 dB	TERMINACIÓN INTERIOR	YESO CARTÓN - HORMIGON PINTADO - ENTABLADO MADERA
SISTEMA CONSTRUCTIVO	HORMIGÓN	ALTURA (M3)	3.2m - 2.8m - 3.07m - 3.25m
TIPO DE VIDRIO Y MARCO	SIMPLE + ALUMINIO	SUPERFICIE VIDRIADA POR FACHADA	21m ² - 14m ² - 11m ² - 16m ²
SUPERFICIE (M2)	45 - 55 m2		

Al ubicar los casos de estudio sobre el mapa de ruido se percibe que están situados en zonas de alto ruido ambiental como muestra la Figura 5



Figura 5: Ubicación establecimientos sobre mapa de ruido (Elaboración propia)

Los casos de estudio se encuentran en el rango establecido de decibeles entre 75dB y 80dB de entorno de ruido, según esto las características de los casos más representativos se muestran en Tabla 11 (Fotos en ANEXO I)

Tabla 11: Casos representativos (elaboración propia)

NOMBRE	UBICACIÓN	ESTADO	NIVEL DE ENSEÑANZA	N° PISOS	MATERIALIDAD	ALUMNOS POR SALA PROMEDIO	NIVEL DE RUIDO RANGO
ESCUELA ANDRES BELLO	PRIETO SUR 1101	REGULAR	BÁSICA	2	HORMIGÓN	35	75 - 80 dB
ESCUELA LOS TRIGALES	IGNACIO CARRERA PINTO 920	RENOVADO 2012	BÁSICA	2	HORMIGÓN	35	75 - 80 dB
ESCUELA MILLARAY	RAYEN 1010	RENOVADO 2012	BÁSICA	2	HORMIGÓN	31	75 - 80 dB
LICEO PABLO NERUDA	BALMACEDA 659	NUEVO 2013	BÁSICA Y MEDIA	3	HORMIGÓN	33	70 - 75 dB

Para la obtención de resultados, recopilación de datos y características de cada aula escolar se elaboró una ficha de estudio, que considera datos como el análisis descriptivo del aula en términos de terminaciones, calidad de los materiales, cantidad de elementos, entre otros, además de esquemas para anotar los resultados obtenidos en ruido de fondo y tiempo de reverberación (ANEXO II).

4.1 Escuela Andrés Bello

En el año 1939 bajo la necesidad de fundar un hogar para niñas en situación de vulnerabilidad social, se creó el “Directorio Hogar Infantil Femenino”, el que dio origen posteriormente a la Escuela N° 10. La primera profesora y directora de la Escuela y Hogar, fue la señora Rufina Acuña, quien gestó este proyecto en compañía de 9 niñas que acudían a la casona ubicada en calle Vicuña Mackenna, funcionando como nexo de la escuela número 7, actual escuela Marcela Paz de Temuco. Años más tarde, con un total de 15 niñas en el hogar, se hace necesaria la construcción de una escuela, para ello se adquiere una propiedad de 1000 metros cuadrados, en ese entonces fuera del plano urbano de la ciudad, en lo que hoy es la calle Prieto Sur, ampliándose también el personal docente y administrativo (Proyecto educativo institucional, 2017).



Figura 6: Escuela Andrés bello (Google Maps)

Características aula (A)

El aula se caracteriza por su terminación interior forrada en madera machihembrado en muros y cielo y la instalación de piso parquet. La mantención general de la sala se considera regular ya que el piso principalmente se encuentra con algunas deficiencias por uso y antigüedad (ANEXO 3).

El cielo es con terminación de dos aguas en donde se apoya la techumbre en una estructura metálica de 10cm considerando 3 pilares por lado.

En su contexto, en el muro de la ventana se encuentra la conexión directa con una calle, el muro del pasillo se enfrenta a un pasillo cerrado que colinda con una multicancha y la sala por si misma se encuentra ubicada entre otras dos, colindando con salas de las mismas características por cada lado.

Al momento de las mediciones se encontraban dos muebles con libros, cuatro papeles pegados en la pared, perchero vacío con 15 ganchos, mural de plumavit de 1 x 1,20m., un reloj análogo y 34 sillas y mesas.

Sus ventanas son de vidrio simple con marco de aluminio de 3.5 cm y sus dimensiones principales de acuerdo a Tabla 12 son:

Tabla 12: Características Aula tipo A

ANCHO	5.9	CIELO	53.15
LARGO	8.8	MURO FONDO	18.41
ALTO	2.8 y 3.44	MURO PIZARRA	18.41
V (m3)	156.4	MURO PASILLO	24.64
SUP. ABS. (m2)	191.17	MURO VENTANA	24.64
SUP. VENTANA	21.12	PISO	51.92

La planta del aula tipo A como muestra la Figura 7 tiene una tendencia de geometría rectangular, alargando la distancia entre la fuente emisora (docente) y el receptor (estudiantes).

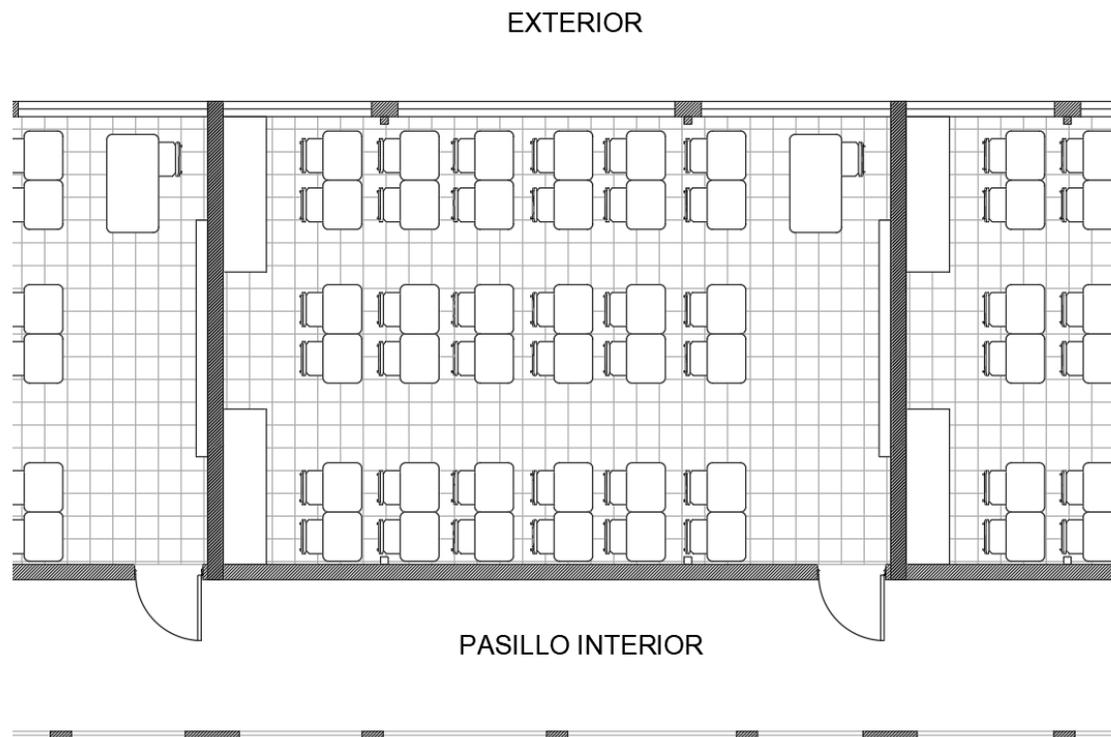


Figura 7: Planta aula tipo A

El Aula está ubicada en un sector de ruido entre 75 – 80 dB según declara el ministerio de medio ambiente como muestra Figura 8



Figura 8: Nivel de ruido Andrés Bello (MapCity)

4.2 Escuela Los Trigales

La historia de esta escuela comienza hacia el año 1972, como consta en los documentos oficiales de la República de Chile. El origen se remonta hacia el sector de Tromén, conociéndose con el nombre de “Escuela N°154”. En esos años el terreno en el cual funcionaba el establecimiento pertenecía al Obispado de Temuco, organismo que después de cinco años (1977), solicitó la devolución del terreno, pues habían caducado los cinco años en comodato. Debido a esto, fue reubicada y destinada a seguir sus funciones en el sector los Coyochos, actual Trigales, terreno de 6.000 metros cuadrados, que pertenecía al SERVIU organismo que en 1978 decide donar este terreno al Ministerio de Educación y así dar continuidad a enseñanza que recibían, en esa época aproximadamente unos 300 niños y niñas (Proyecto educativo, 2015-2017).

Actualmente atiende una matrícula total de 559 estudiantes desde NT1 a 8º año básico, cuyas edades fluctúan entre los 04 años y 14 años. Educamos a una diversidad cultural y donde la diversidad se asume sin discriminar por género, etnia, credo ni ideologías (Proyecto educativo, 2015-2017).



Figura 9: Escuela los Trigales (Google Maps)

Características aula (B)

El aula tiene una forma rectangular con un recorte en el acceso, en donde la puerta se encuentra con algunas fallas de instalación y mantención, estando descuadrada y con un orificio que rompe una de las caras de la puerta. Tiene terminación interior de Yeso Cartón en muros y cielo. El piso es de vinílico en palmeta con algunas deficiencias en instalación y mantenimiento del material. Se considera el estado interior del aula regular con tendencia a deficiente. En su contexto, en el muro de la ventana se encuentra la conexión directa con una calle, en el muro del pasillo se enfrenta a un pasillo cerrado que colinda con un patio interior y la sala por si misma se encuentra ubicada entre otras dos, colindando con salas de las mismas características por cada lado.

Al momento de las mediciones se encontraban dos muebles, tres carteles pegados en la pared, un mural de 1,8 x 1m, un reloj análogo y 37 sillas y mesas. Sus ventanas son de vidrio simple con marco de aluminio de 3.5 cm y sus dimensiones se especifican en Tabla 13

Tabla 13: Características Aula tipo B

ANCHO	5.00	6	CIELO	51.7
LARGO	7.7	8.8	MURO FONDO	18.42
ALTO	3.07		MURO PIZARRA	15.35
V (m3)	147.3		MURO PASILLO	30.09
SUP ABS (m2)	194.27		MURO VENTANA	27.02
SUP tot (m2)	51.7		PISO	51.7
SUPERFICIE VENTANAS				14.70

A pesar de que el aula tiene forma rectangular como se muestra en figura 10, su largo es menor en comparación al aula tipo A, lo que cambia la superficie interior a analizar.

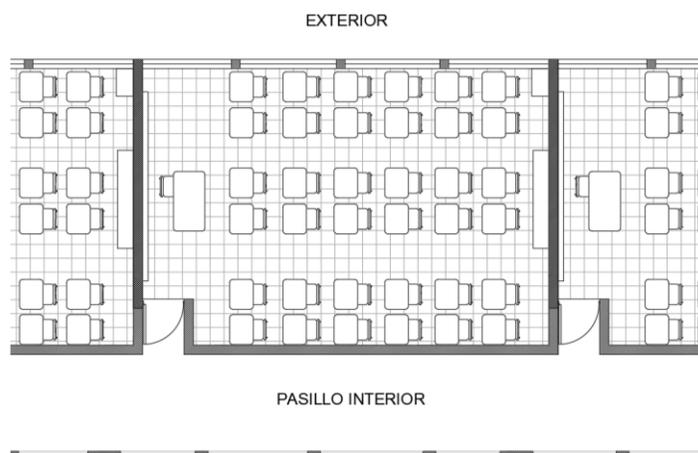


Figura 10: Planta aula tipo B

El aula está ubicada en un sector de ruido entre 75 – 80 dB según declara el ministerio de medio ambiente en Figura 11



Figura 11: Nivel de ruido Escuela Los Triguales (MapCity)

4.3 Escuela Millaray

Nuestra Escuela fue fundada en calle Rayen esquina O’higgins un día 16 de noviembre de 1964, con el nombre de Escuela Básica Nº 94. Fue construida por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos con la colaboración de la Alianza para el Progreso, tenía 10 salas de clases, su primera directora fue la Docente Sra. Juana Turra Curaqueo. Su planta docente estaba formada por 11 Profesores y 1 Auxiliar de Servicios menores. Su matrícula era de 100 estudiantes. En el año 2007 se inicia la nueva construcción de la escuela para implementar la jornada escolar completa. En el mes de marzo del año 2008 se inaugura la nueva escuela básica Millaray con los adelantos tecnológicos que el Ministerio de Educación exige (DAEM, Escuela Millaray).



Figura 12: Escuela Millaray (Google Maps)

Características aula (C)

El aula tiene una forma rectangular con un recorte en el acceso y sobre la puerta se encuentran ventanales sellados de vidrio simple con marco de aluminio, esta misma incluye un vidrio en la hoja de la puerta. La terminación interior en su antepecho de 90cm de alto con placa tipo Poligyp y el resto de la sala es de hormigón pintado exceptuando el cielo que tiene placas de yeso cartón. El piso es de vinílico en palmeta con algunas deficiencias en instalación y mantenimiento del material. Se considera el estado interior del aula regular con tendencia a deficiente. En su contexto, en el muro de la ventana se encuentra la conexión directa con una calle, en el muro del pasillo se enfrenta a un pasillo cerrado que colinda con un patio exterior y la sala por si misma se encuentra ubicada entre otras dos, colindando con salas de las mismas características por cada lado.

Al momento de las mediciones se encontraban tres muebles, nueve carteles pegados en la pared, un mural de 1,8 x 1m, cuatro cojines y 30 sillas y mesas.

Sus ventanas son de vidrio simple con marco de aluminio de 3.5 cm y sus dimensiones principales están indicadas en Tabla 14.

Tabla 14: Características Aula tipo C

ANCHO	6.00	4.5	CIELO	46.50
LARGO	8	7	MURO FONDO	17.22
ALTO	2.87		MURO PIZARRA	12.92
V (m3)	125.0		MURO PASILLO	27.27
SUP ABS (m2)	173.36		MURO VENTANA	22.96
SUP tot (m2)	46.50		PISO	46.50
SUPERFICIE VENTANAS				11.35

En términos de forma se asimila a los casos de estudios recién mencionados, pero no en su superficie, en Figura 13 se muestra su geometría.

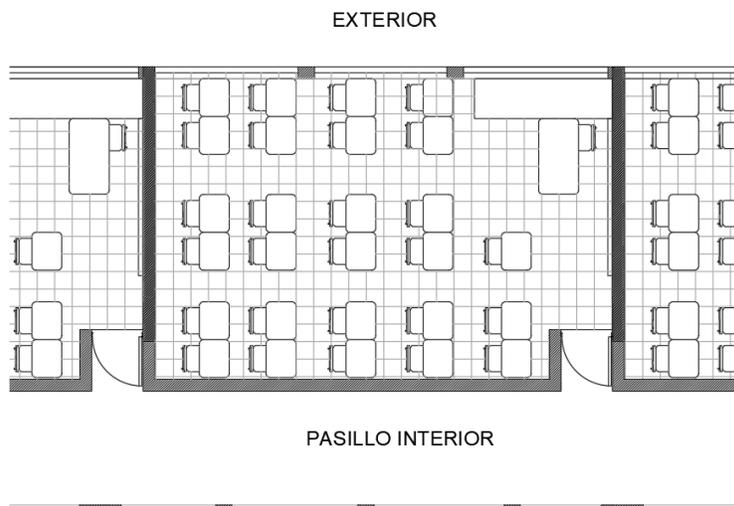


Figura 13: Planta Aula tipo C

El aula está ubicada en un sector de ruido entre 75 – 80 dB según declara el ministerio de medio ambiente en Figura 14.



Figura 14: Nivel de ruido Escuela Millaray (MapCity)

4.4 Liceo Pablo Neruda

Fundado en 1888 bajo el gobierno de José Manuel Balmaceda, sólo seis años después de la fundación de la ciudad de Temuco.

Su primera ubicación fue a un costado del Banco Alemán, ubicado en la calzada norte de la calle García Reyes (posteriormente Luis Claro Solar), y correspondía a un emplazamiento de propiedad del primer alcalde de Temuco, don José del Rosario Muñoz.

En noviembre de 2013, fue inaugurado su actual edificio, con un costo de casi \$7.000.000.000 de pesos chilenos (USD 13.000.000 aproximadamente) Actualmente, tiene dos mil quinientos estudiantes.

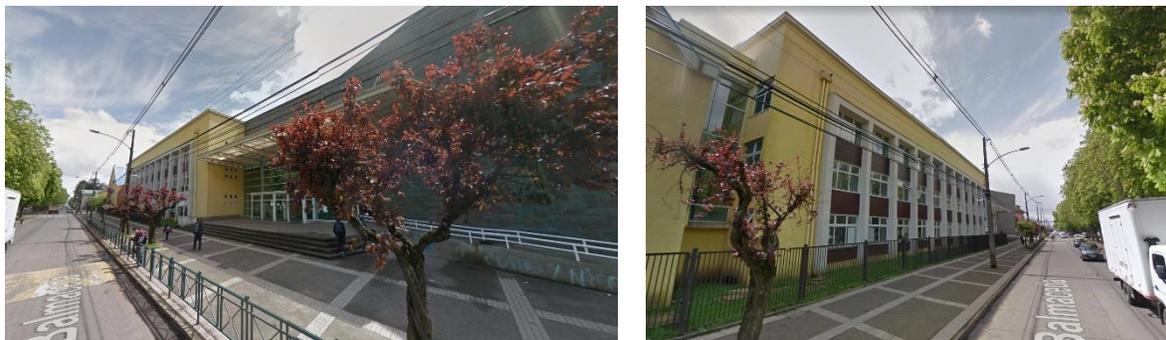


Figura 15: Liceo Pablo Neruda (Google Maps)

Características aula (D)

El aula tiene una forma rectangular, sobre la puerta se encuentran ventanales sellados de doble vidrio con marco de PVC. La terminación interior es de yeso catón pintado en tres de sus muros y en el 80% del cielo; el resto del muro y cielo (muro de fondo) es con maderas colocadas de manera vertical con separación de 6mm sobre lana de vidrio para la absorción acústica. El piso es de vinílico en palmeta con condiciones óptimas de instalación y mantenimiento. Se considera el estado interior del aula buena.

En su contexto, en el muro de la ventana se encuentra la conexión directa con una calle, en el muro del pasillo se enfrenta a un pasillo abierto que colinda con un patio interior y la sala por si misma se encuentra ubicada entre otras dos, colindando con salas de las mismas características por cada lado.

Al momento de las mediciones se encontraban 1 mueble, 1 reloj, 1 cuadro y la pizarra tiene dos planchas de corcho a cada lado para completar el largo total del muro ayudando a la calidad acústica de la sala y contaba con 40 sillas y mesas.

Sus ventanas son de vidrio doble con marco de PVC de 4 cm y sus dimensiones se declaran en Tabla 15

Tabla 15: Características Aula tipo D

ANCHO	7.00	CIELO	48.79
LARGO	6.97	MURO FONDO	22.61
ALTO	3.23	MURO PIZARRA	22.61
V (m3)	157.6	MURO PASILLO	22.51
SUP ABS (m2)	187.83	MURO VENTANA	22.51
SUP VENTANA	16.47	PISO	48.79

A diferencia de los tres casos de estudio anteriores, el aula tipo D como muestra la Figura 16 tiene una forma cuadrada.

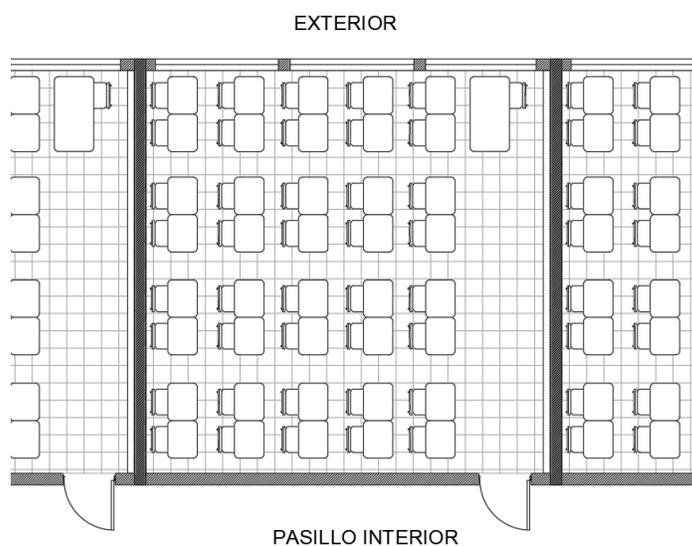


Figura 16: Planta Aula tipo D

El aula está ubicada en un sector de ruido entre 75 – 80 dB según declara el ministerio de medio ambiente en Figura 17



Figura 17: Nivel de Ruido Liceo Pablo Neruda (MapCity)

Capítulo 5. Resultados de desempeño acústico

5.1 Análisis experimental: medición in – situ

5.1.1 Tiempo de reverberación (RT)

Aula tipo A (Escuela Andrés Bello)

En el aula tipo A se hizo la medición in-situ del tiempo de reverberación utilizando el método declarado en la norma ISO-3382.

Se usaron seis combinaciones de fuente de ruido impulsivo (g1, g2, g3...) con micrófonos captadores del sonido de acuerdo a lo (m1, m2, m3...) que se muestran en **Figura 18 y 19** respectivamente.

De acuerdo a las grabaciones obtenidas se analizaron con software ARTA para generar las curvas de decaimiento de energía (ANEXO III) y los valores de tiempo de reverberación asociados a las distintas frecuencias (T30).

En las combinaciones de ruido de impulso y micrófono se buscó distintas posiciones que simulen la posición del docente, a mitad de sala y al final de esta para percibir de distinta manera el ruido de impulso, los datos obtenidos se muestran en la **Tabla 16**.

DATOS OBTENIDOS

Tabla 16: Tiempo de reverberación in-situ (Aula tipo A)

F (Hz)	T30 (s)					
	125	250	500	1000	2000	4000
g1 - m2	0.561	0.814	0.705	0.718	0.715	0.672
g1-m3	0.639	0.791	0.677	0.716	0.746	0.673
g2-m1	0.741	0.832	0.702	0.719	0.709	0.657
g2-m2	0.63	0.790	0.769	0.691	0.709	0.651
g3-m2	0.779	0.716	0.666	0.729	0.744	0.635
g3-m3	0.510	0.767	0.729	0.730	0.723	0.655
total	0.643	0.785	0.708	0.717	0.724	0.657
	0.717					

UBICACIÓN RUIDO DE IMPULSO Y MICROFONO

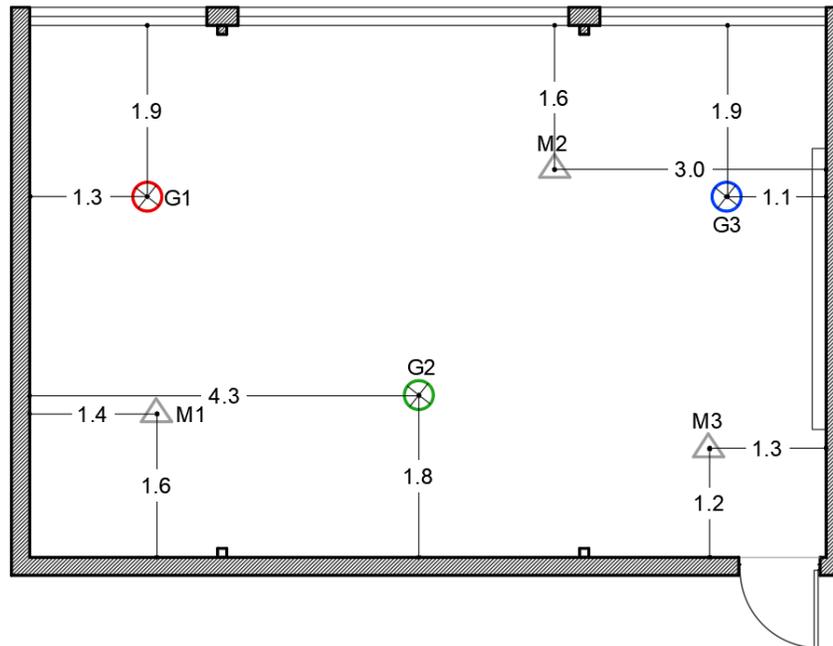


Figura 18: Plano ruido de impulso (Aula tipo A)

COMBINACIONES RUIDO DE IMPULSO Y MICROFONO

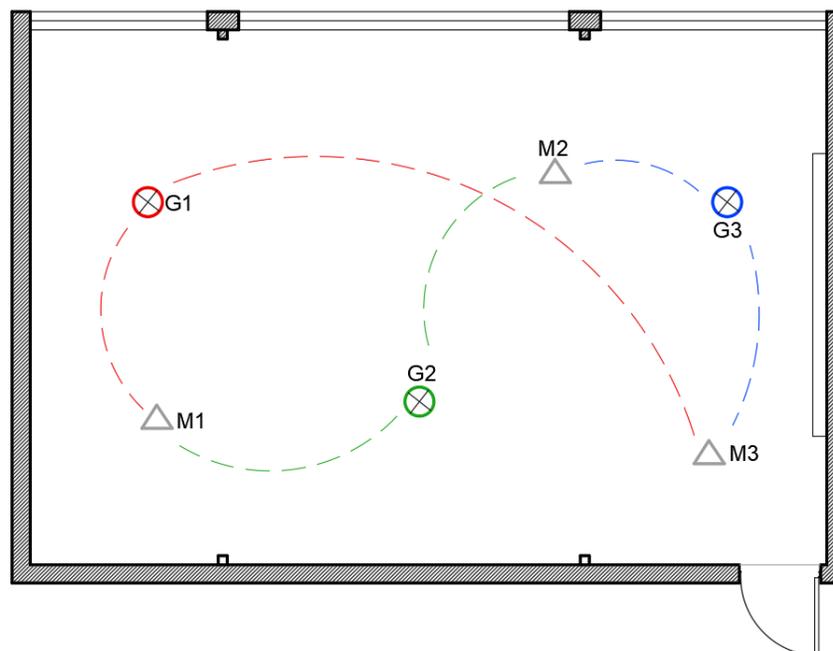


Figura 19: Combinaciones (Aula tipo A)

Aula tipo B (Escuela Los Trigales)

En el aula tipo B se realizó la medición in-situ del tiempo de reverberación utilizando el método declarado en la norma ISO-3382.

Se usaron seis combinaciones de fuente de ruido impulsivo (g1, g2, g3...) con micrófonos captadores del sonido (m1, m2, m3...) como se muestran en **Figura 20 y 21** respectivamente.

De acuerdo a las grabaciones obtenidas se analizaron con software ARTA para generar las curvas de decaimiento de energía (ANEXO III) y los valores de tiempo de reverberación asociados a las distintas frecuencias (T30).

En las combinaciones de ruido de impulso y micrófono se buscó distintas posiciones que simulen la posición del docente, a mitad de sala y al final de ésta para percibir de distinta manera el ruido de impulso. Los datos obtenidos se muestran en la **Tabla 17**.

DATOS OBTENIDOS

Tabla 17: Tiempo de reverberación in-situ (Aula tipo B)

F (Hz)	T30 (s)					
	125	250	500	1000	2000	4000
g1 - m2	1.38	1.62	1.42	1.04	0.96	0.87
g1-m3	1.51	1.56	1.27	0.98	0.88	0.830
g2-m1	1.45	1.51	1.34	0.96	0.90	0.82
g2-m2	1.35	1.760	1.34	1.01	0.93	0.84
g3-m1	1.69	1.67	1.37	1.03	0.9	0.88
g3-m3	1.510	1.6	1.35	0.960	0.88	0.82
TOTAL	1.482	1.620	1.348	0.997	0.908	0.843
				1.08		

UBICACIÓN RUIDO DE IMPULSO Y MICRÓFONO

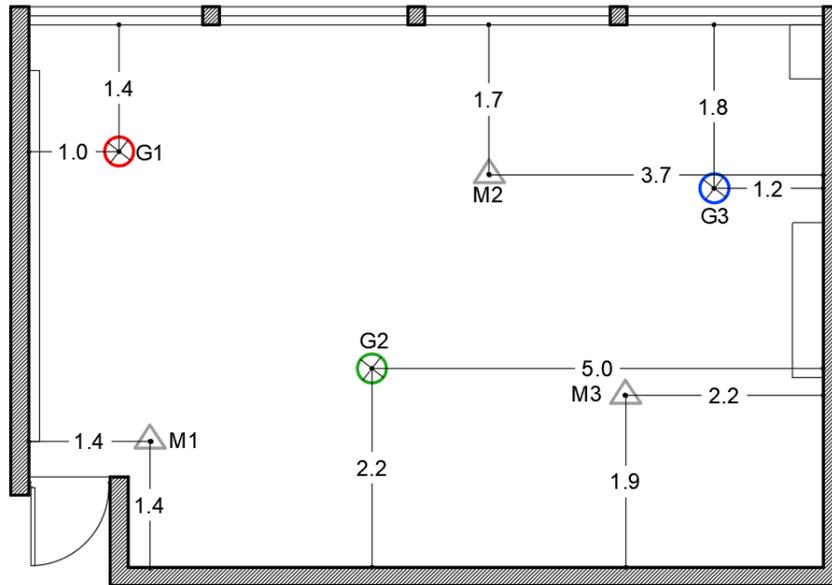


Figura 20: Ubicación ruido de impulso (Aula tipo B)

COMBINACIONES RUIDO DE IMPULSO Y MICRÓFONO

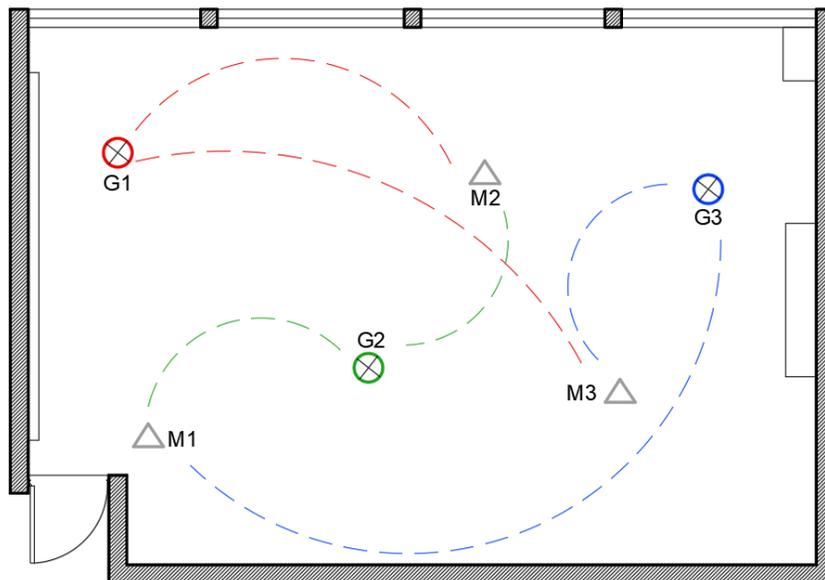


Figura 21: Combinaciones (Aula tipo B)

Aula tipo C (Escuela Millaray)

En el aula tipo C se realizó la medición in-situ del tiempo de reverberación utilizando el método declarado en la norma ISO-3382.

Se usaron seis combinaciones de fuente de ruido impulsivo (g1, g2, g3...) con micrófonos captadores del sonido (m1, m2, m3...) como se muestra en **Figura 22 y 23** respectivamente.

De acuerdo a las grabaciones obtenidas se analizaron con software ARTA para generar las curvas de decaimiento de energía (ANEXO III) y los valores de tiempo de reverberación asociados a las distintas frecuencias (T30).

En las combinaciones de ruido de impulso y micrófono se buscó distintas posiciones que simulen la posición del docente, a mitad de sala y al final de esta para percibir de distinta manera el ruido de impulso, los datos obtenidos se muestran en la **Tabla 18**.

DATOS OBTENIDOS

Tabla 18: Tiempo de reverberación (Aula tipo C)

F (Hz)	T30 (s)					
	125	250	500	1000	2000	4000
g1 - m2	0.95	0.93	0.91	0.84	0.9	0.81
g1-m3	0.89	0.92	0.87	0.87	0.91	0.80
g2-m1	0.99	1.03	0.88	0.86	0.87	0.74
g2-m2	1.18	0.98	0.89	0.85	0.91	0.82
g3-m1	1.26	0.94	0.86	0.87	0.91	0.82
g3-m3	1.22	1.05	0.94	0.87	0.91	0.83
TOTAL	1.08	0.98	0.89	0.86	0.90	0.80
				0.88		

UBICACIÓN RUIDO DE IMPULSO Y MICROFONO

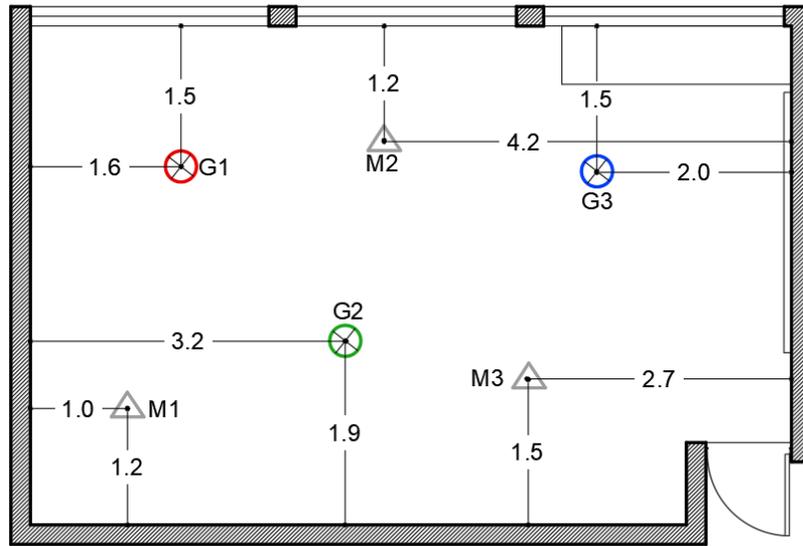


Figura 22: Ubicación Ruido de impulso (Aula tipo C)

COMBINACIONES RUIDO DE IMPULSO Y MICRÓFONO

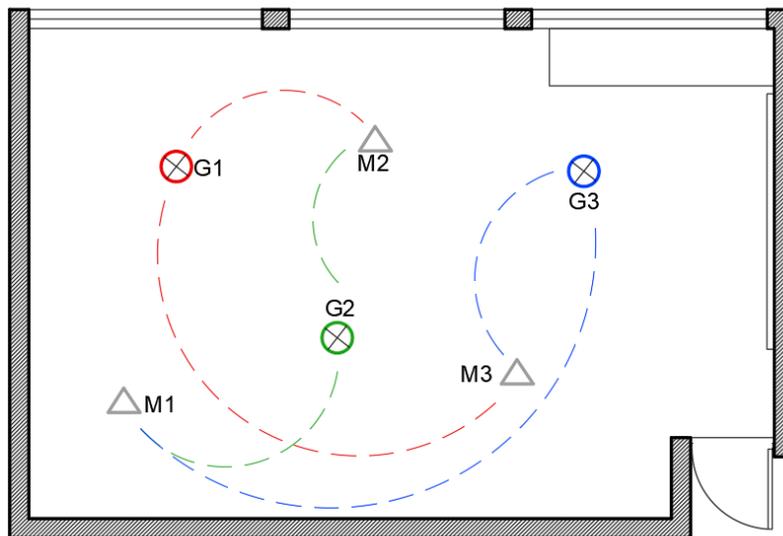


Figura 23: Combinaciones (Aula tipo C)

Aula tipo D (Liceo Pablo Neruda)

En el aula tipo D se realizó la medición in-situ del tiempo de reverberación utilizando el método declarado en la norma ISO-3382.

Se usaron seis combinaciones de fuente de ruido impulsivo (g1, g2, g3...) con micrófonos captadores del sonido (m1, m2, m3...) como se muestra en **Figura 24 y 25** respectivamente.

De acuerdo a las grabaciones obtenidas se analizaron con software ARTA para generar las curvas de decaimiento de energía (ANEXO III) y los valores de tiempo de reverberación asociados a las distintas frecuencias (T30).

En las combinaciones de ruido de impulso y micrófono se buscó distintas posiciones que simulen la posición del docente, a mitad de sala y al final de esta para percibir de distinta manera el ruido de impulso, los datos obtenidos se muestran en la **Tabla 19**.

DATOS OBTENIDOS

Tabla 19: Tiempo de reverberación (Aula tipo D)

F (Hz)	T30 (s)					
	125	250	500	1000	2000	4000
g1 - m2	1.1	0.704	0.597	0.643	0.733	0.709
g1-m3	1.117	0.682	0.535	0.564	0.735	0.700
g2-m1	1.196	0.718	0.601	0.608	0.719	0.686
g2-m2	1.065	0.867	0.592	0.57	0.745	0.723
g3-m2	1.278	0.741	0.533	0.615	0.697	0.693
g3-m3	1.157	0.704	0.636	0.616	0.699	0.729
TOTAL	1.152	0.736	0.582	0.603	0.721	0.707
				0.64		

UBICACIÓN RUIDO DE IMPULSO Y MICROFONO

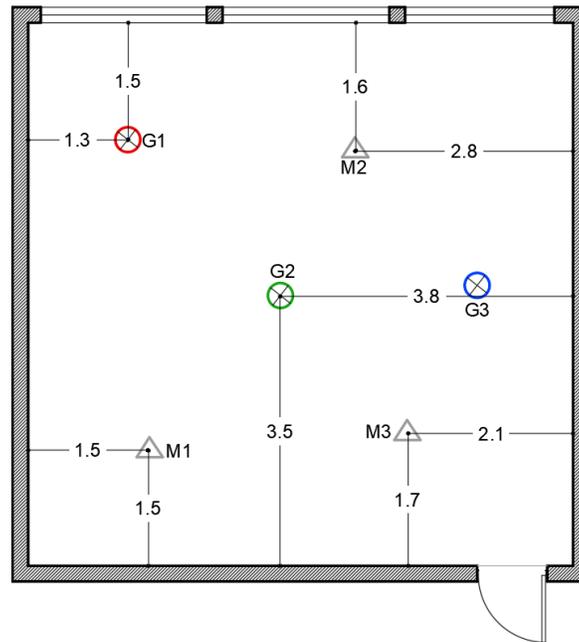


Figura 24: Ubicación ruido de impulso (Aula tipo D)

COMBINACIONES RUIDO DE IMPULSO Y MICRÓFONO

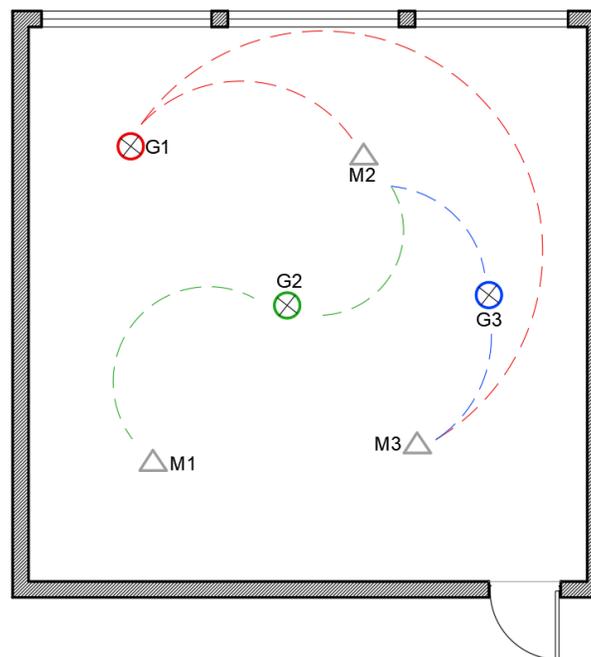


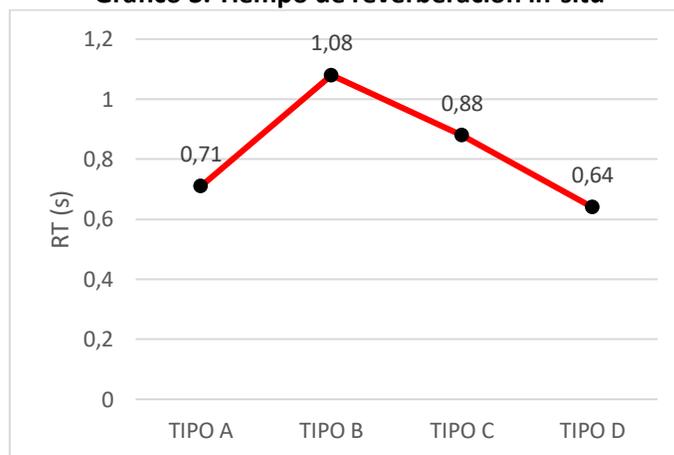
Figura 25: Combinaciones (Aula tipo D)

En Tabla 20 se muestran los valores obtenidos en las mediciones in-situ y se representan en **Gráfico 3**. De acuerdo a las características de cada sala y al comparar los tres primeros casos con el aula tipo D que es aquel que tiene proyecto de diseño acústico, se puede notar una semejanza o cercanía de valores entre el aula tipo A y D, lo que demuestra que, a pesar de tener malas condiciones en mantención de materiales o colocación de estos, la elección del tipo de material toma más relevancia al momento de analizar.

Tabla 20: Resumen Tiempo de reverberación

RESUMEN TIEMPO DE REVERBERACIÓN				
	AULA TIPO A	AULA TIPO B	AULA TIPO C	AULA TIPO D
MEDIA	0.71	1.08	0.88	0.64

Gráfico 3. Tiempo de reverberación in-situ



5.1.2 Inteligibilidad de la palabra (STI)

Existen rangos de medición para la inteligibilidad de la palabra que consideran si es bueno, medio o malo, según el valor que entrega el estudio como se muestra en **Tabla 21**.

Tabla 21: Rangos Inteligibilidad de la palabra (Elaboración Propia)

STI - rasti	Equivalente subjetivo
0.0 < STI < 0.3	muy malo
0.3 < STI < 0.45	malo
0.45 < STI < 0.6	medio
0.6 < STI < 0.75	bueno
0.75 < STI < 1.00	muy bueno

La inteligibilidad de palabra se midió a través del tiempo de reverberación medido in-situ para evaluar con el Software ARTA los resultados se muestran a continuación por aula en **Tabla 22 - 25**

- **Aula tipo A (Escuela Andrés Bello)**

Tabla 22: Inteligibilidad de la palabra (Aula tipo A)

BANDA	500	1000	2000	MEDIA
g1-m2	0.59	0.62	0.61	0.61
g1-m3	0.58	0.56	0.56	0.57
g2-m1	0.59	0.60	0.57	0.59
g2-m2	0.60	0.62	0.63	0.62
g3-m2	0.61	0.59	0.60	0.60
g3-m3	0.61	0.60	0.62	0.61
TOTAL				0.60
				medio

- **Aula tipo B (Escuela Los Trigales)**

Tabla 23: Inteligibilidad de la palabra (Aula tipo B)

BANDA	500	1000	2000	MEDIA
g1-m2	0.39	0.48	0.49	0.45
g1-m3	0.43	0.49	0.48	0.47
g2-m1	0.43	0.50	0.51	0.48
g2-m2	0.35	0.45	0.47	0.42
g3-m2	0.40	0.48	0.49	0.46
g3-m3	0.39	0.49	0.46	0.45
TOTAL				0.45
				malo

- **Aula tipo C (Escuela Millaray)**

Tabla 24: Inteligibilidad de la palabra (Aula tipo C)

BANDA	500	1000	2000	MEDIA
g1-m2	0.61	0.60	0.57	0.59
g1-m3	0.62	0.62	0.58	0.61
g2-m1	0.59	0.58	0.58	0.58
g2-m2	0.51	0.47	0.47	0.48
g3-m2	0.52	0.53	0.50	0.52
g3-m3	0.59	0.60	0.58	0.59
TOTAL				0.56
				bueno

- Aula tipo D (Liceo Pablo Neruda)

Tabla 25: Inteligibilidad de la palabra (Aula tipo D)

BANDA	500	1000	2000	MEDIA
g1-m2	0.59	0.60	0.54	0.58
g1-m3	0.64	0.66	0.65	0.65
g2-m1	0.65	0.63	0.62	0.63
g2-m2	0.67	0.67	0.59	0.64
g3-m2	0.61	0.63	0.57	0.60
g3-m3	0.66	0.63	0.58	0.62
TOTAL				0.62
				bueno

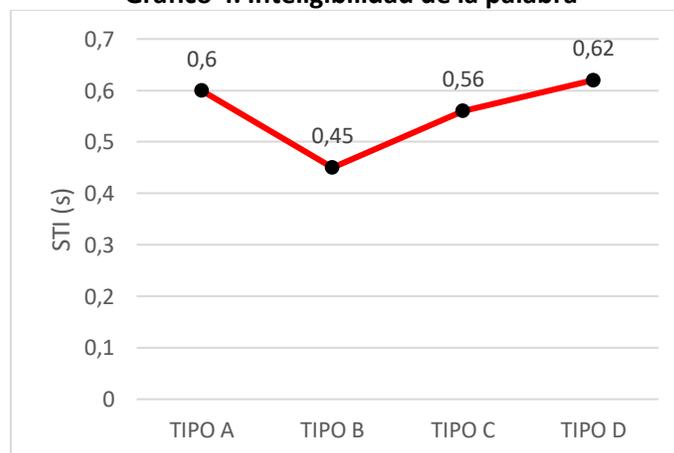
De los resultados analizados, traslapándolos con los rangos mencionados en **Tabla 21** se puede ver que el Aula tipo B tiene un rango considerado malo como se indica en **Tabla 26** que va asociado con que la terminación interior del aula está en mal estado y no tiene materiales absorbentes.

Los resultados se indicaron en **Grafico 4**.

Tabla 26: resumen inteligibilidad de la palabra

RESUMEN INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA				
	AULA TIPO A	AULA TIPO B	AULA TIPO C	AULA TIPO D
MEDIA	0.6	0.45	0.56	0.62
RANGO	MEDIO	MALO	BUENO	BUENO

Gráfico 4. Inteligibilidad de la palabra



5.1.3 Pérdida de la Consonante (Alcons%)

Al igual que la inteligibilidad de la palabra (STI), el porcentaje de pérdida de la consonante tiene un análisis subjetivo como se muestra en **Tabla 27**. Se analiza de acuerdo a los resultados obtenidos en el analizador de espectro.

Tabla 27: Rangos porcentaje perdida de la consonante

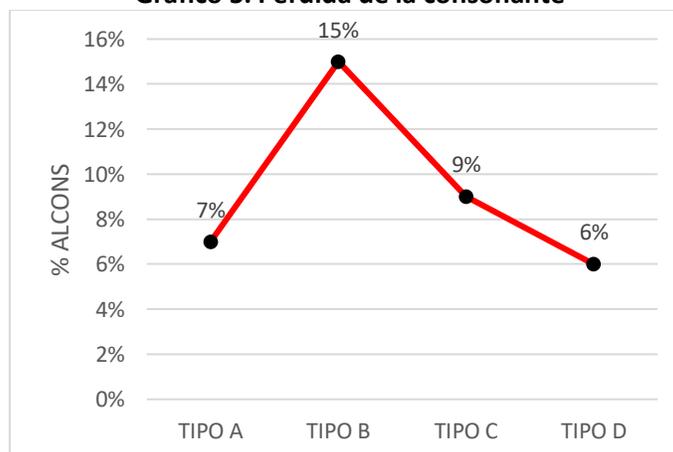
% Alcons	Equivalente subjetivo
100 < %Alcons < 30	muy malo
30 < %Alcons < 15	malo
15 < %Alcons < 6.6	medio
6.6 < %Alcons < 3	bueno
0 < %Alcons < 3	muy bueno

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Inteligibilidad de palabra y el tiempo de reverberación con software ARTA se pudo determinar el porcentaje de pérdida de la consonante para cada caso como muestra **Tabla 28** con el resumen. Estos datos se indicaron en **Grafico 5**.

Tabla 28: Resumen resultados Aulas

COMBINACIÓN	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D
	Allcons	Allcons	Allcons	Allcons
g1-m2	7.12	15.69	7.78	8.1
g1-m3	8.78	14.19	7.04	5.5
g2-m1	8.2	13.5	8.18	5.9
g2-m2	6.43	18.23	13.50	6.00
g3-m2	7.0	14.9	11.1	7.3
g3-m3	6.4	15.69	7.78	5.9
	7.32	15.37	9.22	6.45
	medio	malo	medio	bueno

Gráfico 5. Pérdida de la consonante



5.1.4 Ruido de fondo (Leq)

Con el objetivo de obtener un resultado más certero en la medición del ruido de fondo se analizaron seis puntos dentro de cada Aula, distribuidos según **Figuras 26 – 29** en los cuales tres de ellos se acercaron al muro que da al exterior y los otros tres hacia el pasillo.

A través del sonómetro, se ubicaron los puntos a una altura de un metro con trípode por 30 segundos cada posición.

- Aula tipo A (Escuela Andrés Bello)

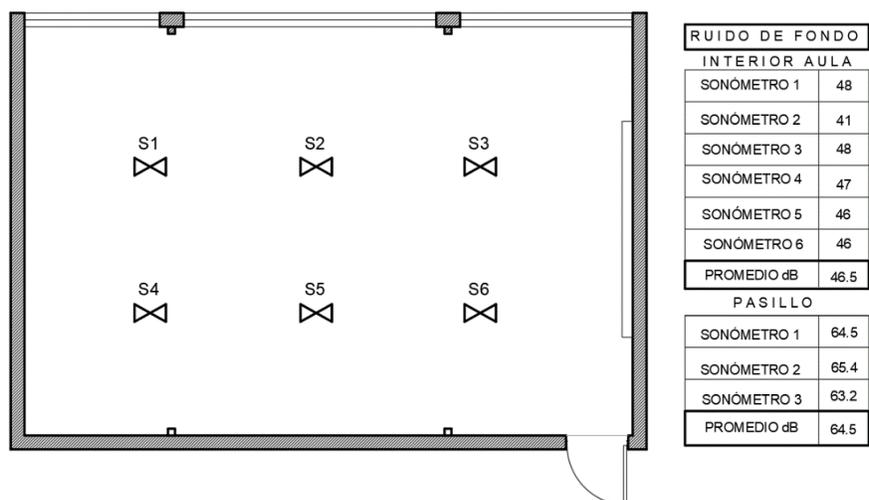


Figura 26: Ruido de fondo Aula tipo A

- Aula tipo B (Escuela Los Trigales)

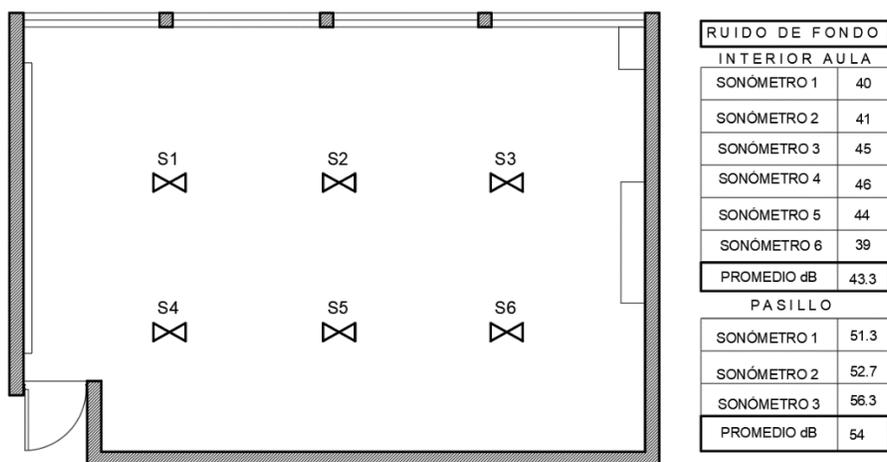


Figura 27: Ruido de fondo Aula tipo B

- Aula tipo C (Escuela Millaray)

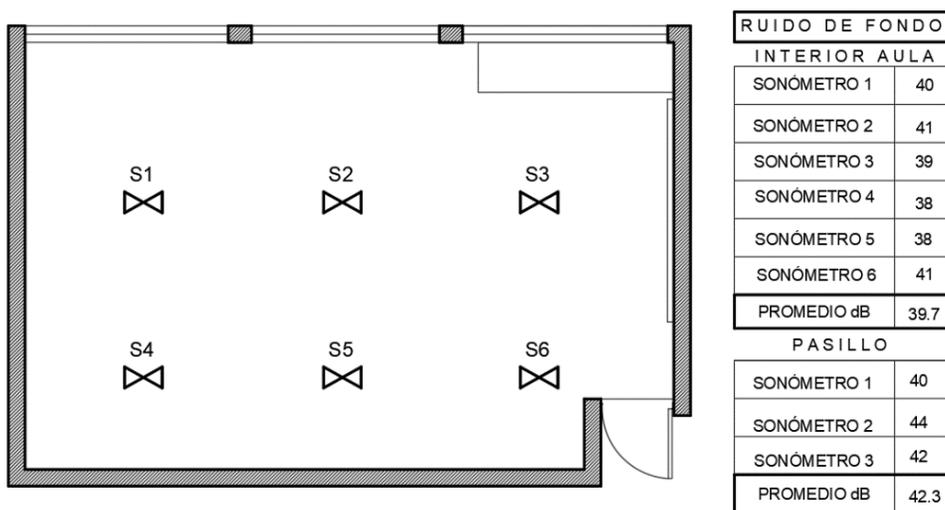


Figura 28: Ruido de fondo Aula tipo C

- Aula tipo D (Liceo Pablo Neruda)

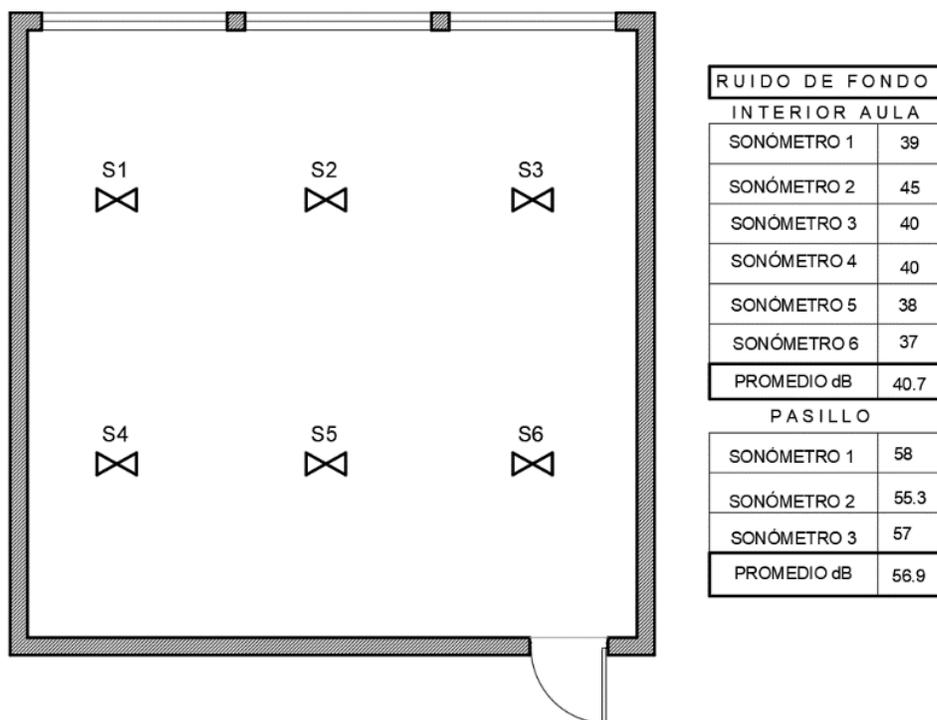


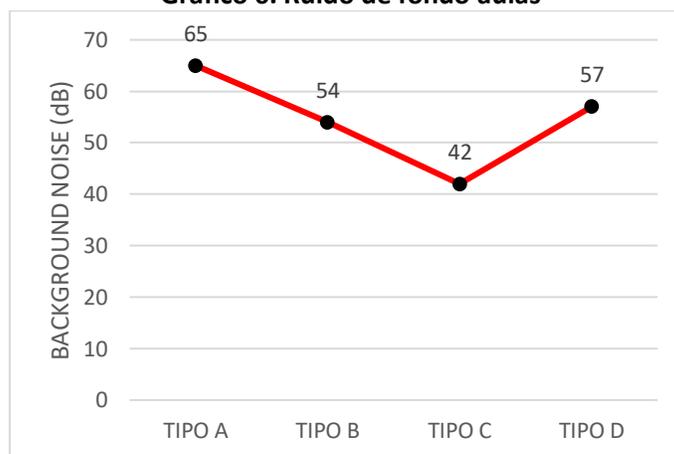
Figura 29: Ruido de fondo Aula tipo D

Los resultados obtenidos se muestran en **Tabla 29** a modo resumen en donde se indica el valor interior y el del pasillo del establecimiento. En **Grafico 6** se indica ruido de fondo de cada aula.

Tabla 29: Resumen ruido de fondo

RESUMEN RUIDO DE FONDO				
MEDIA	AULA TIPO A	AULA TIPO B	AULA TIPO C	AULA TIPO D
INTERIOR	46.5 dB	43.3 dB	39.7 dB	40.7 dB
PASILLO	64.5 dB	54.0 dB	42.3 dB	56.9 dB

Gráfico 6. Ruido de fondo aulas



5.2 Análisis Teórico: Tiempo de Reverberación y %Alcons

- Tiempo de reverberación teórico

Para complementar los resultados de la medición in-situ se realizó el análisis del tiempo de reverberación calculándola de manera teórica mediante la ecuación de Sabine.

La fórmula clásica por excelencia, y aceptada como de referencia a nivel internacional por su sencillez de cálculo, es la denominada fórmula de Sabine. La correspondiente expresión matemática, obtenida aplicando la teoría acústica estadística y despreciando el efecto de la absorción producida por el aire, es la siguiente (A. Carrión, 1998):

Ecuación 1: Ecuación de Sabine (A. Carrión)

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

El tiempo de reverberación resulta ser un parámetro fundamental en el diseño acústico de recintos. Ahora bien, en la práctica se utilizan una serie de parámetros complementarios que, por estar fundamentados en la acústica geométrica, dependen de la situación del receptor (A. Carrión, 1998).

Para las distintas aulas se consideraron los materiales observados en terreno y los coeficientes de absorción correspondientes según frecuencia, para el aula tipo A, B, C y D los datos obtenidos son los siguientes de acuerdo a la **Tablas 30 - 33**.

Tabla 30: Tiempo de reverberación teórico Aula tipo A

frecuencias Hz							
material	125	250	500	1000	2000	4000	superficie
yeso carton	0.32	0.07	0.05	0.05	0.02	0.02	8.8
madera	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.06	109.33
parquet	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07	51.92
ventana	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	21.12
mesa	0.04		0.21	0.17	0.15		13
cortinas	0.3	0.45	0.65	0.56	0.59	0.71	16.90
persona de pie	0.25	0.44	0.59	0.98	1.13	0.5	2
muebles			0.23	0.18	0.16		7.9

	125	250	500	1000	2000	4000
T teorico	0.60	0.51	0.61	0.83	0.84	1.06
	0.76					

Tabla 31: Tiempo de reverberación teórico Aula tipo B

frecuencias Hz							
material	125	250	500	1000	2000	4000	superficie
pizarra	0.05	0.10	0.1	0.1	0.05	0.5	4.03
yeso carton	0.32	0.07	0.05	0.05	0.02	0.02	121.36
madera	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.06	2.85
lana fondo	0.42	0.66	0.73	0.74	0.76	0.79	
vinilico	0.04	0.04	0.08	0.12	0.10	0.10	51.7
ventana	0.25	0.1	0.07	0.06	0.04	0.02	14.70
mesa	0.04		0.21	0.17	0.15		15.96
cortinas	0.3	0.45	0.65	0.56	0.59	0.71	7.35
persona de pie	0.25	0.44	0.59	0.98	1.13	0.5	2
sillas			0.23	0.18	0.16		11.25
panel corcho	0.12	0.27	0.72	0.79	0.76	0.77	

	125	250	500	1000	2000	4000
T teorico	0.49	1.35	0.99	0.96	1.22	1.46
	1.06					

Tabla 32: Tiempo de reverberación teórico Aula tipo C

frecuencias Hz							
material	125	250	500	1000	2000	4000	superficie
cojines	0.09	0.12	0.14	0.16	0.15	0.16	0.64
hormigón pintado	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	23.88
pizarra	0.05	0.10	0.1	0.1	0.05	0.5	4.62
yeso carton	0.32	0.07	0.05	0.05	0.02	0.02	87.01
madera	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.06	2.74
lana fondo	0.42	0.66	0.73	0.74	0.76	0.79	
vinilico	0.04	0.04	0.08	0.12	0.10	0.10	46.50
ventana	0.25	0.1	0.07	0.06	0.04	0.02	11.35
mesa	0.04		0.21	0.17	0.15		11.34
cortinas	0.3	0.45	0.65	0.56	0.59	0.71	4.00
persona de pie	0.25	0.44	0.59	0.98	1.13	0.5	2
sillas			0.23	0.18	0.16		4.32
panel corcho	0.12	0.27	0.72	0.79	0.76	0.77	

	125	250	500	1000	2000	4000
T teorico	0.56	1.49	1.16	1.07	1.35	1.49
	1.19					

Tabla 33: Tiempo de reverberación teórico Aula tipo D

frecuencias Hz							
material	125	250	500	1000	2000	4000	superficie
yeso carton	0.32	0.07	0.05	0.05	0.02	0.02	106.67
madera	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.06	32.37
lana fondo	0.42	0.66	0.73	0.74	0.76	0.79	11.305
vinilico	0.04	0.04	0.08	0.12	0.10	0.10	48.79
ventana	0.25	0.1	0.07	0.06	0.04	0.02	16.47
mesa	0.04		0.21	0.17	0.15		13.2
cortinas	0.3	0.45	0.65	0.56	0.59	0.71	13.51
persona de pie	0.25	0.44	0.59	0.98	1.13	0.5	2
sillas			0.23	0.18	0.16		7.04
panel corcho	0.12	0.27	0.72	0.79	0.76	0.77	2.61

	125	250	500	1000	2000	4000
T teorico	0.43	0.68	0.62	0.65	0.73	0.82
	0.67					

Los resultados obtenidos se muestran en **Tabla 34** a modo resumen en donde se indica el valor de tiempo de reverberación teórico del establecimiento.

Tabla 34: Tiempo de reverberación teórico

RESUMEN TIEMPO DE REVERBERACIÓN TEÓRICO				
	AULA TIPO A	AULA TIPO B	AULA TIPO C	AULA TIPO D
MEDIA	0.76	1.06	1.19	0.67

Al realizar el análisis teórico del tiempo de reverberación se observa que existen similitudes respecto de la reverberación medida in-situ. Además, se demuestra que los materiales están cumpliendo su rol, a pesar de que no están dentro de los rangos requeridos en tres de los cuatro casos de estudio.

- **Pérdida de la consonante**

La asociación de la pérdida de la consonante va directamente relacionada con la inteligibilidad de la palabra y se mide en 2 kHz de frecuencia ya que en esa frecuencia es donde mejor se capta el discurso oral.

Haciendo uso de la teoría acústica estadística, Peutz dedujo que el valor de %Alcons en un punto dado se podía determinar, simplemente, a partir del conocimiento del tiempo de reverberación RT y de la diferencia entre los niveles de presión sonora de campo directo LD y de campo reverberante LR en dicho punto. (Antoni Carrion, 1998)

Es así como para cada caso se hizo el cálculo según la fórmula y dando así el valor teórico de %Alcons.

Ecuación 2: Ecuación niveles de presión (A. Carrión)

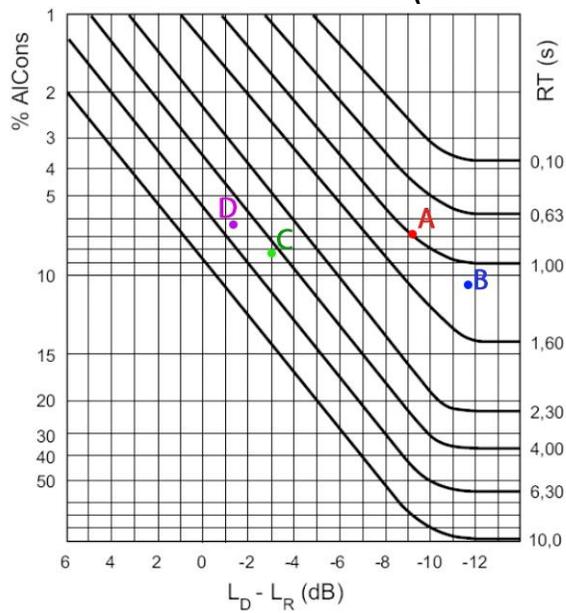
$$L_D - L_R = 10 \log \left(\frac{QR}{r^2} \right) - 17 \text{ (en dB)}$$

Los valores obtenidos de la ecuación que se muestran en **Tabla 35** se posicionaron en **Gráfico 7**

Tabla 35: Valores %Alcons

AULA TIPO A	7.00%
AULA TIPO B	15.10%
AULA TIPO C	8.50%
AULA TIPO D	6.25%

Gráfico 7: Análisis teórico %AlCons (Antoni Carrion)



5.3 Resumen resultados in-situ y teórico

En **Tabla 36** se muestra el análisis completo entre los resultados medidos in-situ y los que fue posible analizarlos de manera teórica.

El Caso A marca la diferencia respecto de B y C ya que, al tener una terminación interior de machihembrado de madera en la mayoría de sus caras, este tiene un mejor coeficiente de absorción lo que permite que el material reaccione mejor a la reverberación y se obtenga un resultado positivo al considerar un discurso hablado.

Tabla 36: Resumen de resultados in-situ y teórico (elaboración propia)

RESUMEN RESULTADOS			SUP. ABSORBENTE	SUP. DE VENTANA	RUIDO DE FONDO	RUIDO DE FONDO	T(60)	T(60)	STI	%Alcons	%Alcons	
			AULA	AULA	AULA	PASILLO	MEDIDO	TEÓRICO	MEDIDO	MEDIDO	TEÓRICO	
ESCUELA ANDRÉS BELLO	AULA TIPO A	ESTRUCTURA	HORMIGÓN	191.17	21.12	46.5 dB	64.5 dB	0.71 s	0.76 s	0.60 s	7.32%	7.00%
		VIDRIO + MARCO	SIMPLE Y ALUMINIO									
		TERM. INTERIOR	TABLEREADO MADERA									
		RUIDO AMBIENTAL	75									
		SIN TRATAMIENTO ACÚSTICO										
ESCUELA LOS TRIGALES	AULA TIPO B	ESTRUCTURA	HORMIGÓN	194.27	14.7	43.3 dB	54 dB	1.08 s	1.05 s	0.45 s	15.37%	15.10%
		VIDRIO + MARCO	SIMPLE Y ALUMINIO									
		TERM. INTERIOR	YESO CARTÓN									
		RUIDO AMBIENTAL	75									
		SIN TRATAMIENTO ACÚSTICO										
ESCUELA MILLARAY	AULA TIPO C	ESTRUCTURA	HORMIGÓN	173.36	11.35	39.7 dB	42.3 dB	0.88 s	1.19 s	0.56 s	9.22%	8.50%
		VIDRIO + MARCO	SIMPLE Y ALUMINIO									
		TERM. INTERIOR	HORMIGON + POLIEST.									
		RUIDO AMBIENTAL	75									
		SIN TRATAMIENTO ACÚSTICO										
LICEO PABLO NERUDA	AULA TIPO D	ESTRUCTURA	HORMIGÓN	187.83	16.47	40.7 dB	56.9 dB	0.64 s	0.67 s	0.62 s	6.45%	6.25%
		VIDRIO + MARCO	DOBLE Y PVC									
		TERM. INTERIOR	MADERA + YESOCARTON									
		RUIDO AMBIENTAL	70									
		CON TRATAMIENTO ACÚSTICO										

Uno de los factores que influye mayormente en las aulas escolares estudiadas es el ruido ambiental, ya que al estar ubicados en áreas entre 75 y 80 dB (considerados como una construcción o una autopista) tienen niveles de ruido demasiado altos que afectan de alguna manera al interior. Ya que el caso D tiene doble vidrio hermético y una buena calidad de sellos en sus ventanas, el ruido exterior afecta muy poco al interior.

El caso tipo C tiene ruido de fondo más bajo que los demás y al compararlo con el caso tipo D, se puede observar que a pesar de las distintas características de tipo de marco y vidrio en sus ventanas

el ruido de fondo se diferencia en 1 dB, pudiendo concluir que, a mayor superficie de ventana, mayor ingreso de ruido exterior, pero si esa misma superficie tiene una materialidad de doble vidrio hermético con marco de PVC el ruido de fondo disminuye.

A pesar de que el caso tipo A es aquel que tiene mayor superficie de ventana con el ruido de fondo del interior de la sala y del pasillo más elevado, es el que tiene mejor tiempo de reverberación sin considerar el caso tipo D y una inteligibilidad de la palabra considerada buena, de la mano del porcentaje de pérdida de la consonante.

5.4 Análisis cualitativo: percepción del usuario

La percepción del usuario se midió a través de una encuesta que fue realizada como prueba piloto en el Colegio Nueva Concepción de Temuco en donde se puso a prueba el entendimiento de ésta.

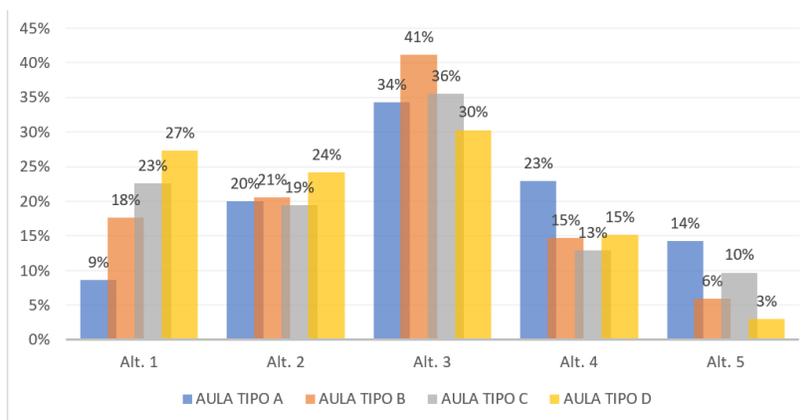
Una vez realizadas las encuestas oficiales se analizaron los resultados a través de una tabla resumen que indica el porcentaje de respuestas respecto de la cantidad de estudiantes encuestados (ANEXO IV).

Como se indica en Capítulo 3, las preguntas se enfocaron de acuerdo a los parámetros medidos in-situ, el RT se asociará al porcentaje de estudiantes dentro del aula que oyen un eco, el STI y el %Alcons a cuantos estudiantes oirán con claridad el discurso del docente y el Leq al porcentaje de confort acústico que tienen los estudiantes al interior del aula, considerando ruidos externos de automóviles o del pasillo.

A continuación, se muestra la tendencia en porcentajes de cada pregunta para los cuatro casos de estudio.

1. ¿Qué importancia tiene para usted el ruido en su sala de clases?

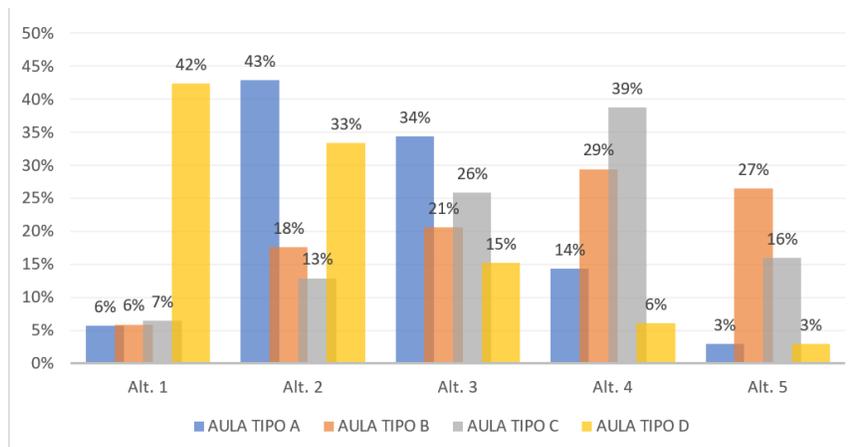
Gráfico 8: Pregunta N° 1



En los cuatro casos de estudio se da la tendencia de una importancia nivel medio hacia muy importante, lo que indica que afecta de alguna manera la calidad acústica del aula.

2. En estos momentos. ¿Estas comodo con el nivel de ruido que hay?

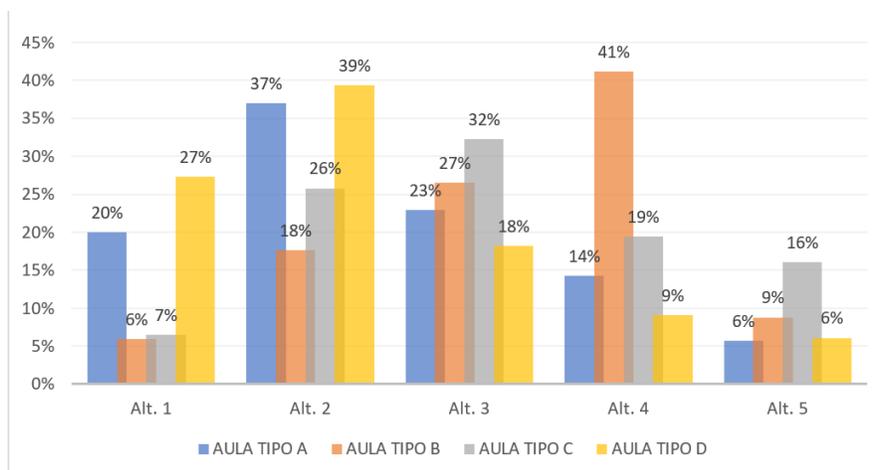
Gráfico 9: Pregunta N°2



Para el caso tipo A y D versus B y C se diferencian notoriamente con el énfasis en la comodidad al interior del aula en donde el caso D resalta por sobre el resto generando una tendencia de demasiado cómodo en comparación al tipo B que refleja incomodidad.

3. ¿Qué tan claro escucha las palabras que dice el profesor o profesora?

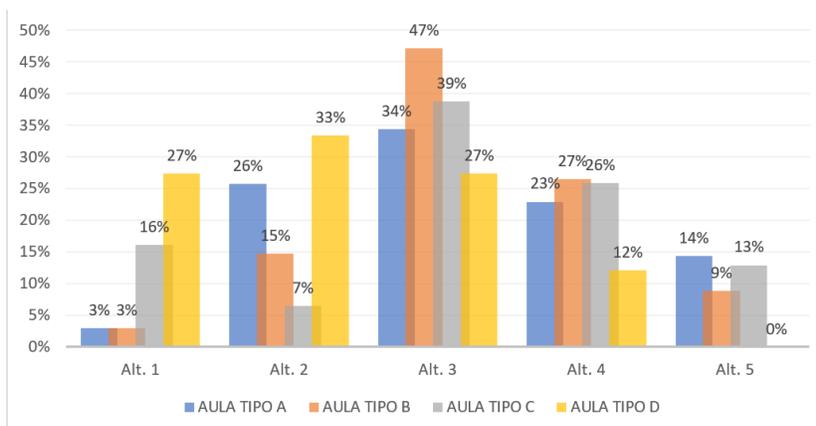
Gráfico 10: Pregunta N° 3



La claridad de las palabras vuelve a tener énfasis en el caso A y D considerando que el caso A no tiene proyecto acustico.

4. Si usted esta sentado o sentada al final de la sala, ¿Cómo escucha la clase?

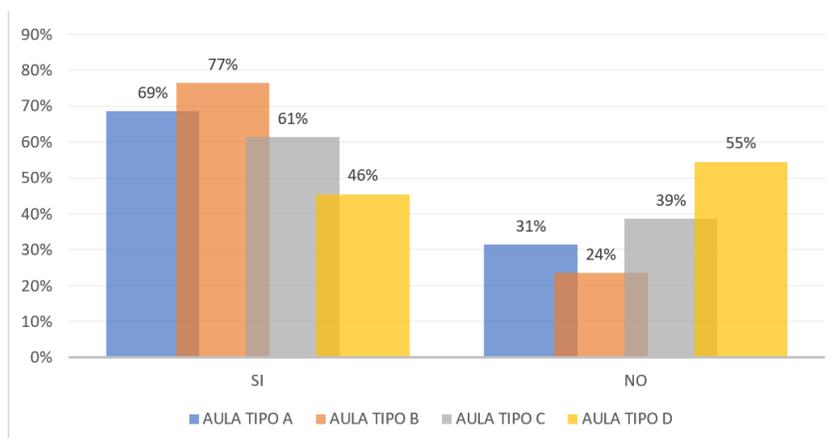
Gráfico 11: Pregunta N°4



En aula tipo B existe una tendencia clara en que el discurso se escucha poco claro al estar sentado o sentada al final de la clase, lo que podría ser influencia de un tiempo de reverberación desfavorable o el exceso de ruido de otros recintos. Para el caso D se nota la diferencia al momento de analizar acústica interior ya que juega a favor el aspecto relacionado al proyecto acústico presente en el establecimiento.

5. ¿Le molesta algún ruido en específico durante el periodo de clases?

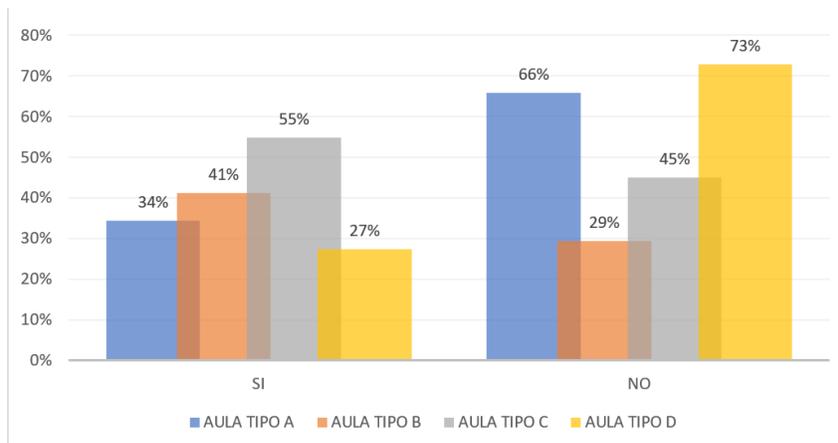
Gráfico 12: Pregunta N°5



Para el caso B y C se declara en variadas ocasiones el ruido de los vehículos que pasan por la avenida, para el caso D es más parejo en nivel de molestias ya que las declaraciones indican desorden de compañeros dentro del aula y ruidos en el pasillo.

6. ¿Le cuesta concentrarse debido a ruidos en la sala de clases?

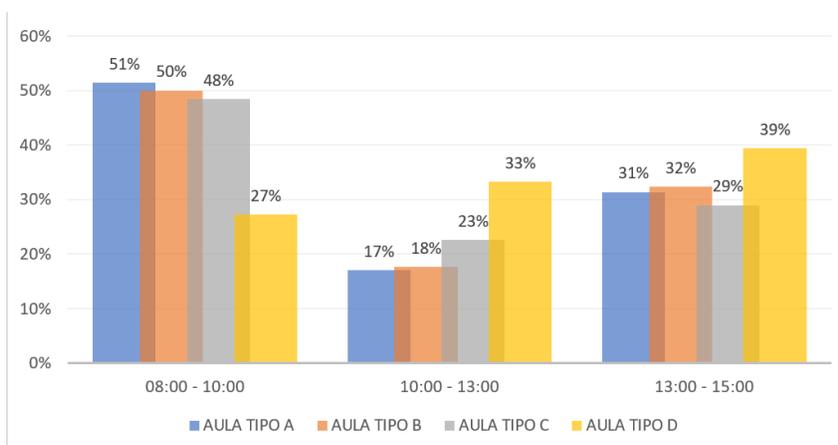
Gráfico 13: Pregunta N° 6



En caso A y D se indica que la influencia del ruido no está afectando a la concentración a diferencia del caso B y C que si genera efecto en los estudiantes.

7. ¿En qué horario le resulta incómodo el exceso de ruido?

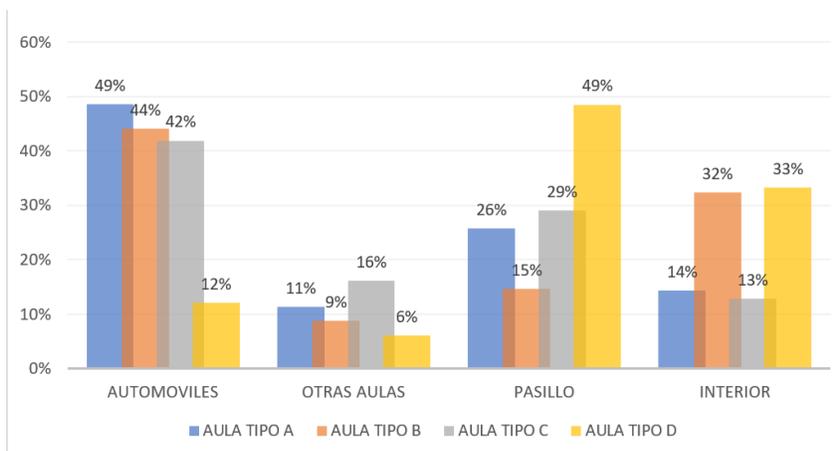
Gráfico 14: Pregunta N°7



Los horarios más marcados son las horas en donde los estudiantes llegan al establecimiento y cuando se retiran, debido al alto movimiento vehicular que hay en los alrededores.

8. ¿Cuál es el ruido que más le molesta o incomoda?

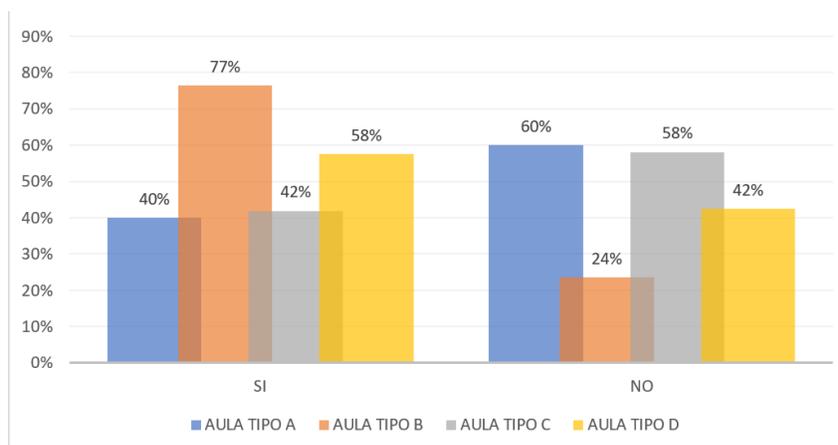
Gráfico 15: Pregunta N°8



Para el caso D que tiene proyecto acústico el ruido más molesto para los estudiantes es el pasillo en donde no hay ventanales de vidrio hermético sino que vidrio simple junto a la puerta, en el caso A, B y C la tendencia es clara hacia los automóviles ya que están ubicados en ambientes con alto ruido ambiental.

9. ¿El ruido al interior es producido solo por sus compañeros?

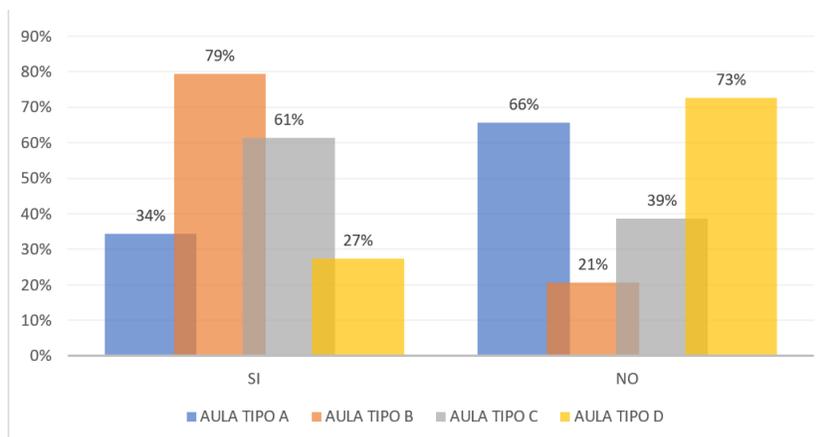
Gráfico 16: Pregunta N° 9



Principalmente los ruidos son producidos por automóviles o por los mismos compañeros dependiendo del aula. Como indica el gráfico en el caso B es donde más ocurre la molestia de ruido por los propios estudiantes.

10. Cuando el profesor o profesora habla durante la clase. ¿Escucha un ECO o rebote de las palabras al interior de la sala?

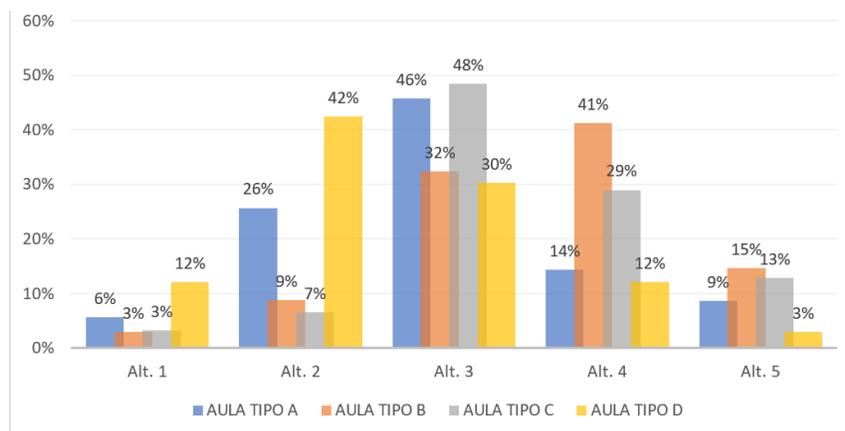
Gráfico 17: Pregunta N°10



En el caso A la sensación de rebote de las palabras es muy baja respecto de los casos B y C que son aquellos que tienen una molestia mayor respecto de la sensación acústica en el interior. El caso que se diferencia en consideración es el tipo D que muestra como la tendencia a escuchar ecos es bastante baja.

11. En términos generales me parece una sala de clases silenciosa y tranquila

Gráfico 18: Pregunta N° 11



En el caso A y D hay una tendencia de medianamente tranquila hacia muy tranquila en cambio en el caso B y C la tendencia es negativa lo que hace analizar de qué manera influyen estos conceptos anteriormente mencionados durante la encuesta. Como ruidos externos, internos, ecos, etc.

5.5 Comparación análisis cualitativo y cuantitativo

Para el análisis comparativo se declara en **Tabla 37** a modo resumen las principales características de las aulas, considerando las variables fijas y dinámicas establecidas en Capítulo 4.

Tabla 37 Características físico-constructivas por Aula

TIPO	ENTORNO RUIDO	SISTEMA CONSTRUCTIVO	SUPERFICIE CONSTRUIDA	SUPERFICIE ABSORBENTE	SUPERFICIE VIDRIADA	TIPO DE VIDRIO	ALTURA	TERMINACIÓN INTERIOR		
								MUROS	CIELO	PISO
A	75 - 80 dB	HORMIGON ARMADO	51.92	191.17	21.12	SIMPLE	3.2	MACHICHEBRADO MADERA	MACHICHEBRADO MADERA	PARQUET
B	75 - 80 dB	HORMIGON ARMADO	51.7	194.27	14.7	SIMPLE	3.07	YESO CARTON	YESO CARTON	VINILICO
C	75 - 80 dB	HORMIGON ARMADO	46.6	173.36	11.35	SIMPLE	2.87	YESO CARTON Y PLANCHA TIPO POLIGYP	YESO CARTON	VINILICO
D	75 - 80 dB	HORMIGON ARMADO	48.79	187.83	16.47	DVH	3.23	YESO CARTON Y TRATAMIENTO ACUSTICO	YESO CARTON	VINILICO

Luego de la evaluación de ambos análisis, se procesó la información del análisis cualitativo que afecta directamente a las variables que fueron medidas in-situ para poder comparar.

En la **Tabla 38** se muestran cuatro ítems que se relacionan con las variables experimentales, considerando la relación entre ruido interior y externos con ruido de fondo, discurso del docente con la inteligibilidad de la palabra y el eco con el tiempo de reverberación.

Tabla 38: Tendencias por aula: cuantificación análisis cualitativo

TIPO	RUIDO INTERIOR	DISCURSO PROFESOR	RUIDOS EXTERNOS		ECO
			AUTOMOVILES	PASILLO	
	% COMODIDAD	% CLARIDAD AUDITIVA	% AFIRMACIÓN		% AFIRMACIÓN
A	83%	80%	49%	26%	34%
B	45%	51%	44%	15%	79%
C	46%	65%	42%	29%	61%
D	90%	84%	12%	49%	27%

Teniendo las tendencias cualitativas analizadas se reunieron en **Tabla 39** los valores cuantitativos medidos in-situ a través de la evaluación experimental contrastándolos con los estándares normativos a nivel nacional e internacional.

Tabla 39. Análisis experimental y cumplimiento normativo

TIPO	RT	CUMPLIMIENTO NORMATIVO													
		TRe	CTE	ANSI	BB93	STI	TRe	CTE	ANSI	BB93	Leq	TRe	CTE	ANSI	BB93
A	0,71	X	X	X	✓	0,60	✓	/	/	✓	46,5	/	/	X	X
B	1,08	X	X	X	X	0,45	X	/	/	X	43,3	/	/	X	X
C	0,88	X	X	X	X	0,56	X	/	/	X	39,7	/	/	X	X
D	0,64	✓	✓	✓	✓	0,62	✓	/	/	✓	40,7	/	/	X	X

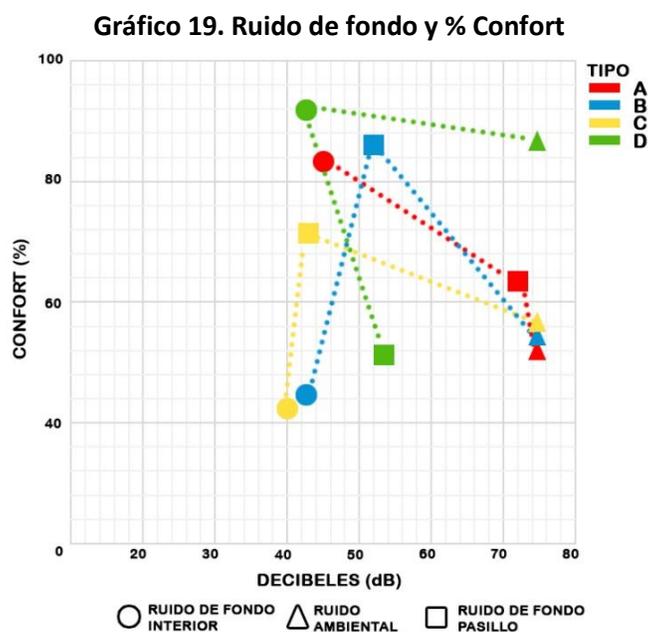
✓	CUMPLE	X	NO CUMPLE	/	NO APLICA
---	--------	---	-----------	---	-----------

A raíz de los valores obtenidos en análisis cuantitativo y cualitativo se establece un análisis comparativo de acuerdo a lo indicado en **Tabla 38** y **39** contrastándolo con las variables que afectan directamente al acondicionamiento acústico del aula.

- **Ruido de fondo (Leq)**

Se asocia el porcentaje de comodidad en el interior de las aulas con que a pesar de que no cumple en la normativa que solo es considerado en ANSI y BB93 el usuario permanece con mayor porcentaje de comodidad en Aula tipo D en donde la mayor influencia está ligada a que las ventanas son de doble vidrio hermético y es así como se declara en las encuestas que la incomodidad viene del pasillo más que del exterior. En el resto de los casos ocurre lo contrario, debido a que a través de las ventanas de vidrio simple el ruido traspasa de manera más directa aumentando los valores de Leq al interior y generando incomodidad en el usuario.

En **Gráfico 19** se muestra la relación entre la variable medida in-situ ruido de fondo interior del aula y del pasillo con el porcentaje de confort acústico que declaran los estudiantes respecto de cada tipo de ruido.



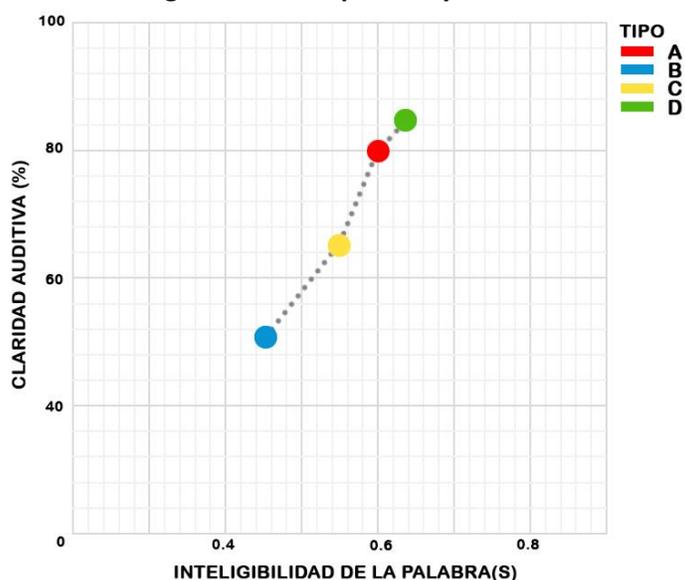
- **Inteligibilidad de la palabra (STI)**

En la inteligibilidad de la palabra al estar asociada con el porcentaje de claridad con la que escuchan al docente(a), el aula tipo A y D destacan en que el discurso hablado es escuchado de manera más

clara⁴ por una mayor cantidad de estudiantes. Al contrastarlo con los valores medidos in-situ se analiza que ambos casos están dentro de los estándares normativos y que son considerados según análisis previo como “bueno”. Para los casos B y C, no cumplen con el estándar nacional ni con las normativas internacionales y para el caso B la mitad de los usuarios declara escuchar claramente, lo que indica que el aula no tiene las condiciones adecuadas, para el caso C se incrementa a 65% quedando de igual forma fuera de rangos.

En **Gráfico 20** se comparó el valor medido in-situ de la inteligibilidad de la palabra con el porcentaje de claridad con la que los estudiantes escuchan el discurso del docente, que muestra la relación entre mayor valor de STI, mayor será la claridad auditiva.

Gráfico 20. Inteligibilidad de la palabra y % de claridad auditiva



- Tiempo de reverberación

En el tiempo de reverberación se hicieron preguntas asociadas al rebote de las palabras o al eco para generar un mayor entendimiento de como se ve reflejada la reverberación en el discurso.

Analizando la respuesta del usuario respecto de si escucha un rebote de las palabras, el 79% afirmó para el caso B que escucha un eco lo que va de la mano con que la terminación de sus muros es bastante precaria a nivel acústico y que, haciendo la revisión de los resultados experimentales, el aula tipo B es aquella que tiene el tiempo de reverberación más elevado respecto de los otros casos

⁴ Entiéndase por clara, que es inteligible, que puede ser entendido de manera correcta.

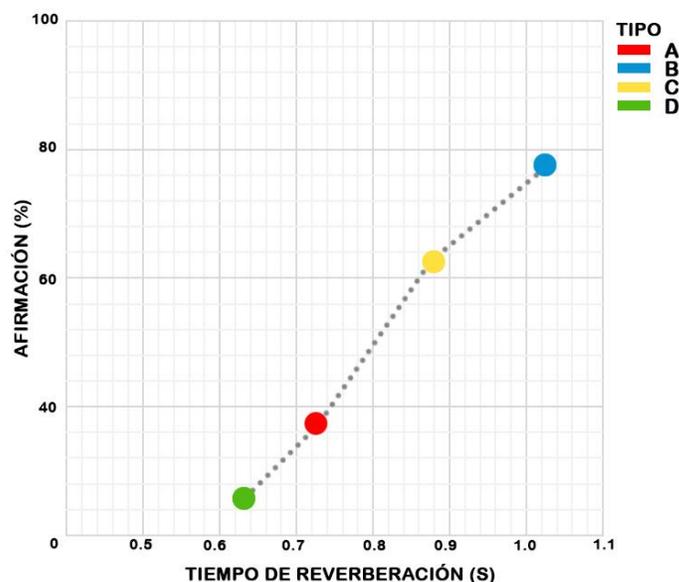
el aula tipo C, se asemeja en características físico-constructivas al aula tipo B, pero el aporte de la terminación interior de planchas tipo Poligyp en el antepecho de los muros es considerable en términos acústicos asociados a la reverberación, declarado en respuesta de un eco del 61% por los estudiantes.

En el caso A, según la normativa solo cumple con el estándar BB93 que da un rango más amplio, a pesar de que de acuerdo a los otros estándares se encuentra en el límite de cumplir. En términos de confort del usuario es más positivo que el caso B y C ya que solo el 34% de los estudiantes declaró que escucha el rebote de las palabras a interior, esto también se asocia a la terminación interior del recinto que es machihembrado de madera en muros y cielo en donde la madera tiene un mejor coeficiente de absorción acústica que el yeso cartón.

El único caso que cumple con los estándares es el caso D, lo cual tiene sentido al asociarlo con el proyecto acústico que ya tiene y a la vez los usuarios declaran solo en un 27% que oyen un rebote, lo que indica que el recinto tiene un acondicionamiento acústico acorde a los requerimientos.

En el **Gráfico 21** se muestra la relación entre el porcentaje de estudiantes que afirmó escuchar un eco al interior del aula y el valor del tiempo de reverberación que para estar en condiciones óptimas según recomiendan los estándares es entre 0.5 s y 0.7 s.

Gráfico 21. Tiempo de reverberación y % de afirmación



- **Análisis general**

A modo general se observa que el acondicionamiento acústico de un aula escolar, según percepción del usuario, va ligado a que están en confort acústico cuando escuchan claramente al docente y cuando el ruido del exterior no afecta directamente a lo que está ocurriendo al interior. Comparando los resultados cualitativos y cuantitativos se observa que existe relación directa entre ambos, considerando que de acuerdo a las recomendaciones que plantean los estándares, los resultados no cumplen.

El tiempo de reverberación medido in-situ indica que los resultados están fuera de rangos sin considerar el caso con tratamiento acústico lo que, comparado con la percepción del usuario, existen casos que no consideran su aula con presencia de “rebotes” en la proyección de la voz a pesar de que sus resultados indiquen estar fuera de las recomendaciones estandarizadas.

La inteligibilidad de la palabra es aquella que tiene mejor comportamiento desde la comparación con los estándares, considerando que el estándar ANSI tiene un rango más amplio que los demás y así lo afirman los estudiantes en el análisis cualitativo, considerando que más del 50% de los estudiantes por aula indica que el discurso del docente se escucha claramente.

Respecto del ruido de fondo, los estudiantes señalan un mayor énfasis la molestia del ruido ambiental exterior de las avenidas que enfrentan a las aulas dando cuenta que respecto del análisis cuantitativo, ninguno de los casos cumple con las recomendaciones de los estándares.

5.6 Diagnóstico de calidad acústica interior de aulas escolares

Se considera que la calidad acústica de las aulas escolares es deficiente por variables tales como: la tipología de vidrio, marcos con infiltraciones, mala mantención de terminaciones, formas rectangulares en la geometría del aula desproporcionadas, exceso de instalaciones eléctricas por superficie, puertas simples en mal estado hacia el pasillo, pizarrones de grandes dimensiones sin elementos absorbentes, entre otros.

Según estos parámetros y a partir de la comparación del análisis cualitativo y cuantitativo se plantea por aula un diagnóstico de calidad acústica indicando características negativas y positivas respecto del desempeño acústico del aula, indicando la calidad de mantención de terminaciones interiores, el estado de puertas y ventanas, la correcta o incorrecta ubicación de elementos decorativos, etc.

AULA TIPO A

- Elección de tipo de material correcto para terminación interior
- Mantención deficiente de materiales como pisos y muros
- Ventanas simples no controlan ingreso de ruido exterior
- Puertas huecas de tablero simple no controlan ingreso de ruido del pasillo
- Exceso de ventanal hacia el pasillo, no aporta con iluminación natural y solo genera puentes acústicos

AULA TIPO B

- Pizarrón de tamaño excesivo que actúa como material reflectante con la proyección de voz de los estudiantes
- Mantención deficiente de materiales como pisos y muros
- Ventanas simples no controlan ingreso de ruido exterior
- Puertas huecas de tablero simple con orificios genera puente acústico con pasillo interior
- Correcta idea de colocar murales de poliestireno, mejorar ubicación por proyección de voz

AULA TIPO C

- Pizarrón de tamaño excesivo que actúa como material reflectante con la proyección de voz de los estudiantes
- Mantención deficiente de materiales como pisos y cielo
- Ventanas simples no controlan ingreso de ruido exterior
- Puertas huecas de tablero simple con orificios genera puente acústico con pasillo interior
- Tener medio muro con sistema tipo Poligyp ayuda a la absorción acústica mejorando el tiempo de reverberación
- Exceso de instalaciones eléctricas por superficie genera puentes acústicos

AULA TIPO D

- Pizarrón tiene tratamiento de absorción acústica en sus costados con láminas de corcho
- Correcta mantención de materiales como pisos, muros y cielo
- Exceso de ventanas simples hacia el pasillo no controlan ingreso de ruido y no aportan con iluminación natural
- Correcta mantención y materialidad de puerta de ingreso
- Tener en el muro de fondo tratamiento acústico con madera y lana mineral ayuda a la absorción de la voz del docente ayudando a mejorar el tiempo de reverberación
- Uso de doble vidrio hermético con marco de PVC controla el ingreso de ruido del exterior.

En términos generales las aulas tienen mantención deficiente en sus materiales de revestimiento interior lo que genera irregularidades en la proyección del sonido al interior. Los casos A, B y C tienen problemas con la instalación de sus puertas, debido al uso excesivo y poca mantención genera un descuadre que hace que se creen orificios que actúan como puentes acústicos, lo que también ocurre con las ventanas en algunos casos.

Uno de los aspectos más positivos es el caso D, utilizando como ejemplo y referencia para la investigación y así comprobar la importancia de contar con proyecto acústico diseñado desde un inicio, marcando la diferencia en términos de acondicionamiento acústico de un aula escolar.

De acuerdo a **Tabla 40**, se resume el diagnostico a nivel general de la instalación y mantención de los elementos del aula.

Tabla 40: Diagnostico aulas (elaboración propia)

TIPO	INSTALACIÓN DEL MATERIAL					MANTENCIÓN DEL MATERIAL					ASPECTOS POSITIVOS
	VENTANAS	PUERTAS	TERMINACION MUROS			VENTANAS	PUERTAS	TERMINACION			
			CIELO	PISO	MUROS			CIELO	PISO	MUROS	
A	X	X	✓	✓	✓	✓	⋯	⋯	X	⋯	CORRECTA INSTALACION DE ALGUNOS MATERIALES, BUENA ELECCION DE TIPO DE MATERIAL PARA TERMINACIÓN INTERIOR DE MUROS
B	✓	X	✓	✓	⋯	✓	X	✓	⋯	X	CORRECTA INSTALACIÓN DE CIELO Y LA IDEA DE UTILIZAR MURALES DE POLIESTIRENO EN EL MURO DE FONDO
C	✓	X	✓	✓	✓	⋯	X	X	⋯	✓	TENER MEDIO MURO DE PLANCHA TIPO POLIGYP AYUDA COMO MATERIAL ABORBENTE ACUSTICAMENTE
D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	TENER PROYECTO ACÚSTICO DISEÑADO PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN

X	CORRECTA INSTALACIÓN O	✓	INCORRECTA INSTALACIÓN O MANTENCIÓN	⋯	TERMINO MEDIO
---	------------------------	---	-------------------------------------	---	---------------

Conclusiones

El planteamiento de un análisis experimental permitió obtener resultados concretos para establecer un diagnóstico de la calidad acústica de las aulas escolares existentes, considerando el escenario de ruido en donde están emplazados, sus características físico-constructivo y las variables arquitectónicas espaciales tales como altura, superficie, volumen, revestimientos interiores, entre otros.

De los factores medidos in-situ, se comprueba que el tiempo de reverberación y la inteligibilidad de la palabra varían en los resultados según la terminación interior del aula. Como se indica en el estudio de casos, el aula revestida en yeso cartón tiene un RT de 1,08s con STI de 0,45 y el aula con machihembrado de madera tiene un RT de 0,71 con STI de 0.60 que asociado a los estándares nacionales e internacionales éstos no se encuentran dentro de los rangos. El aula de revestimiento de madera se acerca más a los límites del cumplimiento normativo.

Según resultados, se hace evidente que la terminación interior del aula afecta directamente en el acondicionamiento acústico, teniendo un mayor impacto en el tiempo de reverberación y la inteligibilidad de la palabra.

Desde la perspectiva del usuario se determinan parámetros que configuran el análisis cualitativo con una mayor tendencia de confort acústico cuando se relaciona con características espaciales de terminaciones como madera o medio muro de material absorbente.

- **Revestimiento interior (materialidad)**

En la investigación, desde el análisis se observó que la materialidad es uno de los factores más influyentes en el acondicionamiento acústico de las aulas escolares.

Considerando el coeficiente de absorción acústica de los distintos materiales, la calidad interior del aula puede cambiar obteniendo resultados de mayor confort acústico para el estudiante.

De acuerdo a los resultados se puede concluir que uno de los materiales medidos in-situ que tiene mejor desempeño acústico es la madera, seguido por materiales de superficie rugosa como planchas tipo poligyp.

Independiente de qué tipo de material se escoja para la terminación interior del aula, se debe considerar la correcta instalación y mantención de los materiales para así poder evitar los puentes acústicos, reverberación excesiva, pérdida de la consonante, entre otros.

- **Forma (volumen)**

En términos geométricos, el volumen del aula influye directamente con la calidad acústica que pueda tener debido a que, si se compara un aula rectangular con una cuadrada, la manera en que se distribuye el sonido a través del espacio es más adecuada para que el estudiante que está en el punto más lejano respecto del docente pueda escuchar con claridad.

Tener menor altura en las aulas con terminación yeso-cartón genera mejor desempeño acústico, pero cuando el revestimiento interior varía a madera, el volumen del aula es irrelevante respecto de la terminación.

Analizando los casos de estudio tipo A, B y C con tipo D que cuenta con proyecto acústico, una de las características más relevantes que aportan a un mejor tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra es la forma; el tipo D fue diseñado de forma simétrica y eso genera una distribución equivalente entre la fuente emisora y receptora, mejorando así la calidad del discurso vía oral.

- **Superficie vidriada (ventanas)**

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción establece un mínimo de porcentaje vidriado que debe tener un aula escolar correspondiente al 20%. El aumento de porcentaje de superficie vidriada es relevante en términos acústicos considerando que en áreas de alto ruido ambiental, el valor del ruido de fondo al interior del aula, aumenta en proporción a la superficie vidriada.

A raíz de lo anterior se concluye que, mientras mayor sea la superficie vidriada, considerando vidrio simple, mayor será el ruido de fondo al interior del aula. Cuando la superficie es de doble vidrio hermético, aunque existan dos aulas con 20% de superficie vidriada, el valor del ruido de fondo será menor.

- **Recomendaciones**

El escenario que mejor se ajusta a lo que recomiendan los estándares nacionales e internacionales, es tener la posibilidad de diseñar el proyecto y aplicar diseño acústico. Pero para aulas existentes, que ya poseen una configuración físico-constructiva y tienen características espaciales determinadas se pueden aplicar mejoras in-situ.

De acuerdo a lo anterior, se establecieron a partir del análisis cualitativo y cuantitativo, recomendaciones para aulas existentes considerando características de materiales, posiciones de instalaciones eléctricas, recomendaciones de ubicación de elementos, entre otros.

Recomendaciones aulas existentes

- Colocar pizarrones de 3m² máximo, como lo establece el Ministerio de Educación, para evitar aumentar el coeficiente de reflexión en los muros.
- En el muro opuesto al pizarrón colocar murales de corcho o de poliestireno al menos en un 50% del total del muro para amortiguar la proyección de la voz del docente.
- En lo posible, utilizar en parte del cielo hacia el fondo madera en vez de yeso-cartón
- Cambiar ventanas de vidrio simple por ventanas de vidrio doble
- Utilizar material poroso como antepecho en el perímetro interior del aula
- Instalar los materiales de manera correcta, por sobre todo en las uniones con el resto de los elementos
- Colocar sellos en puertas y ventanas de manera continua
- Evitar exceso de instalaciones de cajas eléctricas en una zona en específico, distribuir y sellar.
- Evitar ventanas en los muros de los pasillos que no entreguen aporte de iluminación o ventilación natural al aula.

Con la investigación se puede concluir que, a través del análisis de los resultados de mediciones in-situ, la calidad acústica de las aulas escolares está directamente relacionada con el material escogido para la terminación interior del recinto.

Las aulas no se encuentran dentro de los rangos recomendados por los estándares nacionales e internacionales, dejando en claro que existe un vacío en la normativa acústica Chilena y que se debiera considerar un ítem específico de establecimientos educacionales ya que, en estos espacios es en donde la principal vía de comunicación es a través del discurso hablado, lo que requiere tener claridad en el mensaje entre emisor y receptor.

En relación a la metodología se puede concluir que

El hacer mediciones in-situ permitió identificar que, lo que se proyecta en los planes de renovación de los establecimientos educacionales municipales existentes no considera parámetros acústicos para el interior de las aulas escolares.

La percepción del usuario entrega información que se obtiene de manera cualitativa considerando que, no todos tienen la misma sensibilidad auditiva y que debe considerarse todo tipo de parámetros asociados al confort del estudiante al momento de diseñar un espacio educativo.

- **Futuras líneas de investigación**

De manera de potenciar el área de la investigación en acústica y de la importancia que tiene en ámbitos educacionales como aulas escolares, se puede prolongar la investigación de distintas maneras.

Complemento: una de ellas se puede lograr completando el análisis y estudiando otros casos de estudio que puedan ser relevantes, con otros sistemas constructivos y características espaciales a modo de concluir entre ambas investigaciones y así complementar el estado del arte.

Experimental: a partir de las recomendaciones entregadas se puede buscar la forma de aplicarlas in-situ en los casos de estudio analizados y tomar las mismas mediciones con las pautas anexadas en esta investigación con el fin de evaluar su comportamiento.

Simulación: a partir de la base de datos, analizar las recomendaciones y simular en software acústico las posibles estrategias de mejora para la comprobación de éstas.

Diseño: desde el diagnóstico establecer sugerencias para definir estrategias de diseño en establecimientos educacionales nuevos.

Referencias bibliográficas

PUGLISI, G. CANTOR, L. PAVESE, L. CASTELLANA, A. BONA, M. FASOLIS, S. *Acoustic comfort in high-school classrooms for students and teachers*. Energy Procedia. 2015. 2p.

TANG, S.K. YEUNG, M.H. *Reverberation Times and Speech Transmission indices in classrooms*. Journal of sound and vibration. 2006 .1p.

TANG, S.K. *Speech related acoustical parameters in classrooms and their relationships*. Applied acoustics. 2007. 1p

LÉVY, E. *Diccionario de Física*. España, 1992. ISBN 84-460-0144-6.

SANCHEZ, C. DUJOVNE, L. POO, C. *Manual de aplicación: Reglamentación Acústica*. Chile, 2006. C.D.U 349.44(83).

BERG, F. BLAIR, J. BENSON, V. *Classroom Acoustics: The problem, impact and solution*. Utah State University. Logan, 1996. 3p.

GRAMEZ, A. BOUBENIDER, F. *Acoustic comfort for a conference room: A case study*. Applied acoustics. 2006. 1p.

KRUDSEN, V. HARRIS, C. *Acoustical designing in architecture*. Canada. 1978. ISBN 088318267x

D' ALEÇON, R. *Acondicionamientos: Arquitectura y Técnica*. Chile, 2008. ISBN 978-956-14-1027-5

CARRIÓN, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. España, 1998. ISBN 84-8301-252-9

GONZÁLEZ, V.E. PEREZ, J. *Estudio de inteligibilidad en aulas de Navarra*. AAC. Centro de Acústica aplicada, 2008. 2p.

MIYARA, F. *El ruido y la inteligibilidad de la palabra*. Universidad de las Américas. 1996. 3p.

RODERO, E. *El tono de la voz masculina y femenina en los informativos radiofónicos: Un análisis comparativo*. Universidad pontificia de Salamanca. 2001. 2p.

COBETA, I. *Patología de la voz*. España, 2013. ISBN 978-84-15340-86-7

NORMA CHILENA (Nch) 352.Of61. (2000). *Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios*. Chile.

MINISTERIO DE VIVIENDA (MINVU). (2018). *Artículo 4.15-4.16. Ordenanza General de Urbanismo y Construcción*. Chile.

CITECUBB (2015). TDR. *Términos de referencia estandarizados con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental*. Versión 2. Chile. pp. 223-232.

NORMA ESPAÑOLA. UNE-EN ISO 3382-2. (2008). *Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios*. España.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. (2002). ANSI S1260-2002. *Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools*. Melville. New York. United States.

HOPKINS, C. HALL, R. *Building Bulletin 93. Acoustic design of schools*. Architects and building Branch. London, UK. 2014. ISBN 0 11 27 11 057

ANEXO I. IMÁGENES AULAS ESCOLARES

AULA TIPO A

INTERIOR



INTERIOR



PISO



INSTALACIÓN



MEDICIÓN IN-SITU



AULA TIPO B

INTERIOR



INTERIOR



PISO



MUROS



PUERTA



SONOMETRO



MEDICIÓN IN-SITU



AULA TIPO C

INTERIOR



INTERIOR



PISO



CIELO



INSTALACIONES



MICRÓFONO



MEDICIÓN IN-SITU



AULA TIPO D

INTERIOR



INTERIOR



TRATAMIENTO PIZARRA



INSTALACIONES



MEDICIÓN IN-SITU

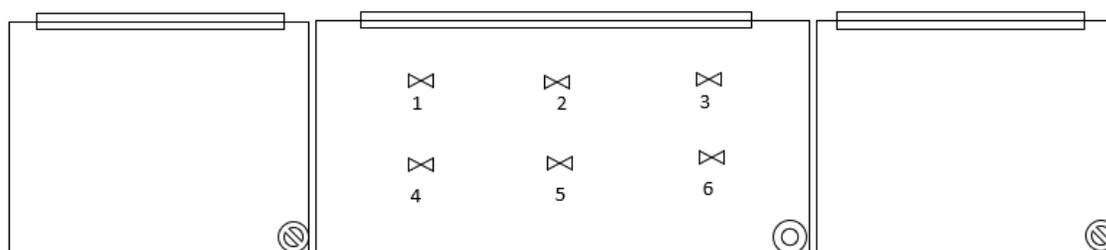


ANEXO II. FICHA DE MEDICIÓN IN-SITU

COLEGIO:		SIMBOLOGÍA			
DIRECCION:		SONOMETRO		SALA EMISORA	
OBSERVACION SALA:		MICROFONO		SALA RECEPTORA	
		FUENTE RUIDO		GLOBO	

1. RUIDO DE FONDO - INTERIOR SALA

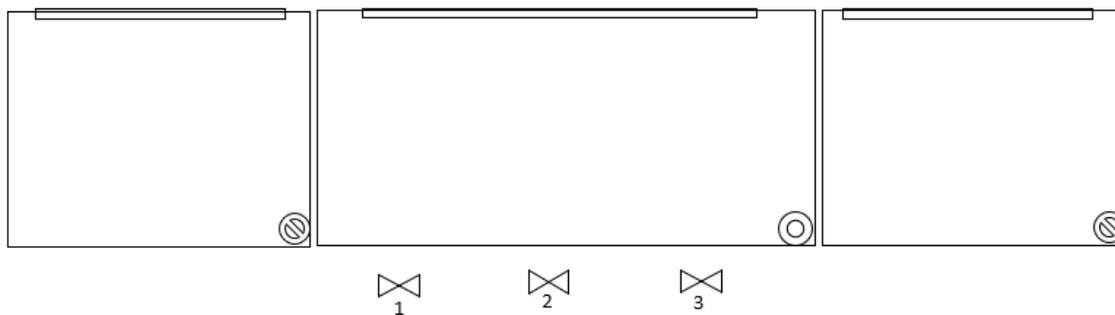
MEDIR 6 PUNTOS CON SONOMETRO AL INTERIOR DE LA SALA, PROMEDIAR CON FORMULA LOGARITMICA



POSICION	VALOR	UNIDAD
1		dB
2		dB
3		dB
4		dB
5		dB
6		dB

2. RUIDO DE FONDO - PASILLO SALA

MEDIR 3 PUNTOS CON SONOMETRO AL INTERIOR DE LA SALA, PROMEDIAR CON FORMULA LOGARITMICA



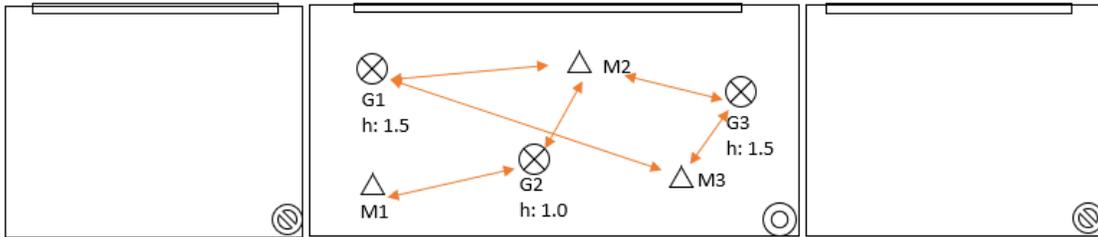
POSICION	VALOR	UNIDAD
1		dB
2		dB
3		dB

3. TIEMPO DE REVERBERACIÓN

PINCHAR GLOBO Y GRABAR EN COMPUTADOR DURANTE 15 SEGUNDOS, COMBINAR 6 VECES.
 GLOBO DEBE ESTAR A 1 METRO DE DISTANCIA DE SUS MUROS Y A 1.5 o 1.0 DEL SUELO
 MICROFONO DEBE ESTAR A 2 METROS DEL GLOBO

REVENTAR 6 GLOBOS
 MARCAR PISO PARA MIC

ANOTAR DISTANCIA ENTRE MICROFONO Y GLOBO



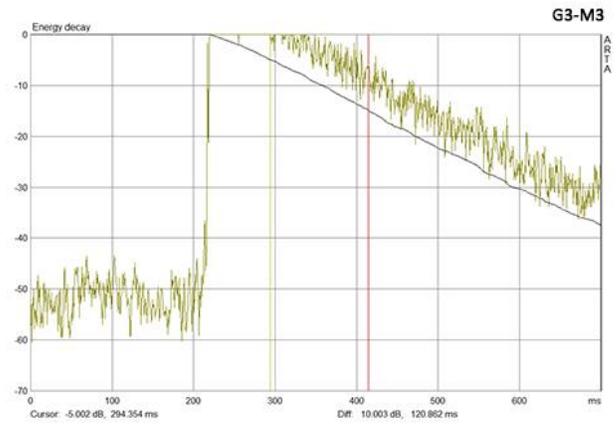
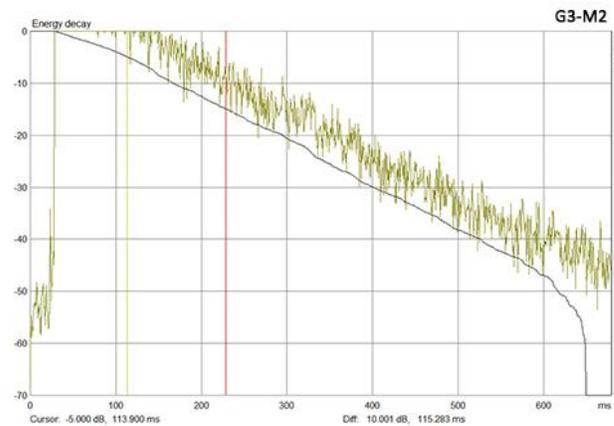
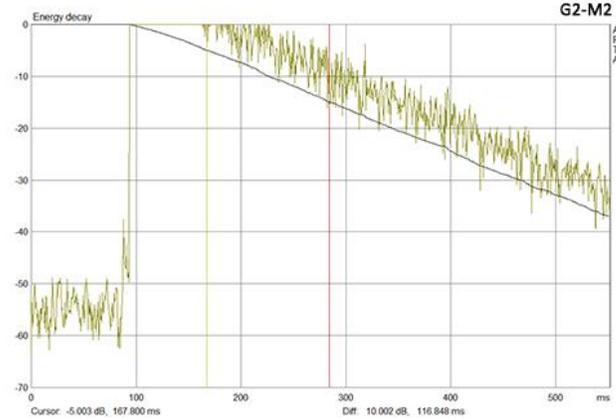
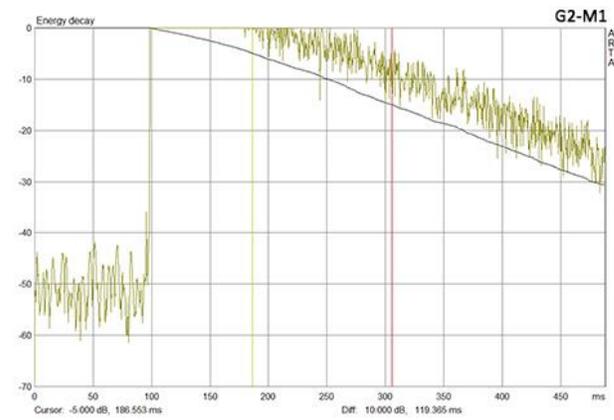
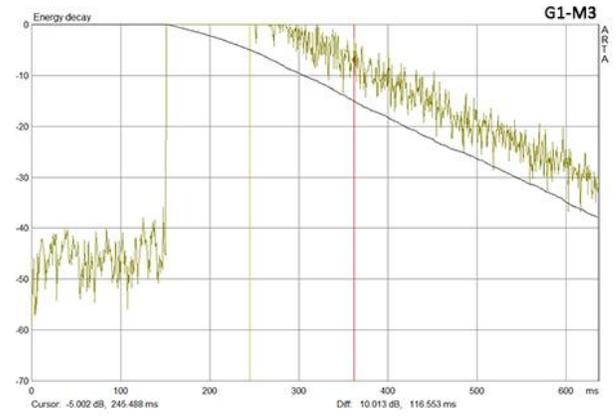
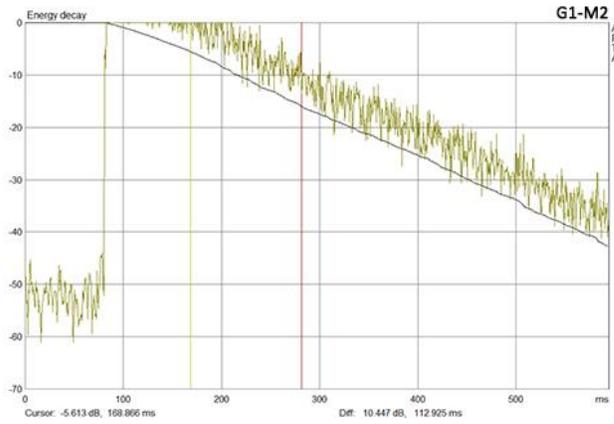
INDICADOR	G1	G2	G3
M1			
M2			
M3			

guardar wav con nombres

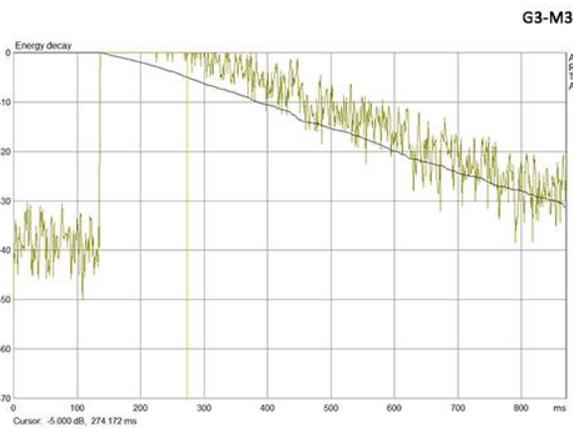
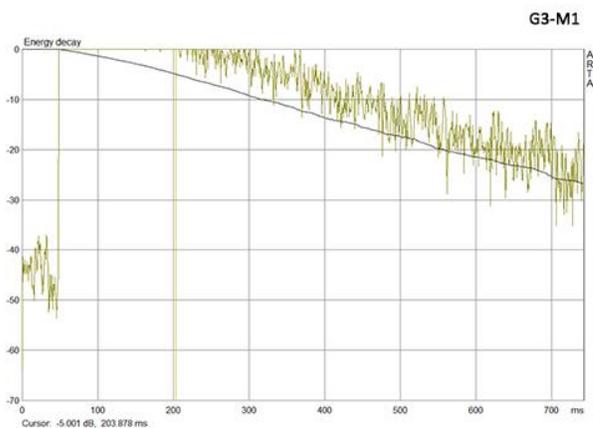
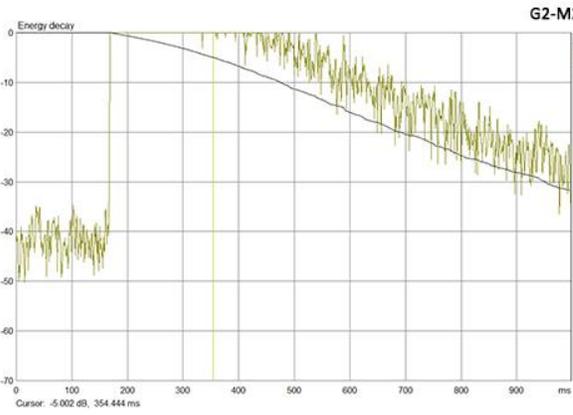
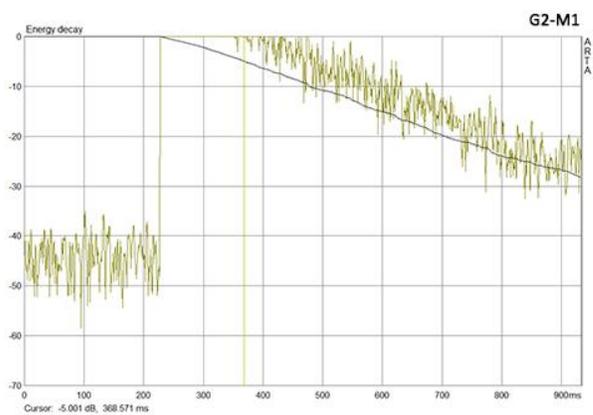
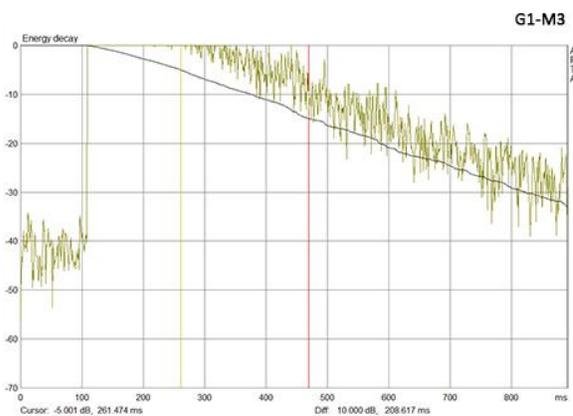
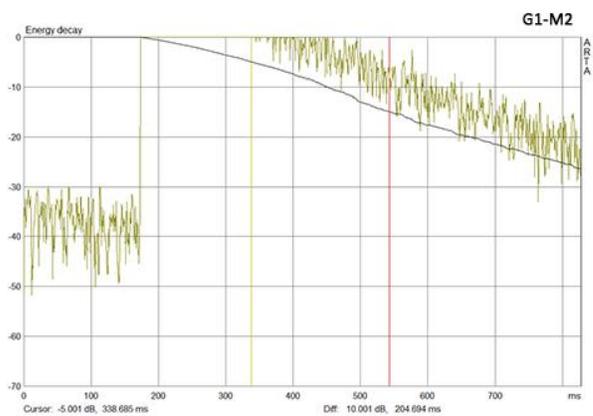
G1 - M2	<input type="checkbox"/>
G1 - M3	<input type="checkbox"/>
G2 - M1	<input type="checkbox"/>
G2 - M2	<input type="checkbox"/>
G3 - M1	<input type="checkbox"/>
G3 - M3	<input type="checkbox"/>

ANEXO III. GRAFICOS DE CAIDA DE ENERGÍA

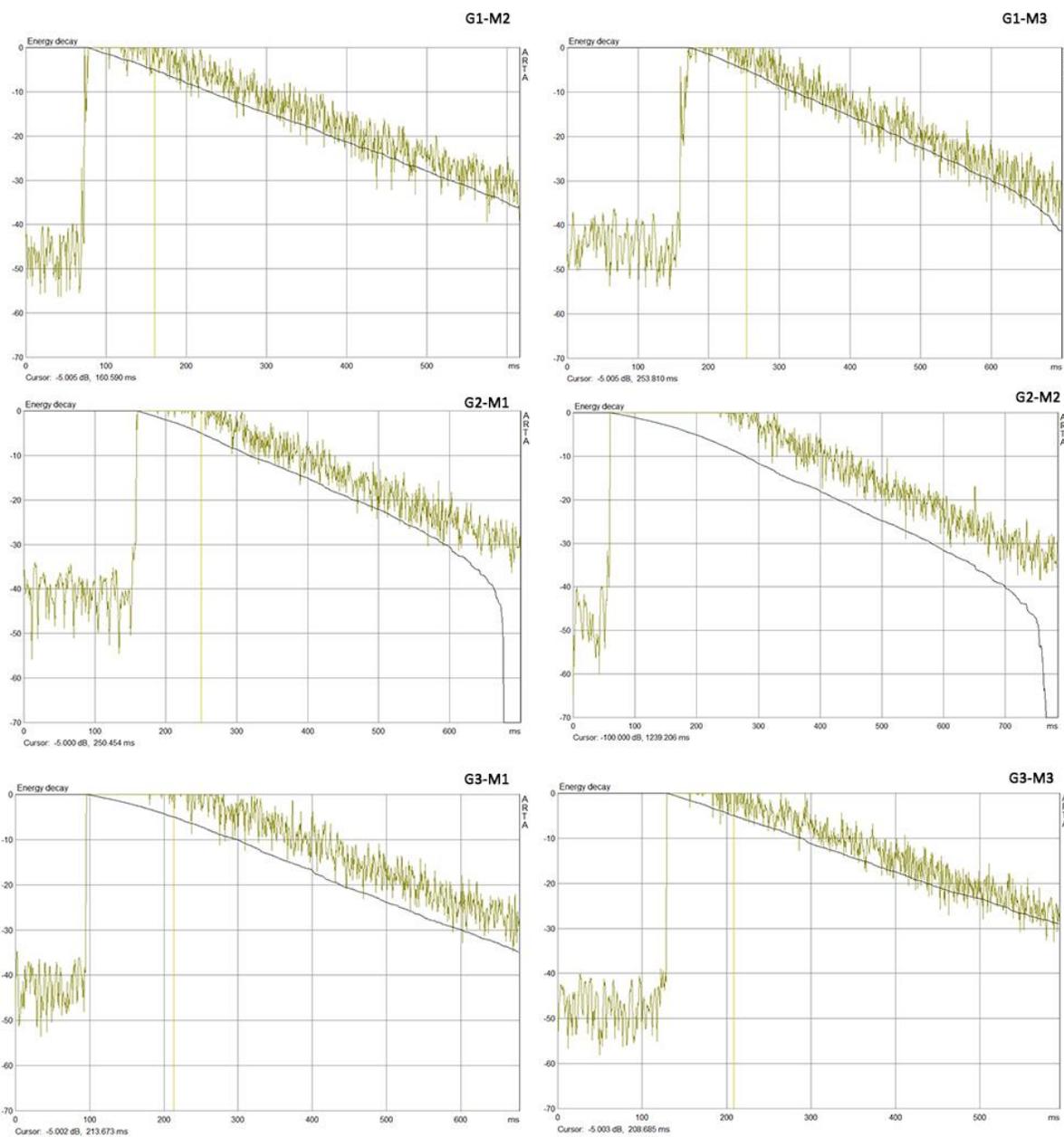
AULA TIPO A



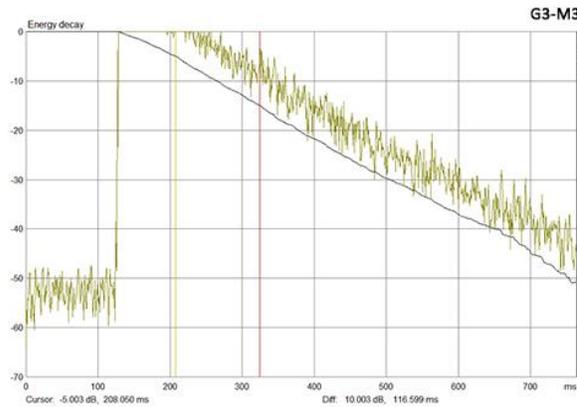
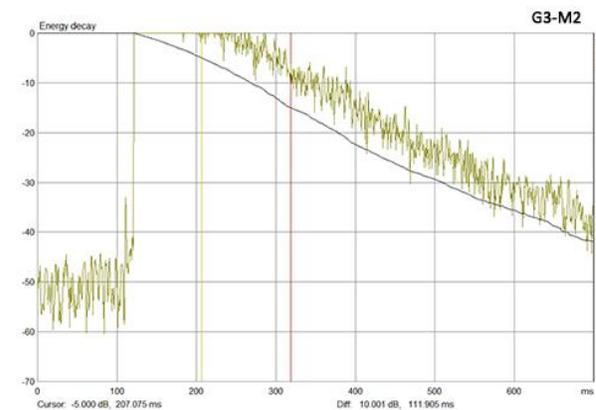
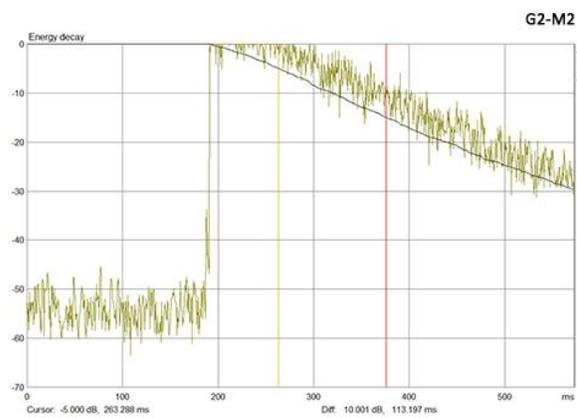
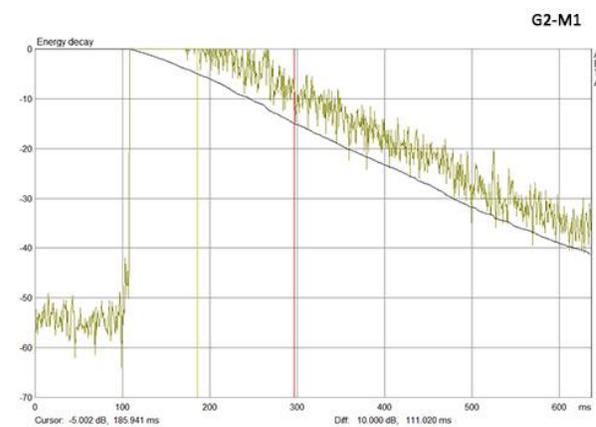
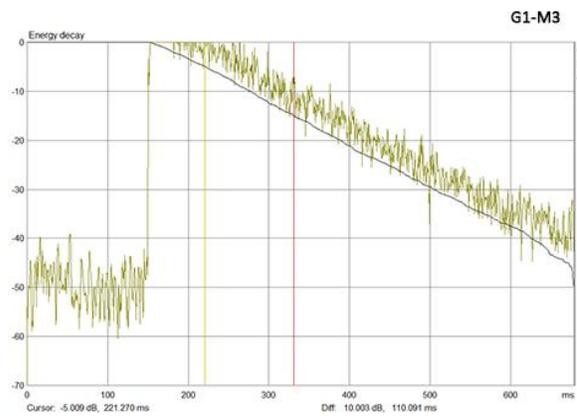
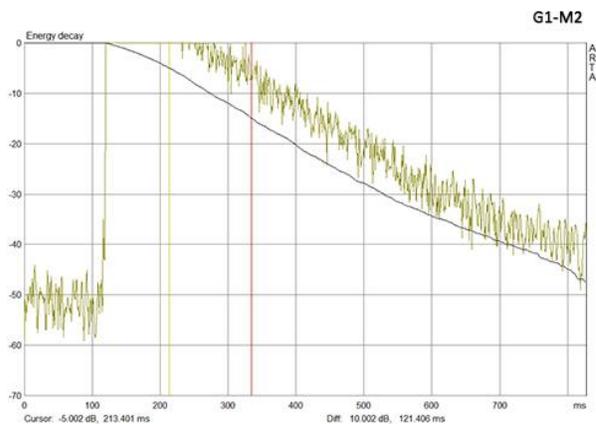
AULA TIPO B



AULA TIPO C



AULA TIPO D



ANEXO IV. ENCUESTA Y TABLA RESUMEN

Encuesta

1. ¿Qué importancia tiene para usted el **ruido** en su sala de clases?

- Demasiado importante
- Muy importante
- Medianamente importante
- Poco importante
- Nada importante

2. En estos momentos. ¿Estas comodo con el nivel de ruido que hay?

- Demasiado comodo
- Muy comodo
- Medianamente comodo
- Poco comodo
- Nada comodo

3. ¿Que tan claro escucha las palabras que dice el profesor o profesora?

- Demasiado claro
- Muy claro
- Medianamente claro
- Muy poco claro
- Casi nada

4. Si usted esta sentado o sentada al final de la sala, ¿Como escucha la clase?

- Demasiado claro
- Muy claro
- Medianamente claro
- Muy poco claro
- Casi nada

5. ¿Le molesta algun ruido en especifico durante el periodo de clases?

- si Cual o cuales: _____
- no

6. ¿Le cuesta concentrarse debido a ruidos en la sala de clases?

- si
- no

7. En que horario le resulta incomodo el exceso de ruido?

- 08:00 - 10:00 primera hora
- 10:00 - 13:00 medio día
- 13:00 - 15:00 tarde

8. ¿Cual es el ruido que mas le molesta o incomoda?

- Ruido del exterior (Automoviles)
- Ruido de otras salas de clases (Alumnos)
- Ruido del transito del pasillo (Interior)
- Ruido al interior de la sala de clases (Compañeros)

9. ¿El ruido al interior es producido solo por sus compañeros?

- si
- no

¿Que tan molesto es ese ruido?

- Muy molesto
- Medianamente molesto
- No es molesto

10. Cuando el profesor o profesora habla durante la clase. ¿Escucha un ECO o rebote de las palabras al interior de la sala?

- si
- no

¿Que tan molesto es ese ECO?

- Muy molesto
- Medianamente molesto
- No es molesto

11. En terminos generales me parece una sala de clases **silenciosa y tranquila**

- Demasiado de acuerdo
- Muy de acuerdo
- Medianamente de acuerdo
- Poco de acuerdo
- Nada de acuerdo

Comentarios: _____

Tabla resumen

caso de estudio	n° alumnos	pregunta 1					pregunta 2					pregunta 3					pregunta 4				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
aula tipo a	35	3	7	12	8	5	2	15	12	5	1	7	13	8	5	2	1	9	12	8	5
	%	8.6	20.0	34.3	22.9	14.3	5.7	42.9	34.3	14.3	2.9	20.0	37.1	22.9	14.3	5.7	2.9	25.7	34.3	22.9	14.3
aula tipo b	34	6	7	14	5	2	2	6	7	10	9	2	6	9	14	3	1	5	16	9	3
	%	17.6	20.6	41.2	14.7	5.9	5.9	17.6	20.6	29.4	26.5	5.9	17.6	26.5	41.2	8.8	2.9	14.7	47.1	26.5	8.8
aula tipo c	31	7	6	11	4	3	2	4	8	12	5	2	8	10	6	5	5	2	12	8	4
	%	22.6	19.4	35.5	12.9	9.7	6.5	12.9	25.8	38.7	16.1	6.5	25.8	32.3	19.4	16.1	16.1	6.5	38.7	25.8	12.9
aula tipo d	33	9	8	10	5	1	14	11	5	2	1	9	13	6	3	2	9	11	9	4	0
	%	27.3	24.2	30.3	15.2	3.0	42.4	33.3	15.2	6.1	3.0	27.3	39.4	18.2	9.1	6.1	27.3	33.3	27.3	12.1	0.0

pregunta 5			pregunta 6		pregunta 7			pregunta 8				pregunta 9		pregunta 10		pregunta 11				
1	2	auto/patio	1	2	1	2	3	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5
24	11	auto/patio	12	23	18	6	11	17	4	9	5	14	21	12	23	2	9	16	5	3
68.6	31.4		34.3	65.7	51.4	17.1	31.4	48.6	11.4	25.7	14.3	40.0	60.0	34.3	65.7	5.7	25.7	45.7	14.3	8.6
26	8	autos/ext	14	10	17	6	11	15	3	5	11	26	8	27	7	1	3	11	14	5
76.5	23.5		41.2	29.4	50.0	17.6	32.4	44.1	8.8	14.7	32.4	76.5	23.5	79.4	20.6	2.9	8.8	32.4	41.2	14.7
19	12	autos/ext	17	14	15	7	9	13	5	9	4	13	18	19	12	1	2	15	9	4
61.3	38.7		54.8	45.2	48.4	22.6	29.0	41.9	16.1	29.0	12.9	41.9	58.1	61.3	38.7	3.2	6.5	48.4	29.0	12.9
15	18	pasillo	9	24	9	11	13	4	2	16	11	19	14	9	24	4	14	10	4	1
45.5	54.5		27.3	72.7	27.3	33.3	39.4	12.1	6.1	48.5	33.3	57.6	42.4	27.3	72.7	12.1	42.4	30.3	12.1	3.0

ANEXO V. ELEMENTOS DE MEDICIÓN

