

Caracterización de niveles de ruido en dos aulas de la Universidad Pedagógica  
Nacional: condiciones de aislamiento, tiempo de reverberación e  
inteligibilidad de la palabra

Laura Mercedes Arteaga Rojas  
Código: 2011103007

Universidad Pedagógica Nacional  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Licenciatura en Electrónica  
Bogotá, Colombia  
2018

Caracterización de niveles de ruido en dos aulas de la Universidad Pedagógica  
Nacional: condiciones de aislamiento, tiempo de reverberación e  
inteligibilidad de la palabra

**Laura Mercedes Arteaga Rojas**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**Licenciada en Electrónica**

Director:  
Luis Jorge Herrera Fernández  
Docente Departamento de Tecnología

Universidad Pedagógica Nacional  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Licenciatura en Electrónica  
Bogotá, Colombia  
2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a la Facultad de Ciencia y Tecnología, y al licenciado Nilson Genaro Valencia Vallejo quien por su en fe los estudiantes y su búsqueda incesante de la justicia no permitió que el mal impere sobre el bien, ha hecho parte de mi proceso de formación durante la carrera. Gracias a ellos, estoy actualmente presentando mi proyecto de grado en la Universidad Pedagógica Nacional. También a quienes hicieron parte del proceso de ejecución de este proyecto, los ingenieros en formación de acústica de la Universidad San Buenaventura y su colaboración al permitirme el acceso a los equipos de medición.


A mi familia (Liliana Rojas, Eliot Arteaga, Sandra Patricia Rojas, Pilar Arteaga, y Slash Arteaga Rojas), amigos y profesores que aportaron en mi formación como profesional (Samuel Sediles, Claudia Rodríguez y Carlos Rodríguez).

A la Universidad Pedagógica Nacional por brindarme sus espacios para la ejecución del proyecto y la oportunidad de haberla representado en el transcurso de mi carrera.

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mis padres, quienes han sido un ejemplo para seguir a lo largo de mi formación personal y profesional, también a los docentes de diferentes escuelas, instituciones y universidades, a quienes invito a tomar conciencia de su salud, esperando que este proyecto pueda orientar a muchos de ellos.

También le dedico este proyecto a Pilar y Slash quienes han sido testigos del esfuerzo por ser licenciada.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de Profesores</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 5	

1. Información General	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de Grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	Caracterización de niveles de ruido en dos aulas de la Universidad Pedagógica Nacional: condiciones de aislamiento, tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra.
<b>Autor(es)</b>	Arteaga Rojas, Laura Mercedes
<b>Director</b>	Herrera Fernández, Luis Jorge
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2018. 132 p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	RUIDO; AULAS; REVERBERACIÓN; INTELIGIBILIDAD; AISLAMIENTO; ACÚSTICA.

2. Descripción
<p>Trabajo de grado presentado para obtener el título como Licenciada en Electrónica, en el que se enfatiza sobre la influencia que tiene la exposición a los altos niveles sonoros en dos aulas de la UPN. En primer lugar, se miden las condiciones acústicas como el tiempo de reverberación y el aislamiento acústico, usando como referentes las normas internacionales y empleando la instrumentación especial en este campo. Se valoran subjetivamente a docentes y estudiantes del semestre 2017-2, evaluando las condiciones acústicas de los espacios analizados, los efectos del ruido en el organismo y el conocimiento de las normas que regulan la adecuación acústica de las edificaciones. Se estudia la inteligibilidad de la palabra, recitando un listado de 100 sílabas sin coherencia, para determinar su legibilidad, en un espacio rodeado del ruido que merodea el interior y exterior de éste. Al final se calculan, analizan y comparan los resultados con los valores tipificados en otras normas de los parámetros evaluados; después se simulan las aulas ideales, usando el software RAMSETE, donde allí se mejore la inteligibilidad de la palabra la cual depende de las superficies de construcción que envuelvan cada aula, mitigando la reverberación y el mensaje que requiera transmitir allí.</p>

3. Fuentes
<p>ANSI&amp;ASA. (2009). <i>American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design, Requirements, and Guidelines for Schools, Part 2: Relocatable Classroom Factors</i>. Estados Unidos: Acoustical Society of America.</p>

- Barron, R. F. (2003). *Industrial Noise Control and Acoustics*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Benjamin, S. (2003). Acústica del Aula I. *Una publicación de la Sociedad Acústica de América*, 10.
- Carrión, A. (2007). *Diseño de espacios arquitectónicos*. España: Madrid.
- Guía 30, M. (2008). Estas Orientaciones para la Educación en Tecnología forman parte del Proyecto Ministerio de Educación Nacional (MEN). MEN.
- Gomez, E., & Barrigon, J. (2015). *Analysis of intelligibility and reverberation time recommendations in educational rooms*. España: Applied Acoustics.
- Gonzales, A. O. (1993). *Predicción de la inteligibilidad en recintos cerrados*. Barcelona: TECNIACUSTICA.
- Harris, M. (1998). *Manual de medidas acústicas y control del ruido*. España: Hill Interamericana.
- Jaramillo, A. (2007). *Acústica: La ciencia del sonido*. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano.
- ISO 3382.(2008). Acoustics, Measurement of room acoustic parameters .Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.
- ISO 16283-2016 en sus partes 1y 3. (2016). Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Façade sound insulation.
- La Organización Mundial de la Salud. (1995). Fuentes y Medición de Ruido, En E. Editor (Ed.), Guías Para El Ruido Urbano (p 1- 4). Reino Unido
- Liarte, S. (2013). *Procedimientos para la verificación in situ del aislamiento acústico según el DB-HR del Código Técnico de la Edificación*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Lopez, R. A. (2017). *Manual de Acústica Ambiental y Arquitectónica* . España : paraninfo.
- Miñana Citado por Sommerhoff, J. (2007). Evaluación de inteligibilidad del habla en español. Chile.
- Navarrete, Á. (2015). *Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales* . Peru: idiem.
- Norma Técnica Colombiana NTC4595. (2006). Ingeniería Civil y Arquitectura, Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares. Ministerio De Educación Nacional, Colombia
- Ottobre. (2005). Propuesta de encuestas para la determinación de la calidad acústica de teatros y

salas de concierto. . *Inter-noise*, 12.

Peggy, B., & Nelson, P. (2002). *Classroom Acoustic II*. Estados Unidos: Acoustical Society of America.

Plan de Desarrollo Institucional. (2014) Una universidad comprometida con la formación de maestros para una Colombia en paz, Universidad Pedagógica Nacional, (p. 49). Bogotá, Colombia.

Recuero. (1991). *Ingengería Acústica*. Mexico: Paraninfo.

Thampuran, A. L., & Premlet, B. (2016). Objective and subjective evaluation of acoustic comfort in classrooms: A comparative investigation of vernacular and modern school classroom in Kerala. *Elsevier*, 33-41.

Treasure, J. (june de 2012). Why Architects Need To Use Their Ears. London.

Woolworth, D. (2015). Classroom Acoustics for Architects. *Phys.org*, 6.

#### 4. Contenidos

Los contenidos a tratar son los siguientes:

Capítulo I: Preliminares: contiene el planteamiento del problema, la justificación, los antecedentes y los objetivos general y específicos que procuran la caracterización de los niveles de ruido en los salones C108 y C220, de la Universidad Pedagógica Nacional.

Capítulo II: Marco conceptual: hace mención a los conceptos de sonido y sus propiedades, ruido, acústica de las salas, ruido de fondo, acontecimiento acústico, tiempo de reverberación, aislamiento acústico e inteligibilidad de la palabra, indispensables a lo largo del documento de trabajo de grado.

Capitulo III: Marco legal: describe las normas internacionales que regulan la medición realizada en el trabajo plasmado, explicando allí los procedimientos a tener en cuenta para medir, calcular y comparar las condiciones de tiempo de reverberación y aislamiento acústico al interior y exterior del aula.

Capitulo IV: Metodología. Se describe el proceso de medición de los niveles sonoros con la respectiva de la descripción de las aulas C108 y C220 de la edificación C de la UPN, teniendo en cuenta las condiciones acústicas de tiempo de reverberación, aislamiento acústico e inteligibilidad de la palabra; asimismo, éstos se miden de manera subjetiva, describiendo allí sus respectivos procedimientos, equipos a empleados y métodos para ubicar cada instrumento.

Capítulo V: Resultados: se calculan los datos obtenidos de la medición cuantificándolos para luego normalizarlos y valorarlos con las normas ISO 717-1 para la evaluación del aislamiento acústico en edificaciones o elementos de construcción y la norma ANSI / ASA S12.60-(2010) /

Parte 1 Criterios de rendimiento acústico estándar nacional estadounidense, requisitos de diseño y directrices para las escuelas, parte 1.

Capítulo VI: Análisis de Resultados: los resultados objetivos y subjetivos se analizan tomando en cuenta los parámetros evaluados.

Capítulo VII: Se fijan conclusiones, en las que se establece la calidad sonora de los recintos C108 y C220, tomando como referentes las normas ISO, y se plantean recomendaciones para la concientización sobre la exposición de niveles sonoros molestos para el oído humano en la UPN.

## 5. Metodología

Se describen las condiciones actuales de la sala como su geometría, superficies que permean cada aula y espacios adyacentes a los salones a evaluar en el presente trabajo de grado. Luego, se mencionarán los instrumentos acústicos para medir y obtener datos sobre niveles de ruido, aislamiento acústico, tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra y se aplican las encuestas y simulaciones por medio de un software sobre las condiciones ideales de cada aula.

Los instrumentos para la medición de aislamiento acústico son los siguientes: fuente omnidireccional, sonómetros y micrófono omnidireccional; estos equipos tomarán registros de:

- Niveles de ruido: se determina el nivel de ruido al cual están expuestos tanto estudiantes como docentes, debido a diferentes fuentes sonoras como el tráfico vehicular, las actividades en salones aledaños y el tránsito de personas por zonas de libre circulación o eventos deportivos y/o culturales. Conforme a lo que indica la norma ISO16283 parte 1 y 3 sobre las posiciones de los equipos adecuados para la respectiva medición.
- Aislamiento acústico: la evaluación del aislamiento acústico aéreo y en fachada de los recintos está regulada por las normas ISO 16283, partes 1 y 3, en las que se determina las condiciones físicas del espacio a evaluar y se analizan las condiciones acústicas, respectivamente.
- Tiempo de reverberación: se realiza esta medición con el software EASERA y se miden las distintas reflexiones del campo sonoro en el recinto receptor; se establecen métodos para medir y calcular los datos obtenidos e instrumentos que se emplearán allí, junto con la señal característica de excitación de la fuente, según la norma ISO 3382-2.
- Inteligibilidad de la palabra: en la parte objetiva, se tienen en cuenta las posiciones de cada instrumento empleado para la medida del tiempo de reverberación y la señal de excitación de la fuente. Por otro lado, se explica la medición subjetiva el cual es deletrear una lista de cien sílabas sin coherencia a las personas afectadas el interior de las dos aulas a evaluar y que ven sus asignaturas en cierto rango horario en el transcurso de una semana; allí se midió el índice de la pérdida de articulación de las consonantes, por medio de la fonética de las sílabas recitadas.
- Encuestas: se aplican de tal manera que permitan obtener un criterio cuantitativo de las



condiciones acústicas y el conocimiento de los efectos en el organismo que pueden causar la exposición a los altos niveles sonoros y de las normas que regulan la adecuación sonora del espacio.

- Recomendaciones: se proponen materiales de construcción que se caractericen por la absorción del sonido como madera, yeso cartón, paneles absorbentes, Clouds de fibra de vidrio para los techos, estos se simularan por medio del programa RAMSETE versión 3.0, se indica el procedimiento para simular cada aula ideal obteniendo un gráfico de la reverberación baja conforme a lo que indica la norma ANSI / ASA S12.60-(2010).

## 6. Conclusiones

- Las características físicas de los recintos académicos en los que se realizó el estudio influyen considerablemente en el aislamiento del ruido. Las paredes que separan el interior y exterior de los salones hacen que el ruido se filtre, por ejemplo, el aula C220 el sonido no deseado llega directamente por las filtraciones que tienen los sellamientos entre cada superficie, es posible determinar que el aislamiento acústico es poco adecuado debido al grosor de este material para rechazar o tratar un ruido superior a los 52 dB sobre la frecuencia de 500 Hz. También, se aprecia que en las dos aulas estudiadas, C108 y C220, se aprecia un tiempo de reverberación superior al mínimo establecido por la norma ANSI&ASA (0,6 s), indicando una irregularidad en los salones en cuanto al tratamiento de sonidos difusos se refiere.
- La investigación subjetiva realizada a la población de los dos salones analizados, indica la poca concienciación sobre el problema que significa el ruido como factor negativo en aspectos académicos y de salud, por el desconocimiento de las normas para regular las condiciones acústicas de los espacios donde se imparten sesiones de clase (ISO 717-1, ANSI&ASA, ISO 16283) y los peligros que implica la filtración del ruido como la generación de estrés, la dificultad en el aprendizaje y hasta el poco entendimiento del mensaje hablado.
- Es posible proyectar como trabajo a futuro, la caracterización de los niveles de ruido en las distintas edificaciones que integran la Universidad Pedagógica Nacional, teniendo como referencia teórica y metodológica el desarrollo de esta investigación. La implementación de materiales acústicos en aulas de clase sería un cambio para la arquitectura que actualmente presenta la UPN, a partir de proyectos investigativos que sean transversales a otros programas.

<b>Elaborado por:</b>	Arteaga Rojas, Laura Mercedes
-----------------------	-------------------------------

<b>Revisado por:</b>	Herrera Fernández, Luis Jorge
----------------------	-------------------------------

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	13	11	2018
--	----	----	------

# Contenido

Contenido .....	10
Lista de figuras.....	12
Abreviaturas.....	14
Capítulo I - Preliminares .....	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Planteamiento del Problema.....	17
1.3. Justificación.....	21
1.4. Antecedentes.....	23
1.5. Objetivos.....	27
Capitulo II - Marco Conceptual .....	28
2.1. Sonido.....	28
2.2. Propiedades de sonido.....	29
2.3. Ruido .....	30
2.4. Acústica de salas.....	31
2.4.1. Ruido de fondo.....	32
2.4.2. Acondicionamiento acústico .....	32
2.4.3. Tiempo de reverberación.....	33
2.4.4. Aislamiento Acústico.....	34
2.4.5. Inteligibilidad de la palabra .....	37
Capitulo III - Marco Legal .....	43
3.1. Norma ISO 3382 (2008): Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios.....	43
3.2. Norma ISO 16283-1 (2016): Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento al ruido aéreo.....	45
3.3. Norma ISO 717-1 (1997) Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: aislamiento de ruido aéreo.....	56
3.4. Norma ANSI / ASA S12.60-(2010) / Parte 1 Criterios de rendimiento acústico estándar nacional estadounidense, requisitos de diseño y directrices para las escuelas, parte 1: Escuelas permanentes.....	59
Capitulo IV - Metodología .....	62
4.1. Descripción de las aulas .....	62
4.2. Procedimientos de medición para aislamientos y reverberación .....	66
4.2.1. Fuente Omnidireccional .....	66
4.2.2. Sonómetro .....	67
4.2.3. Micrófono omnidireccional (MIC TEF04).....	68
4.3. Medición de tiempo de reverberación (RT).....	69
4.4. Medición de niveles de ruido .....	71
4.5. Medición del aislamiento acústico.....	72
4.6. Inteligibilidad de la palabra .....	75
4.7. Encuestas Medición Subjetiva.....	78
Capítulo V - Resultados .....	80
5.1. Resultados Objetivos.....	80

5.1.1. Tiempo de reverberación de acuerdo con la norma ISO 3382 – 2.....	80
5.1.2. Medición del aislamiento acústico aéreo de acuerdo con la Norma ISO 16283-1 .....	81
5.1.2.1. Aula C220.....	84
5.1.3. Aislamiento acústico de la fachada según la norma ISO 16283-3.....	85
5.1.4. Inteligibilidad de la palabra .....	85
5.2. Resultados Subjetivos.....	86
5.2.1. Inteligibilidad de la palabra .....	86
Capítulo VI - Análisis De Resultados.....	89
6.1. Tiempo de reverberación.....	89
6.2. Aislamiento acústico.....	92
Aula (C108-C109).....	93
Aula (C219-C220).....	96
Aula (C220-C221).....	99
6.3. Inteligibilidad de la palabra .....	104
6.4. Análisis de resultados subjetivos.....	105
Capitulo VII - Planteamiento de Sugerencias o Aportes.....	116
Conclusiones.....	127
Bibliografía.....	130

## Lista de figuras

Figura 1. Niveles de presión sonora tolerable y no tolerable para el oído humano. ....	30
Figura 2. Señal de ruido de fondo, para la determinación de su tiempo de reverberación (en las divisiones $T_{20}$ y $T_{30}$ ). Tomado de Procedimientos para la verificación in situ del aislamiento acústico según el DB-HR del Código Técnico de la Edificación, pág. 49, gráfico 3.7. “Determinación del tiempo de reverberación” (Liarte, 2013).....	34
Figura 3. Variación general de la pérdida de transmisión con frecuencia para pared homogénea o panel. Tomado de (Barron R. F., 2003).....	36
Figura 4. Curva de niveles sonoros e inteligibilidad de la palabra (Carrion, 2007).....	39
Figura 5. Integral y convolución de Schroeder. Recuperado de: <a href="https://www.roomeqwizard.com/help/images/schroeder.jpg">https://www.roomeqwizard.com/help/images/schroeder.jpg</a> .....	45
Figura 6. Curva de validación del número único de aislamiento acústico en bandas de 1/3 de octava. Tomado de Navarrete (2015).....	58
Figura 7. Planos de las aulas C108 y C220. Están numerados, del 1 al 15, los elementos que limitan y envuelven cada salón. ....	63
Figura 8. Planos en 3D de los salones contiguos C108 y C109, con las respectivas superficies que lo limitan. Vista isométrica frontal.....	63
Figura 9. Planos en 3D del aula C220 y C219, con las respectivas superficies que lo limitan.....	64
Figura 10. Fuente Omnidireccional de 0. 1 dB OMNI12/AMPLI12 usada para medir las condiciones acústicas de los espacios a evaluar.....	67
Figura 11. Sonómetros utilizados para toma de mediciones de los niveles de presión acústica, para frecuencias en tercios de octava. (a) Sonómetro Svantek 943 A, (b) analizador portátil Tipo 2250 y 2270. ....	68
Figura 12. Microfono omnidireccional. ....	68
Figura 13. Plano en corte plano de las posiciones de micrófono y fuente sonora para el cálculo del tiempo de reverberación.....	70
Figura 14. Ubicación de la fuente y micrófonos omnidireccionales para medir el tiempo de reverberación de cada una de las salas emisoras (aula C108).....	70
Figura 15. El sonómetro SVAN – 943 colocado con un trípode fijo en la zona central del recinto receptor, para evaluar el ruido de fondo.....	72
Figura 16. Grilla de ubicación de las posiciones de altavoz y micrófono Bruel, según la norma 16283-1.73	
Figura 17. Ubicación de la fuente omnidireccional y el sonómetro (1) en la fachada; y el sonómetro (2) colocado al interior de la sala C108.....	74
Figura 18. Ubicación espacial de la medida de Inteligibilidad de la palabra determinada para la evaluación .....	76
Figura 19. Tiempo de reverberación calculado del aula C108.....	90
Figura 20. Tiempo de reverberación calculado del aula C220.....	91
Figura 21. Valoración del aislamiento acústico de la pared que divide las aulas C109 y C108.....	93
Figura 22. Curva del STC ajustada con respecto a la pérdida por transmisión de energía de la pared de ladrillo revestido entre las aulas C108-C109 y el STC50 perfilado.....	95
Figura 23. Valoración del aislamiento acústico de la pared de madera que divide las aulas C219 y C220.....	96
Figura 24. Separación entre el aula C220 y C219. Indica el espacio entre el panel divisorio entre el aula del aula C220 y las ventanas que se ubican cerca de la fachada del edificio C. Fuente Arteaga (2017). ....	97
Figura 25. Curva del STC ajustada con respecto a la pérdida por transmisión de energía de la pared divisoria del aula C219-C220. y el STC50 perfilado.....	98
Figura 26. Valoración del aislamiento acústico de la pared que divide las aulas C220 y C221.....	99

Figura 27. Curva del STC ajustada con respecto a la perdida por transmisión de energía de la pared divisoria del aula C220-C221. y el STC50 perfilado.....	100
Figura 28. Valoración del aislamiento acústico de la pared que divide el aula C108 de la fachada.....	101
Figura 29. Ubicación de las puertas de las aulas C108 y C109, sobre la fachada. ....	102
Figura 30. Valoración del aislamiento acústico de la pared que divide el aula C220 de la fachada interna (pasillo). ....	103
Figura 31. Fachada interna (pasillo) a uno de los costados del aula C220. ....	104
Figura 32. Diagrama de barras correspondiente a los resultados de la pregunta de selección múltiple sobre la opinión que tienen los encuestados acerca de la arquitectura del aula C108. ....	106
Figura 33. Diagrama de barras correspondiente a los resultados de la pregunta de selección múltiple sobre la opinión que tienen los encuestados acerca del ambiente del aula C108. ....	107
Figura 34. Resultados de la percepción de los encuestados del salón C108 con respecto al ruido de fondo .....	108
Figura 35. Diagrama de barras correspondiente a los resultados de la pregunta de selección múltiple sobre la opinión que tienen los encuestados acerca de la arquitectura del aula C220. ....	111
Figura 36. Diagrama de barras correspondiente a los resultados de la pregunta de selección múltiple sobre la opinión que tienen los encuestados acerca del ambiente del aula C220. ....	112
Figura 37. Resultados de la percepción de los encuestados del salón C220 con respecto al ruido de fondo. ....	112
Figura 38. Aula C108 ideal. ....	117
Figura 39. Posiciones de fuente y micrófono. ....	120
Figura 40. Ramsete MultiTracer. ....	121
Figura 41. Simulación aula C 108. (a) es el tiempo de reverberación T20 calculado por el programa Ramsete Cad y para (b) el STI calculado para esta sala ideal. ....	122
Figura 42. Aula ideal C220. ....	124
Figura 43. Simulación aula C 220. (a) el tiempo de reverberación T20 calculado por el programa Ramsete, y para (b) el STI calculado para esta sala ideal. ....	125

## Abreviaturas

ALCons: Perdida de articulación de las consonantes

ANSA: American National Standard Acoustical performance

ANSI: American National Standard Institute

ASHA: Asociación Americana del Habla Leguaje y Audición

dB: Es una unidad que se utiliza para expresar la relación entre dos valores de presión sonora

Dfes: Departamento de Educación y Habilidades UK

EDT  $T_{20}$  y  $T_{30}$ : Tiempos de Reverberación perdida de energía

ISO: Organización Internacional de Normalización

$L_{A90}$ : Nivel del habla al 90%

$L_{Aeq}$ : Ruido de fondo

MEN: Ministerio Educación Nacional

NTC: Norma Técnica Colombiana

OMS: Organización Mundial de la Salud

RASTI: Índice de Transmisión Hablada Rápido

RT: Tiempo de Reverberación

RT60: Medida estándar 60dB

SNR: Nivel de señal a ruido

SPL: Nivel de presión sonora

STC: Clase de Transmisión Sonora

STC50: Índice de transmisión sonora para 500Hz

$STI_{(male\ and\ female)}$ : Índice de transmisión del habla hombre/ mujer

STI: Índice de transmisión hablada

TL: Perdida Por Transmision

UPN: Universidad Pedagógica Nacional

# Capítulo I - Preliminares

## 1.1. Introducción

Los ambientes idóneos de estudio en las aulas de clase, en la actualidad están ligados a estudios y normas que determinan los niveles de concentración tanto del receptor, como del origen y esto es directamente proporcional a la inteligibilidad de la palabra, es así como en las aulas de clase debería percibirse un ambiente sonoro caracterizado por un sistema equilibrado de las fuentes de sonido que lo emiten. De igual forma, este debería estar dentro de los niveles establecidos por las normas de comunicación entre las personas que se encuentran y que comparten e intercambian el conocimiento. Sin embargo, algunas fuentes de sonido no deseado afectan el desarrollo de las actividades académicas que como todo en el universo está afectado por las leyes de la física que nos rigen. Lamentablemente se ha logrado detectar un problema, este hace referencia a que algunos de los materiales con los que se construyen las aulas no son adecuados, pues éstos determinan fallas en las condiciones de aislamiento, y resultan perjudicando a los docentes y estudiantes. Dando como resultado grandes pérdidas en el conocimiento. Cuando tenemos un grupo de estudio conformado por docentes y estudiantes uno de los factores que más causa distracción son los sonidos externos que se filtran al interior del recinto y afecta las actividades realizadas allí dentro, el denominado ruido de fondo causa molestias, afecta la concentración, casusa estrés, disfonías, dolor de cabeza, malestar corporal, desesperación entre otros males y no nos permite captar el conocimiento.

Las condiciones de aislamiento y acondicionamiento acústico de las edificaciones traen consigo problemas en el desempeño académico que se dan debido a los altos niveles sonoros.

Aquí citamos a Lyberg (2015, pp. 3090 - 3095) que dice de 467 maestros estudiados el trece por ciento 13%, se les diagnosticó problemas de laringe y garganta, ya que debieron elevar su voz y forzar el ambiente para desarrollar sus dinámicas a fin de poder superar el nivel del sonido que ingresa a los salones de clase. Esta evidencia muestra los males que aquejan las comunidades educativas una de la que más lo afecta es la filtración de sonidos, y sus respectivas reflexiones conocido en sonido como reverberación dentro de los salones, es allí donde tenemos un enemigo con el cual convivimos y que por la costumbre no lo detectamos.

Para este caso en particular, este trabajo se enfoca en caracterizar los niveles sonoros que afectan o inciden y no permiten un desarrollo adecuado de una sesión de clase en dos aulas de la Universidad Pedagógica Nacional, partiendo de una muestra singular como los tomados para este estudio, y observando las diversas fuentes de sonido que pueden incidir en las aulas de clase, como el tránsito de la comunidad educativa por los pasillos, las actividades culturales, deportivas, el tráfico vehicular, vendedores ambulantes, y el ruido propio de una urbe que nunca duerme y más en el sector de nuestra universidad. Dicha caracterización se realiza con el fin de analizar la influencia del sonido, deseado y no deseado, en las sesiones de clase. Y como se podría mejorar los ambientes haciendo más amable muy amigable e incluyente a la Universidad Pedagógica y dar cumplimiento a su objetivo que es educar a educadores.



## 1.2. Planteamiento del Problema

El ruido se define como cualquier sonido no deseado, de igual manera es toda interferencia no deseada que se combina con una señal útil que se quiere transmitir, es el resultado de diversos tipos de perturbaciones que tienden a enmascarar la información (Harris, 1998). Puede ser ruido cualquier patrón de ondas sonoras percibidas por el conjunto del sentido del oído, llámese ruido de maquinaria, habla, música, etc. La Organización Mundial de la Salud, al respecto del ruido, afirma que cuando las personas se exponen a niveles sonoros superiores a 50 dB éstos pueden ocasionar efectos nocivos en la salud de las personas como fatiga, malestar, estrés, dolor, pérdida de la voz, etc. (OMS, 1995, p. 1 - 4).

El ruido siempre ha sido un problema ambiental grave e importante y profundamente estudiado por las implicaciones negativas en el ser humano, como la alteración de actividades en las cuales es esencial expresar mensajes hablados y la alteración de la calidad auditiva. Sin embargo, la forma en que el problema es tratado difiere considerablemente dependiendo de la cultura, la economía y la política de cada país.

Por un lado, en Londres, Treasure (2012) afirma en su conferencia titulada *Why architects need to use their ears*<sup>1</sup>, que los sonidos no deseados se presentan en distintos espacios y que algunos lugares están más expuestos al ruido que otros. Esto supone inconvenientes como, los problemas para dormir que tienen los pacientes en los hospitales cuando no hay un adecuado aislamiento sonoro del exterior de la habitación, o casos como la pérdida de la comunicación

---

<sup>1</sup> El trabajo de este autor se enfoca en cómo se puede evaluar la arquitectura de las escuelas en Londres y cómo se percibe como molesto el ruido cuando interfiere durante la actividad escolar.

efectiva con los estudiantes, en la cual, según el autor, no se alcanza a percibir el cincuenta por ciento 50% de lo que los maestros dicen en las aulas.

Por otro lado, en Egipto, un estudio realizado por Sayed (2013), en la ciudad de Assiut, en la cual seis escuelas se ven afectadas por el ruido, demostró que, de la población analizada, 300 estudiantes entre los 13 y 15 años, el sesenta y cinco por ciento 65% se siente molesta con los altos niveles de ruido que se presentan en las instituciones.

Este estudio que pretende analizar los niveles de ruido y la inteligibilidad de la palabra se caracteriza por dos factores: el subjetivo y el objetivo. En la parte subjetiva se explora, a partir de un cuestionario o encuesta sobre las fuentes de ruido, las molestias que éste ocasiona y su influencia en las actividades académicas. En la parte objetiva se presentan las mediciones tomadas en los respectivos recintos afectados por la exposición de altos niveles sonoros para descubrir los niveles de afectación. Y de como la física del sonido y los diferentes factores inciden directamente en la percepción del mensaje verbal o sonoro y a que niveles de audio están expuesta la comunidad educativa, por otro lado, plantearemos mediante un software la simulación de las mejoras recomendadas a fin de mitigar el riesgo y la exposición a niveles molestos de sonido.

Un antecedente importante para el desarrollo de este trabajo es un estudio realizado en Portugal por Silva, Oliveira, & Silva (2016) afirma que el impacto del ruido en las instituciones educativas requiere una evaluación de forma perceptiva y objetiva en los espacios afectados por éste. En el análisis perceptivo realizado a 213 estudiantes, el 89,2% de los encuestados

consideran que el aula de clase es ruidosa, ya que el tráfico vehicular perturba las actividades y esto conlleva a que sea totalmente molesto el desarrollo de las sesiones. El mismo estudio se aplicó a 20 profesores entre los 25 y 60 años. Se evaluó la molestia del ruido de la calle (sirenas, alarmas, campanas u obras en construcción) a partir de la aplicación de un cuestionario en el que se evaluó a los docentes sobre el nivel de ruido en la escala 0, 1, 2 y 3, significando nulo, poco, alguno y mucho ruido, respectivamente. Los resultados arrojaron que el 5% de los encuestados consideran que el ruido es perturbador. Luego de comparar las encuestas realizadas con respecto a las mediciones tomadas con un sonómetro, se estableció la cifra de 70,5 dB como el nivel de ruido que se presenta en el interior de un aula de clases, nivel superior al soportable.

Tomando como referencia lo anterior y resaltando la pertinencia de indagar sobre el ruido en el ambiente de formación, este estudio se centrará en dos aulas de clase de la Universidad Pedagógica Nacional que son reconocidas por el cuerpo docente y estudiantil de la Licenciatura en Electrónica y otros programas como espacios en los que se dificulta la labor de clase por sus condiciones acústicas (salones C 108 y C 220). Como se mencionó anteriormente, se deben contemplar diversas fuentes de sonido, como las externas (la actuación e interacción de la comunidad académica y el tránsito vehicular) e internas (como el movimiento del mobiliario, esencialmente), ya que son factores que no permiten desarrollar una adecuada sesión de clases y desencadenan problemas más allá de la molestia, como la terminación prematura de la clase, e incluso, la alteración del aprendizaje (Sayed, 2013, p. 602).

Los antecedentes mencionados anteriormente reflejan el efecto perjudicial del ruido en el desarrollo adecuado de clases tanto para estudiantes como para profesores, lo cual plantea la

posibilidad de realizar el estudio más allá de contemplar la mera percepción de molestia que pueda surgir de un sonido no deseado. Por ello, en las mencionadas aulas se harán mediciones, encuestas y se analizarán los resultados teniendo en cuenta los siguientes aspectos: la inteligibilidad de la palabra (la calidad de sonido de una palabra teniendo en cuenta sus frecuencias y amplitudes para que ésta sea entendida), el tiempo de reverberación (que se relaciona con el lapso de tiempo en el que permanece el sonido hasta desvanecerse por completo) y la adecuación arquitectónica de los espacios, ya que no se reflejan estos criterios como esenciales en las investigaciones realizadas, y por tanto, se ha de establecer como base para la caracterización a realizar.

Por último, trayendo la problemática anteriormente expuesta al campo normativo, se encuentra que sí existen normas que legislan los niveles sonoros para diferentes tipos de espacios. En Colombia se establece la normatividad de acuerdo con la ubicación geográfica de los espacios y su estructura arquitectónica. Las normas para ambientes educativos corresponden a la Norma Técnica Colombiana NTC 4595: Ingeniería Civil y Arquitectura, Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares, la cual “indica las características ambientales, con las cuales es necesario proveer a los distintos espacios que conforman las instalaciones escolares”. Estas establecen un conjunto de parámetros en términos de comodidad visual, térmica y auditiva; en esta última, se establece la adecuación de la arquitectura de lugares que tienen como finalidad servir de recintos educativos. Es de resaltar que la norma colombiana NTC 4595, en su capítulo 7, hace una equivalencia con respecto a lo que se establece en las normas internacionales de regulación y certificación de parámetros para la construcción y validación de espacios acústicos apropiados para el desarrollo de actividades educativas. Sobre esto último se

establece que es necesario contemplar la aplicación técnica de algunos parámetros de la reglamentación mundial como la norma ASA & ANSI de Estados Unidos, la cual estipula “criterios de rendimiento acústico y requisitos de diseño para aulas y otros espacios de aprendizaje” (ANSI&ASA, 2009, pág 1).

### **1.3. Justificación**

La UPN, en su *Plan de Desarrollo Institucional* (UPN, 2014), describe en el proyecto 2: Transformación, adecuación y apropiación de espacios físicos, el programa 3, denominado “Una Casa Digna”. Plantea lo siguiente:

[...] se atenderán proyectos para garantizar el uso óptimo de las sedes Calle 72, El Nogal, Parque Nacional e IPN, de forma tal que pueda convertirse en espacios óptimos para el desarrollo de los programas allí ubicados y el impulso a la formación continua (pág. 2).

De acuerdo con lo anterior, este trabajo busca aportar un conjunto de recomendaciones de adecuación acústica para mejorar la calidad de la inteligibilidad de la palabra en las aulas C108 y C220 de la UPN, y por ende para toda la universidad, las cuales podrían, a partir de la metodología del estudio, replicarse en otras aulas, ya que es importante evitar que el sonido producido por las diversas fuentes sonoras influya negativamente en la dinámica educativa, en la explicación verbal del docente, en las posibles interacciones de los estudiantes y entre docente y estudiantes.

Entre otros aspectos, se tiene que las aulas objeto de estudio están ubicadas de cara a una vía vehicular, la Calle 72. Del otro lado se tiene el pregón del comercio informal de los estudiantes. Adicionalmente, ambos salones cuentan con paredes falsas a manera de división, hechas estas con madera de 5 mm de espesor, la cual no impide que el ruido se permee entre espacios. Con respecto a las ventanas, estas deben permanecer abiertas para permitir una adecuada ventilación.

Dado lo anterior, se resalta el carácter investigativo de este proyecto, pues se indagará y se buscará información correspondiente a la influencia del sonido no deseado, lo cual puede considerarse un aporte al conocimiento propio al saber tecnológico del Licenciado en Electrónica, en vista de que la Guía N° 30, *Orientaciones Generales para la Educación en Tecnología* (MEN, 2008, p.5) plantea la importancia de “resolver problemas que se encuentran en la norma como el ser competente en tecnología mediante la utilización racional, crítica y creativa de conocimientos y recursos”. Como se ha dicho anteriormente, esto hace parte de una intención formativa de la labor profesional, pues implica una parte técnica, la cual consiste en la toma de datos y su posterior análisis, de forma tal que se realicen los cálculos pertinentes para proponer una respuesta a la problemática encontrada, en este caso, la disminución del ruido a los niveles sugeridos para aulas de clase.

Finalmente, a manera de delimitación, cabe señalar que este proyecto planteará unas bases teóricas para un posible trabajo de implementación en el cual, a partir de la caracterización del ruido en las aulas, se estipulen estrategias de mejoramiento de la calidad acústica de las mismas, ya que el estudio de los factores relevantes para el análisis objetivo y subjetivo ha de

considerar todos los puntos de vista y un análisis estadístico descriptivo de los valores medidos de los niveles de sonido.

#### **1.4. Antecedentes**

Es importante destacar los antecedentes que evidencian el impacto del ruido y cuya evaluación ha sido realizada de manera subjetiva y objetiva en distintos países en los que actualmente se está dando importancia a los ambientes escolares según la arquitectura, ambiente del aula y teniendo en cuenta los conocimientos de las personas que manifiestan los efectos de la exposición al ruido al interior de las aulas. A continuación, se presentarán los trabajos más relevantes encontrados en relación con este proyecto.

En el artículo *Analysis of intelligibility and reverberation time recommendations in educational rooms*, Gómez & Barrigón, (2015) presentan un estudio de las cualidades acústicas de 17 salas, clasificadas en función de su uso, de su volumen y de los materiales que las componen para validar su rendimiento al obtener los valores medidos de ruido de fondo, inteligibilidad de la palabra y tiempo de reverberación. En este estudio siguieron las recomendaciones establecidas por la norma ISO 3382 para las mediciones en cada sala, como la ubicación de la fuente, puntos de medición y ubicación de micrófonos a alturas estipuladas. Se calculó el tiempo de reverberación utilizando el método de interrupción y aplicando ruido rosa, mientras que el ruido de fondo se midió por tiempos de cinco minutos en el centro de la sala. Se utilizaron fuentes omnidireccionales, sonómetros Bruel, micrófonos y otros equipos de medición. El análisis de inteligibilidad se realizó de forma subjetiva (inteligibilidad del habla) y objetiva STI (índice de transmisión del habla). Los RT (tiempo de reverberación) calculados poseen

valores mayores a los propuestos en las recomendaciones analizadas; el ruido de fondo es superior a los 35 dBA criterio establecido por ANSI/ASA S12.60-2010, y el índice STI fue de 0,72, lo cual no es influyente para hallar el ruido de fondo, aunque sí para calcular el RT. Los resultados de inteligibilidad son significativos según el STI medido. El documento es esencial en el presente trabajo para la evaluación objetiva y subjetiva de las aulas a caracterizar, reflejando la aplicación de la norma 3382 y aplicación de la lista de logátomos en el análisis de inteligibilidad, para espacios de diversos volúmenes.

Sarantopoulos, Lykoudis & Kassomenos, (2014), en su investigación *Noise levels in primary schools of medium sized city in Greece*, muestran el resultado de la medición de niveles de ruido  $L_{Aeq}$ , ruido de fondo  $L_{A90}$  y SNR en 41 aulas de 15 complejos educativos de la ciudad de Ioannina (Grecia). Para obtener datos significativos referentes al impacto del ruido generado por las actividades que se realizan en las vías adyacentes y en los patios (tráfico vehicular, actividades de descanso y deportivas), se tuvo en cuenta los límites de niveles de ruido  $L_{Aeq}$  en patios, menores o iguales a 55 dB, de ruido de fondo,  $L_{A90}$  en salones desocupados no mayores a 35 dB y un SNR igual o superior a 15 dB (A) (OMS, 1999; Dfes, 2013; ASHA, 2005 & ANSI, 2010). Se realizaron mediciones con un sonómetro Light Bruel & Kjaer 2250, un micrófono de 1/2" y tres trípodes, con una resolución de medición cada 5 minutos. Los valores fueron calculados en aulas ocupadas y desocupadas. Después de 840 tomas se calcularon valores promedio de  $L_{Aeq}$  de 65,2 dB, y  $L_{A90}$  de 58 dB; los niveles de ruido en patios aumentaron 14,5 dB debido a las actividades deportivas y las jornadas de descanso, perturbando a estudiantes y docentes, además, el nivel  $L_{Aeq}$  ocasionó un enmascaramiento de fuentes externas. En las aulas, los niveles excedieron el nivel mínimo (35 dB), aunque no en forma significativa, por lo cual se



concluyó que el ruido es producto de los estudiantes y factores referentes con las actividades de los colegios. Finalmente, se obtuvo un valor SNR de 12,0 dB (A), con desviación estándar de 3,6 dB. El antecedente es un buen referente de trabajo porque da a conocer la instrumentación y la forma de utilizar los aparatos de medición que se trabajaron en un ambiente con una incidencia sonora notable y maneja estadísticamente los valores medidos de niveles ( $L_{Aeq}$  Nivel de Ruido Equivalente), ( $L_{A90}$ , Nivel de ruido excedido durante el 90% del periodo medición y (SNR, señal a ruido), aunque no hace evidencia de un método específico o regulado por alguna norma para el cálculo de los valores obtenidos.

Mydlarz, et al., (2012), en su estudio *Comparison of environmental and acoustic factors in occupied school classrooms for 11 - 16 year old students*, analizaron profundamente los factores ambientales que pueden relacionarse con la acústica de 203 aulas de clase de secundaria, en Inglaterra y que pueden ser causa de efectos negativos como la dificultad en la comunicación y comprensión de los estudiantes hacia el maestro. los niveles de ruido generado por diversas fuentes externas (tráfico, industria, etc.), así como el manejo de ventilaciones natural y mecánica, son factores fundamentales en la medición y posterior análisis. Como referente se aplicó el estándar de rendimiento acústico (BB93 estándar para colegios) para verificar su cumplimiento. Se utilizó un analizador de sonido Norsonic NOR 140 tipo 1, con una precisión de  $\pm 2$  dB para la medición de los niveles de ruido equivalente  $L_{Aeq}$  y los niveles de ruido ambiental en el interior (IANL Niveles de ruido ambiental) en un período entre 1 y 5 minutos. En los casos contemplados de ventilación, los niveles de ruido interior no eran menores a 35 dBA (mínimo establecido por la BB93 standar para colegios), llegando a tener niveles de  $L_{Aeq}$  hasta de 79,6 dBA, y de IANL de 48,5 dBA, resultado del ruido exterior fluctuante en las aulas con las

ventanas abiertas. Las fuentes de sonido y la ventilación mecánica se asocian con el ruido circundante. Este antecedente es primordial debido a que analiza las causas poco relacionadas con el ruido en una caracterización de sonido, que no se había realizado hasta ese entonces, aunque es limitado por no tener referentes de medición de niveles de ruido internacionales como ISO, ANSI, etc., lo cual puede presentar ambigüedades de cumplimiento de parámetros en este análisis.

En el estudio *Objective and subjective evaluation of acoustic comfort in classrooms: A comparative investigation of vernacular and modern school classroom in Kerala*, de John, Thampuran, & Premlet, (2016), se evaluó el aislamiento acústico, el tiempo de reverberación, el ruido de fondo y la satisfacción de los estudiantes y los profesores de aulas de clase vernáculas (hechas con material de construcción disponible en la región, principalmente laterita revestida con cal) y modernas, para determinar la calidad acústica en estos espacios. En la investigación experimental se realizaron mediciones *in situ* de los parámetros acústicos mencionados, en dos aulas de los dos tipos mencionados, regulados por la norma nacional india y teniendo en cuenta la arquitectura de cada salón. Se utilizó equipo Bruel & Kjaer. Además, se realizaron encuestas a 25 docentes y 112 estudiantes, teniendo en cuenta preguntas abiertas y algunas con respuesta en escala de 0 a 5 para mostrar la satisfacción frente al ruido en los recintos estudiados. Los resultados indican que los niveles de ruido son superiores a los estipulados por la norma india (40 – 45 dB, máximo) y evidencia un nivel mayor de sonido en aulas vernáculas (64,23 dB) en comparación con las modernas (60,05 dB). El aislamiento acústico es bajo debido a la calidad de los materiales de construcción de las paredes (laterita revestida con cal y ladrillo revestido con cemento); el ruido de fondo es alto y los valores de RT son bajos en aulas vernáculas, en

comparación con las modernas. La evaluación subjetiva mostró una mayor preferencia a las aulas modernas. El estudio culmina con una necesidad evidente de mejorar las condiciones acústicas de las aulas. Este estudio contiene referentes para la presente investigación como la medición descrita en detalle de los parámetros acústicos, descripciones físicas y representaciones gráficas de los espacios investigados, además de otros ítems de utilidad como las encuestas que aplican a la población que utiliza estos espacios de aprendizaje. Un limitante considerable es un estudio sin soporte en normas internacionales.

## **1.5. Objetivos**

### **Objetivo General**

Caracterizar los niveles de ruido en las aulas C108 y C220 de la Universidad Pedagógica Nacional en cuanto a condiciones de aislamiento, tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar las condiciones acústicas actuales de aislamiento, tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra de las aulas C220 y C108 de la Universidad Pedagógica Nacional.
- Realizar un diagnóstico subjetivo de las condiciones acústicas de las aulas C220 y C108 de la Universidad Pedagógica Nacional.
- Plantear un conjunto de recomendaciones de adecuación acústica para la mejora de la inteligibilidad de la palabra en las aulas C220 y C108.

## Capítulo II - Marco Conceptual

En este capítulo se abordan los conceptos que dan soporte a la presente investigación, como son sonido, ruido y las diferencias entre éstos, así como los términos relacionados con la acústica de salas tales como ruido de fondo, tiempo de reverberación, aislamiento acústico e inteligibilidad de la palabra.

### 2.1. Sonido

El sonido es un fenómeno natural que se distingue, principalmente, por la propagación de una onda mecánica longitudinal que utiliza las moléculas del aire para viajar en el espacio y que pueden ser percibidas por el oído humano e interpretadas por el cerebro de distintas formas.

Para que el sonido exista se requiere de una fuente de perturbación, un medio que contenga elementos en donde dicha perturbación se pueda presentar y algún mecanismo físico en el que las partículas del medio puedan interactuar entre sí para intercambiar energía y poder propagarse en el medio hasta llegar a un receptor que lo escuche o lo perciba. Por otro lado, Harris (1998, pp. 2 - 20), en su Manual de Mediciones Acústicas y Control de Ruido, define el sonido como “una alteración física en un medio (v.g., en un gas, líquido o sólido) que puede ser detectada por el oído humano”. Esta alteración produce ondas que se propagan en el espacio y el tiempo a una velocidad de 331 m/s, a una temperatura de 0,6°C y a una presión atmosférica de  $10^5$  pascales, cuando su desplazamiento es en un medio como el aire.

## 2.2. Propiedades de sonido

Frecuencia, es el número de oscilaciones por segundo. Harris (1998), describe que es un fenómeno periódico de la onda sonora, que se repite asimismo en un segundo. Su unidad de medida es el Hertz (Hz). Recuero (1991) menciona que la onda sonora puede ser percibida de acuerdo con ciertos valores de frecuencias y establece un rango de audición. Una persona con audición normal puede detectar una gama de frecuencias que van desde los 20 a los 20 000 Hz; dicho rango audible permite clasificar los sonidos en graves, que comprenden los 20 Hz hasta los 360 Hz; los medios, de 360 Hz a 1400 Hz; y los agudos, de 1400 Hz a 20 000 Hz.

Presión sonora, más conocido como volumen. Esta se define como el índice de los valores audibles del oído humano con respecto a sonidos emitidos en la escala de frecuencias percibibles (Carrión, 2007), y con base en ésta se mide la tolerancia ante los sonidos de acuerdo con su respectiva magnitud, el decibelio (dB), que es la décima parte de un bel, el cual se obtiene por una relación logarítmica entre dos magnitudes físicas del mismo tipo, siendo una de ellas la magnitud de referencia. Por ejemplo, se definen los dB del Sound Pressure Level, (SPL), que es el decibel asociado a un nivel de presión sonora (ver ecuación 1 y 2). A partir de esto, se miden dichos niveles de presión que permiten identificar el espectro sonoro y distinguir los sonidos suaves de los fuertes y viceversa (ver figura 1). También, se definen cuáles sonidos son perjudiciales para la salud.

$$SPL = 20 * \log \frac{P}{P_{ref}} \quad (1)$$

Donde:

$$P_{ref} = 20 \mu P_a = 20 * 10^{-6} P_a \quad (2)$$

Donde, P es la presión sonora en N/m<sup>2</sup> ó pascal

P<sub>ref</sub>, presión de referencia 2x10<sup>-5</sup> N/m<sup>2</sup> ó pascal

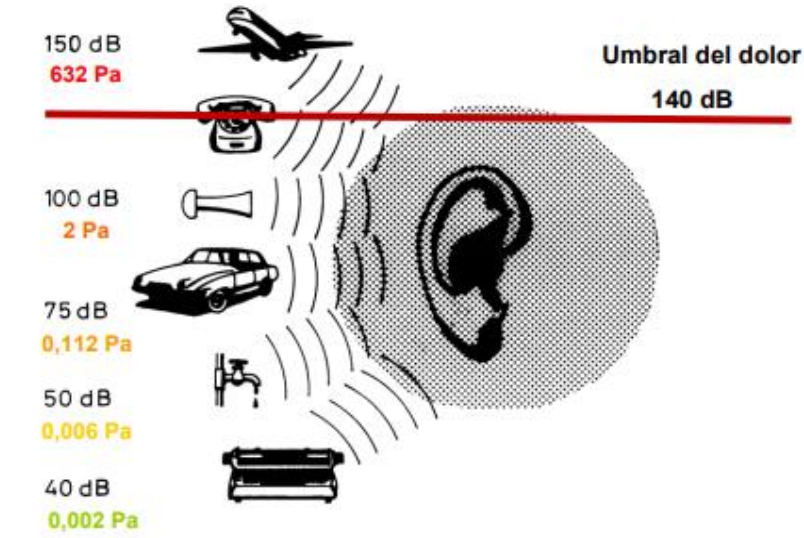


Figura 1. Niveles de presión sonora tolerable y no tolerable para el oído humano. Tomado de Procedimientos para la verificación in situ del aislamiento acústico según el DB-HR del Código Técnico de la Edificación. Pág. 38, figura 3.2. (Liarte, 2013).

### 2.3. Ruido

Es un sonido inarticulado, inarmónico y confuso. Recuero (1991), plantea que el *ruido* corresponde a la percepción del sonido que es desagradable al oído humano. Al respecto, Carrión (2007, p. 31), menciona en su libro *Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos*, que: “(...) los sonidos aleatorios están formados por muchas frecuencias de valor impredecible. Habitualmente reciben el nombre de ruidos (ruido = sonido no deseado)”. Además, Recuero (1991), establece diferentes tipos de ruido, como el ruido de fondo, que está compuesto por sonidos emitidos desde

fuentes cercanas o lejanas y es circundante; el ruido aleatorio, con diversos niveles de amplitud, aunque sin identificar una fuente clara y representados en función del tiempo como una distribución gaussiana, por ejemplo, cuando se presenta una explosión, los niveles sonoros se propagan continuamente y con amplitudes altas; el ruido blanco, cuya presión cuadrática media y frecuencia son uniformes y continuas en un espectro de frecuencias plano; y el ruido rosa, que muestra la uniformidad del ruido blanco y su respectivo nivel subjetivo, aunque con una caída de 3 dB.

El ruido en sí es sonido, ya que también consta de ondas mecánicas que pueden ser percibidas por el oído, y en efecto podría decirse que no hay diferencia entre ambos conceptos, pues la diferencia que se tiene entre ruido y sonido se define a partir de la percepción humana del mismo, según éste se considere agradable o no (Jaramillo, 2007). No obstante, algunos sonidos que por definición no se consideran ruido, como la música o el habla, pueden llegar a considerarse ruido cuando irrumpen la sonoridad propia que se requiere en un espacio, por ejemplo, cuando estos se filtran en un salón de clases. Sala (2014), menciona la influencia del ruido y los efectos de una mala acústica. Cuando se está expuesto a éstos, se pueden tener efectos nocivos como irritación, molestia, disfonía, pérdida de la audición, etc.

## **2.4. Acústica de salas**

Este apartado tiene que ver con la propagación de la onda sonora al interior y al exterior de un recinto lo cual depende de las superficies que lo limitan y su geometría, si, sonidos indeseables que provienen de fuentes sonoras que envuelven el recinto los cuales se pueden alcanzar a percibir al interior de la sala. Otro factor, es el acondicionamiento acústico, este tiene que ver con la ubicación de la fuente sonora al interior de la sala, las cuales emiten ondas sonoras, las

cuales se propagan en todas las direcciones de esta, ocasionando efectos como la reverberación, aislamiento acústico, estos factores dependen de los materiales de construcción de las superficies de la sala donde incida la onda.

### **2.4.1. Ruido de fondo**

El ruido de fondo es todo el conjunto de sonidos que envuelven o rodean un espacio receptor de ondas sonoras, sin importar la distancia de las fuentes de emisión. Estas fuentes pueden ser los sonidos producidos por la combinación de agentes del entorno, naturales o artificiales, como el murmullo de una persona, el golpe algo sobre el piso, el funcionamiento de aparatos tecnológicos o de instalaciones de fontanería, el ruido del tráfico vehicular y aéreo, obras en construcción, actividades industriales y agentes atmosféricos (Recuero, 1991). Por otro lado, Woolworth (2015), plantea que el nivel de sonido promedio es creado por cualquier combinación de ruido proveniente de fuentes circundantes. Éstas, en el caso de las aulas de clase, pueden filtrarse debido la ubicación de estas, al tipo de pared de los muros exteriores, a las divisiones entre salones y al sonido que se esté produciendo al interior de aula.

### **2.4.2. Acondicionamiento acústico**

Se refiere a la implementación de mobiliario acústico (paneles absorbentes o difusores) que garanticen la calidad del sonido dentro de determinado espacio, los cuales puedan garantizar que el campo sonoro emitido por la fuente provisione al espacio permitiendo que la escucha sea adecuada, garantizando que la reverberación sea baja, la calidad vocal alta y la inteligibilidad sea óptima.



### 2.4.3. Tiempo de reverberación

La reverberación consiste en las múltiples reflexiones que sufre la onda sonora en un recinto cuando la fuente sonora deja de operar. Se relaciona con la extinción de la onda sonora y con cómo ella cede su energía al recinto cuando se dan las reflexiones. Sabine (citado por Carrión, 2007), definió el tiempo de reverberación RT, T60 o RT60, como el tiempo que le toma a una señal en disminuir su energía 60 dB una vez que la fuente se ha apagado. El cálculo del tiempo de reverberación RT se establece en la ecuación 3 (tomada de Sabine, citado por Carrión, 2007).

$$RT = 0.16 \frac{V}{A_{total}} \quad (3)$$

Donde V: volumen del recinto ( $m^3$ ), y  $A_{total}$ : Absorción total del recinto

El grado de absorción total del sonido de un material cualquiera se representa mediante la fórmula de Sabine (s.f.), que es el producto entre el coeficiente de absorción  $\alpha$  de dicho material y su superficie (ver ecuación 4 y 5, tomada de Sabine, citado por Carrión, 2007). La unidad de absorción que se maneja en este cálculo es el Sabine. En conclusión, el grado de absorción se define como la relación entre la energía absorbida por dicho material y la energía incidente sobre el mismo.

$$A_{total} = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n \quad (4)$$

$$S_{total} = S_1 + S_2 + \dots + S_n \quad (5)$$

Dónde: Superficie total del recinto donde  $S_1$  paredes +  $S_2$ techo +  $S_3$  suelo.

Por otro lado, cuando la relación entre la señal de excitación y la de ruido de fondo no es lo suficientemente grande para tener esta caída de 60 dB, se debe extrapolar el valor de RT 60 de otros decrecimientos energéticos como el de 10, 20 o 30 dB. Se define T10 como el tiempo de reverberación de la sala extrapolado de la curva de decrecimiento energético entre los valores de -5 dB y -15 dB. De manera similar se define T20, con la pendiente calculada en la caída asociada a -5 dB y -25 dB, mientras que T30 se calcula a partir de la recta obtenida de los valores de caída de energía entre -5 dB y -35 dB. (ver. Figura 2).

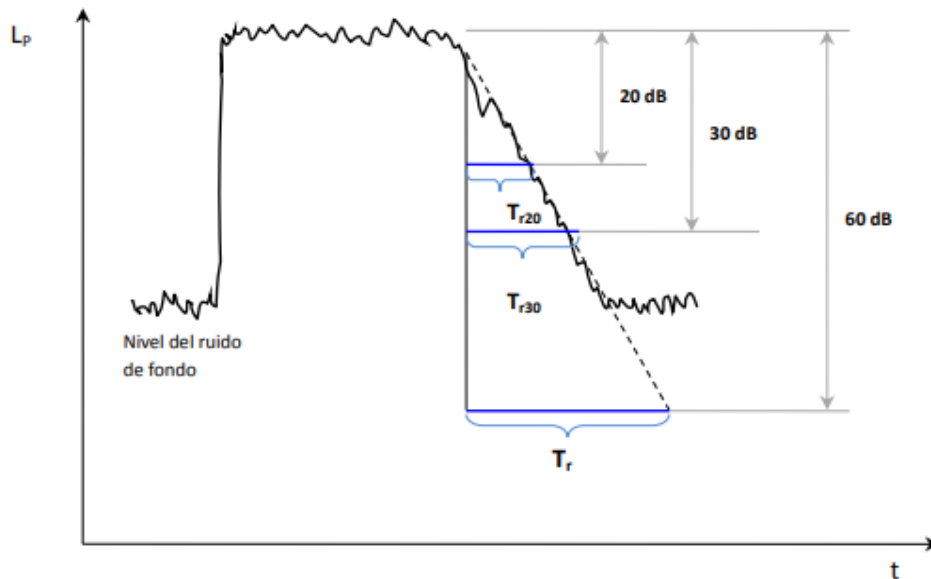


Figura 2. Señal de ruido de fondo, para la determinación de su tiempo de reverberación (en las divisiones  $T_{20}$  y  $T_{30}$ ). Tomado de Procedimientos para la verificación in situ del aislamiento acústico según el DB-HR del Código Técnico de la Edificación, pág. 49, gráfico 3.7.

“Determinación del tiempo de reverberación” (Liarte, 2013).

#### 2.4.4. Aislamiento Acústico

Es la implementación de materiales que mitiguen las emisiones o inmisiones de sonido al interior de un espacio, y de cómo se comporte este cuando llega, el cual hace vibrar la superficie sólida en dirección opuesta a dicha pared. Es decir, que una parte de la energía incidente sobre la pared se refleja mientras que otra se transmite.

La transmisión acústica depende de la fuente que emite la onda sonora, la cual se transmite en el recinto o al exterior de este y se disipa prolongadamente, de forma rápida o pierde potencia al encontrarse con un medio. La señal emitida puede invadir un espacio adyacente al recinto, o viceversa, ya que el aislamiento acústico viene dado por la relación entre la energía sonora transmitida e incidente al chocar con las superficies que limitan el recinto, y la disipación depende los materiales de construcción de las superficies lo rodean (paredes, pisos, techos, ventanas, etc.).

A manera de ejemplo, dos tipos de paredes de divisiones simples y compuestas que según Maldonado (1977), son elementos que hacen parte de cómo se propaga la energía sonora en este medio, al ser transmitida.

Se entiende por división simple aquella que está construida con un solo material y es formada por una o varias capas y puede contener fisuras entre cerramientos de puertas y ventanas, por lo tanto, cuando las ondas sonoras inciden perpendicularmente sobre la pared, en el caso de incidencia aleatoria (campo difuso), por cada abertura se origina una fuga de la onda sonora. Debido a la naturaleza elástica de los elementos, la energía sonora que incide sobre éstas se transmite a través de los paramentos en forma de ondas de flexión que, al encontrarse con las ondas de presión del campo sonoro, dan origen a una importante disminución del aislamiento provocando que estas paredes, vibren o se atenúen.

Una división compuesta es aquella que está construida por varias paredes simples separadas entre sí por unos centímetros, encerrando una cámara de aire. Según la cantidad de elementos múltiples divisorios se debe tener en cuenta su masa, ya que, para un aislamiento adecuado, se requiere de mayor cantidad de ésta, obteniéndose un gran aislamiento con poco

peso. Esto es de gran importancia, ya que la limitación de peso es en realidad una condición que se presenta muy frecuentemente en fenómenos de aislamiento.

Por esta razón, cuando la onda incide perpendicularmente sobre las paredes se estima el comportamiento del aislamiento o de determinado material por medio de sus propiedades mecánicas. A esto se le define la ley de masa en tres regiones en la que es controlada por la masa ( $\text{kg/m}^2$ ) y la variación de la pérdida por transmisión en función del espectro de frecuencia. (ver figura 3).

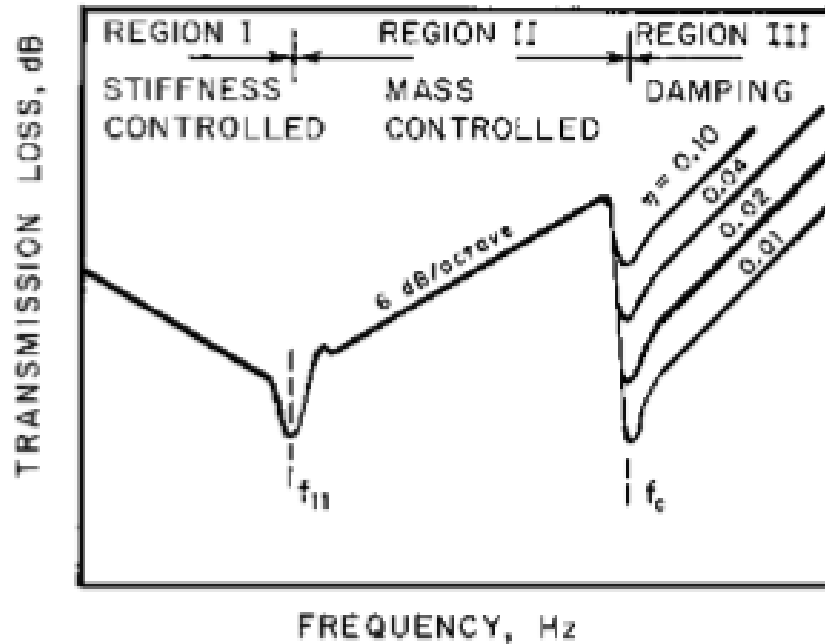


Figura 3. Variación general de la pérdida de transmisión con frecuencia para pared homogénea o panel. Tomado de (Barron R. F., 2003)

En la figura 3 se puede apreciar que en la región I, existe una rigidez en el panel para frecuencias bajas de 125 Hz a 400 Hz; en cambio en la región II el movimiento del panel es controlada por la masa del mismo con una por un ancho de banda de una frecuencia crítica (ver

ecuación 6) aumentando la pérdida por transmisión la cual depende del aislamiento acústico de la superficie, esta se puede duplicar si se desea aumentar el grosor del panel de pende de esta; y en la región III se puede observar una disminución de pérdida por transmisión que depende en gran medida de la frecuencia de las ondas de sonido incidentes y de la amortiguación interno del panel. (Barron R. F., 2003)

$$M_s f_c = \frac{\bar{3}c^2 p_w}{\pi c_L} \quad (6)$$

Donde:

$M_s$  es la masa superficial o masa del panel.

$f_c$  , es la frecuencia critica del panel.

$p_w$ , es la densidad del panel

$c_l$  es la densidad y la velocidad del sonido en el aire alrededor del panel.

#### **2.4.5. Inteligibilidad de la palabra**

La inteligibilidad de la palabra hace referencia a la comprensión del mensaje hablado en un recinto dedicado al habla (auditorios, salones de clase, bibliotecas, etc.), comprensión que depende de la correcta audición de lo que se está hablando.

La transmisión del mensaje hablado depende de la articulación de los pulmones, la laringe y la boca, y también requiere de la contracción de los músculos del tórax, que expulsa el aire de los pulmones y a la vez, genera una presión, dando origen a una corriente de aire, que se puede considerar como portadora de energía. No obstante, en ocasiones el sonido que trae

consigo el mensaje no se escucha con claridad por la incidencia del ruido, que hace que éste sea poco o nada perceptible; esto conlleva al análisis del enmascaramiento de la voz (Carrión, 2007).

*Tabla 1.*

*Niveles sonoros promedio para hombres y mujeres en diferentes situaciones de esfuerzo vocal.  
Tomado de López (2017).*

<b>Niveles sonoros a 1m (dBA)</b>					
<b>Esfuerzo vocal</b>	<b>Relajado</b>	<b>Normal</b>	<b>Elevado</b>	<b>Alto</b>	<b>A gritos</b>
Hombres	53	58	65	75	88
Mujeres	50	55	62	71	82

De acuerdo con la tabla 1, se puede apreciar que la voz femenina resulta más aguda que la masculina. Cuando se habla con un tono de voz normal o relajado la banda de frecuencia es de 500 Hz, cuando se va acercando a los gritos la banda de frecuencia en tercios de octava con mayor nivel es de 1250 Hz en hombres, mientras que en mujeres es de 1600 Hz. La relación de varios de estos conceptos, de la voz humana y la comprensión del mensaje hablado, puede entenderse mediante la siguiente figura:

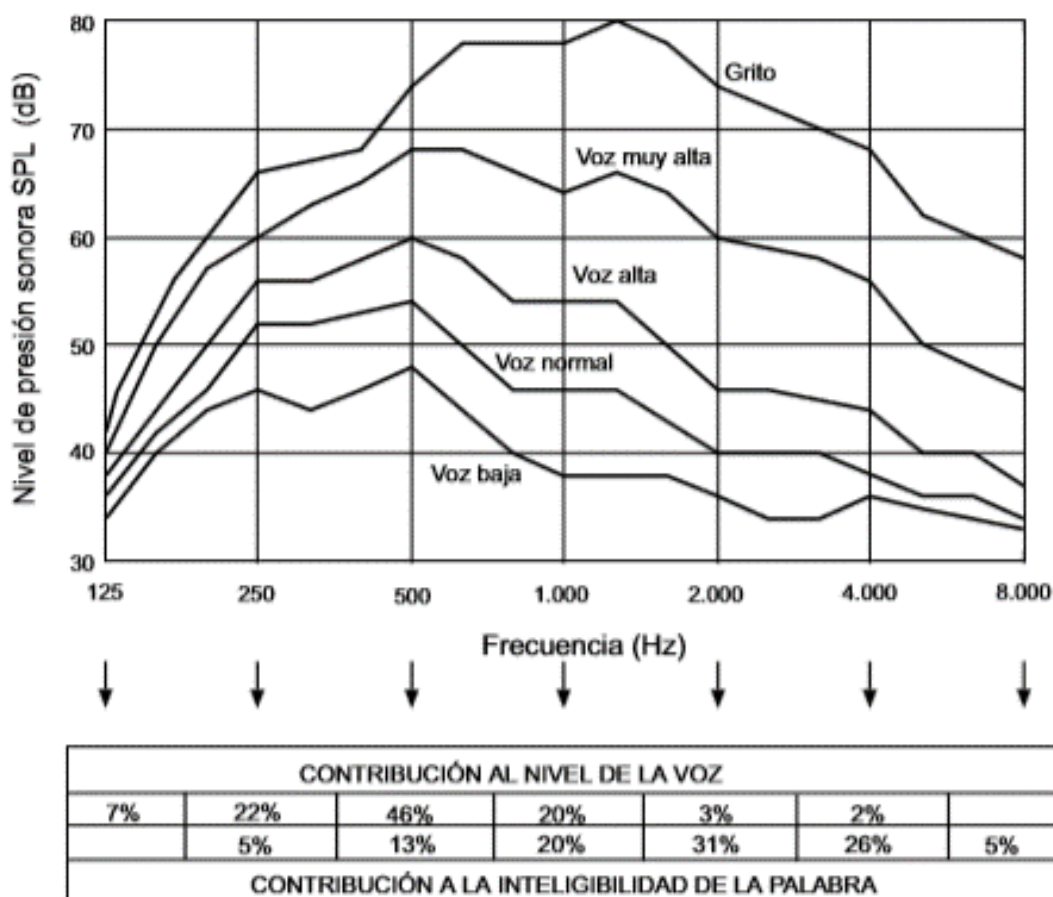


Figura 4. Curva de niveles sonoros e inteligibilidad de la palabra (Carrion, 2007)

En ese sentido, el conocimiento de los aspectos de la voz es fundamental en el estudio y la evaluación de la inteligibilidad de la palabra. Así, Recuero (1991) explica que la voz es producida a partir de las cuerdas vocales, conformadas éstas por cuatro pliegues, dos inferiores, con los cuales es posible hablar, cantar, etc., y dos superiores, que utilizamos para elevar los niveles de frecuencia sonora en la voz, como en el caso de las sopranos, que producen vibraciones sobre algunos objetos, y dependiendo de qué tan altos sean los niveles alcanzados, pueden llegar a ocasionar algún efecto en el objeto. En el estudio de la voz se hace hincapié en

los sonidos que ésta genera, los cuales hacen parte del lenguaje, cuya denominación son los fonemas.

El análisis de estos sonidos se conoce como fonética, el estudio de los fonemas (Boeree, 2007). En este estudio es importante mencionar que existen diferentes modos y puntos de articulación, dados a partir de los órganos del tracto vocal tales como la mandíbula, la lengua y la laringe, y a su vez, la configuración de las cuerdas vocales. Los modos de articulación son dos, sonoros (como [b], [g], [n], [m] y todas las vocales), y los sordos (como [k], [t], [s]). El punto de articulación define el sonido característico de las consonantes, clasificadas en oclusivas, que dependen de cómo el aire sale del aparato fonador realizando una oclusión de explosión en corto tiempo (como [p], [k], [t], sonoras, y [b], [d], [g], sordas); las nasales, que son un bloqueo de la cavidad bucal y flujo de aire que sale sólo por la nariz y siempre son sonoras (como [m],[n]); las fricativas, definidas como un obstáculo parcial del aire que pasa por un espacio estrecho y son sordas (como /f/, /s/) y sonoras (/β/, /J/); otras son las laterales, que dependen del aire cuando fluye a ambos lados de la lengua /L/; también se encuentran las vibrantes simples (como /r/), y múltiples (como [rr]), y están la africadas, que son la oclusión y fricación del aire [tʃ ] (ch), y las semiconsonantes, que se pronuncian cuando la lengua se aproxima al paladar y se produce una turbulencia [w] y [j].

Para validar subjetivamente el cálculo de inteligibilidad de la palabra se evalúa la percepción de las consonantes a partir de una lista de logatomos (Carrión, 2007), las cuales son sílabas compuestas por consonante + vocal + consonante, la magnitud que las identifica es el porcentaje de pérdidas de articulación del recinto (% ALCons); para obtener este valor se evalúa



a las personas que permanecen con frecuencia en la sala y ellas deben escribir lo que comprendieron de la lista.

Un ejemplo de ello es un orador que recita 100 sílabas sin sentido en una sala a personas que deben anotar lo que alcanzaron a percibir, tal como lo hayan entendido, luego el orador evalúa la pérdida de articulación de las sílabas anotadas por las personas, si, por ejemplo, el porcentaje medio de logatomo detectados correctamente en uno de los recintos era de un 85%, entonces se consideraba que la pérdida de información era de un 15%. Dicha pérdida se asocia con una percepción incorrecta de las consonantes. Peutz (citado en Carrión 2007), la denominó “% de Pérdida de Articulación de Consonantes”, o lo que es lo mismo, %ALCons (*Articulation Loss of Consonants*). En el ejemplo anterior se tendría un %ALCons de un 15% (Jaramillo, 2007). Para calcular este descriptivo de forma objetiva es a partir de la siguiente ecuación

$$ALCons = \frac{200 R_T^2 D^2 n+1}{V*Q} \quad (7)$$

Donde el RT es el tiempo de reverberación, V es el volumen, D es la distancia entre el parlante y el auditor más lejano, Q es el factor de directividad del parlante y (n+1) es un factor compensatorio si se desea agregar más parlantes al campo sonoro, esta ecuación 7 descrita por (Muñoz, 2013).

Entre los estándares que caracterizan la inteligibilidad de la palabra se encuentra el STI (*Speech Transmission Index*), que es un predictor de medición objetivo de cómo las características del canal de transmisión afectan la inteligibilidad del habla y el efecto de la reverberación sobre la inteligibilidad. Por ejemplo, en un salón de clases, la fuente de sonido en la parte delantera de la sala corresponde a un maestro. Las superficies duras, como el piso y las

paredes, son bloques de concreto pintado. Si fuentes externas al aula se filtran e interfieren con el mensaje hablado y transmitido por el docente, puede suceder que éste no sea claro cuando los estudiantes alcancen a percibirlo.

El índice STI, definido por Houtgast y Steeneken (citados por Carrión, 2007) cuantifica el grado de inteligibilidad de la palabra entre los valores 0 y 1, donde 0 es inteligibilidad nula y 1 es inteligibilidad óptima. El STI se calcula a partir de la reducción de los diferentes índices de modulación de la voz debida a la existencia de reverberación y de ruido de fondo en una sala. El STI se calcula con una función que representa el tiempo de reverberación y la razón de señal y ruido (S/N) en una banda de frecuencia centrada, a partir de estas dos variables se calcula una función de señal/ruido aparente (ver ecuación 8), esta depende del STI.

$$(S|N)_{ap}(F_o, F_m) = 10 \log \frac{m(F_o, F_m)}{1 - m(F_o, F_m)} \quad (8)$$

Dónde:  $F_m$  es la frecuencia de modulación, a partir de la ecuación 8 se encuentra el STI (ver ecuación 9) mencionada por (Muñoz, 2013).

$$STI = \frac{(S|N)_{ap} + 15}{30} \quad (9)$$

Por otro lado, el índice RASTI, propuesto por Carrión (2007) es un método derivado del STI, que tiene por objeto determinar la inteligibilidad de un espacio. Este método se aplica para dos bandas de frecuencia, 500 Hz y 2 KHz, tomando para cada una 4 y 5 frecuencia de modulación (1, 2, 4 y 8 Hz, y 0,7; 1,4; 2,8; 5,6 y 11,2, respectivamente). Este descriptivo también se puede calcular a partir de la ecuación 9.

## Capítulo III - Marco Legal

En este apartado se hace mención de la normatividad que regula la medición y comparación de datos de la calidad sonora en edificios según las normas ISO, traducidas por el Comité Europeo de Normalización (CEN). Ésta propone normas que dan soporte para realizar la caracterización de las condiciones acústicas de las aulas a evaluar, como son la ISO16283 (2016), partes 1 y 3, medición de aislamiento acústico (al ruido aéreo entre revestimientos y en la fachada); la ISO 3382-2 (2008), la cual indica métodos para medir el tiempo de reverberación; y por último, la ISO717-1 (1997), que normaliza los valores medidos de aislamiento acústico con los valores de referencia propuestos por la norma y la norma ANSI/ASA S12.60-(2010) / Parte 1, menciona criterios de rendimiento para escuelas.

### **3.1. Norma ISO 3382 (2008): Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios**

El objetivo de esta norma es especificar los métodos de medición, instrumentos a emplear, el número de posiciones requeridas y el método de evaluación de datos para la medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios con volúmenes menores que 300 m<sup>3</sup>.

La norma indica el tipo de señal a emplear para excitar el recinto a caracterizar, la cual puede ser ruido rosa, blanco, señal impulsiva (disparo o globo), lss o pseudoaleatorio. La relación señal/ruido adecuada para determinar el tiempo de reverberación y el análisis del recinto

se realiza por medio de uno de los métodos, tales como ingeniería, control y precisión. Se ubica el instrumento de medición (sonómetro o micrófono) en puntos preestablecidos, los cuales guardan distancias de separación mínimas respecto a la fuente, a superficies reflejantes y a otras posiciones de medición. Se realizan tres mediciones como mínimo en cada punto para garantizar la disminución en los errores presentados durante la medición, como la presencia de fuentes ajenas. Para cada punto se hace la medición del tiempo de reverberación y luego se hace el promedio del total de las mediciones realizadas, de manera que se obtiene un dato por banda de frecuencia de interés, que según la norma debe ser entre 100 Hz y 5000 Hz.

La información capturada se procesa de acuerdo con el tipo de señal empleada. Cuando es ruido rosa o blanco se determina el tiempo que le toma a la señal tener la caída en decibeles deseada, es decir, se hace de manera directa del registro de caída. Cuando se emplea señal impulsiva, lss (Logarithmic Sine Sweep) o pseudoaleatoria, se emplea la técnica descrita por Schroeder y conocida como integral inversa de Schroeder, en la cual se hace la obtención de la respuesta al impulso mediante la deconvolución de la señal medida (salida del sistema), y la señal de excitación (entrada del sistema). Una vez se tiene esta señal impulsiva se procede a calcular la energía de esta, es decir, calculando el cuadrado de la señal obtenida. Seguidamente se procede a determinar cuándo la energía de la señal es igual a la energía del ruido de fondo, dicho en otras palabras, cuando es cero o muy pequeña y se empieza a hacer la acumulación o suma de esta energía. Luego, se grafica de manera inversa y se obtiene una gráfica como la de la figura 5.

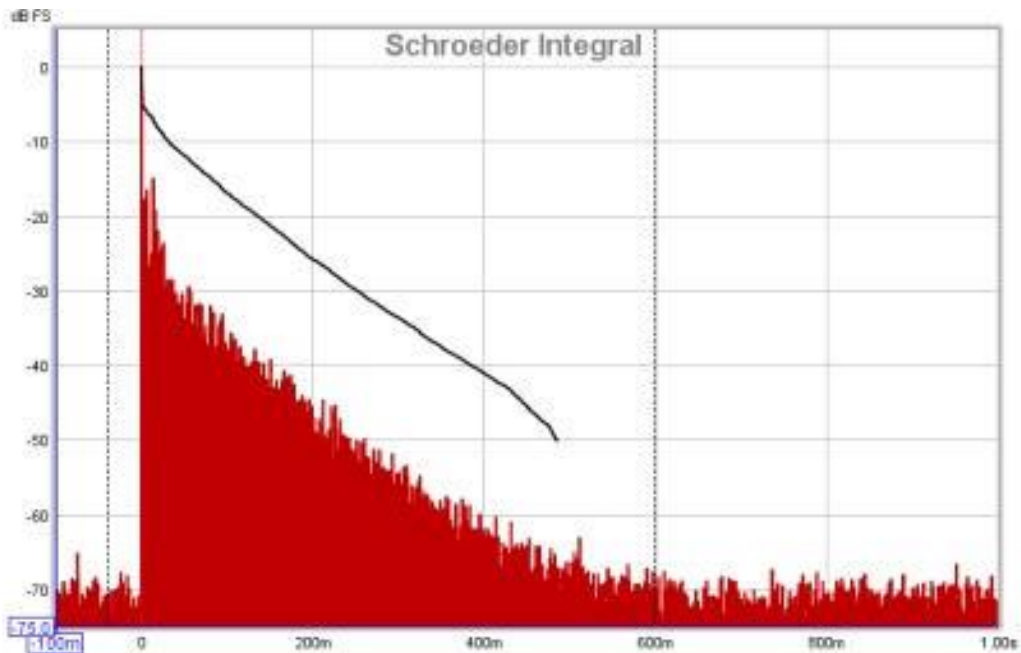


Figura 5. Integral y convolución de Schroeder. Recuperado de:  
<https://www.roomeqwizard.com/help/images/schroeder.jpg>

La norma tiene unos alcances y limitaciones. Está limitada en cuanto al volumen de la sala, ya que se aplica a recintos no mayores que  $300 \text{ m}^3$ , aunque la obtención del tiempo de reverberación permite determinar otros atributos acústicos de la sala como claridad, fracciones laterales, EDT, ITDG, entre otros.

### **3.2. Norma ISO 16283-1 (2016): Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento al ruido aéreo**

Esta norma tiene como objetivo especificar procedimientos para determinar el aislamiento acústico con respecto al ruido aéreo de elementos divisorios de las salas, como paredes simples o compuestas. Estos procedimientos hacen claridad en la geometría de los recintos y en los instrumentos a emplear y posiciones por cada equipo para realizar mediciones. Por último, de

dicha medición se obtienen datos que se pueden calcular, para que luego resulten variables de aislamiento acústico, como los índices de reducción acústica aparente y diferencias de niveles estandarizada.

Por otra parte, se requiere de uno de dos procedimientos descritos en la norma, por defecto y de baja frecuencia, para poder evaluar los revestimientos. El procedimiento por defecto depende de los volúmenes de cada tipo de recinto, los cuales deben ser mayores a  $25 \text{ m}^3$ . La persona que orienta la medición pueda escoger diferentes métodos para muestrear la presión acústica, y podrá también definir el método más adecuado para el recinto emisor y receptor. El recinto con mayor volumen es el emisor, de lo contrario el de menor volumen es el receptor, donde después se emplee equipos, estimando posiciones de estos en cada revestimiento. Para el otro procedimiento, el de baja frecuencia, los recintos deben ser inferiores a un volumen de  $25 \text{ m}^3$ , se debe utilizar frecuencia en bandas de tercios de octava de 50, 63, 80 Hz, y es necesario que se complemente al procedimiento por defecto requiere de mediciones complementarias de los niveles de presión acústica en cada esquina de la sala.

Para de evaluar el aislamiento entre recintos la norma indica el tipo de señal que debe transmitirse en el altavoz, en frecuencias desde 50 Hz a 5000 Hz, donde la señal debe ser estable y debe tener un espectro continuo sobre el rango de frecuencias. Además, se ha de considerar conforme a la posición de fuente y micrófono, la forma de medir el nivel de presión sonora a partir del procedimiento por defecto con los micrófonos que indique un experto en acústica, que pueden ser fijos, de movimiento continuo mecanizado o barrido manual. Para este proyecto de grado se emplea el micrófono fijo (sonómetro con trípode), que debe tener distancias mínimas

para las posiciones de micrófono, micrófono – altavoz y micrófono - superficies límites del recinto. Los tiempos de promediado para rangos de frecuencia de los 500 Hz a los 5000 Hz deben ser menores de 4 segundos, y para frecuencias de 100 Hz a 400 Hz, el tiempo debe ser al menos de 6 s. Para medir el ruido de fondo se toman los tiempos promediados, debe ser de 10 s, según el personal experto en acústica. Para 50 Hz a 80 Hz el tiempo promediado al menos debe ser de 15 segundos.

La información capturada se procesa de la siguiente manera, se debe hacer una diferencia entre Señal/Ruido, la cual debe mostrar un valor que no exceda los 10 dB o sea inferior a 6 dB, y si es menor a 6 dB al realizar la diferencia, se debe sumar al nivel de presión sonora medido 1,3 dB. Si se cumple este criterio se debe aplicar la ecuación 10, en caso de que se requiera, de lo contrario se promedian los niveles de presión obtenidos de las posiciones de sonómetro del recinto emisor y receptor de forma logarítmica como se puede ver en la ecuación 11 por cada posición de altavoz, Luego, se calcula la diferencia de los niveles de presión sonora entre los recintos emisor y receptor por cada banda de frecuencias, a partir de la ecuación 12, por cada posición de altavoz empleada. Después se calcula el índice de absorción del recinto, el cual depende del área de separación común entre recintos y el RT (tiempo de reverberación), por medio de la ecuación 13. Otro cálculo tiene que ver con determinar el índice de reducción sonora aparente y diferencia de nivel estandarizada por cada posición de altavoz empleada. (Ver ecuación 14 y 15). Finalizando, se promedian la diferencia de niveles y el índice de reducción sonora por cada posición de altavoz empleada, a partir de la ecuación 16 y 17.

### 3.2.1. Corrección del nivel de señal para ruido de fondo

Una de las limitaciones de esta norma tiene que ver con la relación entre la señal medida en cada uno de los recintos emisor y receptor, y el ruido de fondo. Cuando esta diferencia es inferior a 6 dB y superior a 10 dB, se debe aplicar la ecuación 10.

$$L = 10 \log \left( 10^{L_{sb}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (10)$$

Donde:

L es el nivel de señal corregido, en dB.  $L_{sb}$  es el nivel de la señal y del ruido de fondo combinados, en dB.  $L_b$  es el nivel de ruido de fondo, en dB.

En el caso de que la diferencia entre la señal y el ruido sea inferior a 6 dB de las bandas de frecuencias, se utiliza la corrección de 1,3 dB. Para este proyecto esta corrección se presentó para las bandas de frecuencia de 50, 63 y 80 Hz.

$$L = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i} \right) \quad (11)$$

Donde:

$L_1, L_2, \dots, L_n$  son los niveles de presión acústica logarítmicamente promediados en n diferentes posiciones de sonómetro de cada uno de los recintos emisor y receptor, en dB.

$$D = L_1 - L_2 \quad (12)$$



Donde:

$D$  es la diferencia de niveles de presión acústica promediados energéticamente entre los dos recintos emisor y receptor con unos o más altavoces en el recinto emisor.  $L_1$  es el nivel de presión acústica promediado energéticamente en el recinto emisor cuando el volumen de la sala es mayor a  $25 \text{ m}^3$ .  $L_2$  es el nivel de presión acústica promediado energéticamente en el recinto receptor cuando el volumen de la sala es mayor o igual  $25 \text{ m}^3$  y es inferior al volumen del recinto emisor.

$$A = \frac{0,16 * V}{T} \quad (13)$$

Donde:

$A$  es el valor de absorción acústica que se calcula utilizando la ecuación de Sabine (ecuación 13).  $V$  es el volumen del recinto receptor, en  $\text{m}^3$ .  $T$  es el tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos. Para las  $n$  posiciones de sonómetro promediadas energéticamente de los niveles de presión sonora, se calculan las siguientes variables:

El índice de reducción sonora: Es un valor logarítmico decimal del cociente de la potencia acústica transmitida al recinto receptor. Consiste en la suma de componentes procedentes de elementos diferentes (paredes, techo, suelo, etc). El  $R'$  se puede usar para comparar mediciones in situ con mediciones de laboratorio del índice de reducción acústica  $R'$  en comparación con el  $D_{nt}$ , tiene una relación más débil con la impresión subjetiva del aislamiento de ruido aéreo (ver ecuación 14).

$$R' = D + 10 * \log \frac{S}{A} \quad (14)$$

Dónde:

$R'$  es el índice de reducción sonora.  $S$  es el área de separación común, en  $m^2$ .  $A$  es el área de absorción de los materiales constructivos que limitan la superficie (paredes, divisiones, etc.) del recinto receptor, en  $m^2$ .

La diferencia de niveles estandarizada: es la diferencia de niveles de presión sonora promediados energéticamente de los recintos emisor y receptor, con uno o más altavoces; cómo se puede observar en la ecuación 15. Por otro lado, la diferencia de niveles estandarizada hace referencia a un tiempo de reverberación estándar de 0,5 segundos para viviendas con mobiliario, siendo un valor independiente del volumen y de la frecuencia. Esta normalización,  $D_{nt}$  depende de la dirección de transmisión sonora, y define si los recintos emisor y receptor tienen diferencias de volúmenes.

$$D_{nT} = D + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (15)$$

Dónde:

$D_{nt}$  diferencia de niveles estandarizada.  $T$  tiempo de reverberación en el recinto receptor medido.  $T_0$  es el tiempo de reverberación de referencia; para viviendas,  $T_0 = 0.5$  segundos. Niveles de presión acústica promediados de las  $n$  posiciones de micrófono empleadas. Aplicando la ecuación 15.

Para las posiciones con un único altavoz funcionando en más de una posición, se mide el nivel de presión acústica en los recintos, tanto de emisores como de receptores. Se calcula el nivel de presión acústica promediado energéticamente en cada recinto. Aquellos valores son de gran relevancia para comparar y cuantificar. También, la norma plantea que se deben graficar el

índice de reducción sonora y la diferencia de niveles con respecto a las bandas de frecuencia de octava usadas a lo largo de la medición (ver ecuaciones 16 y 17).

$$R' = -10 * \log \frac{1}{m} \prod_{j=1}^m 10^{-R,j/10} \quad (16)$$

$$D_{nT} = -10 * \log \frac{1}{m} \prod_{j=1}^m 10^{-D_{nt,j}/10} \quad (17)$$

Dónde:

$m$  es el número de posiciones de altavoz.  $D_{nt,j}$  es la diferencia de niveles estandarizada para la  $j$ ésima (cantidad, numero) posición de altavoz.  $R,j$  es el índice de reducción sonora para la  $j$ ésima posición de altavoz.

Esta norma está limitada por el volumen del recinto, que debe ser entre los 10 m<sup>3</sup> y los 25 m<sup>3</sup>. Los resultados de ensayo se pueden utilizar para cuantificar, evaluar y comparar el aislamiento acústico, que depende de la frecuencia y se puede transformar en un valor único que caracteriza el comportamiento acústico (magnitud global) descritos en la norma ISO 717-1 (1997). También, se pueden usar otros tipos de micrófonos o sonómetros, los cuales son micrófono de movimiento continuo mecanizado, micrófono con posiciones fijas (sonómetros), micrófono de mano y micrófono de barrido manual, cada uno tiene un método diferente para medir los niveles de presión sonora. Para este proyecto, se limitó al uso de posiciones fijas.

### **3.2.2. Norma ISO 16283-3 (2016): Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y los elementos de construcción. Parte 3: Aislamiento a ruido de fachada.**

El objetivo de esta norma es describir procedimientos para determinar el aislamiento acústico al ruido aéreo de elementos de fachada. Se requiere que la fuente de ruido provenga del exterior de la sala. Las mediciones requeridas incluyen niveles de presión sonora próximos a la fachada y dentro del recinto afectado. Los métodos usados para medir el aislamiento acústico son parciales y globales. Para el ruido de tráfico rodado y señal emitida por un altavoz se usan dichos métodos, donde únicamente se debe utilizar el procedimiento por defecto o de baja de frecuencia.

La norma define qué se desea calcular y cómo. Para las mediciones al exterior de la sala con un único altavoz, la norma describe requisitos para medir los niveles de presión acústica de la fachada en cada banda de frecuencia de interés, ésta debe ser a menos de 5 dB. Cuando las muestras de ensayo sobrepasan los 5 m las diferencias deben ser de hasta 10 dB. El campo acústico debe ser estable y tener un espectro continuo en el rango de frecuencias considerado. Para las posiciones del altavoz ubicado a una distancia  $D$  de la fachada hasta el recinto, la variación del nivel de presión sonora sobre la muestra de ensayo debe ser mínima, el altavoz se debe colocar sobre el suelo. Y la distancia  $r$ , desde el altavoz hasta el centro de la muestra de ensayo debe ser de al menos 5 m ( $D > 3.5$  m) en el caso de método por elementos, para el global el altavoz al menos debe estar a 7 m ( $D > 5$  m).

Se debe calcular valores obtenidos de la medición, a partir de dos métodos que indican como posicionar las fuentes de emisión sonora en la fachada. Uno es el de elementos, el cual

estima el índice de reducción acústica de un elemento de fachada, se utiliza con altavoz como fuente sonora artificial, si éste no es omnidireccional se ubica en la fachada a 45° del recinto receptor. También, se puede evaluar el aislamiento de la fachada tomando como fuente el ruido del tráfico rodado. Y el otro método es el global, describe cómo se debe estimar la diferencia de niveles de presión acústica entre el interior y exterior de la sala receptora en condiciones de tráfico rodado. También, se indica cómo se puede tomar como fuente el altavoz, el cual se ubica a 2 metros delante de la fachada, evaluando el rendimiento de la fachada. Para la ubicación del sonómetro al interior del recinto se usa el procedimiento por defecto indicado en la norma ISO 16283-1 (2014), que depende del volumen, la frecuencia, el tiempo de promediados y parámetros acústicos (RT, área de absorción y nivel de ruido de fondo). Este procedimiento dará soporte a la estimación y cálculo de los niveles de presión sonora energéticamente promediados, además permite hallar la diferencia de niveles e índices de reducción sonora. Al exterior de la fachada también se emplea el mismo número de posiciones de sonómetro que se usaron al interior de la sala.

Para poder estimar el índice de reducción acústica aparente y la diferencia de niveles estandarizada es importante realizar la corrección de ruido de fondo partir de la ecuación 10. Después, se calculan los niveles de presión sonora de forma logarítmica de la fachada y el recinto receptor, a partir de la ecuación 18. Luego se realiza la diferencia de nivel entre el promedio de las n posiciones de sonómetros de los niveles de presión acústica medidos de la fachada y el recinto receptor encontrados logarítmicamente, por medio de la ecuación 19. Después, se calcula la diferencia de niveles aparente y los índices de reducción acústica, empleando las ecuaciones 20 y 21. Por último, para cada posición n de fuente encontrar el índice

de reducción acústica aparente y la diferencia de niveles estandarizada, al igual que en la norma ISO 16283 - 1 se promedian cada uno, pero en este caso se aplica para la fachada, usando las ecuaciones 16 y 17.

$$L_2 \text{ ó } L_{1,2m} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i} \quad (18)$$

Donde:

$L_1, L_2, \dots, L_n$  son los niveles de presión acústica en  $n$  diferentes posiciones del micrófono en el recinto.

Diferencia de nivel,  $D_{2m}$ : cuando se utiliza un altavoz a 2m del recinto ubicado en la fachada.

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (19)$$

Donde:

$L_{1,2m}$  Son los niveles de presión sonora promediados de las  $n$  posiciones de sonómetro de la fachada.  $L_2$  Son los niveles de presión sonora promediados de las  $n$  posiciones de sonómetro del recinto receptor.

La diferencia de niveles estandarizada,  $D_{2m,nT}$ : la diferencia de nivel de la ecuación 2.6 se normaliza a partir del valor de referencia del tiempo de reverberación medido en el recinto receptor, y se calcula a partir de la ecuación 20.

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (20)$$

Donde:

$T$  es el tiempo de reverberación.  $T_0$  es el tiempo de reverberación de referencia,  $T_0 = 0.5$  segundos. El valor  $T_0$  es independiente del volumen y frecuencia.

El índice de reducción aparente,  $R'_{45}$ , se calcula a partir del área de absorción acústica tomada de la ecuación 13, los niveles de presión sonora promediados obtenidos de la medición de la n posiciones de sonómetro de la fachada y el recinto emisor, y también depende del área de la pared que divide la sala de la fachada. A continuación, se muestra la ecuación 21, que será de utilidad para este proyecto de grado.

$$R'_{45} = L_{1,S} - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} - 1,5 \text{ dB} \quad (21)$$

Donde:

S es el área de la pared o elementos de construcción que son límites entre el recinto y la fachada, en  $m^2$ . A es el área de absorción de los materiales constructivos que limitan la superficie (paredes, divisiones, etc.) del recinto receptor. En  $m^2$ .

Existen limitaciones y alcances en esta parte de la norma. El volumen del recinto receptor debe estar en el rango de  $10 \text{ m}^3$  a los  $250 \text{ m}^3$ , esta es una de las limitaciones ya que sería difícil si se desea usar como fuente altavoces o ruido de tráfico rodado, aéreo o ferroviario. El alcance describe métodos los cuales tienen requisitos de medición y cualificación de datos, por lo tanto, se puede estimar diferencias de niveles estandarizadas y el índice de reducción aparente si se usa como fuente el ruido de tráfico ferroviario y aéreo.

### 3.3. Norma ISO 717-1 (1997) Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: aislamiento de ruido aéreo

El objetivo de la norma es valorar los resultados obtenidos conforme a la norma ISO 16283 de 2016, en bandas de tercio de octava con precisión de 0,1 dB. Se desplaza una curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor a 32 dB, en determinada frecuencia esta desviación se produce cuando los resultados de las mediciones son inferiores al valor de referencia.

La norma proporciona reglas para la determinación de la magnitud global a partir de resultados obtenidos de las mediciones realizadas en bandas de un tercio de octava, comparadas con valores de referencia de esta norma, sobre frecuencias descritos anteriormente. Se estipula un nivel de magnitud global de 0,1 dB, tomado a partir de los niveles ponderados. Enseguida, se toman valores de referencia para efectuar la comparación del aislamiento y la adaptación espectral. Se hace un desplazamiento de la curva de referencia en saltos de 1 dB, con una precisión de 0,1 dB, de tal manera que las desviaciones favorables o los valores registrados en las mediciones no sobrepasen los 32 dB. Al final, se debe calcular los términos de adaptación espectral ( $C_j$ ), éstos deben calcularse con los espectros sonoros mediante la ecuación 22 con precisión de 0,1 dB o 1 dB a partir de la ecuación 22:  $C_j = X_{Aj} - X_w$ , en donde  $j$  es el índice de espectros sonoros.  $X_w$  es el valor del índice global calculado de acuerdo con los valores del índice de ponderado de reducción sonora aparente  $R'$  o la diferencia de niveles estandarizada  $D_{nT}$ .

$$X_{Aj} = -10 \log 10^{(L_{ij} - X_i)/10} \quad (22)$$



Donde:

$i$  es el índice para las bandas de tercio de octava de 100 Hz a 3 150 Hz.  $L_{ij}$  son los niveles a la frecuencia  $i$  para el espectro  $j$ .  $X_i$  es el índice de reducción sonora  $R_i$ , o el índice de reducción sonora aparente  $R'$  a la frecuencia medida  $i$  dada con una precisión de 0,1 dB.

Para calcular los términos de adaptación espectral con precisión de 0,1 dB, debe redondearse a un valor próximo, indicando que espectro se usó.  $C$  se calcula con el espectro 1 (ruido rosa A).  $C_{tr}$  se calcula con el espectro 2 (ruido de tráfico urbano ponderado A).

Esta parte tiene alcances y limitaciones claras, como la validación del aislamiento acústico al ruido aéreo de divisiones. Éste se hace mediante una curva de referencia en 500 Hz, después de desplazarla en concordancia con el método de comparación, especificado en ISO 717 - 1. Ésta evalúa los resultados de las mediciones en bandas de 1/3 de octava (o bandas de octava). Se traslada la curva de referencia en pasos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible sin superar los 32. Una desviación desfavorable ocurre cuando el resultado de las mediciones es menor que el valor de la referencia.

Un ejemplo de número único de aislamiento sería el que plantea Navarrete (2015):  $R'w$  Número único para evaluar el índice de reducción acústica aparente,  $R'$ , o Índice de reducción acústica aparente ponderada. En la figura 6 se observa la curva de referencia. El número único en este ejemplo es 52 dB en la frecuencia de 500 Hz.

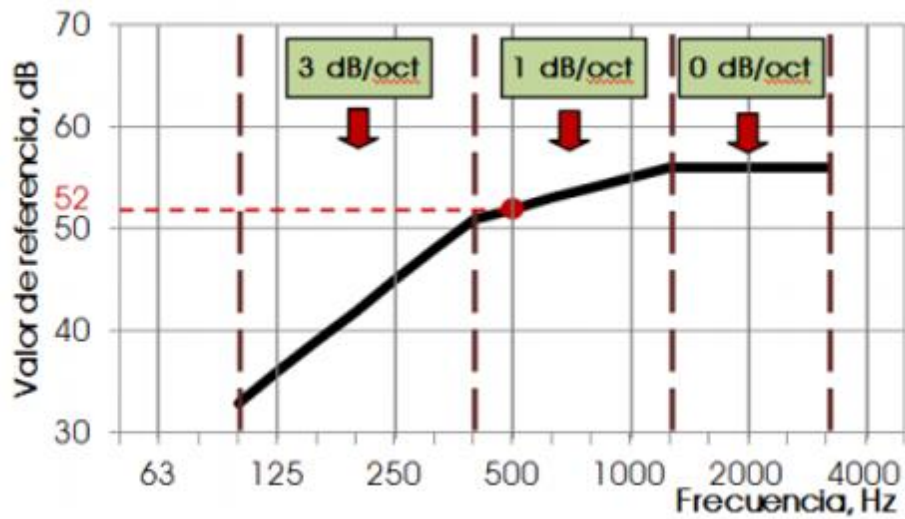


Figura 6. Curva de validación del número único de aislamiento acústico en bandas de 1/3 de octava. Tomado de Navarrete (2015).

Se deben calcular solo magnitudes globales a partir de los valores medidos en tercios de octava, expresándose en términos de adaptación espectral y magnitud global como se puede mostrar en la ecuación 23. Una limitación es la expresión de los requisitos y propiedades de los edificios en términos de vivienda o fachada, y los resultados medidos se pueden comparar con los valores expresados, descritos en las ecuaciones 16, 17 y 21.

El término de magnitud global se debe expresar así  $R_w, R'_w, D_{n,w}, D_{nT,w}$ .

$$R_w C; C_{tr} = 41 (0; -5)dB \quad (23)$$

Y para la expresión de requisitos y propiedades de edificaciones, para fachadas se utiliza la ecuación 24:  $R'_w + C_{tr} \geq 45$  dB y entre viviendas la ecuación 25:  $R'_w + C_{tr} \geq 54$  dB.

### **3.4. Norma ANSI / ASA S12.60-(2010) / Parte 1 Criterios de rendimiento acústico estándar nacional estadounidense, requisitos de diseño y directrices para las escuelas, parte 1: Escuelas permanentes**

El objetivo de esta norma es definir los criterios de rendimiento acústico y requisitos de diseño para aulas y otros espacios de aprendizaje. Es esencial que tanto el diseño arquitectónico como el mecánico proporcionen buenas características acústicas para las aulas, pues la comunicación oral es una parte importante del proceso de aprendizaje, cuya calidad depende de estos criterios, del ruido de fondo, el tiempo de reverberación y el índice de transmisión del sonido.

La norma indica el control de los niveles de ruido de fondo, las clasificaciones mínimas de clase de transmisión de exterior a interior de los salones, planteando unos criterios para éstas. En primer lugar, el volumen del aula no debe ser menor o igual a  $283 \text{ m}^3$  y mayores a  $566 \text{ m}^3$ . Se establece la clase de transmisión de sonido (STC), la cual depende de la fuente de sonido para reducir ruido que invade el aula o el espacio de aprendizaje fuera de la envolvente del edificio. Además, se especifican calificaciones mínimas de STC para paredes y ensamblajes de piso-techo, donde el ruido que se origina dentro del edificio se inmiscuye en el aula a través de las paredes del aula, el piso, y el techo. También, se clasifica el tiempo de reverberación y ruido de fondo para frecuencias centrales de los 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz, según el volumen del salón.

Los alcances y limitaciones tienen que ver con las fuentes de ruido intrusivo que dependen del diseño de la construcción en espacios de aprendizaje en las escuelas, incluido el ruido producido por los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC); servicios de construcción; y fuentes de sonido exteriores tales como tráfico vehicular y

sobrevuelos de aeronaves. Esta norma se emplea al diseño y rendimiento de espacios desocupados, pero no se aplica al sonido generado dentro de un aula por sus ocupantes, incluidas las voces y los sonidos de las actividades del aula, como el movimiento de sillas, ni se aplica al sonido de portátiles, siempre que el equipo se pueda apagar en la habitación, o equipos permanentes incorporados que se utilizan durante el curso de instrucción. La limitación del STC es que todas las penetraciones en las particiones con categorización de sonido deberán sellarse y tratarse según sea necesario para lograr las clasificaciones STC requeridas. Éstos están categorizados por criterios mínimos con respecto a las superficies que envuelven el aula, compuesta por puertas, ventanas, etc.

Para el aislamiento acústico, tiene que ver con la transmisión de energía acústica de un material a otro es en términos de pérdida por transmisión TL. La pérdida por transmisión expresa el coeficiente de transmisión de potencia acústica en decibeles, además es dependiente de la frecuencia, y muestra la pérdida de energía sonora cuando ésta atraviesa una pared, y se calcula a partir de un promedio de niveles de presión sonora. Un ejemplo es la diferencia entre el nivel de presión sonora incidente menos el nivel de presión sonora transmitida, y se emplea a partir de la siguiente ecuación 26, descrita por Recuero (1991):

$$TL = L_{pi} - L_{pt} \quad (26)$$

En donde:

$L_{pi}$  es el nivel de presión sonora incidente (en dB) y  $L_{pt}$  corresponde al nivel de presión sonora transmitida (también en dB).

Por otra parte, es la curva de perfil de la clase de transmisión sonora STC (*sound transmission class*, por sus siglas en inglés), es un valor promedio de la pérdida por transmisión de sonido la cual depende de los elementos constructivos que integran alguna superficie (paredes). Barron (2003), medida en dieciséis intervalos de banda de 1/3 de octava, entre los 125 Hz – 4000 Hz. Esto permite determinar el aislamiento acústico de una división sujeto a dos condiciones. La primera, es que ningún valor individual del TL experimental puede ser más de 8 dB, por debajo de la curva estándar. La segunda, que la suma de las desviaciones debajo de la curva estándar se puede redondear a 32 dB. El STC depende de valor de 50 dB para una frecuencia de 500 Hz a partir de esta se pueden encontrar el resto de los valores para bajas y altas frecuencias para un aislamiento deseado, y a partir de estos se puede ajustar valores de aislamiento, que depende de la pérdida de energía calculado.

## **Capítulo IV - Metodología**

Se aplicaron dos normas:

La ISO 3382-2 (2008), la cual determina la medida del tiempo de reverberación. La otra norma que se usó es la ISO16283 (2016) en sus partes 1 y 3, con base en esta se determina el aislamiento acústico de las paredes que dividen las aulas y las que están sobre la fachada, además indica la forma de medir el ruido de fondo. La otra condición que se evalúa es la inteligibilidad de la palabra, de forma objetiva y subjetiva, en personas que ven sus clases en las aulas C108 y C220. Por último, se aplican encuestas a estudiantes y docentes que ven sus clases en estos salones.

### **4.1. Descripción de las aulas**

Se realizó un levantamiento de los planos de los salones de la Universidad Pedagógica Nacional que fueron usados para la investigación. Estos planos se ilustraron en AutoCAD, versión 2017, en 2D y en vista isométrica frontal 3D de las salas C108 y C220 (ver figuras 7 y 8).

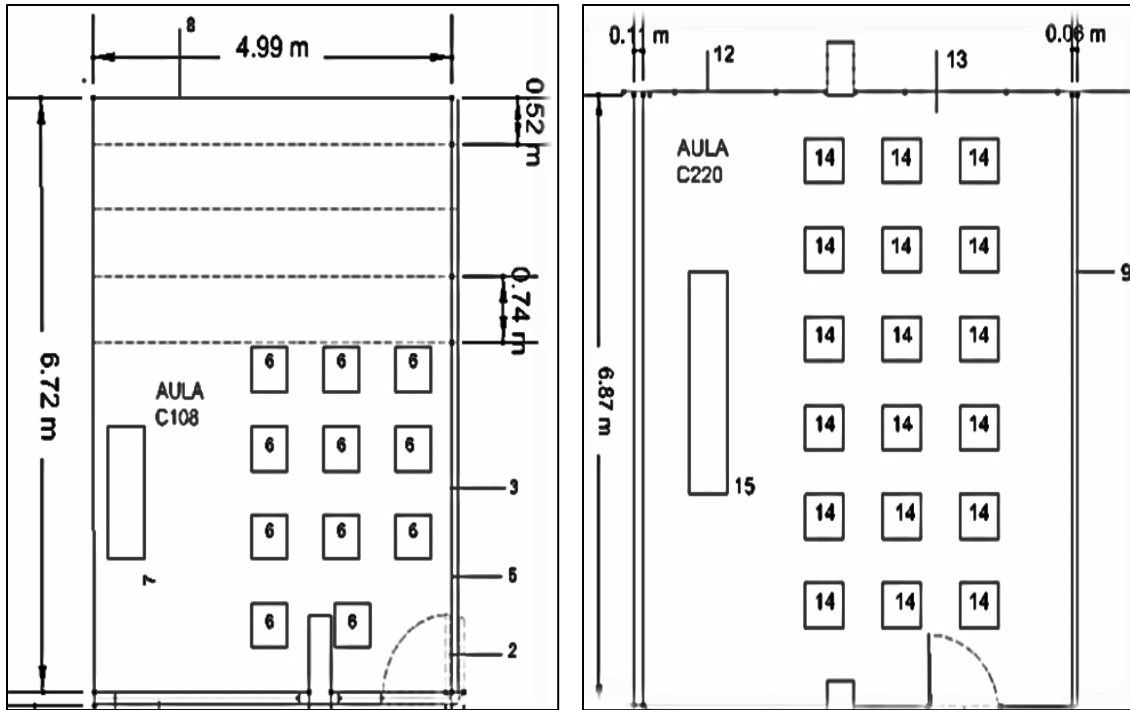


Figura 7. Planos de las aulas C108 y C220. Están numerados, del 1 al 15, los elementos que limitan y envuelven cada salón.

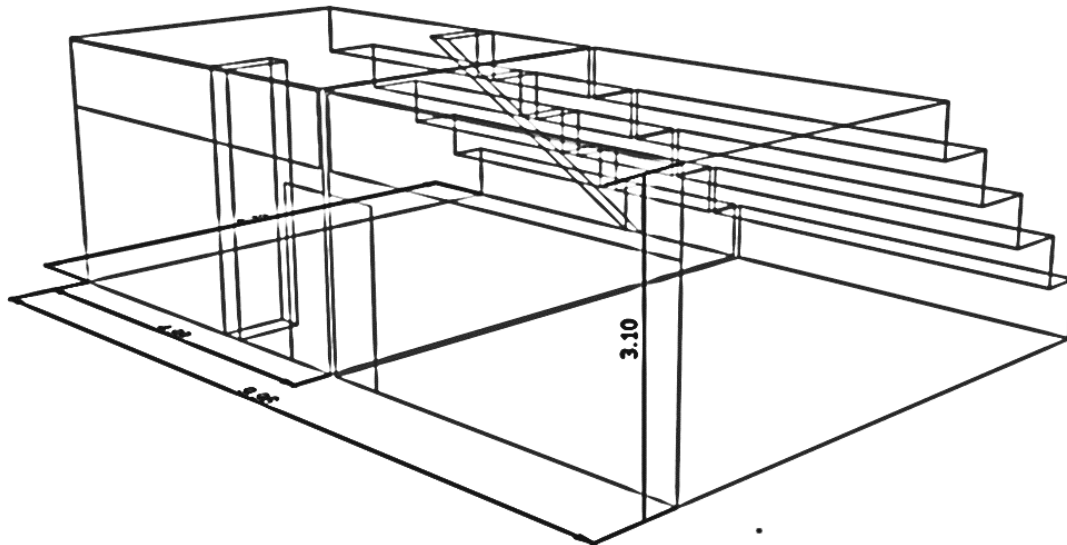


Figura 8. Planos en 3D de los salones contiguos C108 y C109, con las respectivas superficies que lo limitan. Vista isométrica frontal

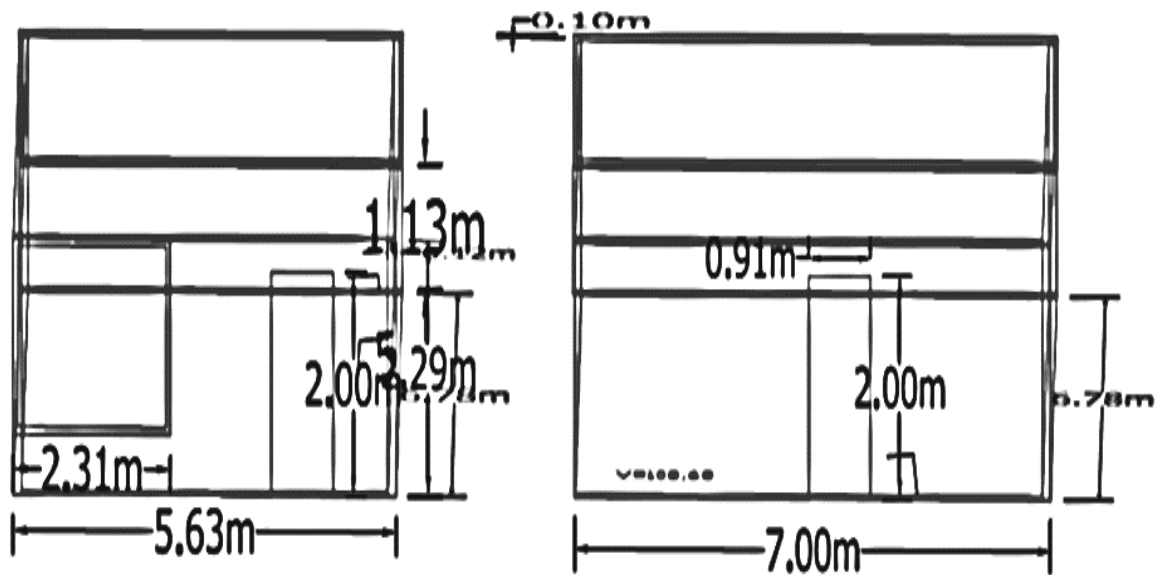


Figura 9. Planos en 3D del aula C220 y C219, con las respectivas superficies que lo limitan.

El aula C108 se encuentra ubicada en el primer piso del edificio C de la Universidad Pedagógica Nacional y se sitúa sobre la fachada interna de éste, al lado se encuentran las gradas, los pasillos y canchas al aire libre. Según las características arquitectónicas internas del recinto, mostradas en la figura 8, las puertas de metal que tienen las aulas C108 y C109 el volumen de esta sala es de  $111 \text{ m}^3$ , se encuentran seguidas una de la otra sobre la fachada (pasillos, canchas multipropósito, etc), y el techo es la gradería del aula multipropósito (coliseo). El otro recinto que se evalúa es el C220, cuya ubicación se encuentra en el segundo piso del bloque C y sobre uno de sus costados se encuentra la fachada exterior, en la cual queda la calle 72, y en la otra fachada interna que contiene un pasillo de 2 m de ancho, adyacente a esta aula C220 se encuentran salones colindantes el C219 con un volumen de  $108,68 \text{ m}^3$  y el C221 con un volumen  $67,84 \text{ m}^3$ .



Los materiales de construcción que envuelven la fachada interior y exterior, de los salones C108 y C109, son ladrillo, cemento, vidrio de cristal, madera, acrílico y otros materiales mencionados de la tabla 2. Las divisiones entre los salones entre las aulas C219 y C220 son de madera, las ventanas ubicadas en la parte superior de la división son de acrílico, mientras que la separación entre el C220 y C221 es de ladrillo. En la figura 7 se enumeran los materiales de construcción de las superficies que limitan cada aula y el mobiliario que se encuentra en cada una (ver tabla 2). \*las medidas se totalizaron para efectos de la norma.

*Tabla 2. Dimensión y características de los materiales de los salones afectados.*

<b>Aula</b>	<b>Volumen</b>	<b>Superficies que limitan a cada aula</b>	<b>Tipo de material</b>	<b>Dimensión m</b>
C108	101 m <sup>3</sup>	1 Ventana de separación entre el salón y la fachada	Cristal de vidrio	3.8 m <sup>2</sup>
		2 Puerta	Vidrio y metal	1.38 m <sup>2</sup>
		3 Separación común entre los recintos C108 y C109	Ladrillo y cemento	17.8 m <sup>2</sup>
		4 Separación común entre el recinto y la fachada.	Ladrillo y cemento	15.21 m <sup>2</sup>
		5 Piso	Granito pulido	33.3 m <sup>2</sup>
		6 Pupitres	Plásticos los asientos con hierro los soportes	11 puestos (2.22m <sup>3</sup> )
		7 Tablero	Superficie reflectante	3 m <sup>2</sup>
		8 Techo	Cemento	33.31m <sup>2</sup>
C220	87,41 m <sup>3</sup>	9 Separación común	Tabique de madera	15.73 m <sup>2</sup> (5mm)
		10 Puerta	Madera	2.09 m <sup>2</sup>
		11 Separación común entre recinto y fachada	Ladrillo, cemento	15.16 m <sup>2</sup>
		12 Ventanas de: -Separación entre el aula y la fachada exterior. -Separación común entre recintos -Fachada interna	Cristal Cristal martillado	5 m <sup>2</sup>
		13 Techo	Cielo raso	38,17m <sup>2</sup>
		14 Pupitres	Plásticos (asientos) con hierro los soportes	18 puestos (1.6m <sup>3</sup> )
		15 Tablero	Superficie reflectante	5 m <sup>2</sup>

## **4.2. Procedimientos de medición para aislamientos y reverberación**

Luego de clarificar las características y dimensiones, se describen los procedimientos de medición de las condiciones acústicas. Primero, se hace mención de los instrumentos acústicos utilizados para cada una de las mediciones a realizar y evaluar. Se toman las medidas de los niveles de presión acústica, tiempo de reverberación y nivel de ruido de fondo con los respectivos equipos de mediciones y posiciones empleadas para éstos, con base en las normas ISO 16283 (2016) en sus partes 1 y 3, se determinan las condiciones de aislamiento acústico de las particiones que componen los recintos, exceptuando techo y piso porque no se dispone de una máquina de impactos para realizar esta medición sobre estos elementos. La ISO 3382-2 (2008) indica métodos para medir el tiempo de reverberación de las salas de acuerdo con los materiales empleados y el mobiliario existente.

### **4.2.1. Fuente Omnidireccional**

El instrumento de fuente omnidireccional sirve para emitir una señal de sonido. Se caracteriza por un arreglo de 12 parlantes ubicados en forma de dodecaedro. Además, cuenta con una potencia eléctrica externa que suministra la energía necesaria para lograr una potencia acústica que excite el recinto o los recintos en un rango de frecuencias entre 100 Hz y 20000 Hz o el indicado por el fabricante. En la figura 10 se puede apreciar la fuente omnidireccional. En el anexo C se pueden apreciar las características de la fuente.



*Figura 10. Fuente Omnidireccional de 0. 1 dB OMNI12/AMPLI12 usada para medir las condiciones acústicas de los espacios a evaluar.*

#### **4.2.2. Sonómetro**

El sonómetro es un instrumento que mide los niveles de presión sonora de las señales de ruido que se filtran en algún recinto. Está compuesto por un micrófono que capta la señal y un sistema de procesado que filtra dicha señal según lo que se requiera medir. En este caso, se usan filtros de octava y de 1/3 de octava y filtros de ponderación, para asemejar la percepción humana, el cálculo de valores pico máximo y mínimo, RMS (valor cuadrático medio), entre otros. Además, posee una interfaz de comunicación que, después de captar la información del sonido y procesar la información, transmite el resultado de dicho proceso en un valor que se muestra en la pantalla. Hay sonómetros de tipo digital (ver figura 11). Las especificaciones y características se amplían en el Anexo C.

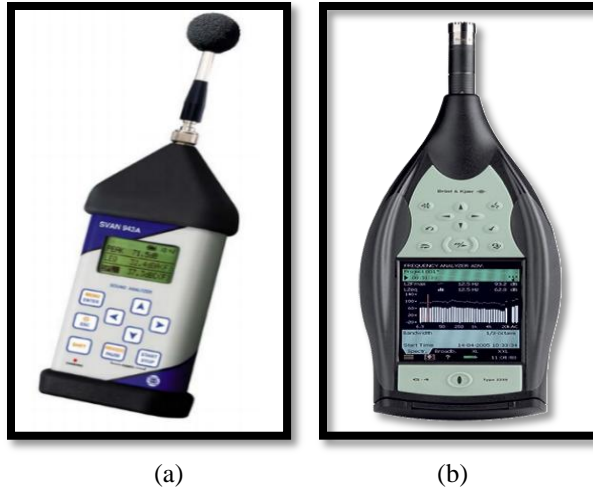


Figura 11. Sonómetros utilizados para toma de mediciones de los niveles de presión acústica, para frecuencias en tercios de octava. (a) Sonómetro Syantek 943 A, (b) analizador portátil Tipo 2250 y 2270.

#### 4.2.3. Micrófono omnidireccional (MIC TEF04)

El micrófono omnidireccional se usa para medir el tiempo de reverberación, siendo una forma alterna a un sonómetro. Se caracteriza por tener una respuesta en frecuencia plana, y una interfaz de audio, que hace el enlace entre el micrófono y el computador, en el cual se puede emplear el software EASERA para la captura de señal y procesado de la misma para obtener los valores acústicos necesarios (ver figura 12). Este recibe señales omnidireccionales en ciertas bandas de frecuencias de 20 Hz a los 20 KHz para un SPL (Volumen) de 123dB por máximo (obtenido de <http://www.gold-line.com/tef/t-tef04.htm>)



Figura 12. Microfono omnidireccional.

### 4.3. Medición de tiempo de reverberación (RT)

Con base en la norma ISO 3382-2 de 2008 se mide el tiempo de reverberación. Primero, se calculan los volúmenes de las aulas C108 y C220, en la tabla 3.1 se muestran los volúmenes de cada aula y las que están contiguas a éstas. Después, se determina qué recinto es el de menor volumen, para luego tomarlo como aula receptora, lo cuales fueron los salones C108 y C220. Después, se utiliza el método de ingeniería y control que emplea como mínimo dos posiciones de fuente y seis de micrófono para un total de doce combinaciones. Se debe tener en cuenta la distancia mínima entre fuente y superficies reflejantes, la cual debe ser de un metro, mientras que entre sonómetro y dichas superficies debe ser de dos metros. Entre fuente y micrófono debe existir una distancia de separación no menor de dos metros, esto se puede apreciar en la figura 13. Por último, para medir el RT es necesario el uso de dos micrófonos y una fuente omnidireccional, la cual debe producir un ruido *log sine sweep* o *lss*, Luego se obtienen tiempos *EDT*, *T10*, *T20* y *T30* uno de ellos se usará para poder calcular otras variables en la figura 14 se puede observar los equipos que midieron el tiempo de reverberación de la sala C108.

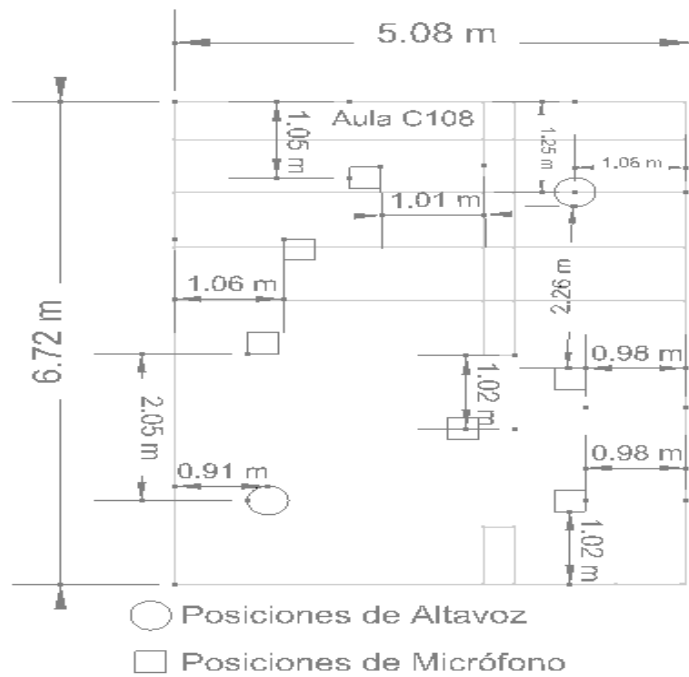


Figura 13. Plano en corte plano de las posiciones de micrófono y fuente sonora para el cálculo del tiempo de reverberación.



Figura 14. Ubicación de la fuente y micrófonos omnidireccionales para medir el tiempo de reverberación de cada una de las salas emisoras (aula C108).

#### **4.4. Medición de niveles de ruido**

Con este procedimiento se determina el nivel de ruido al cual están expuestos tanto estudiantes como docentes debido a diferentes fuentes que se filtran en las aulas de clase, como el tráfico vehicular, las actividades en salones aledaños y el tránsito de personas por zonas de libre circulación o eventos deportivos y/o culturales. La medición del ruido de fondo se hace al interior de las aulas C108 y C220, y las contiguas a estas. En la norma ISO 16283 de 2016 se describe de qué forma se puede medir el ruido de fondo, el cual consiste en ubicar el sonómetro en la parte central del recinto y establecer los tiempos de promediado por cada posición de sonómetro empleada. Para esta investigación, en el aula C108 se usa un *delay* de 5 segundos, cuando la persona que mide oprime o genera algún tipo de perturbación en el momento de iniciar la medición, el instrumento tiene un retraso para este tipo de sucesos. Por cada posición de sonómetro son el búfer 500 ms y 1 segundo, periodos en tiempos de integración de 10 s con espectro de frecuencia por tercio de octava de 50 Hz a los 5000 Hz, es el tiempo usado para tomar la medida de los niveles de sonido sobre el espectro. En la figura 15. se puede apreciar la ubicación del sonómetro durante el proceso de medida del ruido de fondo. En el aula C220 se hace una medición teniendo en cuenta la existencia flujo vehicular de la calle 72 y tomando como referencia el cambio de semáforo.



*Figura 15. El sonómetro SVAN – 943 colocado con un trípode fijo en la zona central del recinto receptor, para evaluar el ruido de fondo.*

#### **4.5. Medición del aislamiento acústico**

La norma ISO 16283-1 (2016) se utilizó para determinar el aislamiento acústico entre recintos. Primero, se debe medir el volumen de las aulas C108 y C220, y luego las adyacentes a éstas. A partir de ello se determina cuál es el aula emisora, es decir, la que se caracteriza por tener mayor volumen, para este proyecto se determinaron la C219, C220 y C109. El aula receptora es la de un volumen inferior a la del recinto emisor, éstas son C220, C221 y C108. Para medir el aislamiento de las superficies divisorias es necesario el uso de instrumentos como la fuente omnidireccional, la cual emite una señal de ruido rosa; y un sonómetro, el cual captura niveles sonoros (SPL) de cada uno de los recintos.

Antes de hacer la evaluación, se debe calibrar el equipo con una ponderación temporal *slow*, con un tiempo de integración de 10 s y un retraso o *delay* de 5 s. Luego, se posicionan cada uno de los instrumentos utilizando el procedimiento por defecto, la norma especifica qué se debe



usar para recintos mayores a  $25 \text{ m}^3$ , donde la fuente debe colocarse en el aula emisora, mientras que los sonómetros se emplean en los dos recintos emisor y receptor. Por cada posición de fuente empleada en el recinto emisor se usan cinco de sonómetro en el recinto emisor, y para el receptor otras cinco posiciones, estas posiciones de sonómetro dependen de la posición de fuente empleada en el recinto emisor, para este estudio se emplearon dos posiciones de fuente en total 20 posiciones de sonómetros para los dos recintos, la distancia entre puntos de sonómetros (0.5 m) y de fuente (2 m), como entre fuente o sonómetros y superficies reflejantes (1 m). Cada punto debe repetirse tres veces para disminuir el error en la medición, esto se puede observar en la figura 16.

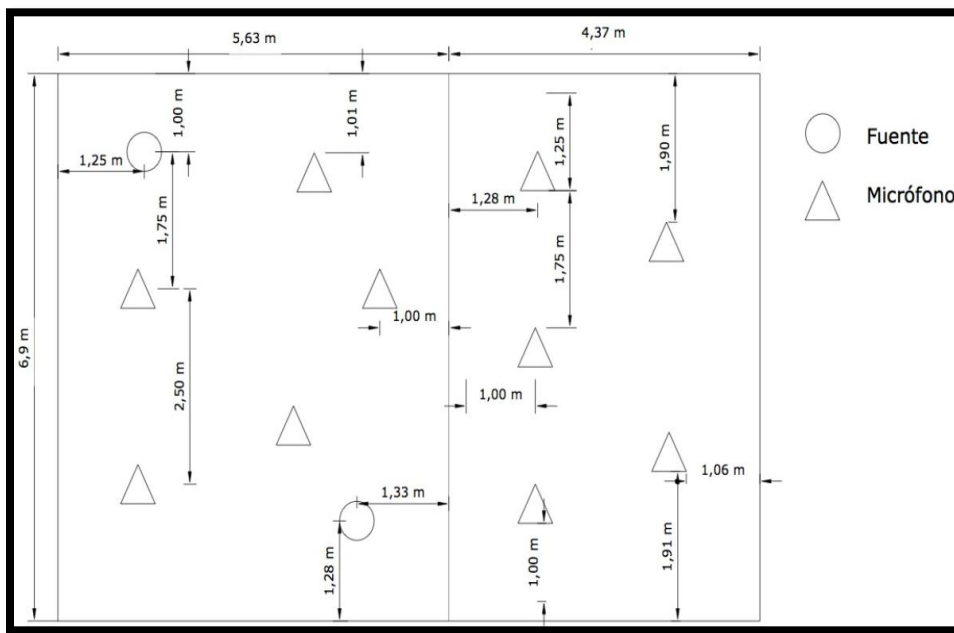


Figura 16. Grilla de ubicación de las posiciones de altavoz y micrófono Bruel, según la norma 16283-1.

(a) Salón C220, (b) salón C219.

Para medir el aislamiento de la superficie divisora entre el recinto receptor y la fachada se utiliza el método global de la norma ISO 16283-3, en el que se especifica el número de puntos a

medir; con el sonómetro en la sala C108 y la fachada, son cinco. La fuente omnidireccional debe estar ubicada a 5 m delante de la fachada. Para una sola posición de altavoz emite también señal de ruido rosa con la misma configuración, dicha en el apartado de mediciones de niveles de ruido, para un espectro de frecuencia en tercios de octava. Cada punto debe repetirse tres veces para disminuir el error en la medición. En la figura 17 se aprecia el esquema de cómo se coloca cada posición de sonómetro y fuente. En el aula C220 se mide el aislamiento acústico de la pared que divide el salón de la fachada, a partir de tres posiciones de micrófono colocadas en el pasillo, la distancia entre cada posición de sonómetro es de 1 metro y la de la fuente es de 5 metros. Los resultados medidos, luego se calculan y comparan con los valores de referencia de las normas ISO 717-1 y la ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1.



(a)



(b)

*Figura 17. Ubicación de la fuente omnidireccional y el sonómetro (1) en la fachada; y el sonómetro (2) colocado al interior de la sala C108.  
(a) Fachada del aula C108, (b) Aula C108. .*

La fuente debe estar a una distancia no menor a 1m por encima del suelo y los sonómetros de 1,7 metros a una distancia por encima del suelo.

#### **4.6. Inteligibilidad de la palabra**

Para las aulas C108 y C220, la medida de inteligibilidad de la palabra se mide a partir de una lista de 100 fonemas mostrados en el anexo A tabla A.2. Esta prueba consiste en la transmisión de sílabas sin sentido de forma oral, de manera que las personas entiendan cada una de éstas. El testeo se realiza a cada uno de los estudiantes y docentes que desarrollan sus actividades académicas al interior de las aulas que se están estudiando, durante una semana en el periodo académico 2017-2. Esta medida se realiza en los días de lunes a viernes en los horarios de clases de las dos aulas, propuestos por las distintas facultades. Al momento de evaluar la inteligibilidad, se tiene en cuenta el contexto que se esté dando en los espacios como manifestaciones, paros, bloqueos. Por esta razón la medida con deletéreo de sílabas sin sentido solo se efectuó en los días que el contexto no afectara. Luego, se debe determinar el grado de desaciertos de cada participante de acuerdo con su ubicación espacial en el salón en %ALCons (perdida porcentual de articulación de las consonantes).

La ubicación espacial por parte del recitador de los fonemas y oyentes se muestra en la figura 18.



*Figura 18. Ubicación espacial de la medida de Inteligibilidad de la palabra determinada para la evaluación*

Se tendrán en cuenta durante la medición de los fonemas la articulación de consonantes y vocales, los cuales tienen que ver con el sonido de la voz y las frecuencias que producen. Según la investigación realizada por Miñana (1969) del estudio de Sommerhoff, J. (2007) quien evalúa la inteligibilidad del habla en español en un recinto teniendo en cuenta los que las grafías *b* y *v* en contextos similares sugieren la distinción articulatoria entre fricativas alveolares y dentales, y entre bilabiales y labiodentales, respectivamente, (ejemplo: *ci vs. si; sap vs. zat; bar vs va, .*). Y los fonemas calificados y evaluados luego de la medición serán comparados con la tabla 3.

Tabla 3

*Clasificación de la calidad del sonido hecha por Miñana (Citado por Sommerhoff, 2007), la cual indica la clasificación del porcentaje de interpretación de los fonemas C-V-C.*

% Inteligibilidad	Clasificación de Calidad				
	Malo	Deficiente	Regular	Bueno	Excelente
Miñana	< 40%	40% a 69%	69% a 88%	88% a 95%	95% a 100%

También, se evalúa la inteligibilidad de la palabra de manera objetiva con los índices STI (índice de transmisión hablada), RASTI (índice rápido de la transmisión hablada) y %ALCons, a partir de los cuales se toma el promedio de los puntos de medición del tiempo de reverberación usando el software Easera, la medida depende de la distancia entre la fuente omnidireccional y los micrófonos que reciben la señal emitida, el volumen de cada aula, la directividad de la fuente, donde es igual a uno para una fuente omnidireccional, toma para frecuencias moduladas y el tiempo de reverberación medido, esto lo menciona (Gonzales, 1993). Los resultados de los datos obtenidos se comparan con los referenciados en el libro Diseño acústico de espacios arquitectónicos de Carrion (2007) de la tabla 4.

Tabla 4.

*Relación entre %ALCons, STI / RASTI y la valoración subjetiva del grado de inteligibilidad tomado de (Carrión, 2007).*

Valoración Subjetiva	% Alcons	STI&RASTI
Excelente	%1.4- 0%	0.88-1
Buena	4.8%-1.6%	0.66-0.86
Aceptable	11.4%-5.3%	0.50-0.64
Pobre	24.2%/12%	0.36-0.49
Mala	46.5%-27%	0.24-0.34

## **4.7. Encuestas Medición Subjetiva**

Para el diagnóstico perceptivo es necesaria la recopilación de datos aplicando encuestas dirigidas a estudiantes y docentes de la facultad de ciencia y tecnología, también a la facultad de educación de la UPN, utilizando el método de estadística descriptiva, el medio de captura fue presencial mediante el uso de lápiz y papel, estas se aplican con el fin de obtener una calificación de la sala. Para la valoración de la encuesta se toman algunas preguntas del estudio de Ottobre (2005), donde se evalúa las respuestas conforme a una escala enumerada que podría inducir al encuestado a obrar con un criterio limitado por su experiencia previa, lo cual produciría una respuesta en el trazado de líneas de regresión que vinculen parámetros objetivos. Se tiene una línea continua en donde a la encuestada marca el lugar de su preferencia, situándola cerca de un extremo bueno o de otro malo. Luego, las líneas son asimiladas a una escala graduada. En este caso las líneas tienen una longitud de 10 cm de largo, lo que permitirá convertir las marcas de los encuestados en una escala de diez o cien puntos, según se prefiera.

La otra parte de la encuesta se aplica tomando como punto de referencia la investigación realizada por Sayed (2012) sobre las condiciones arquitectónicas del aula. El formato de las encuestas aplicadas a la población evaluada se encuentra en el anexo A enunciado A.1, cuyas preguntas son de elección única tipo dicotómicas que responden a (Si o no) y politómicas que responden a una categoría y el encuestado elija la más apropiada y de escala numérica. Los resultados se digitalizaron y cuantificaron en el programa IBM SPSS STATISTICA versión 23, de éste se toma la parte del análisis de estadística descriptiva, donde se evalúa la cantidad de personas que estimaron un índice por cada pregunta planteada.

Por último, se procede a plantear el conjunto de recomendaciones de adecuación acústica en el cual se simulen las condiciones ideales de cada una de las aulas empleando el programa RAMSETE de la versión 3.0 licenciado de la empresa SFSerrano S.A.S, en el anexo E se puede apreciar el permiso por la empresa, con base en lo que se midió, procesó, gráfico, analizó y propuso como recomendaciones. También, se analizan los resultados estadísticos de las encuestas, con el fin de tener un soporte de confort acústico, el cual es un factor que afecta a docentes y estudiantes. Finalmente, se analiza la opinión de la población encuestada, se les pregunta si tienen conocimientos de los efectos en el organismo y las normas que regulan los niveles sonoros.

## Capítulo V - Resultados

La intención de este capítulo es presentar resultados a dos niveles, objetivos y subjetivos. En primer término, los resultados objetivos tienen que ver con las condiciones acústicas a caracterizar (tiempos de reverberación, aislamiento acústico, ruido de fondo e inteligibilidad de la palabra). En segundo lugar, los resultados subjetivos son los datos obtenidos de la estadística descriptiva aplicada los anteriores.

### 5.1. Resultados Objetivos

Es importante mostrar los datos medidos y calculados, por tanto, conforme a lo que indican las normas como la ISO 3382-2 y la ISO 16283 parte 1 y 3, se muestran tablas con los datos expresados sobre las condiciones acústicas. Éstas son de soporte para determinar y calcular el tiempo de reverberación y el aislamiento acústico aéreo entre recintos y la fachada. También, se muestra la condición de inteligibilidad de la palabra medido de los índices RASTI, STI y %ALCons.

#### 5.1.1. Tiempo de reverberación de acuerdo con la norma ISO 3382 – 2

A continuación, en la tabla 5 se pueden apreciar los resultados de RT  $T_{20}$  de las bandas de frecuencia de tercio de octava de los salones C108, C220 y C221. También, se puede observar tiempo de reverberación para frecuencias superiores a los 3150 Hz. Se presentan los valores de frecuencia y los EDT,  $T_{10}$ ,  $T_{20}$  y  $T_{30}$ . Por preferencia se trabaja el tiempo de reverberación  $T_{20}$ , debido a que se encuentra más relacionada con la valoración subjetiva de esta magnitud, y



también se desea estimar el nivel estacionario de un recinto a partir de RT, cuando se utiliza la primera parte del decrecimiento; además, se debe establecer la relación señal-ruido, de al menos 35 dB

*Tabla 5.*  
*Tiempos de reverberación T20 encontrados para las aulas C108, C220 y C221.*

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>T<sub>20</sub> (s)</b>	<b>T<sub>20</sub> (s)</b>	<b>T<sub>20</sub> (s)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>T<sub>20</sub> (s)</b>	<b>T<sub>20</sub> (s)</b>	<b>T<sub>20</sub> (s)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>T<sub>20</sub> (s)</b>	<b>T<sub>20</sub> (s)</b>	<b>T<sub>20</sub> (s)</b>
	<b>C108</b>	<b>C220</b>	<b>C221</b>		<b>C108</b>	<b>C220</b>	<b>C220</b>		<b>C108</b>	<b>C220</b>	<b>C221</b>
<b>100</b>	2,97	1,24	0,71	<b>630</b>	2,62	1,14	1,03	<b>4000</b>	1,72	1,06	1,02
<b>125</b>	2,96	1,32	1,07	<b>800</b>	2,76	1,20	1,06	<b>5000</b>	1,49	1,00	0,92
<b>160</b>	2,95	1,47	1,27	<b>1000</b>	2,56	1,13	1,04	<b>6300</b>	1,28	0,88	0,82
<b>200</b>	2,94	1,15	1,00	<b>1250</b>	2,52	1,18	1,04	<b>8000</b>	0,99	0,75	0,70
<b>250</b>	3,01	1,17	0,98	<b>1600</b>	2,43	1,17	1,03	<b>10000</b>	0,79	0,42	0,29
<b>315</b>	3,07	1,22	1,14	<b>2000</b>	2,32	1,14	1,03				
<b>400</b>	2,63	1,13	1,17	<b>2500</b>	2,17	1,16	1,02				
<b>500</b>	2,96	1,15	1,03	<b>3150</b>	1,78	1,07	1,01				

### 5.1.2. Medición del aislamiento acústico aéreo de acuerdo con la Norma ISO 16283-1

Aquí se da cuenta de los datos medidos correspondientes al ruido de fondo presente de las aulas diagnosticadas la C109 y C108. Esto se puede observar en la tabla 6.

*Tabla 6*  
*Ruido de fondo de los recintos emisor y receptor*

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>C108</b>	<b>C109</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>C108</b>	<b>C109</b>
<b>100</b>	46,5	46,4	<b>630</b>	39,7	43,1
<b>125</b>	54,1	50,4	<b>800</b>	37	41
<b>160</b>	50,1	44,6	<b>1000</b>	33,6	36,8
<b>200</b>	48,3	46,6	<b>1250</b>	32,6	34,7
<b>250</b>	47,2	47,3	<b>1600</b>	33,2	35,6
<b>315</b>	44	43,8	<b>2000</b>	33,7	34,6
<b>400</b>	41,8	46,6	<b>2500</b>	31,2	32,3
<b>500</b>	43,8	46,1	<b>3150</b>	29,2	28

En las tablas B1 y B2 del anexo B se presentan los valores de niveles de presión sonora medidos en cada una de las posiciones de sonómetro especificadas previamente en el capítulo de metodología. Debe tenerse en cuenta que las posiciones de sonómetro  $E_n$  y  $R_n$  que corresponden a cada punto medido en los recintos emisor y receptor respectivamente donde se realizaron mediciones simultáneas.

Posteriormente, se calcula la relación entre la señal y el ruido de fondo para cada una de las salas, con la finalidad de verificar si se debe aplicar la corrección que establece la norma ISO 16283 – 1. Cabe recordar que, si la diferencia es mayor que 10 dB no se hace corrección, para valores entre 6 y 10 dB se aplica la corrección indicada en la ecuación 10 del capítulo marco legal y para diferencias menores que 6 dB debe repetirse la medición. Para el aula C108, en la frecuencia de 125 Hz, en las posiciones R3 y R5 de sonómetro y la primera posición de fuente, mostradas en la tabla B2 del anexo B, se encuentran valores superiores a 6 dB e inferiores a 10 dB, éstos son de 8,3 dB y 7,9 dB respectivamente, a los cuales se les hace la corrección necesaria. Para el caso del aula C109, emisor, no es necesario aplicar la corrección ya que existen valores superiores a los 10 dB.

Después de obtener los valores de la respectiva corrección, se determinan los niveles de presión acústica promediados para las cinco posiciones de sonómetro por medio de la ecuación 11 mencionada en el capítulo del marco legal. A continuación, se aprecian en la tabla 7 los valores de los niveles de presión sonora promediados por cada recinto emisor y receptor, con los valores de la diferencia de niveles de los valores promediados de presión acústica entre el recinto emisor ( $P_1$ ) y el receptor ( $P_2$ ), calculados conforme a la ecuación 12 del capítulo marco legal.

*Tabla 7*  
*Promediado de los niveles de presión acústica de las cinco primeras posiciones de sonómetro, de los recintos emisor y receptor; y diferencia de niveles entre las aulas C109 y C108 por cada posición de fuente.*

Frecuencia (Hz)	Emisor		Receptor		D		Frecuencia (Hz)	Emisor		Receptor		D	
	P1	P2	P1	P2	D1	D2		P1	P2	P1	P2	D1	D2
<b>100</b>	86,2	87,0	65,6	63,5	20,6	23,5	<b>630</b>	88,1	88,2	57,4	58,2	30,8	30,0
<b>125</b>	85,5	89,9	62,5	65,7	23,1	24,2	<b>800</b>	87,1	87,7	54,5	56,0	32,6	31,7
<b>160</b>	88,1	90,4	63,6	65,1	24,5	25,3	<b>1000</b>	88,8	88,2	54,1	55,1	34,6	33,1
<b>200</b>	88,0	90,9	61,0	62,8	27,0	28,1	<b>1250</b>	90,3	90,1	55,4	56,3	34,9	33,8
<b>250</b>	89,4	90,3	61,8	62,6	27,5	27,7	<b>1600</b>	91,2	91,0	56,3	56,9	34,8	34,2
<b>315</b>	88,7	88,3	61,6	61,9	27,2	26,3	<b>2000</b>	89,2	89,4	54,0	55,0	35,2	34,4
<b>400</b>	88,3	88,4	59,7	60,5	28,6	27,8	<b>2500</b>	86,6	86,6	50,7	52,4	35,8	34,2
<b>500</b>	87,8	88,8	58,6	60,3	29,2	28,5	<b>3150</b>	86,5	86,6	47,8	49,3	38,6	37,4

Una vez calculada la diferencia de niveles sonoros promediados DnT obtenidos de la ecuación 15, se hace un ajuste a dicha corrección debida al tiempo de reverberación y el índice de reducción sonora aparente por cada posición de fuente se aprecian ver tabla B7 del anexo B. Para ello, se usa la ecuación 14 y los valores de T20 de la tabla 5. En la tabla 8 se pueden observar los valores de diferencia de niveles estandarizada promediados. Además, con el tiempo de reverberación también se puede calcular el área de absorción equivalente empleando la ecuación 13, que es el promedio ponderado de acuerdo con la superficie de la absorción acústica de la sala. Usando la ecuación 14 se calcula el índice de reducción acústica aparente R' promediado. Por último, se calculan los niveles de presión sonora promediados logarítmicamente de cada una de las posiciones fuente empleada, conforme a las ecuaciones 16 y 17, (ver tabla 8).

*Tabla 8*  
*Diferencia de niveles estandarizada los índices de reducción sonora aparente promediados de todos los recintos evaluados.*

Frecuencia (Hz)	C108-C109		C219-C220		C220-C221		Frecuencia (Hz)	C108-C109		C219-C220		C220-C221	
	R'	DnT	R'	DnT	R'	DnT		R'	DnT	R'	DnT	R'	DnT
	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)		(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
<b>100</b>	29,6	29,5	22,8	11,8	34,9	21,6	<b>630</b>	38,7	37,6	24,8	13,4	32,7	20,9
<b>125</b>	31,4	31,3	20,2	9,5	37,9	26,3	<b>800</b>	40,2	39,5	25,4	14,3	32,3	20,6
<b>160</b>	32,7	32,6	20,8	10,6	36,5	25,6	<b>1000</b>	42,2	40,9	25,6	14,2	32,9	21,1
<b>200</b>	35,3	35,2	23,7	12,4	34,5	22,6	<b>1250</b>	42,8	41,3	26,2	15,0	34,5	22,7
<b>250</b>	35,3	35,4	24,3	13,0	35,2	23,2	<b>1600</b>	43,1	41,4	26,5	15,3	35,4	23,6
<b>315</b>	34,4	34,6	23,5	12,5	35,9	24,5	<b>2000</b>	43,6	41,4	27,6	16,2	35,7	23,9
<b>400</b>	36,5	35,4	25,1	13,8	35,4	24,2	<b>2500</b>	44,1	41,3	28,5	17,2	36,9	25,1
<b>500</b>	36,6	36,6	24,7	13,4	35,3	23,5	<b>3150</b>	47,9	43,5	29,5	17,9	38,8	27,0

La diferencia de niveles estandarizada y el índice de reducción acústica aparente promediados logarítmicamente de las dos posiciones de fuente empleadas que se observaron en la tabla 8, son importantes para poder normalizar y comparar los datos calculados, los cuales se cuantificarán con los datos referenciados de la norma ISO 717-1, de manera que al final se indique si existe una desviación desfavorable de la curva de referencia con respecto a la calculada.

### 5.1.2.1. Aula C220

A continuación, se mostrarán los resultados de la medición de aislamiento acústico de las salas que están adyacentes al recinto C220, como indica la norma ISO16283 se deben medir los espacios contiguos al salón afectado. Donde la C219 es la emisora con respecto al C220 y la C220 es la emisora con respecto a la C221.

Teniendo en cuenta el procedimiento que se usó anteriormente, para calcular datos que son referentes al aislamiento acústico del aula C108, se hace lo mismo para el revestimiento C220 y los salones colindantes a este. En la tabla 9 se puede apreciar el ruido de fondo medido para cada uno de los salones a evaluar sobre el espectro de frecuencias de los 100 Hz a 3150 Hz.

*Tabla 9  
Ruido de fondo medido de las aulas C219, C220 y C221.*

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>C219</b>	<b>C220</b>	<b>C221</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>C219</b>	<b>C220</b>	<b>C221</b>
<b>100</b>	57,8	49,3	55,3	<b>630</b>	51,8	43,2	44,1
<b>125</b>	55,9	46,8	52,3	<b>800</b>	46,7	41,3	42,2
<b>160</b>	54,4	50,5	50,1	<b>1000</b>	45,1	39,5	42,4
<b>200</b>	51,2	48,0	46,5	<b>1250</b>	45,1	38,7	41,1
<b>250</b>	51,8	47,9	46,8	<b>1600</b>	46,0	42,8	40,8
<b>315</b>	55,1	50,3	45,5	<b>2000</b>	45,4	38,4	40,4
<b>400</b>	52,0	48,9	42,3	<b>2500</b>	43,6	38,6	40,2
<b>500</b>	53,3	46,1	42,9	<b>3150</b>	42,1	38,1	40,7

Los niveles de presión sonora por las cinco posiciones de sonómetro que se usaron para las aulas C219, C220 y C221 se pueden apreciar en el anexo B tabla B3, B4, B5 y B6; en este anexo también se ilustran los niveles de presión sonora promediados logarítmicamente de las

cinco posiciones del sonómetro en los salones C219-C220 y C220-C221. Y también, se aprecia la diferencia de niveles de presión sonora promediados entre el aula C219 y C220 - C220 y C221 (ver tabla B9 y B10 del anexo B). El índice de reducción sonora aparente y diferencia de niveles estandarizada promediados logarítmicamente por cada posición de fuente calculados, se pueden observar en la tabla 8.

### **5.1.3. Aislamiento acústico de la fachada según la norma ISO 16283-3**

Para encontrar los datos calculados pertinentes a la fachada se ilustran en el anexo B en las tablas B11, B12, B13, B14 y B15; allí se pueden apreciar los niveles de presión sonora medidos de las cinco posiciones de sonómetro colocadas en las aulas C108 para otras cinco posiciones en la fachada, y se emplea una posición de altavoz sobre la fachada del aula C108. Para este caso no se usa la corrección de ruido de fondo. Para poder cuantificar y encontrar las variables que indica la norma a partir de cada uno de los datos medidos se hace uso de las ecuaciones 18,19,20,21 y 22 del capítulo de marco legal.

### **5.1.4. Inteligibilidad de la palabra**

A continuación, se muestran los resultados medidos objetivamente de los índices de (“Articulation Loss of Consonants”) %ALCons, (“Speech Transmission Index”) STI y (“Rapid Speech Transmission Index”) RASTI. Éstos fueron medidos y calculados para las aulas C108 y C220, ver tabla 10.

*Tabla 10*  
*Datos medidos de la inteligibilidad de la palabra.*

<b>Medición</b>	<b>Aula C108</b>	<b>Aula C220</b>
<b>STI</b>	0,5	0,6
<b>AICons [%]</b>	14,7	7,5
<b>STI (Male)</b>	0,4	0,6
<b>STI(Female)</b>	0,5	0,6
<b>RaSTI</b>	0,4	0,6

## **5.2. Resultados Subjetivos**

Para los resultados subjetivos se toman en cuenta las opiniones de estudiantes y docentes que presenciaron sus clases en las aulas C108 y C220 durante una semana. Las encuestas se dividen en dos partes; en la primera se analizan las condiciones del aula, el aislamiento acústico, la arquitectura y también se evalúan preguntas de manera numérica sobre el tiempo de reverberación, espacialidad, volumen, claridad, etc.; en la segunda parte se realizan preguntas de selección múltiple, en las cuales se evalúan conocimientos sobre normas de acústica, los efectos en el organismo sobre la exposición del ruido, concienciación sobre la exposición a altos niveles sonoros y se realiza una audiometría. Los resultados se muestran en el subcapítulo de análisis de resultados subjetivos.

### **5.2.1. Inteligibilidad de la palabra**

Se hace una medición de los resultados de la inteligibilidad de la palabra de manera subjetiva. A continuación, se pueden apreciar los resultados de la lista de 100 monosílabos sin sentido aplicados durante algunos días de la semana, se clasifican a partir de la tabla 11, en la cual se

promedia el índice de articulación de fonemas evaluado en las aulas propuestas para el presente proyecto.

*Tabla 11.  
Fonemas empleados con su respectiva cantidad.*

<b>Fonemas</b>	<b>Cantidad</b>
C-V-C (consonante-vocal-consonante)	44
C-V (consonante- vocal)	18
C-V-SV (consonante- vocal- s. vocal)	25
V-C (vocal- consonante)	5
VS-V-C (s. vocal- vocal-consonante)	1
V-SV (vocal-s. vocal)	2
C-SV (consonante- s. vocal)	4

Posteriormente, resulta pertinente observar los resultados expresados de la transmisión del mensaje hablado, de los cuales se mide el promedio de la pérdida de articulación. De acuerdo con lo que indica Carrión (2007), se puede medir el índice de pérdida de articulación del tipo de fonema CVC. Por otro lado, Miñana (Citado por Sommerhoff, 2007) éste describe la lista general de fonemas evaluados y empleados, escritos en la tabla 3, también se hace mención en calcular un promedio y desviación, los cuales fueron evaluados en el presente proyecto de las aulas C108 y C220 (observar resultados en las tablas 12 y 13).

*Tabla 12  
Fonemas del aula C108 obtenidos.*

<b>Díaz</b>	<b>Cantidad de personas</b>		<b>Monosílabos</b>							
			<b>C-V-C</b>	<b>C-V</b>	<b>C-V-SV</b>	<b>V-C</b>	<b>V-SV-C</b>	<b>V-SV</b>	<b>C-SV</b>	
Lunes	21	Promedio	49,2	22,5	37,9	28,7	30,4	17,4	31,5	
Martes	45	Promedio	36,5	40,5	26,7	20,8	26,0	17,5	19,2	
Viernes	12	Promedio	36,7	40,7	26,7	36,7	50,0	16,7	33,3	

*Tabla 13*  
*Fonemas del aula C220 obtenidos.*

<b>Día</b>	<b>Cantidad de personas</b>		<b>Monosílabos</b>						
			<b>C-V-C</b>	<b>C-V</b>	<b>C-V-SV</b>	<b>V-C</b>	<b>V-SV-C</b>	<b>V-SV</b>	<b>C-SV</b>
Lunes	44	Promedio	41	22	36	24	55	12	29
Martes	18	Promedio	55,7	38,0	43,8	40,0	66,7	38,9	30,6
Jueves	17	Promedio	50,1	37,8	46,3	46,7	81,9	31,9	50,2
Viernes	57	Promedio	51,2	38,2	49,0	43,5	65,3	33,4	42,9



## **Capítulo VI - Análisis De Resultados**

En este capítulo se analizan los resultados de las mediciones hechas en los recintos C108 y C220, y de los espacios adyacentes, de acuerdo con las siguientes características: tiempo de reverberación, aislamiento acústico e inteligibilidad de la palabra. Se profundiza en el aspecto subjetivo, es decir, la percepción de las personas que ocuparon estos espacios en el tiempo en que se evaluaron las condiciones acústicas, pertinencia con la norma que rige la calidad acústica de estos espacios y los efectos que trae consigo el impacto del ruido en las actividades académicas.

### **6.1. Tiempo de reverberación**

Los resultados obtenidos del cálculo del tiempo de reverberación EDT, T10, T20, T30 en cada una de las aulas diagnosticadas de acuerdo con la norma ISO 3382-2 se graficaron con el programa MATLAB 2017b como puede apreciarse en las figuras 19 y 20, y se comparan los resultados calculados con valores de tiempo de reverberación establecidos por la norma ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1, destinada para revestimientos escolares.

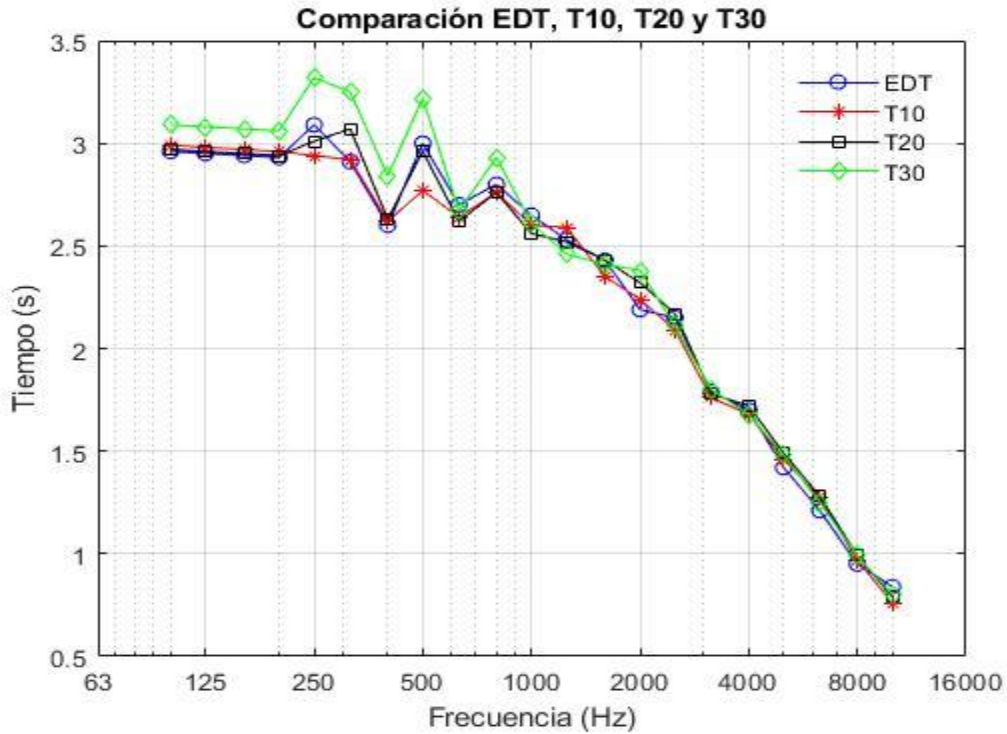


Figura 19. Tiempo de reverberación calculado del aula C108

En la figura 19 se puede observar que para frecuencias inferiores a los 200 Hz el tiempo de reverberación es constante, tomando un valor igual a 3 segundos; sin embargo, para frecuencias entre los 250 Hz y los 1000 Hz el tiempo es más alto por la geometría del salón, las graderías del coliseo y los materiales propios del aula. De los dos salones, el aula C108 es el más inadecuado acorde a los requerimientos de la norma, por ello se presume que los profesores se verán dificultados para hacer entender su mensaje, en razón a que la onda sonora se disipa más despacio y el ruido se intensificará.

Después de la frecuencia de los 1000 Hz empieza a decaer el tiempo de reverberación, llegando a la frecuencia de los 10000 Hz con un valor de 0,8 s en razón a la poca energía y a su longitud de onda de este fenómeno oscilatorio. Para frecuencias menores a los 1000 Hz toma valores de los 3

a los 2 segundos, lo cual es mayor según el valor de referencia en frecuencias centrales de 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz, que debe ser de 0,6 s según la norma ANSI/ASA S12.60-2010/Parte 1, destinadas para aulas de clase, esta se compara con la magnitud global en estas frecuencias que es igual a 2,61 s para sala C108, la cual es superior a la recomendada, las ondas sonoras que se propagan en la sala inciden en los elementos constructivos que limitan la sala generan múltiples reflexiones.

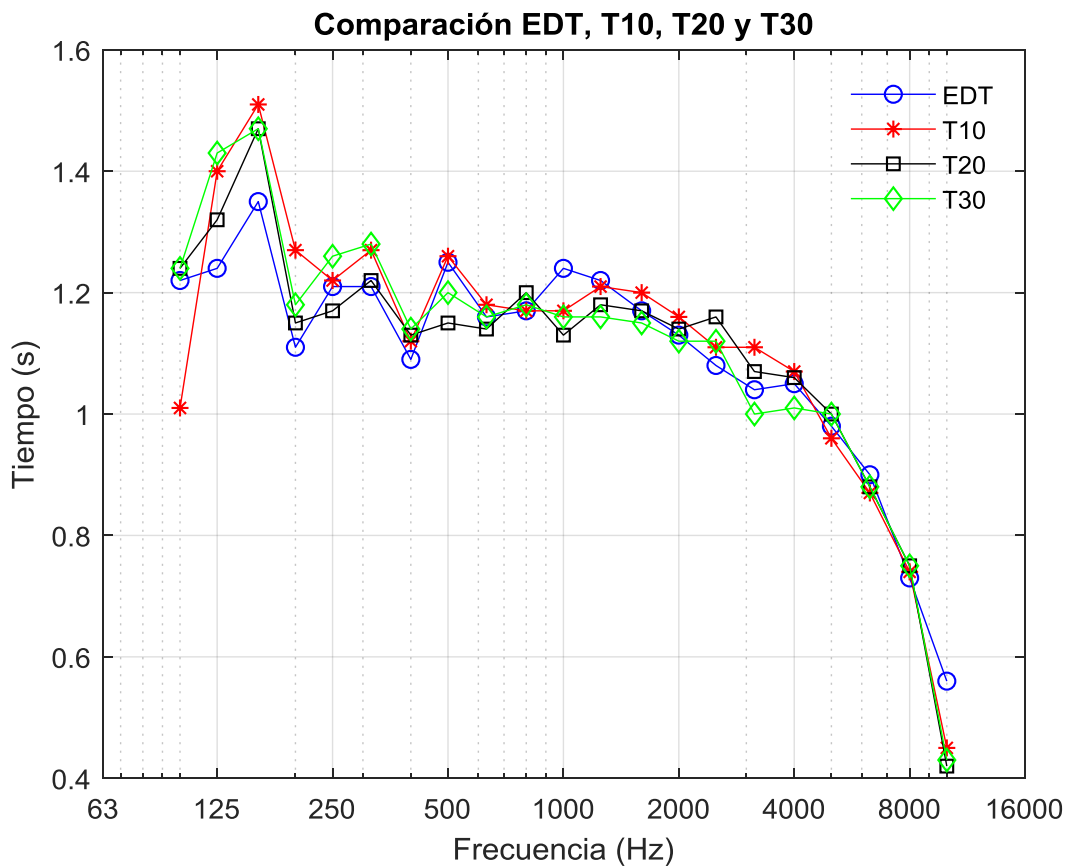


Figura 20. Tiempo de reverberación calculado del aula C220.

Se puede observar en la figura 20 que, para bajas frecuencias, menores que 250 Hz, este tiempo es fluctuante encontrando un máximo en la frecuencia de 160 Hz. Sin embargo, en las bandas de frecuencias entre 250 y 2000 Hz, la variación es pequeña obteniendo un tiempo cercano

a los 1,2 segundos. Después de los 2000 Hz este tiempo decae rápidamente y por tanto la disipación de energía se realiza fácilmente a través del aire o de reflexiones y que esta se refracta al pasar por el tabique de madera, y para frecuencias superiores a 8000 Hz, este tiempo es menor que 0,8 s. Este comportamiento en alta frecuencia es el esperado, ya que la longitud de onda asociado con estas frecuencias es pequeña. Lo contrario ocurre a bajas frecuencias, en las que el aire es pobre elemento de absorción y la longitud de onda permite que la energía se transporte a través de mayores distancias. El C220 posee un tabique de madera y yeso cartón que absorbe la energía de las ondas sonoras pero allí incide un mayor ruido proveniente de factores externos y se filtran una cantidad de fuentes de ruido.

De acuerdo con la norma ANSI/ASA S12.60-2010/Parte 1 la cual indica el criterio del tiempo de reverberación es de 0,6 segundos para las frecuencias centrales de 500, 1000 y 2000 Hz destinadas para aulas de clase, se realiza una comparación con la sala C108, y se evidencia que la magnitud global en estas frecuencias igual a 1,14 segundos.

## **6.2. Aislamiento acústico**

En este apartado se muestran las gráficas de los datos calculados y descritos en los resultados del presente documento, en el apartado de aislamiento acústico de acuerdo con la norma ISO 16283-1 y 3. Los valores que se calcularon corresponden a la diferencia de niveles DnT con respecto a las frecuencias en tercios de octava de los 100 Hz a los 3150 Hz, obtenidas entre las aulas C108-C109, C219-C220 y C220-C221; éstas se valoran con respecto a la curva de referencia descrita en la norma ISO 717-1: *Evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo* y elaboradas con el programa MATLAB 2017b, como se puede apreciar en las figuras comprendidas desde la 21

hasta la 26. Adicionalmente, las mismas frecuencias se analizan en relación con la clase de transmisión sonora estandarizada para recintos educativos, la STC50, descrita en la norma ANSI/ASA S12.60-2010/Parte 1, *Criterios de rendimiento acústico estándar nacional estadounidense, requisitos de diseño y directrices para las escuelas, parte 1: escuelas permanentes.*

### Aula (C108-C109)

A continuación, se valora la diferencia de niveles estandarizada obtenida de la norma ISO 16283-1, con los valores de referencia que se describen en la norma ISO 717-1. Estos se pueden apreciar en la figura 21.

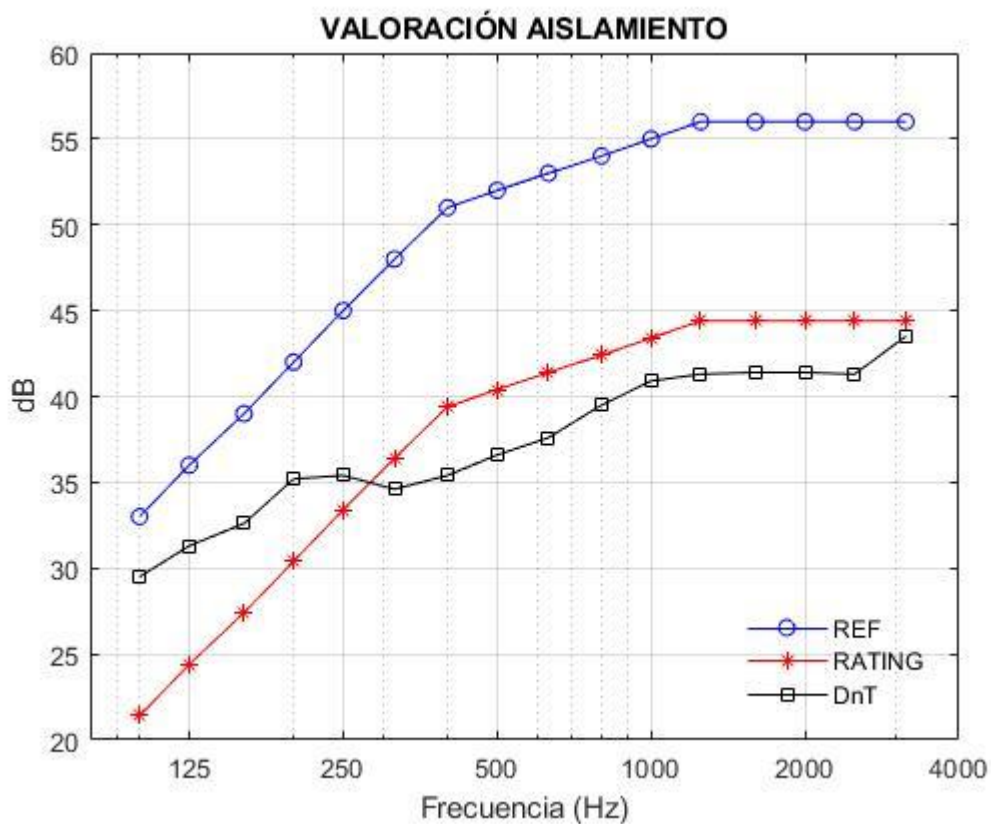


Figura 21. Valoración del aislamiento acústico de la pared que divide las aulas C109 y C108

Se puede apreciar en la figura 21, que a pesar de que el aislamiento sonoro es bueno en razón al grosor y propiedades del material de construcción de la pared divisoria, que es de cemento y ladrillo, el promedio es significativo relativamente cercano a la curva de referencia de la norma. Se observa que para bajas frecuencias menores a los 200 Hz la diferencia de niveles estandarizada es superior a los valores de referencia desplazados, sin embargo, en las frecuencias entre los 315 Hz y los 800 Hz la diferencia de niveles empieza a incrementar y a estar más cercanos a los valores de referencia desplazados; en el caso de las frecuencias altas el DnT va aumentando a medida que aumenta la frecuencia, este espesor es significativo para retener la energía sonora, este valor empieza a volverse más cercano a los valores de la curva de clasificación

Por otro lado, se debe describir la expresión de los resultados según lo que indica la norma ISO717-1, debe ser en términos de adaptación espectral, en continuación, de la magnitud global, normalizada con un valor de 52 dB, de la curva de referencia a 500 Hz. De los datos calculados del DnT y los datos de referencia que indica la norma, se debe hacer el desplazamiento de 11,6 dB, este valor se puede apreciar en la figura 21, de la diferencia entre la curva del DnT y la curva RATING. Obteniendo el resultado de la suma de desviaciones favorables igual a 31,9 dB, dependen del valor de desplazamiento. El término de adaptación espectral se expresa en la ecuación 27, es lo obtenido de la evaluación del aislamiento acústico de la pared que divide la sala C108 de la C109. Esto indica que es bueno el aislamiento.

$$DnT = 40.4(0,2; -2,3) \quad (27)$$

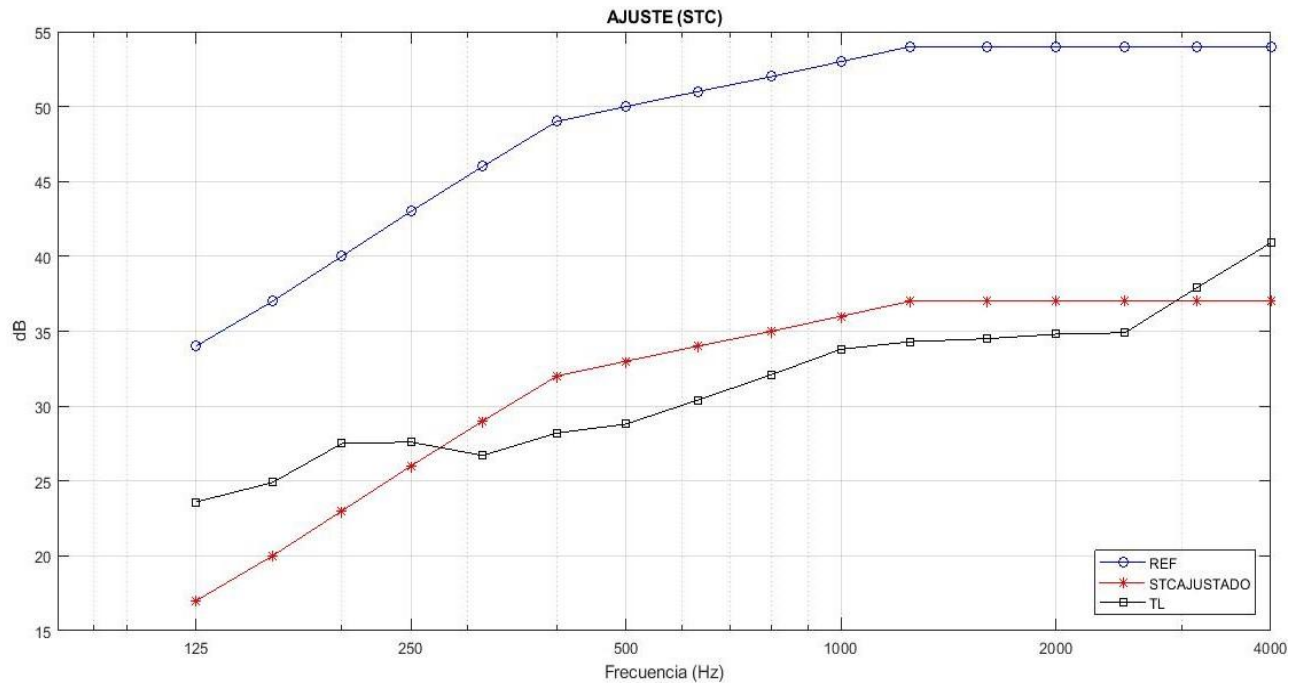


Figura 22. Curva del STC ajustada con respecto a la pérdida por transmisión de energía de la pared de ladrillo revestido entre las aulas C108-C109 y el STC50 perfilado.

En la figura 22, se puede apreciar que existe una pérdida de energía por los elementos propios de la construcción del salón, a pesar de que el aislamiento sonoro es bueno en razón al material cemento y ladrillo, el promedio es significativo relativamente cercano a la curva de referencia de la norma. Cuando se compara el STC50 de referencia propuesto por la norma ANSI&ASA con la pérdida por transmisión (TL), esto quiere decir que el sonido atravesó la pared que comparten y dividen las aulas C108 y C109 existió una considerable pérdida de energía (impulso sonoro, volumen) por lo tanto aísla de manera adecuada el sonido .

## Aula (C219-C220)

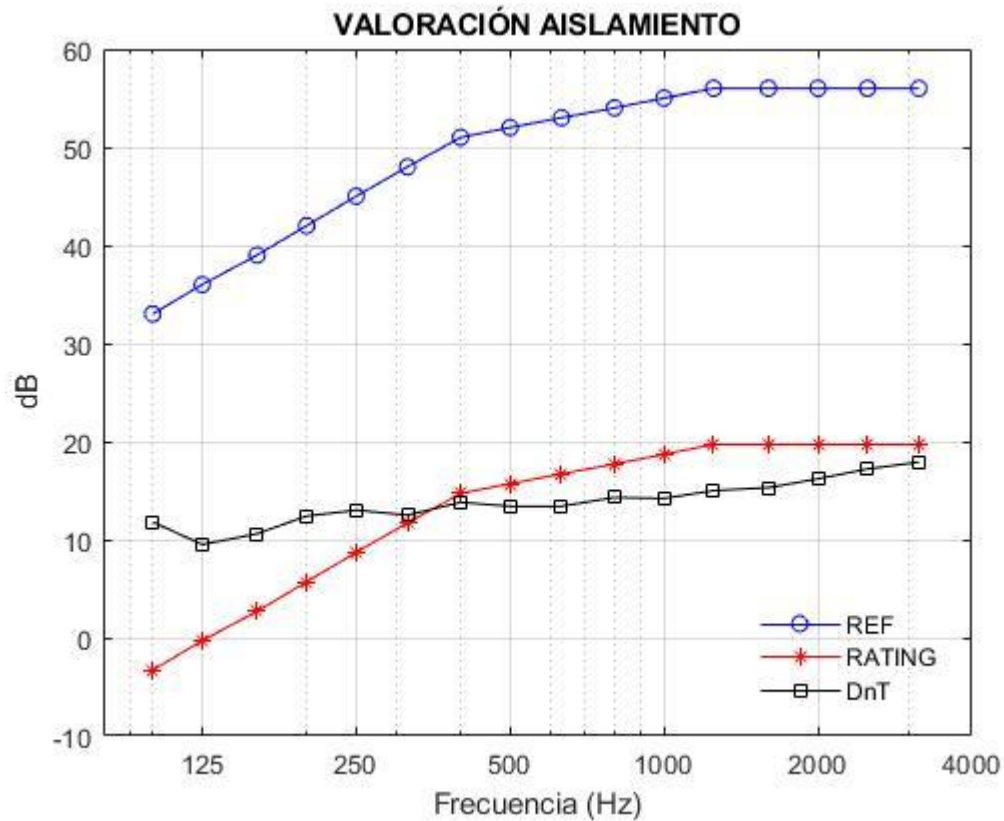


Figura 23. Valoración del aislamiento acústico de la pared de madera que divide las aulas C219 y C220.

Se puede apreciar en la figura 23, el análisis del espectro sonoro calculado en los términos de adaptación espectral de la pared que separa las aulas C219 y C220, caracteriza por ser un material de madera y ventanas de acrílico, con un espesor de 5 mm y filtraciones entre espacios. Se estudia esta aula y se percibe que el aislamiento acústico es débil, la cual es un amortiguador leve, donde pasan los sonidos producidos en el aula C219 al salón C220, los cuales interfieren con las dinámicas educativas que se ejecuten en el salón C220.

Por otro lado, se debe describir la expresión de los resultados según lo que indica la norma ISO717-1 debe ser en términos de adaptación espectral, en continuación, de la magnitud global,



normalizada con un valor de 52 dB, de la curva de referencia a 500 Hz. De los datos calculados del  $D_{nT}$  y los datos de referencia que indica la norma, se debe hacer el desplazamiento de 36,3 dB, este valor se puede apreciar en la figura 23, entre la diferencia la curva del  $D_{nT}$  y la curva RATING. Obteniendo el resultado de la suma de desviaciones favorables igual a 31,3, dependen del valor de desplazamiento. El término de adaptación espectral se expresa en la ecuación 28, es lo obtenido de la evaluación del aislamiento acústico de la pared que divide la sala C219 de la C220. Lo cual indica que es pobre.

$$D_{nT} = 15,7 \ 0,3; -1,5 \quad (28)$$



● Espacios de aire entre la pared que divide el aula C291 y C220, y la pared de fachada ubicada el extremo de la calle 72.

*Figura 24. Separación entre el aula C220 y C219. Indica el espacio entre el panel divisorio entre el aula del aula C220 y las ventanas que se ubicación cerca de la fachada del edificio C. Fuente Arteaga (2017).*

Esta imagen es muy explícita sobre las condiciones anteriormente planteadas donde se observa las graves falencias estructurales y la comunicación entre aulas.

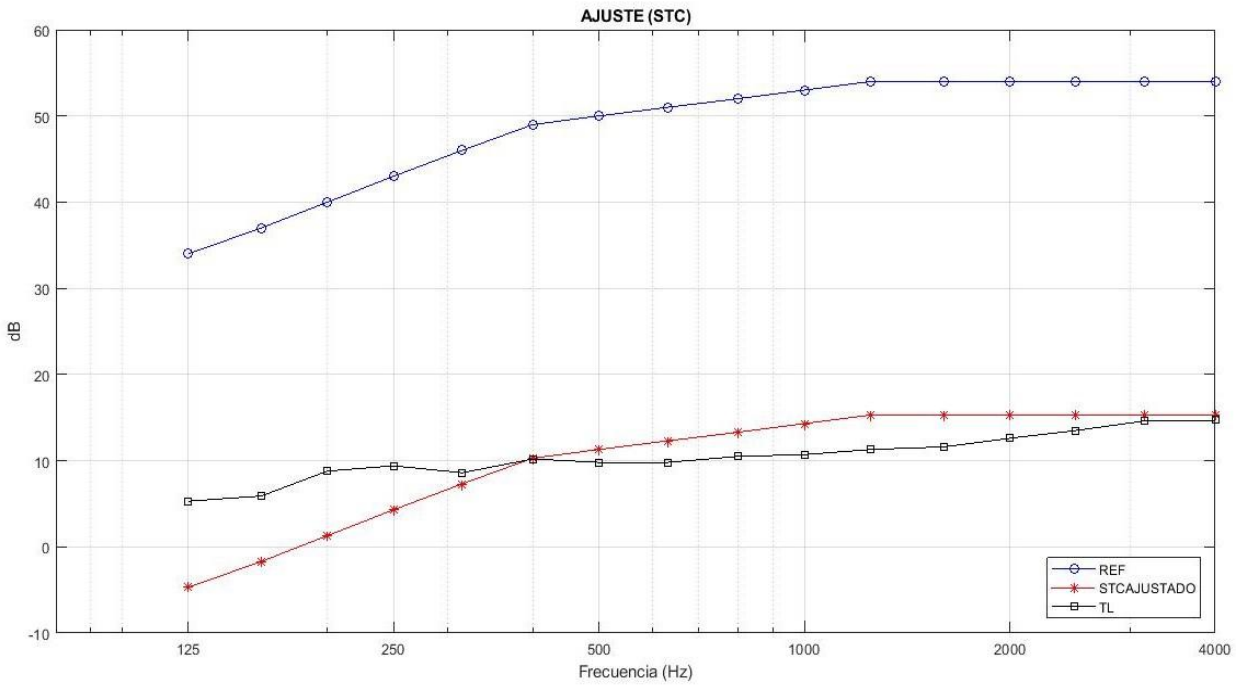


Figura 25. Curva del STC ajustada con respecto a la perdida por transmisión de energía de la pared divisoria del aula C219-C220. y el STC50 perfilado.

Pésimo comportamiento del aislante acústico se puede observar que está por debajo de 20 dB los datos promediados. Esta pared es en madera muy malas condiciones acústicas generadoras de ruido y caos.

## Aula (C220-C221)

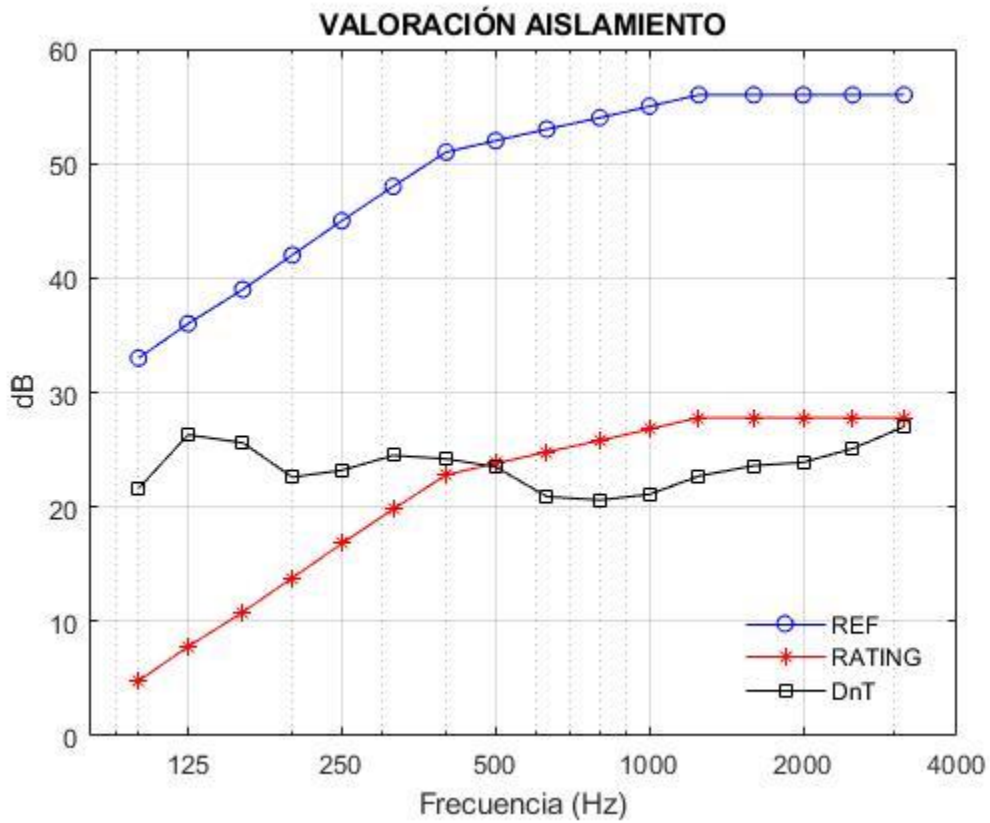
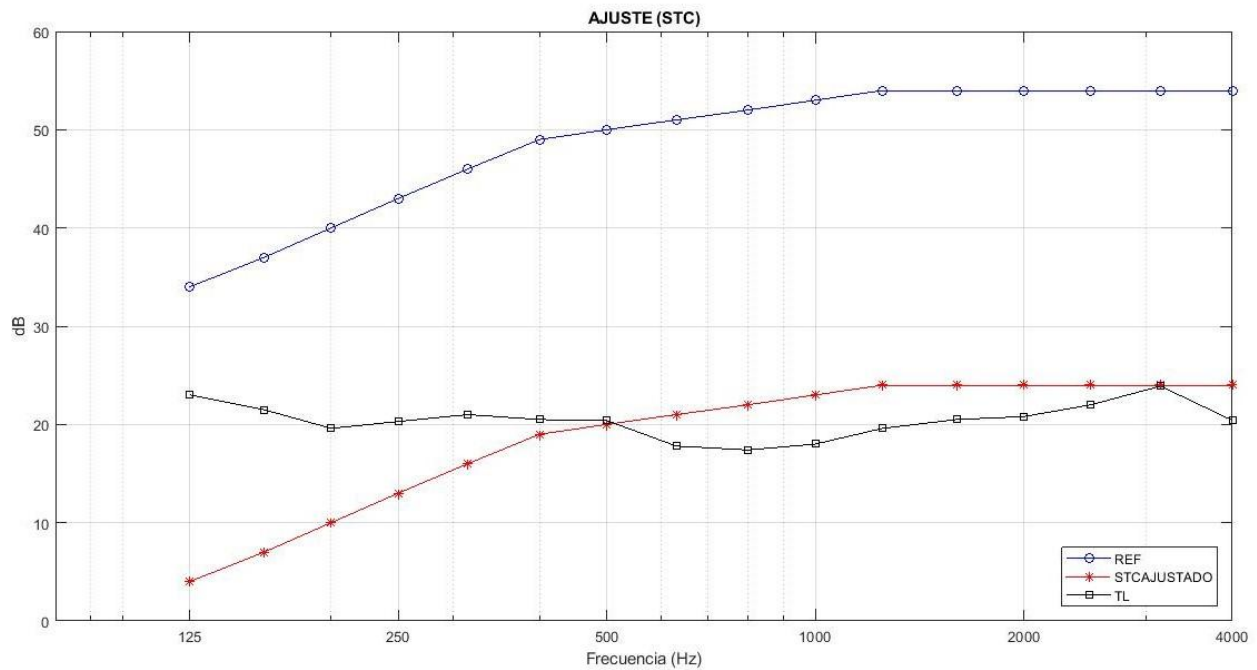


Figura 26. Valoración del aislamiento acústico de la pared que divide las aulas C220 y C221.

La cual resulta pobre, por el material de construcción que divide el aula C220 y C221 la cual es de ladrillo y dos láminas de madera las cuales cubren la división de ladrillo, la razón del bajo aislamiento es por las filtraciones de aire que se presentan de los sellamientos que existen entre las superficies.

$$DnT = 23.8(03; -1.3) \quad (29)$$



*Figura 27. Curva del STC ajustada con respecto a la perdida por transmisión de energía de la pared divisoria del aula C220-C221. y el STC50 perfilado.*

En la figura 27 se puede apreciar que el STC ajustado en la frecuencia de 500 Hz es igual a 20 dB lo cual es regular el aislamiento o sea que hay bastantes filtraciones de audio, relacionado con el STC50 de referencia de la norma ANSI/ASA se encuentra a la mitad del valor establecido. Por otro lado, se compara con el termino de adaptación espectral calculado (23,8) de la norma ISO 717-1 el cual es STC 20 ajustado según la figura 27, lo cual resulta estar a una diferencia de 3 dB del término de adaptación espectral. Lo cual resulta ser bastante pobre.

## Fachadas de las Aulas C108 y C220.

A continuación, se valora la diferencia de niveles estandarizada obtenida de la norma ISO 16283-3, con los valores de referencia que se describen en la norma ISO 717-1. Para este apartado se pueden apreciar la valoración del aislamiento acústico de las paredes que dividen las fachadas de los salones C108 y C220.

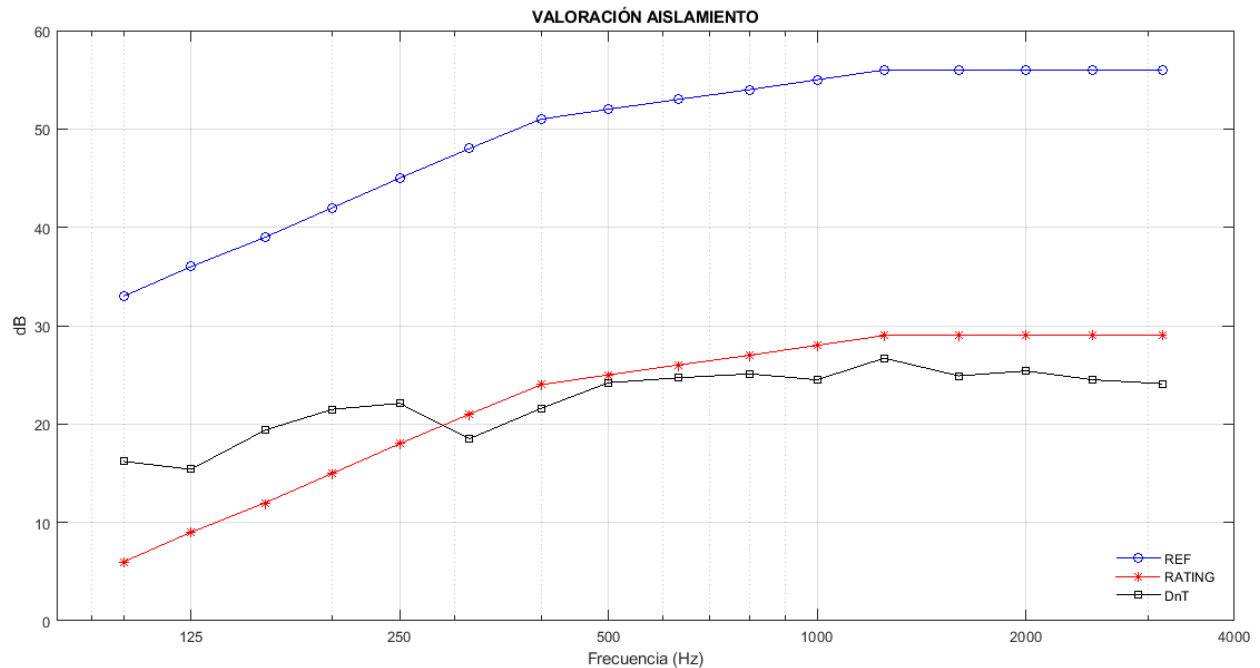


Figura 28. Valoración del aislamiento acústico de la pared que divide el aula C108 de la fachada.

Los materiales que componen la pared que divide la fachada y la sala C108, son de ladrillo y cemento, ventanas de vidrio y una puerta de metal que contiene una ventana; esta pared ubicada sobre la fachada, en donde se encuentran las canchas multipropósito, de manera que la energía sonora que se produce en la fachada se alcanza a percibir plenamente en el aula siendo un factor de distracción al aula.

Se aprecia en la figura 28 la curva (RATING) está a una diferencia de 27 dB de la curva de los valores de referencia indicados por la norma ISO717-1. También se caracteriza por que las puertas de los recintos C108 y C109 se encuentran seguidas, según (Benjamin, 2003) Esto proporciona que el camino corto con el que viaja el sonido de una habitación a otra, a través de las puertas hacia una habitación contigua, se alcanza a escuchar en la sala receptora. Esta ubicación de las puertas se puede apreciar en la figura 29.

El aislamiento para esta pared es pobre por elementos constructivos que integran la pared en la imagen. En la figura 29. Se observa los materiales metal; vidrio y ladrillo que no son de garantía de insonorización.

$$D_{nT} = 27(0,2; -1,6) \quad (30)$$



*Figura 29. Ubicación de las puertas de las aulas C108 y C109, sobre la fachada.*

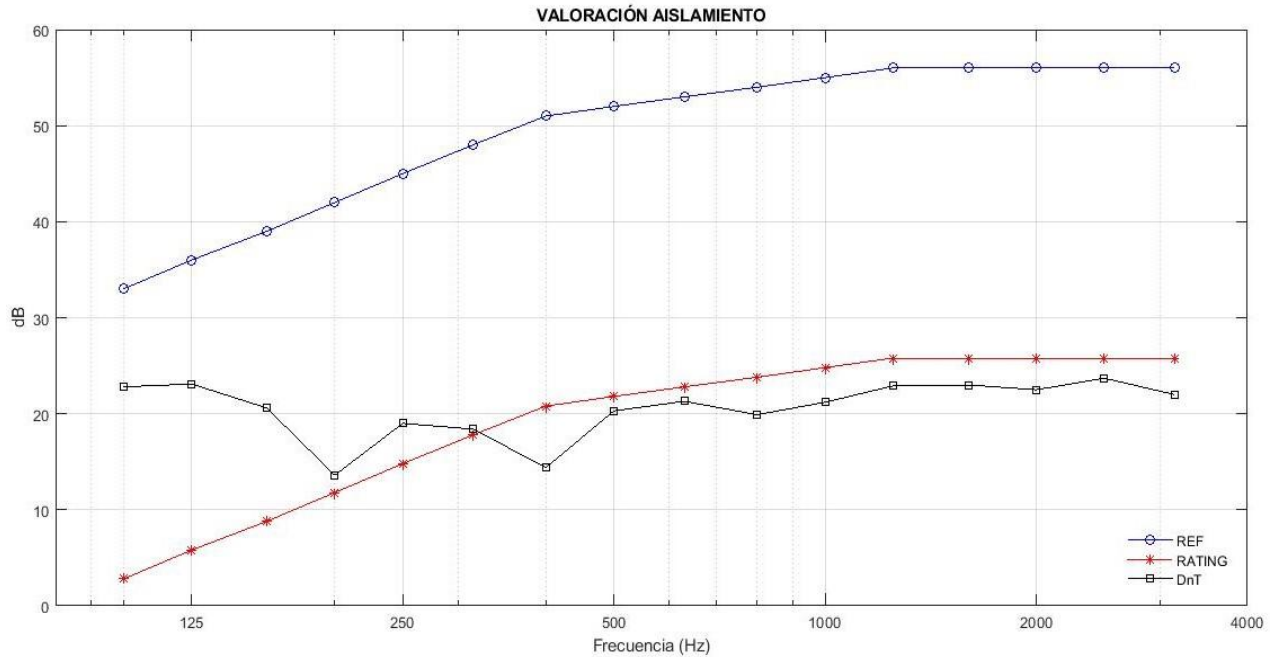


Figura 30. Valoración del aislamiento acústico de la pared que divide el aula C220 de la fachada interna (pasillo).

Los materiales que componen la pared que limita la fachada del pasillo y el aula C220, son de madera, ventanas de acrílico y puerta de madera contiene fisuras entre cada elemento de construcción que sella la pared. (ver figura 31). Debido a que el pasillo que queda en la fachada interna de sala C220 todo el ruido que se produce allí se alcanza a percibir en la sala C220, debido a sus dimensiones. El aislamiento es pobre la pared que divide el pasillo de la sala C220.

$$D_{nT} = 21,8(0,3; -1,7) \quad (31)$$



*Figura 31. Fachada interna (pasillo) a uno de los costados del aula C220.*

### **6.3. Inteligibilidad de la palabra**

Para el análisis de los resultados obtenidos de la inteligibilidad de la palabra obtenidos en la tabla 14 de manera subjetiva en cada una de las aulas propuesta para esta investigación, tan solo se tiene en cuenta el índice de pérdida de la articulación %ALCons, de la clasificación de referencia del monosílabo C-V-C, indicada en la tabla 3 del capítulo 3 del actual trabajo de grado.

Para el aula C108, en el lunes se estima un promedio de 49,2 %ALCons, según la tabla es deficiente la inteligibilidad, tomando un valor de referencia entre los 40 % al 69 %, para el martes es de 36,5 %ALCons y viernes es de 36,7 %ALCons, comparadas con el valor de referencia de la tabla 3, es mala, ya que se encuentran por debajo del 40 %ALCons.

Para la otra aula C220, se estima que la inteligibilidad de los lunes es de 41 %ALCons, la cual indica que es deficiente comprada con la tabla 3. Y para los martes, jueves y viernes se



estima el promedio de 52,3 %ALCons, comparados con la tabla 3, es una clasificación deficiente de acuerdo con los valores de referencia entre 40 a 69 % ALCons.

*Tabla 14*  
*Relación entre %ALCons, STI / RASTI y la valoración subjetiva del grado de inteligibilidad tomado de (Carrión, 2007).*

<b>Valoración Subjetiva</b>	<b>%Alcons</b>	<b>STI&amp;RASTI</b>
Excelente	%1,4- 0%	0,88-1
Buena	4,8%-1,6%	0,66-0,86
<b>Aceptable</b>	<b>11,4%-5,3%</b>	<b>0,50-0,64</b>
<b>Pobre</b>	<b>24,2%/12%</b>	0,36-0,49
Mala	46,5%-27%	0,24-0,34

De acuerdo con los valores obtenidos y promediados de la tabla 10 del capítulo de resultados del parámetro inteligibilidad de la palabra del aula C108; el %ALCons y el STI de 0,5, es aceptable, según los valores de referencia a la tabla 14. Para la sala C220 el porcentaje de pérdida de la articulación es de 7,5 %ALCons y e STI es de 0,6, lo cual es aceptable de acuerdo con la tabla 14 es un valor aceptable, para una valoración subjetiva.

#### **6.4. Análisis de resultados subjetivos**

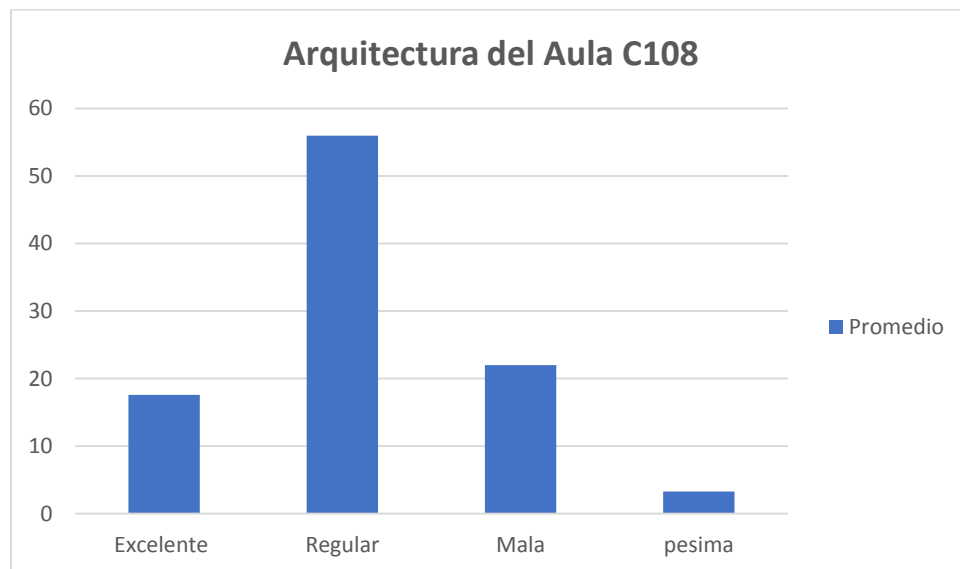
Se tendrá en cuenta para este análisis la percepción de las personas conforme a cada una de las salas propuestas para este trabajo, teniendo en cuenta la valoración de las preguntas. En los casos de Arquitectura, Ambiente, Ruido de fondo y Opinión se aplicó una encuesta cerrada con valoración excelente, buena, regular, mala y pésima. Los aspectos de Reverberación, Volumen, Claridad, Comprensión, Espacialidad e Impresión General, fueron evaluados mediante una

valoración puntual entre 0 y 10 según criterios establecidos de acuerdo con la categoría específica de cada caso.

## Aula C108

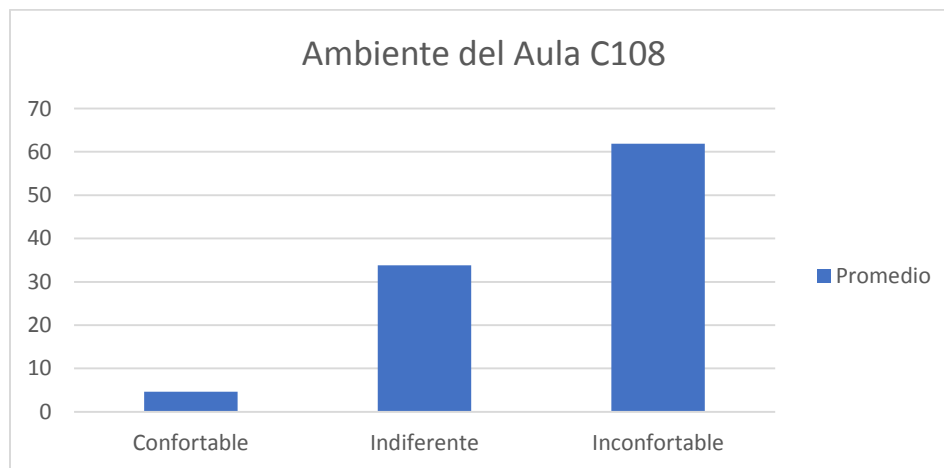
Para este indicador se pueden apreciar el análisis de los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas a 91 personas que tomaron sus clases durante el semestre 2017-II en el aula C108.

### Arquitectura



*Figura 32. Diagrama de barras correspondiente a los resultados de la pregunta de selección múltiple sobre la opinión que tienen los encuestados acerca de la arquitectura del aula C108.*

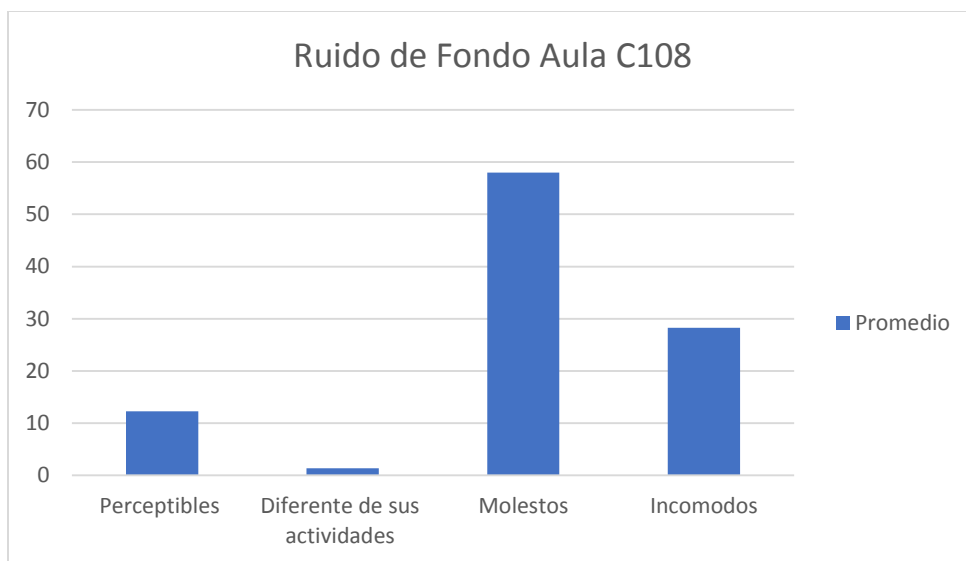
## Ambiente



*Figura 33. Diagrama de barras correspondiente a los resultados de la pregunta de selección múltiple sobre la opinión que tienen los encuestados acerca del ambiente del aula C108.*

## Ruido de fondo

Se describe el ruido de fondo ejemplificando que cuando el aula está en completo silencio, si el encuestado alcanza a percibir las fuentes de ruido que se generan al exterior del aula, como el tránsito automotor, personas transitando en los pasillos, actividades en salones adyacentes a la evaluada, etc.

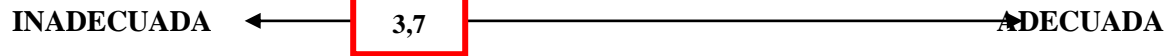


*Figura 34. Resultados de la percepción de los encuestados del salón C108 con respecto al ruido de fondo*

### **Opinión sobre los efectos en el organismo a la exposición de altos niveles sonoros**

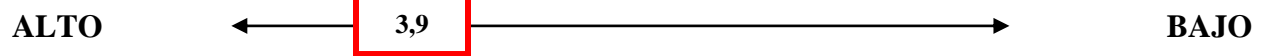
De los docentes y estudiantes que se evaluaron en el aula C 108, el 76,9% consideran que uno de los efectos en el organismo por la exposición a altos niveles sonoros es el mal humor. De estos 139 encuestados el 49,5 % considera que la desesperación también hace parte y de ese 139 de las personas evaluadas el 84,6% opinan que también puede causar dolor de cabeza, y 37,4% de estas personas, creen que la pérdida de la audición también, y también se puede perder la voz, según el 57,1% de los encuestados. Por otro lado, también se valora que el 85,7% de esta población valorada para este salón, desconoce de las normas que regulan la exposición a la alta exposición de niveles sonoros, por esta razón es importante concientizar a toda la comunidad UPN sobre el ruido de cuando este se percibe molesto, para el oído humano y que efectos trae consigo si adicional se usan auriculares para escuchar música, estar expuesto a bares cada ocho días trae consigo riesgos, etc. Por último, se observa que el 64,8% no se ha realizado una audiometría y se observó estas personas desconocen sobre esta valoración médica

### REVERBERACIÓN



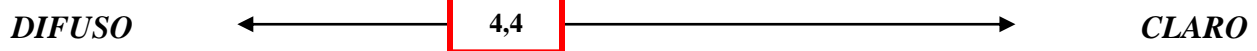
El promedio de los puntos dados por las 91 personas encuestadas en referencia a la pregunta de reverberación es de 3,7, aproximándose a inadecuado, en donde 0 corresponde a inadecuada y 10 a adecuada.

### VOLUMEN



El promedio de los valores obtenidos de acuerdo con el criterio de las personas encuestadas, referente a la pregunta de volumen, es de 3,9, este dato es próximo a ALTO, ya que, si necesitan elevar su tono de voz cuando se encuentran en la sala.

### CLARIDAD



El promedio de los puntos marcados por las 91 personas para esta pregunta referente a la claridad es de 4,4, lo cual resulta ser un valor intermedio, en donde el mensaje que se desea transmitir al interior de la sala se aproxima a difuso.

### COMPRENSIÓN



Para este punto también se hace el promedio de los puntos marcados por las 91 personas evaluadas del aula C108, con referencia a la pregunta de comprensión en donde el resultado es de 5,3. Lo cual indica que esta escala valorativa de la comprensión de los sonidos recitados o manifestados en un recinto o aula resultan ser de un entendimiento, parcial.

### ESPACIALIDAD



El promedio de los puntos marcados por los encuestados para la pregunta referente a espacialidad es de 5,3, esto indica que la percepción del sonido en un espacio amplio, proveniente de diversas fuentes, o el cual rodea un espacio cerrado, como un salón o aula.

### IMPRESIÓN GENERAL

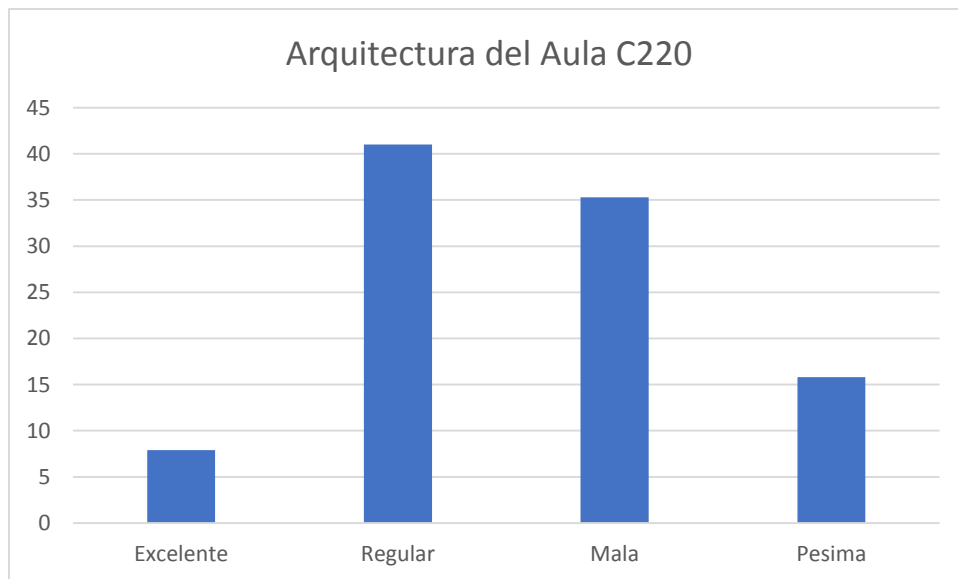


El promedio de los puntos marcados en la pregunta de referencia a la impresión general de la sala, de las 91 personas que ven sus clases durante el semestre 2017-II, es de 5,8, lo cual resulta ser un valor parcial, ya que está ubicada sobre un punto intermedio, entre cada escala a valorar de buena a mala.

## Aula C220

A continuación, se pueden apreciar el análisis de los resultados obtenidos de las encuestas empleadas a 139 personas que ven sus clases durante el semestre 2017-II en el aula C220.

### Arquitectura



*Figura 35. Diagrama de barras correspondiente a los resultados de la pregunta de selección múltiple sobre la opinión que tienen los encuestados acerca de la arquitectura del aula C220.*

## Ambiente

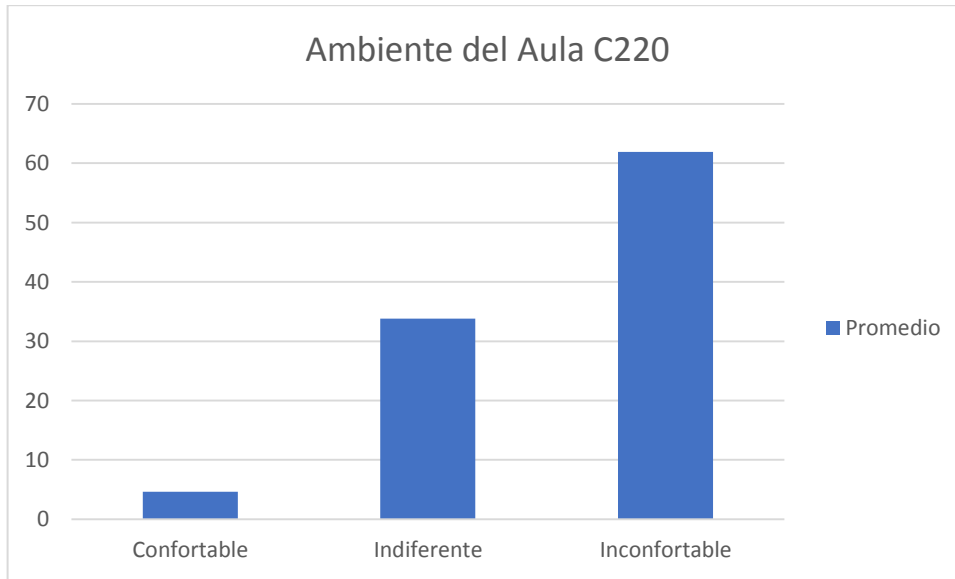


Figura 36. Diagrama de barras correspondiente a los resultados de la pregunta de selección múltiple sobre la opinión que tienen los encuestados acerca del ambiente del aula C220.

## Ruido de Fondo

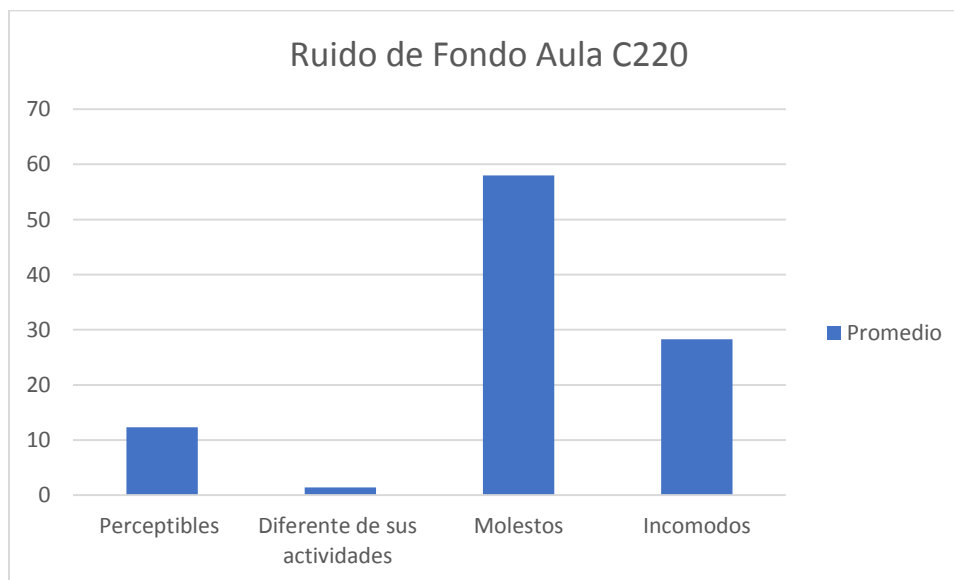


Figura 37. Resultados de la percepción de los encuestados del salón C220 con respecto al ruido de fondo.



## **EFFECTOS EN EL ORGANISMO A LA EXPOSICIÓN DE ALTOS NIVELES SONOROS**

De los docentes y estudiantes en formación que se evaluaron en el aula C 220, el 91,3% consideran que uno de los efectos en el organismo por la exposición a altos niveles sonoros, puede ocasionar, mal humor, de estos 139 encuestados el 66,9 % considera que la desesperación también hace parte y de ese 139 personas evaluadas el 74,8% opinan que también puede causar dolor de cabeza, y 51,8% de estas personas, creen que la pérdida de la audición también lo es al igual que la disfonía, y esto también atrae el mal humor 90% . Por otro lado, también se valora que el 80% de esta población valorada, desconoce de las normas que regulan la exposición a la alta exposición de niveles sonoros, por esta razón es importante concientizar a toda la comunidad UPN sobre el ruido de cuando este se percibe molesto, para el oído humano y que efectos trae consigo si se exponen los docentes y estudiantes a la exposición de los altos niveles sonoros, adicional con el uso de auriculares para escuchar música, trae consigo riesgos auditivos. Por último, se observa que el 70,5% no se ha realizado una audiometría y se observó estas personas desconocen sobre esta valoración médica.

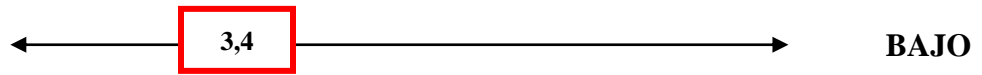
### **REVERBERACIÓN**

**INADECUADA** ← 3,5 → **ADECUADA**

Las 139 personas encuestadas del aula C220, el promedio de los puntos colocados por cada persona evaluada en referencia a la pregunta de reverberación, resulto ser de 3,5 para la escala de 0 (INADECUADA) y 10 (ADECUADA), por esta razón, este factor se aproxima a la escala de inadecuado.

### VOLUMEN

ALTO

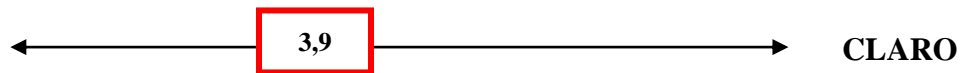


BAJO

En la pregunta de volumen, la cual describe si la persona tiene que subir el tono de su voz cuando se encuentra en la sala, el promedio general de los puntos marcados por cada persona para esta pregunta es de 3,4, valor próximo a ALTO.

### CLARIDAD

DIFUSO

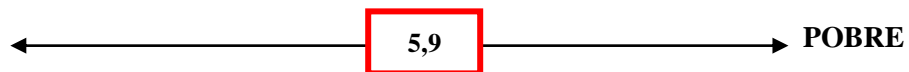


CLARO

De la población encuestada el promedio de los puntos que marco cada persona es de 4,4, en referente a la pregunta de claridad, lo cual resulta ser un valor intermedio, en donde el mensaje que se desea transmitir al interior de la sala, se aproxima a difuso.

### COMPRENSIÓN

MUY BUENA

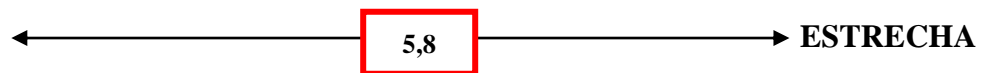


POBRE

Para esta pregunta se promedian los puntos colocados por cada persona de las 139 personas donde se evalúa la comprensión de los sonidos recitados o manifestados en el aula C108, el valor es de 5,9. resulta ser parcial.

### ESPACIALIDAD

AMPLIA

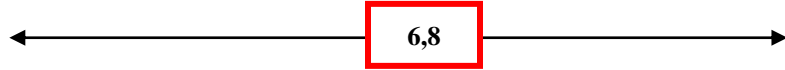


ESTRECHA

El promedio de los puntos colocados por cada una de las personas encuestadas es de 5,8, con referencia a la pregunta de espacialidad, indicando que la espacialidad de la sala C220, está en un punto intermedio de amplio y estrecho.

## IMPRESIÓN GENERAL

**BUENA**



**MALA**

La evaluación de la impresión general del sonido que perciben las 139 personas encuestadas en una sesión de clases se promedia de los puntos valorados el cual el resultado, es de 6,8.

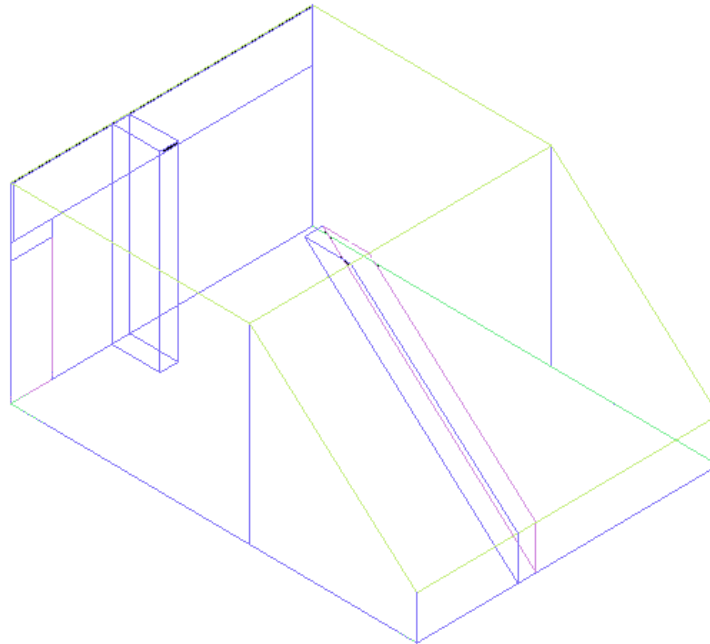
## **Capítulo VII - Planteamiento de Sugerencias o Aportes**

De acuerdo resultados obtenidos del STI, RASTI, %ALcons y de tiempo de reverberación de las tablas 5, 10, 11, 12 y 13, se observó que la inteligibilidad de la palabra no es aceptable en el aula, ya que se pierde el 50% del índice de transmisión hablada, Por esta razón, es importante plantear las siguientes recomendaciones al interior de los salones C108 y C220, los cuales indican a través de las mediciones realizadas , la pésima percepción del sonido que fluye en éstos salones, tanto a nivel de comunicación como de aislamiento de los materiales se deben emprender una serie de mejoras en cuanto al espacio físico, proponiendo una revisión y cambio de materiales, para su respectiva adecuación, no sólo para evitar que ondas sonoras se propaguen de otros recintos , sino para que el sonido que se transmita y fluya correctamente dentro de los criterios establecidos por las norma ANSI / ASA S12.60 dentro de las aulas de clase sea el adecuado o cercano a la norma.

### **7.1. Aula C108.**

Para este salón es necesario colocar láminas Clouds elaboradas en fibra de vidrio, que cubran el techo de la gradería del salón, para que la reverberación se nivele o sea inferior a 0,6 y se encuentre en las condiciones óptimas establecidos para esta condición por la norma ANSI/ASA, y un mejoramiento en las divisiones que limitan el salón C108, donde la división es de un grosor 0.16m, está conformada por una partición que se compone de láminas de yeso cartón, tabiques de madera y espuma absorbente acústica de fibra de vidrio, esto se puede apreciar en el anexo D; también, se sugiere un cambio de la puerta, la cual debe ser de madera, Donde la reverberación

es baja y la inteligibilidad de la palabra óptima. A continuación, se puede apreciar el aula C108 de acuerdo con las condiciones ideales de la misma según el estudio realizado. (Ver figura 38).



*Figura 38. Aula C108 ideal.*

Para las aulas objeto del estudio es importante realizar una adecuación , conforme a esto, es importante simular las condiciones ideales de cada uno de los recintos, para poder apreciar si las condiciones sugeridas, son las ideales para mitigar el ruido en las aulas y la falta de atención de los estudiantes apoyándome en el programa RAMSETE versión 3.0 el cual realiza una simulación de fenómenos acústicos, y AutoCAD de la versión 2017, simula los planos y categoriza las superficies requeridas. A continuación, se realiza la simulación de las condiciones óptimas requeridas para la implementación de la adecuación de las aulas C108 y C220.

## RAMSETE versión 3.0

Presenta funciones axonométricas (dibujo tridimensional) y ortogonal ( en ángulo recto), por sus características, es uno de los pocos programas acústicos más exactos en la construcción que cumple con lo requerido para esta investigación, además se pueden ingresar al software los materiales que en este caso son los ideales para la mejora de las aulas, calcula automáticamente respuestas de impulso para procesar con posterioridad se basa en algoritmos piramidales y acústica geométrica generando datos muy cercanos a la realidad.

## MATERIAL MANAGER (anexo al programa Ramsete)

En este programa se pueden digitar los materiales ideales con sus respectivos coeficientes de absorción en las frecuencias 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz tomados por Florez (2013) se puede apreciar en la tabla 6.1. Donde, se puede apreciar los materiales que se sugieren para las aulas, los cuales se van a utilizar para las pruebas del software del programa que va simular los coeficientes de absorción y nos va a generar las condiciones según la aplicabilidad del estudio nombrado a continuación , y dara respuesta a las necesidades de dichas aulas tomando la ecuacion 4 de Sabine tomada de Carrion (2007), luego se exportan estos valores a autocad y se establecen los materiales para la posible implementación.

**Tabla 15.**

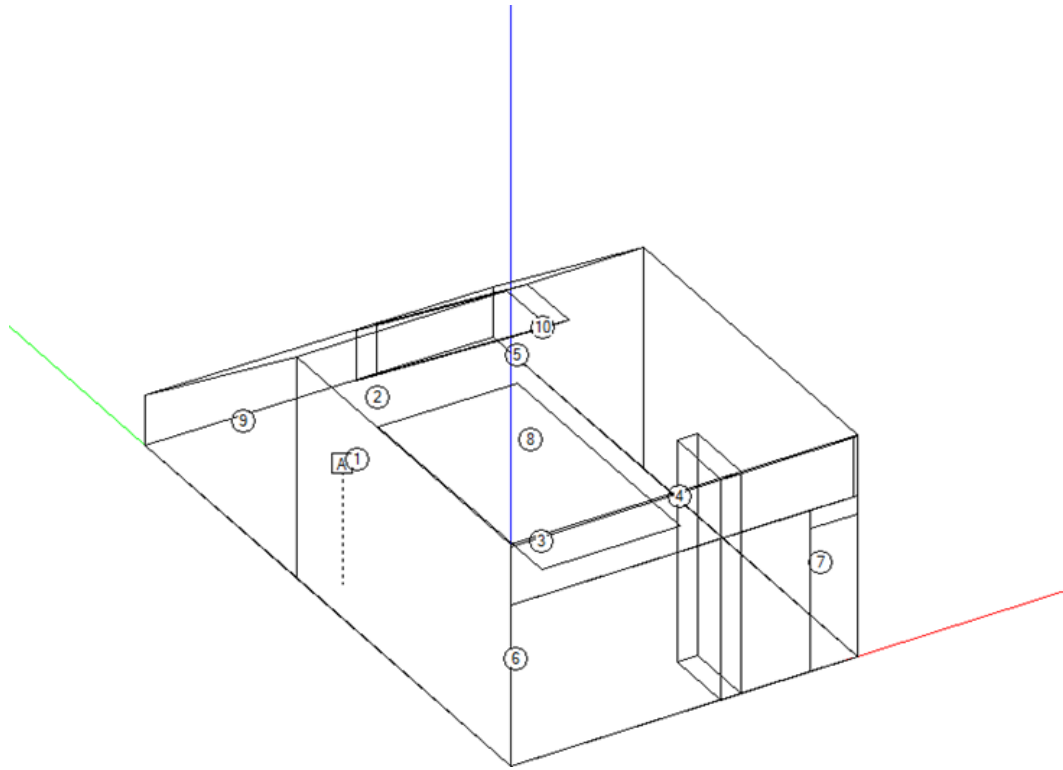
*Coefficientes de absorción en los rangos de frecuencia los cuales son tomados de Florez (2013).  
Los cuales nos determinan las necesidades de las aulas a analizar.*

<b>Coefficientes de Absorción</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>AUDIENCIA</b> (sillas con tapizado liviano)	0.15	0.35	0.45	0.45	0.45	0.40
<b>PISO EN GRANITO</b>	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05
<b>YESO CARTÓN</b> (LANA DE VIDRIO) 13X400mm	0.20	0.12	0.09	0.03	0.02	0.02
<b>LAMINAS CLOUDS</b>	0.18	0.60	0.81	0.81	0.76	0.76
<b>VENTANA</b>	0.25	0.1	0.07	0.06	0.04	0.02
<b>PUERTA DE MADERA</b>	0.25	0.20	0.04	0.04	0.04	0.04

AUTOCAD 2017.

Es un software diseñado asistido para realizar figuras en 2D y 3D, tiene buenas capacidades de edición, hace posible los planos, en este caso de las aulas C108 y C220.

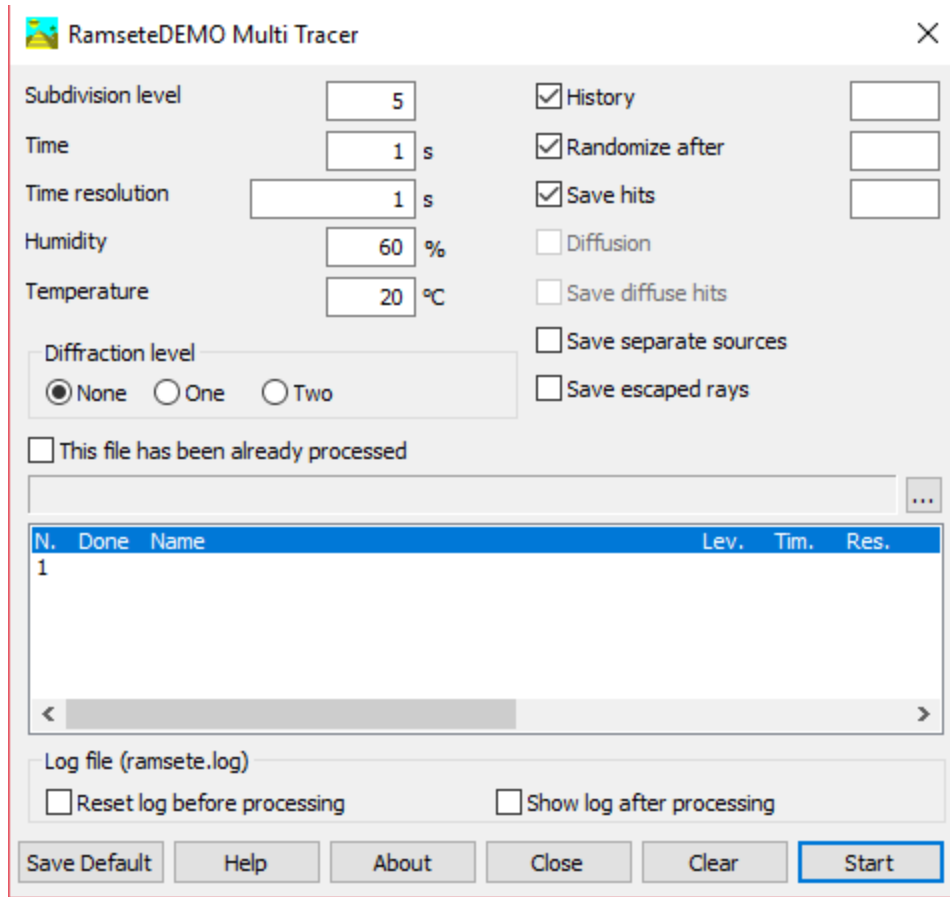
se utilizo el programa RAMSETE CAD, donde allí las vistas de la habitación se pueden importar y exportar archivos .dxf de AUTOCAD 2017, los cuales están en 3D por cada salón, luego se colocan las posiciones de fuente y micrófono empleadas, validando la distancia entre cada posición de fuente- micrófono, fuente – superficie reflectante y micrófono- superficie reflectante (ver figura 40 ).



*Figura 39. Posiciones de fuente y micrófono.*

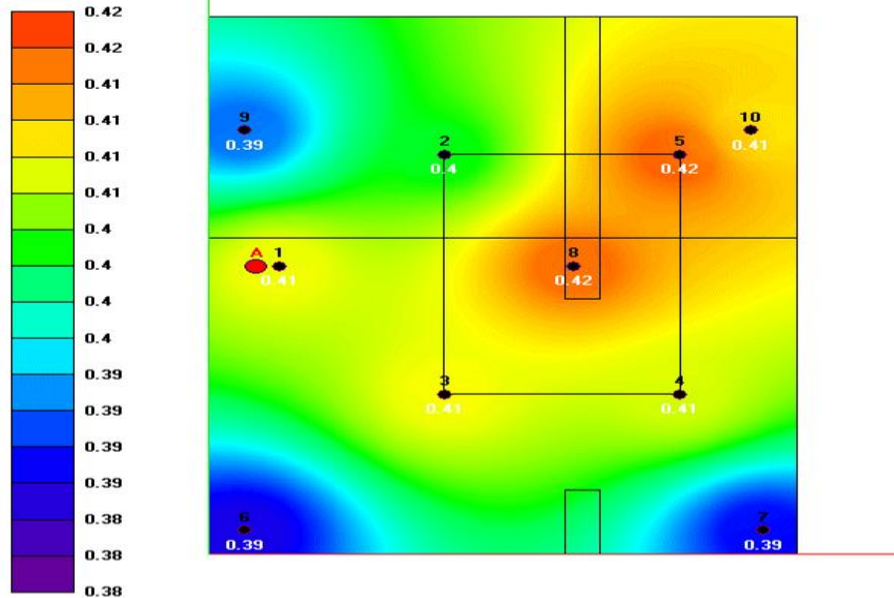
Al realizar las pruebas simuladas pude determinar, en Ramsete Trace, recibe un modelo CAD Ramsete como entrada y calcula las respuestas de impulso para un procesamiento posterior. Este programa se basa en una pirámide algoritmo de seguimiento y acústica geométrica. (Ver figura 41).



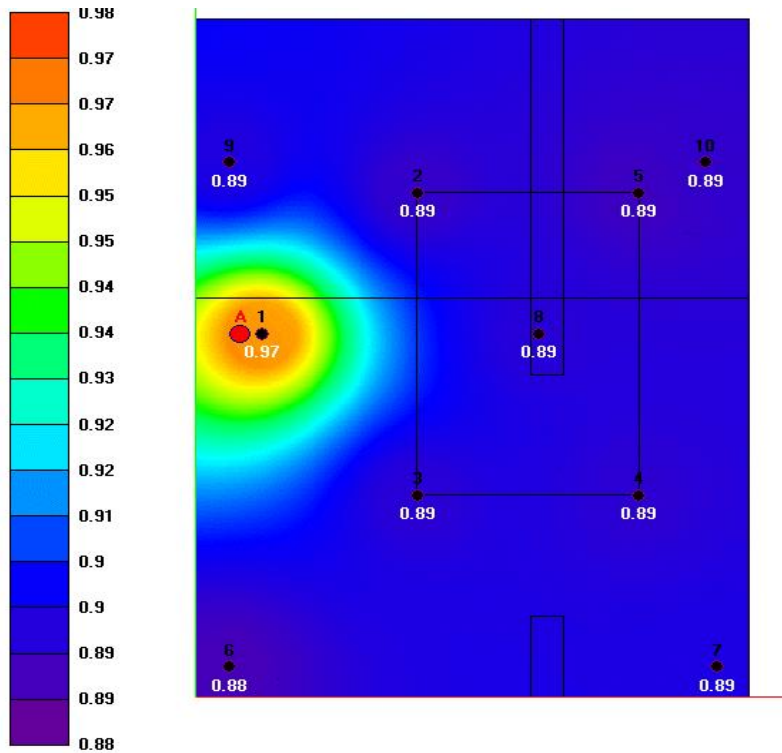


*Figura 40. Ramsete MultiTracer.*

Por último, se grafica por Ramsete Graph, se procesan estas respuestas de impulso y proporcionar una vista gráfica o tabular de los datos. Para cada una de las diez bandas de frecuencia y para cada receptor, puede mostrar el impulso respuesta, de la curva de decaimiento de Schroeder y la reverberación aveces: EDT, T10, T15, T20, también el STI, encontrando allí la inteligibilidad de la palabra. (Ver figura 41)



(a)



(b)

Figura 41. Simulación aula C 108. (a) es el tiempo de reverberación  $T_{20}$  calculado por el programa Ramsete Cad y para (b) el STI calculado para esta sala ideal.

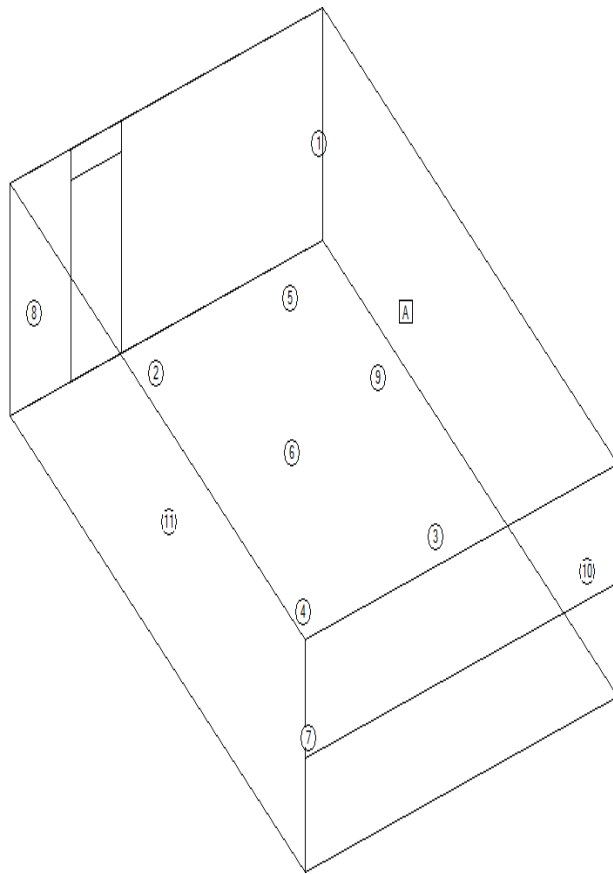
Las simulaciones en las dos aulas se realizaron ubicando la fuente generadora, de sonido en el lugar donde por lo general se ubica el docente sea por costumbre o porque allí se encuentra el tablero no fue a mi libre albedrío, sino producto de la observación de los hábitos de los maestros que allí laboraban.

Esta simulación se realizó en un ambiente ideal, con materiales acústicos acordes a las necesidades del aula, de donde se induce en la simulación o gráfico (a) de la figura 41, como el tiempo de reverberación en el sector de mayor concentración de personas disminuye y queda dentro de los parámetros de la norma ANSI&ASA, optimizando el índice de inteligibilidad del aula y mejorando los niveles de comprensión que es lo que se observa en la figura 41 (b), es de anotar que las esquinas de la figura (a) tienen unos índices de reverberación muy bajos esto en razón a que allí el nivel o potencia de la onda baja debido al volumen o área del lugar simulado, las diferentes reflexiones, y las pérdidas apenas naturales de del sonido allí transmitido.

Al tener una aula ideal estamos libres de sonidos molestos provenientes del exterior y al minimizar los tiempos de reverberación aumentan los índices de inteligibilidad afectando de manera positiva y directa la percepción de lo que allí se nos quiera enseñar, se disminuyen la permanencia de las de vocales en el espacio lo que evita el enmascaramiento o traslapación y hace más claros los mensajes y sea mucho más comprensible al oído del receptor.

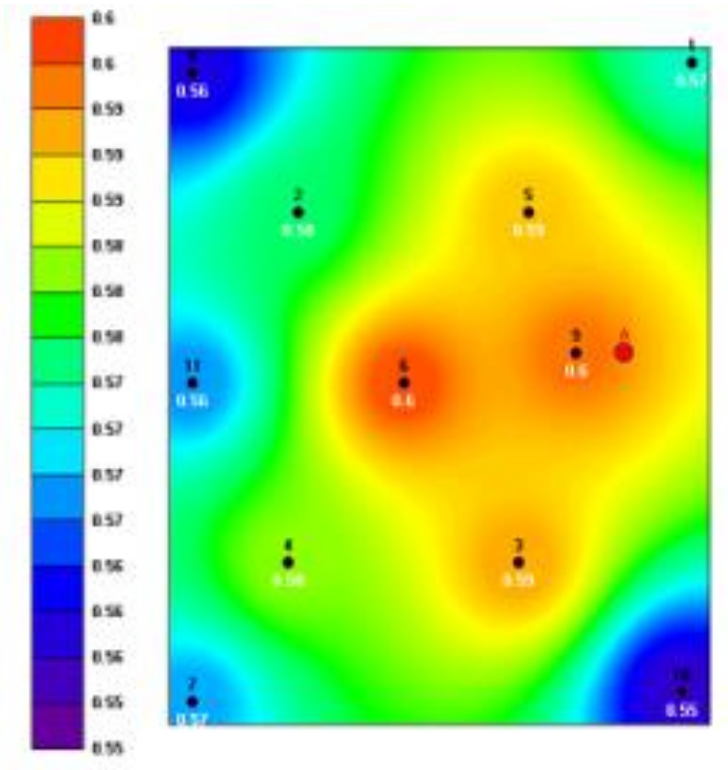
## 7.2. Aula C220.

Al igual que en el salón C108 se calculan los tiempos de reverberación e inteligibilidad de la palabra de acuerdo con el procedimiento usado para simular las condiciones ideales del aula C220. Se utilizan, los materiales mencionados anteriormente de las superficies de techo, paredes, puertas y ventanas, los cuales ayudan a mejorar la inteligibilidad de la sala. (Ver figura 42)

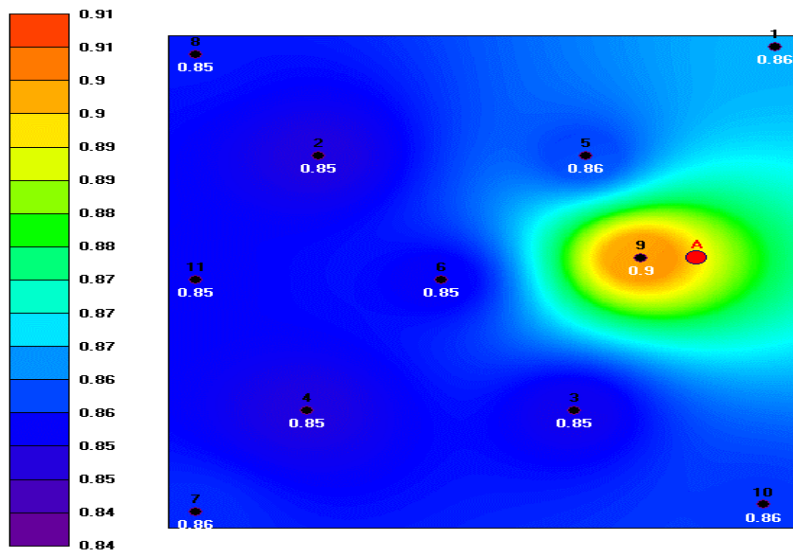


*Figura 42. Aula ideal C220.*

A continuación, se pueden apreciar las simulaciones encontradas de las condiciones acústicas. De tiempo de reverberación e inteligibilidad del habla. (Ver figuras 43).



(a)



(b)

Figura 43. Simulación aula C 220. (a) el tiempo de reverberación  $T_{20}$  calculado por el programa Ramsete, y para (b) el STI calculado para esta sala ideal.

Al cotejar el tipo de materiales ideales que se utilizaron en las dos aulas se logra establecer que los comportamientos son similares y la reverberación y la inteligibilidad varía de manera contraria en beneficio de la comunidad universitaria es decir la reverberación baja y la inteligibilidad aumenta, la figura 43 ilustra el comportamiento de la inteligibilidad y el tiempo de reverberación allí mejora toda vez que se realizaron con los materiales ideales propuestos en el cuadro 15.

Las zonas azules en las esquinas se observan es por el comportamiento de la onda del sonido que para este caso es una onda esférica tridimensional (una Pelota) que choca con la geometría de las aulas. Y es por eso por lo que ese fenómeno se observa en las simulaciones.

La diferencia del tiempo de reverberación que se aprecian en las figuras 41 (a) y 43 (a), es porque el aula C108 tiene una mayor cantidad de láminas clouds las cuales recubren la gradería que es el techo del aula, lo cual hace que se absorba en mayor cantidad el sonido en comparación al salón C220 la cual tiene tan solo el techo de láminas clouds.

## Conclusiones

- Las características físicas de los recintos académicos en los que se realizó el estudio influyen considerablemente en el aislamiento del ruido. Las paredes que separan el interior y exterior de los salones hacen que el ruido se filtre, por ejemplo, el aula C220 el sonido no deseado llega directamente por las filtraciones que tienen los sellamientos entre cada superficie, es posible determinar que el aislamiento acústico es poco adecuado debido al grosor de este material para rechazar o tratar un ruido superior a los 52 dB sobre la frecuencia de 500 Hz. También, se aprecia que en las dos aulas estudiadas, C108 y C220, se aprecia un tiempo de reverberación superior al mínimo establecido por la norma ANSI&ASA (0,6 s), indicando una irregularidad en los salones en cuanto al tratamiento de sonidos difusos se refiere.
- La investigación subjetiva realizada a la población de los dos salones analizados, indica la poca concienciación sobre el problema que significa el ruido como factor negativo en aspectos académicos y de salud, por el desconocimiento de las normas para regular las condiciones acústicas de los espacios donde se imparten sesiones de clase (ISO 717-1, ANSI&ASA, ISO 16283) y los peligros que implica la filtración del ruido como la generación de estrés, la dificultad en el aprendizaje y hasta el poco entendimiento del mensaje hablado.
- Como resultado del diagnóstico en las aulas C108 y C220, es posible afirmar que no se encuentran ajustadas acústicamente, las soluciones inmediatas por solucionar el problema son insuficientes, adecuan salones sin la consideración de las normas y tomados espacios que no se encuentran adecuados a las condiciones de inteligibilidad de la palabra y reverberación del tiempo ocasionando problemas en el mensaje transmitido y el recibido.
- A través del estudio y teniendo en cuenta la presencia de las personas en las aulas inadecuadas y las pésimas condiciones acústicas un 61,9 % de las 139 personas encuestadas del aula C220 indicaron que el diseño del aula no cumple con la reglamentación exigida por la norma, y por ende se deberá revisar el efecto domino para las diferentes aulas de nuestra universidad en cualquiera de las sedes.

- Teniendo en cuenta los datos comparados a la norma, no se cumple con el nivel mínimo de acústica en las aulas citadas de la universidad pedagógica nacional, esto ha sido ocasionado por la falta de espacios adecuados y factores externos como: la calle 72, pasillos contiguos, aulas con filtraciones y espacios donde el sonido se filtra ocasionando problemas de salud y de inteligibilidad de la palabra siendo muchas veces el menor de los problemas.

---

AULA	REVERBERACION	INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA
C108	3,2X 500HZ	STI 0,5
C220	1,4 X 200HZ	STI 0,6

---

- Teniendo en cuenta el resultado de la investigación, se concluye que es necesario hacer una inversión para mejorar las condiciones de estas aulas y dar una mejor calidad durante los espacios de enseñanza y el cumplimiento de las normas utilizadas internacionalmente ANSI & ASA como referencia internacional adaptándolas al medio nacional. Al verificar los resultados obtenidos, se puede determinar que con la adecuada implementación de los materiales propuestos de los índices de inteligibilidad de la palabra aumentarían y los tiempos de reverberación bajarían, adecuando aulas más optimas se mejoran las condiciones de salud de convivencia, de interacción, bajarían los niveles
- Teniendo en cuenta el resultado de la investigación, se concluye que es necesario hacer una inversión para mejorar las condiciones de estas aulas considerando los requerimientos técnicos y físicos detallados en las normas utilizadas internacionalmente ANSI & ASA para revestimientos escolares y adaptándolas al medio nacional. En relación con los resultados obtenidos, se puede determinar que, con una adecuada implementación de los materiales propuestos, los índices de inteligibilidad de la palabra aumentarían (0,88) y los tiempos de reverberación bajarían (menor a 0,6 segundos) en el caso del aula C108, ya que se recubre la gradería de un panel de lámina Clouds absorbentes en fibra de vidrio, el cual hace que disminuya la reverberación para este salón.



- Es posible proyectar como trabajo a futuro, la caracterización de los niveles de ruido en las distintas edificaciones que integran la Universidad Pedagógica Nacional, teniendo como referencia teórica y metodológica el desarrollo de esta investigación. La implementación de materiales acústicos en aulas de clase sería un cambio para la arquitectura que actualmente presenta la UPN, a partir de proyectos investigativos que sean transversales a otros programas.

## Bibliografía

- ANSI&ASA. (2009). *American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design, Requirements, and Guidelines for Schools, Part 2: Relocatable Classroom Factors*. Estados Unidos: Acoustical Society of America.
- Barron, R. F. (2003). *Industrial Noise Control and Acoustics*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Benjamin, S. (2003). Acústica del Aula I. *Una publicación de la Sociedad Acústica de América*, 10.
- Boeree, G. (2007). Fonética. *WebSpace*, 4. Obtenido de [webspace.ship.edu](http://webspace.ship.edu).
- Carrión, A. (2007). *Diseño de espacios arquitectónicos*. España: Madrid.
- Florez, M. (19-22 de noviembre de 2013). *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*. Obtenido de Asociación Argentina de Mecánica Computacional: <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/16530bf4e439cb60?projector=1&messagePartId=0.1>
- Guía 30, M. (2008). Estas Orientaciones para la Educación en Tecnología forman parte del Proyecto Ministerio de Educación Nacional (MEN). MEN.
- Gomez, E., & Barrigon, J. (2015). *Analysis of intelligibility and reverberation time recommendations in educational rooms*. España: Applied Acoustics.
- Gonzales, A. O. (1993). *Predicción de la inteligibilidad en recintos cerrados*. Barcelona: TECNIACUSTICA.
- Harris, M. (1998). *Manual de medidas acústicas y control del ruido*. España: Hill Interamericana.
- Jaramillo, A. (2007). *Acústica: La ciencia del sonido*. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Jin, I. K. (2009). *Development of the Speech Intelligibility Index (SII) for Korean*. Hallym University of Graduate Studies.
- ISO 3382.(2008). Acoustics, Measurement of room acoustic parameters .Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.
- ISO 16283-2016 en sus partes 1y 3. (2016). Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Façade sound insulation.
- La Organización Mundial de la Salud. (1995). Fuentes y Medición de Ruido, En E. Editor (Ed.), Guías Para El Ruido Urbano (p 1- 4). Reino Unido
- Liarte, S. (2013). *Procedimientos para la verificación in situ del aislamiento acústico según el DB-HR del Código Técnico de la Edificación*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

- Lopez, R. A. (2017). *Manual de Acústica Ambiental y Arquitectonica* . España : paraninfo.
- Miñana Citado por Sommerhoff, J. (2007). Evaluacion de inteligibilidad del habla en español. Chile.
- Muñoz, R. (2013). *Comparación Entre Inteligibilidad De La Palabra Medida Con Metodos Subjetivos Y Con Sti*. Obtenido de CYBERTESIS:  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcim971c/doc/bmfcim971c.pdf>
- Mydlarz, C. A., Connetta, R., Conolly, D., Cox, T. J., Dockrell, D. E., & Shield, B. M. (2012). Comparison of environmental and acoustic factors in occupied school classrooms for 11-16 year old students. *Elsevier*, 7.
- Navarrete, Á. (2015). *Investigación, Desarrollo e Innovacion de Estructuras y Materiales* . Peru: idiem.
- Norma Técnica Colombiana NTC4595. (2006). Ingeniería Civil y Arquitectura, Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares. Ministerio De Educación Nacional, Colombia
- Ottobre. (2005). Propuesta de encuestas para la determinación de la calidad acústica de teatros y salas de concierto. . *Inter-noise*, 12.
- Peggy, B., & Nelson, P. (2002). *Classroom Acoustic II*. Estados Unidos: Acoustical Society of America.
- Plan de Desarrollo Institucional. (2014) Una universidad comprometida con la formación de maestros para una Colombia en paz, Universidad Pedagógica Nacional, (p. 49). Bogotá, Colombia.
- Recuero. (1991). *Ingeniería Acústica*. Mexico: Paraninfo.
- Sala, E., & Rantala, L. (2014). Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland. Elsevier Ltd. *Applied Acoustics*.
- Sánchez Mercado, A. V. (2010). *Modelo De Aislamiento Y Acondicionamiento Acústico*. Bogotá: Universidad San Buenaventura.
- Sayed, A. A. (2012). *study effects of school noise on learning achievement and annoyance in Assiut city Egypt*. Egypt: Applied Acoustics.
- Silva, Oliveira, & Silva. (2016). El Impacto Del Ruido Urbano En Las Escuelas Primarias. *Aplicación a la Acústica*, 9.
- Thampuran, A. L., & Premlet, B. (2016). Objective and subjective evaluation of acoustic comfort in classrooms: A comparative investigation of vernacular and modern school classroom in Kerala. *Elsevier*, 33-41.

Treasure, J. (june de 2012). Why Architects Need To Use Their Ears. London.

Woolworth, D. (2015). Classroom Acoustics for Architects. *Phys.org*, 6.

## **ANEXOS**

# ANEXOS

## Anexo A



### CUESTIONARIO PARA CARACTERIZAR LOS NIVELES DE RUIDOS EN DOS AULAS DE CLASE DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL.

Fecha \_\_\_\_\_

Semestre de inicio en la Universidad Pedagógica Nacional \_\_\_\_\_

Programa \_\_\_\_\_

Sexo  Femenino  Masculino

Aula \_\_\_\_\_

Asignatura \_\_\_\_\_

#### OBJETIVO

Realizar un diagnóstico subjetivo para la recopilación de información de forma cuantitativa y cualitativa de las condiciones acústicas de las aulas C108, C109, C219 C220, C221 de la Universidad Pedagógica Nacional.

#### RUIDO

*“Se define ruido como un sonido desagradable que se puede presentar en algún espacio, el cual puede ser molesto para las personas que se encuentran en el interior del mismo; de acuerdo a lo dicho existen diferentes fuentes de ruido: el del tráfico vehicular, el que interfiere en la división entre cada uno de los salones de clase, el de áreas comunitarias, etc.” No se tendrán en cuenta los sonidos que ocasionan las personas que estén en el interior de las aulas.*

¿Qué opinión le merece la arquitectura del salón?

- Excelente
- Buena
- Regular
- Mala
- Pésima

El ambiente del aula de clases le resulta

- Confortable
- Indiferente
- Inconfortable

*A continuación, marque un punto visible, donde usted considere su respuesta adecuada.*

*Ejemplo*

*Que tan frecuente usted realiza actividad física:*

**NUNCA  
LOS DÍAS**



**TODOS**

● *Esto quiere decir en una escala de 1 a 10, el punto rojo es el 5 lo cual indica que práctica actividad física menudo o de vez en cuando.*

### **EVALUACIÓN DE LA SALA**

#### **REVERBERACIÓN**

Cuando el sonido permanece por un tiempo luego de haber cesado de su fuente original, este fenómeno puede ser perceptible a medida de que el hombre esté tan cerca de un medio reflexivo que pueda percibir el mismo sonido hasta desvanecerse, y aún con más razón, en un recinto cerrado. La reverberación que se manifiesta en el aula es:

**INADECUADA**

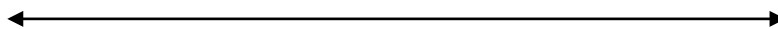


**ADECUADA**

#### **VOLUMEN**

El nivel para elevar su voz es:

**ALTO**

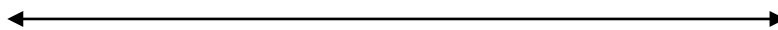


**BAJO**

#### **CLARIDAD**

*Se entiende por claridad la precisión con la que escucha la información que se requiere transmitir dentro del salón. Si el sonido es claro, podemos percibir la información que se pretende transmitir perfectamente. Si no es claro, percibimos un sonido difuso.*

**DIFUSO**

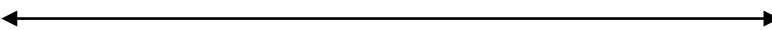


**CLARO**

#### **COMPRENSIÓN:**

Comprensión es la capacidad de entendimiento de los sonidos recitados o manifestados en un recinto o aula. Conteste si, en el caso de entender la totalidad de los sonidos, la comprensión es muy buena, o si el entendimiento es nulo, la comprensión es pobre, indicando puntos intermedios en el que el entendimiento sea parcial.

**MUY BUENA**



**POBRE**

#### **ESPACIALIDAD:**

La percepción del sonido en un espacio amplio, proveniente de diversas fuentes, o el cual rodea un espacio cerrado, como un salón o aula, se denomina espacialidad. Cuando se manifiesta esta diversidad de sonido, indique si dicha espacialidad es amplia o estrecha en su salón:

AMPLIA



ESTRECHA

**RUIDO DE FONDO:**

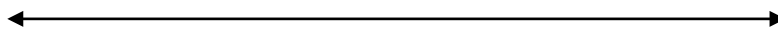
Cuando el aula esta en completo silencio, usted alcanza a percibir las fuentes de ruido que se generan al exterior del aula, como el tránsito automotor, personas transitando en los pasillos, actividades en salones adyacentes a la evaluada, etc. Considera usted que estos sonidos son:

- Indiferentes a sus actividades
- Perceptibles
- Incómodos
- Molestos

**IMPRESIÓN GENERAL:**

Evalúe la impresión general del sonido que usted percibe en una sesión de clase:

BUENA



MALA

**EFFECTOS DEL RUIDO**

¿Usted considera que puede manifestarse los siguientes efectos en el organismo?

Síntomas	Si	No
Estrés		
Desesperación		
Dolor de cabeza		
Perdida de la audición		
Disfonía		
Mal humor		

¿Usted se ha realizado una audiometría?

- SI
- NO

¿Considera usted que sea necesario crear concienciación acerca del ruido y sus perjuicios?

- SI
- NO

¿Tiene algún conocimiento sobre la norma que regula la exposición de los niveles sonoros?

- SI
- NO



**Tabla.A.2 Listado de fonemas.**



**LISTA DE FONEMAS PARA EVALUAR LA INETLIGIBILIDAD DE LA PALABRA.**

res	va	la	quia	cen	sel	Soir	cat	car	ted
die	dot	de	pec	be	sar	Od	ce	net	sai
sap	co	sol	boc	nou	mou	Ma	pac	at	al
ta	map	quo	ya	lor	diar	Zat	yot	con	roi
cop	jol	me	leu	seir	ba	Ven	dai	sia	nie
dior	to	cies	nos	no	pol	Nal	sen	que	ep
fem	pe	loi	ras	fam	cat	Tau	eir	es	les
rei	ser	nai	quei	get	teu	Rios	cam	dep	eu
son	dog	rel	ram	au	la	Nas	lied	rias	ye
lau	dac	ga	pa	tai	sau	Der	seu	tel	ren

**Logatomos con todas las vocales de MIÑANA**

## Anexo B

### B.1. Resultados de las posiciones de micrófono por cada posición de fuente evaluadas en los salones C220 y C2221

En este anexo se reflejan los datos muestreados en diferentes gráficos que evidencian aspectos los niveles de presión sonora medidos por cada posición de sonómetro C219, C220 y C221, los aspectos a evaluar: ruido de fondo, aislamiento acústico e inteligibilidad de la palabra y, asimismo, refleja la cuantificación de los efectos en el organismo del ruido en las personas evaluadas por medio de las encuestas mostradas en el anexo A. Sobre el recinto C220 hay que mencionar las características de inteligibilidad que se tuvieron en cuenta al momento de obtener las gráficas correspondientes.

#### B. 1. 1. Niveles de presión Sonora

Tabla B1

Posición N° 1 de fuente en el recinto emisor y niveles de presión acústica para las cinco posiciones de sonómetro, a partir de una banda de frecuencias de 1/3 de octava.

Frecuencia (Hz)	Recinto Emisor (C109)					Recinto Receptor (C108)				
	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	R3	R4	R5
100	88,6	86,2	81,3	88,8	77,8	69,1	64	59,8	67,8	58,5
125	84,8	88,1	82	86,3	84	63,6	64,9	58,7	63	58,3
160	89,6	87,7	86,6	88,8	87	63	63	65,2	63,8	62,2
200	87,4	87,3	87	89,9	87,9	60,5	60,8	60,7	61,7	61,4
250	87,8	90,7	87,8	90,4	89,4	62,8	60,8	61,8	62,9	60,3
315	87,5	89,7	87,9	89	89,2	62,1	60,2	63,1	61,4	60,4
400	88,2	88,9	87,7	87,7	88,7	59,4	59,5	59,7	59,9	59,8
500	86,8	88,3	87,8	88,2	87,7	58,6	58,2	58,1	58,9	59,1
630	88,9	87,9	88,1	88,3	87,3	57,6	57,7	57	58,1	56,1
800	87,3	86,1	86,7	88,1	87	54,5	54,7	54,7	54,4	54,1
1000	88,2	89	87,9	89,8	88,8	54,3	54	54,3	53,9	54,2
1250	89,4	90,9	90,8	90,6	89,6	55,6	55	55,7	55	55,5
1600	90,8	91,8	90,7	91,6	90,9	56,7	55,8	56,7	56,4	56
2000	89,1	89,1	89,1	90	88,5	54,2	53,6	54	54	54,2
2500	86,7	86,2	86,3	87,2	86,4	50,9	49,7	50,7	51,2	51
3150	86	86,9	86	86,9	86,5	48,5	47	47,8	47,8	48

Tabla B2

Posición N° 2 de fuente en el recinto emisor y niveles de presión acústica para las cinco posiciones de sonómetro, a partir de una banda de frecuencias de 1/3 de octava.

Frecuencia (Hz)	Recinto Emisor (C109)					Recinto Receptor (C108)				
	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	R3	R4	R5
100	89,2	86,2	78,6	89,8	83,1	66,6	63,8	58,6	64,8	56,9
125	88,1	90,8	89,3	91,4	88,9	67,2	67,6	64,3	61,6	65,4
160	89,8	89,2	91,4	90,6	90,9	65,7	65,2	65,7	64,5	64,3
200	92,3	88,8	91,8	89,9	90,8	65	61,5	62,7	62,4	61,5
250	92,2	89,3	91	89,1	88,7	63,5	62,2	61,8	63,3	61,9
315	90,2	88	87	88,5	86,6	62,5	61,5	61,8	62,1	61,7
400	88,9	88	87,8	88,6	88,4	61	60,2	60,8	60,5	60,1
500	87,7	88	89,9	88,8	89,4	60,7	60,3	59,5	60,5	60,6
630	88,3	89,1	88,3	87,6	87,4	57,9	58,8	57,8	58,2	58,1
800	88,4	88	87,7	87,4	86,8	56,1	56,2	54,9	55,7	56,9
1000	88,4	87,8	88,4	88,4	88	56	54,8	54,5	54,3	55,6
1250	90,3	90,9	89,5	89,7	89,8	57	55,9	56,5	55,8	56,1
1600	91	91,5	90,6	91,1	90,9	57,3	56,7	57,1	56,6	56,6
2000	89,3	89,8	88,7	89,5	89,5	55,7	54,7	55,1	54,7	54,7
2500	86,8	86,8	86	86,6	86,6	53,4	52,2	52,3	52,3	51,7
3150	87	86,9	86,2	86,4	86,5	50,4	48,8	48,6	49,6	48,6

Tabla B3.

Posición N° 1 de fuente en el recinto emisor y niveles de presión acústica para las cinco posiciones de sonómetro, a partir de una banda de frecuencias de 1/3 de octava.

Frecuencia (Hz)	Recinto Emisor (C219)					Recinto Receptor (C220)				
	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	R3	R4	R5
100	86,5	82,1	85,2	87,5	87,7	78,4	75,6	76,9	79,6	68,4
125	86,3	86	83,9	83,9	86,3	78,2	81,3	80,6	82,6	79,8
160	87,9	89,5	88,5	85,5	90,5	81,2	80,7	81,2	80,8	77,4
200	84,9	88	88	87	85,2	78,5	78,2	75,3	75,4	75,4
250	87,1	86,4	86,8	86,4	86,1	78,3	75,3	77,2	76,6	76,4
315	87,1	88,1	86,3	86,1	87,9	77,8	76,5	78,7	76,3	77,0
400	86,3	84,7	85,3	86,2	87,7	75,9	76,6	74,7	73,2	74,1
500	85,2	84,8	85,6	85,4	86,8	75,4	75,7	75,9	76,2	75,4
630	84,8	86,1	85,1	85,4	86,4	75,8	75,7	76,3	74,7	75,5
800	84,5	86,2	85,1	85,8	86,7	74,7	74,5	74,6	73,7	74,4
1000	84,6	86,3	88,4	86,3	86,8	75,3	75,1	75,2	74,5	75,3
1250	87,9	88,7	89	89	88,8	76,9	76,7	76,6	76,4	76,8
1600	89,1	89,7	89,3	89,1	89,1	78,0	77,5	77,4	77,7	77,4
2000	87,6	88,6	88,7	88,2	89,2	75,6	75,6	75,6	75,4	75,4
2500	86,2	85,8	85,4	86,6	86,6	72,5	72,5	72,4	71,8	72,4
3150	85,5	85,4	87	86,8	87,5	71,7	71,1	71,5	70,8	70,9

Tabla B. 4.

Posición N°2 de fuente en el recinto emisor y niveles de presión acústica para las cinco posiciones de sonómetro, a partir de una banda de frecuencias de 1/3 de octava.

Frecuencia -(Hz)	Recinto Emisor (C219)					Recinto Receptor (C220)				
	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	R3	R4	R5
100	83,5	86,2	86,4	83,1	84,2	67,4	79,0	80,1	80,5	73,6
125	86,6	82,7	83,5	83,3	85,8	79,0	80,4	78	78,7	76,7
160	83,3	85,9	85,8	86,1	85	81,7	81,5	78,1	80,8	81,6
200	84,5	87,3	87,1	87,5	86,3	79,9	77,9	79,3	78,8	78,1
250	85	87,5	87,3	83,4	87,5	77,5	77,4	77,9	77,0	77,2
315	84,5	84,9	86,1	85,1	86,1	77,1	77,2	78,5	78,0	78
400	83,6	84,9	87,1	87	83,8	76,4	74,7	77	75,8	76,2
500	84,5	85,9	86	87	84,2	76,5	75,6	75,5	76,0	76
630	85,1	84,6	84	87,5	85,7	76,3	74,8	75,8	76,2	76
800	83,9	84,5	84,7	85,2	84,4	75,8	75,1	74,6	74,2	73,9
1000	85,7	84,7	86,9	86,6	86,1	76,8	75,4	76,5	75,7	75,9
1250	87,6	87,1	88,5	89	88,7	78,2	76,9	77,9	77,6	77,3
1600	88,8	88,5	89,1	89,6	89,4	77,9	77,8	77,4	77,6	77,1
2000	87,6	87,5	87,7	89,3	88	76,5	75,9	75,9	75,3	75,1
2500	84,8	85	85,6	87,3	86	73,1	72,1	73,1	72,4	72
3150	84,8	85	86	86,3	85,8	72,0	71,3	72,2	71,1	71,7

### B.1.2. Posiciones de fuente como emisor C220 y C221 como receptor.

Tabla B. 5.

Posición N° 1 de fuente en el recinto emisor y niveles de presión acústica para las cinco posiciones de sonómetro, a partir de una banda de frecuencias de 1/3 de octava.

Frecuencia (Hz)	Recinto Emisor (C220)					Recinto Receptor (C221)				
	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	R3	R4	R5
100	77,4	89,8	88,0	83,8	88,7	64,8	67,1	67,2	67,5	65,2
125	84,5	85,3	90,6	89,1	89,6	64,4	67,1	65,1	64,4	63,1
160	89,6	89,9	90,2	89,5	92,3	71,3	65,6	66,8	66,6	69
200	89,3	89,4	87,9	88,5	87,6	68,4	67,8	68	66,7	69
250	88,4	89,6	87,1	87,1	86,2	67,1	67,9	68,3	68,2	67
315	88,0	88,6	88,8	87,6	89,7	68,4	66,3	67	68	66
400	87,5	89,3	86,9	86,8	88,1	68,1	66,9	65,5	66,6	66,6
500	89,0	89,1	88,4	88,3	88,7	69,6	69,5	69,4	68	66,7
630	88,2	87,6	88,3	89,6	89,0	73	71,1	69,5	70,5	69,5
800	88,6	88,1	87,1	88,8	87,2	71,4	70,6	70,7	68,2	69,2
1000	89,2	89,3	88,3	90,6	89,4	72,1	71,2	71,5	70,7	70,4
1250	91,8	90,7	92,2	92,2	90,8	72,7	72,9	72,3	71,5	70,5
1600	92,4	92,0	92,0	92,4	91,5	73,4	72	70,8	71,1	71,3
2000	91,1	90,5	90,1	90,8	90,4	71,4	69,5	68,9	69,2	69,2
2500	88,3	87,5	87,7	89,3	88,4	67,3	66,1	65,4	65,3	65,7
3150	88,2	88,3	88,2	89,0	89,0	64,9	64,4	63,5	63,5	63,4

*Tabla B.6.*  
*Posición N° 2 de fuente en el recinto emisor y niveles de presión acústica para las cinco posiciones de sonómetro, a partir de una banda de frecuencias de 1/3 de octava.*

Frecuencia (Hz)	Recinto Emisor (C220)					Recinto Receptor (C221)				
	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	R3	R4	R5
<b>100</b>	79,0	89,8	85,3	81,7	90,0	63,8	71	65,2	68,3	65,4
<b>125</b>	84,6	87,9	90,9	86,6	89,6	67	66,8	64,3	66,4	63,5
<b>160</b>	90,4	92,0	88,7	86,3	89,9	70,7	69,5	69,1	65,3	67,3
<b>200</b>	90,4	88,2	89,0	87,3	89,0	70,8	69,4	72,5	67	68,4
<b>250</b>	89,0	86,7	87,9	86,7	86,9	67,4	67,8	68,3	65,5	65,1
<b>315</b>	89,4	86,2	89,7	86,5	86,3	67,8	66,7	66,5	68,3	66,8
<b>400</b>	86,7	87,6	89,9	86,1	88,6	67,6	67,8	66,2	69,8	67,6
<b>500</b>	88,1	89,6	90,6	87,8	87,9	68,7	67,4	66,8	69	68,1
<b>630</b>	87,3	89,8	89,8	88,1	88,5	71,3	71,4	71,1	70,5	70,3
<b>800</b>	88,5	87,7	89,1	87,7	87,4	72,9	70	71,6	70,6	69,9
<b>1000</b>	89,8	88,5	90,4	90,6	88,7	73	71,4	72,7	70,7	71,5
<b>1250</b>	90,8	90,0	91,9	92,1	91,8	72,8	71,7	71,8	71,8	70,7
<b>1600</b>	91,1	91,2	93,2	93,0	92,1	71,8	71,3	71,5	70,6	71,6
<b>2000</b>	90,1	90,5	91,4	91,0	90,4	71,3	69,7	69,6	69,3	69,7
<b>2500</b>	87,9	87,8	88,9	88,7	89,0	67,8	66,7	66,1	66,4	66,2
<b>3150</b>	88,5	88,3	88,7	88,5	88,8	66,1	65,3	64,4	64,8	65,2

*Tabla B.7*  
*Diferencia de niveles y el índice de reducción acústica aparente de las aulas C108, C220 y C221.*

Frecuencia (Hz)	C108-C109				C219-C220				C220-C221			
	DnT1	DnT2	R'1	R'2	DnT1	DnT2	R'1	R'2	DnT1	DnT2	R'1	R'2
<b>100</b>	28,3	31,2	28,4	31,2	13,1	10,7	24,1	21,7	22,2	21,0	35,6	34,4
<b>125</b>	30,8	31,9	30,9	32,0	8,9	10,1	19,6	20,9	26,7	26,0	38,3	37,6
<b>160</b>	32,2	33,0	32,3	33,1	12,9	9,1	23,2	19,3	26,1	25,1	37,0	36,0
<b>200</b>	34,7	35,8	34,8	35,9	13,6	11,4	25,0	22,7	23,6	21,8	35,5	33,8
<b>250</b>	35,4	35,5	35,3	35,4	13,4	12,7	24,6	24,0	23,0	23,4	35,0	35,5
<b>315</b>	35,0	34,2	34,8	34,0	13,7	11,5	24,8	22,5	24,9	24,2	36,3	35,5
<b>400</b>	35,8	35,0	36,9	36,1	14,7	13,0	26,0	24,4	24,7	23,7	35,9	35,0
<b>500</b>	36,9	36,2	37,0	36,3	13,5	13,3	24,8	24,6	23,0	24,0	34,8	35,8
<b>630</b>	38,0	37,2	39,1	38,3	13,5	13,3	24,9	24,6	20,8	21,0	32,6	32,8
<b>800</b>	40,0	39,1	40,7	39,8	15,1	13,6	26,3	24,7	21,1	20,2	32,8	31,9
<b>1000</b>	41,7	40,2	43,1	41,5	15,1	13,5	26,5	24,9	21,4	20,9	33,1	32,7
<b>1250</b>	42,0	40,8	43,4	42,3	15,7	14,3	27,0	25,6	22,7	22,8	34,5	34,5
<b>1600</b>	41,7	41,0	43,5	42,8	15,4	15,2	26,6	26,4	23,4	23,9	35,2	35,7
<b>2000</b>	41,8	41,0	44,0	43,2	16,6	15,9	27,9	27,2	23,9	23,8	35,8	35,6
<b>2500</b>	42,2	40,5	45,0	43,3	17,5	16,9	28,8	28,2	25,3	24,9	37,2	36,7
<b>3150</b>	44,1	42,9	48,6	47,4	18,6	17,2	30,2	28,9	27,6	26,4	39,5	38,3

Tabla B9.

Niveles de presión sonora promediados Logarítmicamente de las aulas C219 y C220, y diferencia de estos niveles.

Frecuencia (Hz)	C219		C220		D		Frecuencia (Hz)	C219		C220		D	
	P1	P2	P1	P2	D1	D2		P1	P2	P1	P2	D1	D2
<b>100</b>	86,2	84,9	77,0	78,1	9,2	6,8	<b>630</b>	85,6	85,6	75,6	75,9	10,0	9,7
<b>125</b>	85,4	84,7	80,7	78,7	4,7	5,9	<b>800</b>	85,7	84,6	74,4	74,8	11,3	9,8
<b>160</b>	88,7	85,3	80,4	80,9	8,2	4,4	<b>1000</b>	86,7	86,1	75,1	76,1	11,5	10,0
<b>200</b>	86,8	86,7	76,8	78,9	10,0	7,8	<b>1250</b>	88,7	88,2	76,7	77,6	12,0	10,6
<b>250</b>	86,6	86,4	76,8	77,4	9,7	9,0	<b>1600</b>	89,3	89,1	77,6	77,6	11,7	11,5
<b>315</b>	87,2	85,4	77,3	77,8	9,8	7,6	<b>2000</b>	88,5	88,1	75,5	75,8	13,0	12,3
<b>400</b>	86,2	85,5	75,1	76,1	11,1	9,5	<b>2500</b>	86,1	85,8	72,3	72,6	13,8	13,3
<b>500</b>	85,6	85,6	75,7	75,9	9,9	9,7	<b>3150</b>	86,5	85,6	71,2	71,7	15,3	13,9

Tabla B10.

Niveles de presión sonora promediados logarítmicamente de las aulas C220 y C221, y diferencia de estos niveles.

Frecuencia (Hz)	C220		C221		D		Frecuencia (Hz)	C220		C221		D	
	P1	P2	P1	P2	D1	D2		P1	P2	P1	P2	D1	D2
<b>100</b>	87,2	87,0	66,5	67,6	20,7	19,4	<b>630</b>	88,6	88,8	70,9	70,9	17,7	17,9
<b>125</b>	88,4	88,5	65,0	65,8	23,4	22,7	<b>800</b>	88,0	88,1	70,2	71,2	17,9	17,0
<b>160</b>	90,4	89,8	68,4	68,8	22,0	21,1	<b>1000</b>	89,4	89,7	71,2	71,9	18,2	17,7
<b>200</b>	88,6	88,9	68,0	70,0	20,6	18,8	<b>1250</b>	91,6	91,4	72,1	71,8	19,5	19,6
<b>250</b>	87,8	87,5	67,7	67,0	20,1	20,5	<b>1600</b>	92,1	92,2	71,8	71,4	20,2	20,8
<b>315</b>	88,6	87,9	67,2	67,3	21,4	20,6	<b>2000</b>	90,6	90,7	69,7	70,0	20,8	20,7
<b>400</b>	87,8	88,0	66,8	68,0	21,0	20,0	<b>2500</b>	88,3	88,5	66,0	66,7	22,2	21,8
<b>500</b>	88,7	89,0	68,8	68,1	19,9	20,9	<b>3150</b>	88,5	88,6	64,0	65,2	24,6	23,4

Tabla B11.

Niveles de presión sonora medidos de las cinco posiciones de micrófono empleadas en la sala C108 y fachada.

Frecuencia (Hz)	Fachada					C108				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
<b>100</b>	71,7	72,8	72,2	71,2	71,5	64,5	63,5	61,7	64,8	61,9
<b>125</b>	77,5	77,9	77,6	76,8	76,9	71,7	71,4	67,8	68,5	67,1
<b>160</b>	79,0	78	79,0	78,5	79	70	65,7	66,2	65,2	66,2
<b>200</b>	81,2	80,6	80,3	80,0	79,6	67,9	66,6	65,3	66,5	66,1
<b>250</b>	80,8	81,8	81,0	81,4	80,8	69,8	65,9	65,5	64,8	66,5
<b>315</b>	76,1	76,5	76,5	75,9	76	68,5	64,3	64,4	64,7	64,3
<b>400</b>	77,2	77,1	76,9	77,6	77,1	65,5	62,3	61,4	61,6	61,5
<b>500</b>	77,4	77,3	77,2	77,4	77,1	62,5	60,5	59,2	60,2	60,8
<b>630</b>	77,0	77,3	76,7	77,6	77,3	61,9	58,8	59,5	58,4	58,9
<b>800</b>	75,4	75,4	75,7	75,8	76,2	60	57,5	57,6	56,6	57,8
<b>1000</b>	76,2	76,8	76,7	77,2	76,8	59,9	59,8	58,6	59,8	58,6
<b>1250</b>	81,3	81,1	81,0	81,3	81,2	62,2	61,4	61,1	61,2	61,6
<b>1600</b>	80,5	80,4	80,1	80,3	80,2	62,9	62	62	62,5	61,9
<b>2000</b>	79,2	79,7	79,3	79,6	79,5	61,2	60,8	60,3	60,8	60,6
<b>2500</b>	76,0	75,9	76,1	75,9	76,0	58,5	58,2	57,4	57,7	57,6
<b>3150</b>	75,7	75,7	75,5	75,9	75,5	57,9	57,5	56,4	57	56,5

Tabla B12.

Niveles de presión sonora medidos de las tres posiciones de micrófono empleadas en la sala C220 y fachada.

Frecuencia (Hz)	Fachada			C220		
	F1	F2	F3	R1	R2	R3
<b>100</b>	78,5	79,3	79,3	61,9	60,5	57
<b>125</b>	82,9	82,8	82,7	60,3	66,1	63,4
<b>160</b>	82,5	82,8	83,4	66,9	67,8	66,1
<b>200</b>	81,3	81,2	81,1	69,8	73,8	68
<b>250</b>	83,3	83,5	83,0	69,1	67,6	67
<b>315</b>	82,6	82,8	82,5	68,2	68,5	67,6
<b>400</b>	78,4	78,0	78,9	68,3	67,4	66,9
<b>500</b>	82,3	82,1	82,3	65	65,9	65,7
<b>630</b>	83,4	83,4	83,2	66	65,8	65
<b>800</b>	81,0	80,8	80,6	64,2	65,7	63,9
<b>1000</b>	82,7	83,3	82,8	65	66	64,8
<b>1250</b>	85,5	86,0	85,5	66,5	67,1	65,7
<b>1600</b>	86,1	86,3	86,2	66,6	67,7	66,1
<b>2000</b>	84,1	84,4	84,3	65,5	66,1	64,3
<b>2500</b>	82,3	82,5	82,3	61,8	63,2	61,7
<b>3150</b>	81,7	81,8	81,6	63,1	64,3	60,8

Tabla B13. Promediado de los niveles de presión acústica de las aulas C108 y C220, y de la fachada de cada sala.

Frecuencia (Hz)	Fachada L1,2m	C108 L1	Fachada L1,2m	C220 L1	Frecuencia (Hz)	Fachada L1,2m	C108 L1	Fachada L1,2m	C220 L1
<b>100</b>	71,9	63,5	79,1	60,2	<b>630</b>	77,2	59,7	83,4	65,6
<b>125</b>	77,4	69,7	82,8	63,9	<b>800</b>	75,7	58,1	80,8	64,7
<b>160</b>	78,7	67,1	82,9	67,0	<b>1000</b>	76,8	59,4	82,9	65,3
<b>200</b>	80,4	66,6	81,2	71,2	<b>1250</b>	81,2	61,5	85,7	66,5
<b>250</b>	81,2	66,9	83,3	68,0	<b>1600</b>	80,3	62,3	86,2	66,9
<b>315</b>	76,2	65,6	82,6	68,1	<b>2000</b>	79,5	60,7	84,3	65,4
<b>400</b>	77,2	62,8	78,4	67,6	<b>2500</b>	76,0	57,9	82,4	62,3
<b>500</b>	77,3	60,8	82,2	65,6	<b>3150</b>	75,7	57,1	81,7	63,0

*Tabla B14.*  
*Diferencia de niveles de la fachada de las aulas C108 y C220.*

Frecuencia (Hz)	D2m		Frecuencia (Hz)	D2m	
	C108	C220		C108	C220
<b>100</b>	8,5	18,8	<b>630</b>	17,5	17,7
<b>125</b>	7,7	18,9	<b>800</b>	17,7	16,1
<b>160</b>	11,7	15,9	<b>1000</b>	17,4	17,6
<b>200</b>	13,8	10,0	<b>1250</b>	19,7	19,2
<b>250</b>	14,3	15,3	<b>1600</b>	18,0	19,3
<b>315</b>	10,6	14,5	<b>2000</b>	18,7	18,9
<b>400</b>	14,4	10,9	<b>2500</b>	18,1	20,1
<b>500</b>	16,5	16,7	<b>3150</b>	18,6	18,7

*Tabla B15.*  
*Diferencia de niveles estandarizada y el índice de reducción acústica aparente de la fachada de las aulas C108 y C220.*

Frecuencia (Hz)	C108		C220		Frecuencia (Hz)	C108		C220	
	R'45	D <sub>2m,nT</sub>	R'45	D <sub>2m,nT</sub>		R'45	D <sub>2m,nT</sub>	R'45	D <sub>2m,nT</sub>
<b>100</b>	14,1	16,2	28,3	22,8	<b>630</b>	23,6	24,7	27,6	21,3
<b>125</b>	13,3	15,4	28,1	23,1	<b>800</b>	23,6	25,1	25,8	19,9
<b>160</b>	17,3	19,4	24,7	20,6	<b>1000</b>	23,6	24,5	27,5	21,2
<b>200</b>	19,5	21,5	19,8	13,6	<b>1250</b>	26,0	26,7	28,9	22,9
<b>250</b>	19,8	22,1	25,0	19,0	<b>1600</b>	24,5	24,9	29,1	23,0
<b>315</b>	16,1	18,5	24,0	18,4	<b>2000</b>	25,4	25,4	28,7	22,5
<b>400</b>	20,5	21,6	20,7	14,4	<b>2500</b>	25,1	24,5	29,9	23,7
<b>500</b>	22,1	24,2	26,5	20,3	<b>3150</b>	26,4	24,1	28,8	22,0



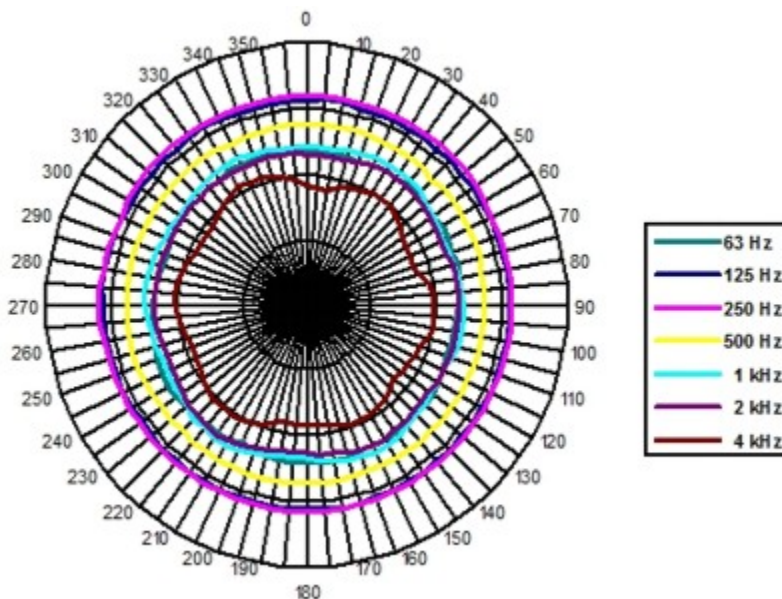
## Anexo C.

### Especificaciones técnicas de los equipos

#### C.1 Fuente omnidireccional.

**AMPLI 12** :es la caja rectangular que está en la parte inferior de la figura 11 y se caracteriza por que se enciende la carga a 250 watts rms, potencia instantánea dada en la carga 4C es de 480 watts rms, distorsión armónica total THD es de 0.1% max, relación señal ruido S/N R es igual a 92,5 dB típico, la protección personal es térmica, en caso de cortocircuito, y/o Sobre intensidad de corriente, peso es de 25Kg, voltaje de alimentación es de 110 voltios a 220voltios de 50/60 Hz

**OMNI 12** :es el dodecaedro que se puede apreciar en la parte superior de la figura 11, se caracteriza por tener 12 altavoces por 5'' banda ancha montada en una fuerte caja de dodecaedro, tiene también conectores de 1 Neutrik speakon 4 polos, tiene una estructura del gabinete: Abedul multicapa por 15 mm, el diámetro de la esfera es de 500mm, su peso es 18Kg, diámetro de la abrazadera estática es de 35mm.



*Figura C1. La Fuente tiene una emisión omnidireccional del ruido reproducido y que es capaz de desarrollar 123 dB de potencia acústica (PWL) con ruido rosa en las bandas de tercio de octava de 50 a 5000 Hz durante más de una hora.*

Tomado de <https://www.cesva.com/es/productos/fuentes-de-ruido/fp122/>

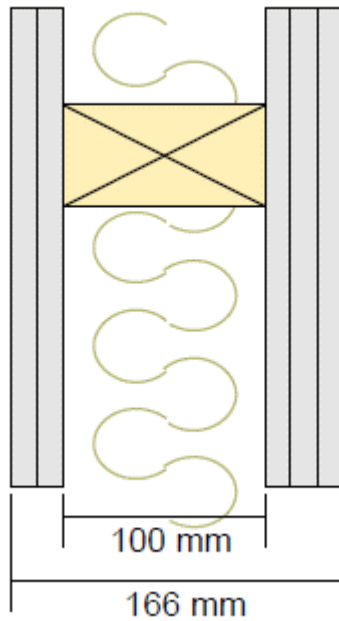
## **C.2 Sonómetros**

Svan 943A : es digital de tipo dos, analiza en tiempo real de las bandas 1/1 y 1/3 de octava incluyendo cálculos estadísticos tiene filtros de ponderación requeridos por los estándares A, C, Lin tiene tipos de muestreo, también tiene tres perfiles acústicos se pueden medir en paralelo con filtros definidos independientemente y constantes de tiempo de detector RMS son posibles mediciones en simultaneo de impulso rápido o lento. Almacena los datos de la medición en una memoria de 8MB se conectan a la interfaz USB 1.1 o RS 232 y el software SvanPC. Características mediciones de ruido (SPL, Leq,etc), con detectores paralelos de impulso, fast y slow para mediciones con filtros A,C o Lin, tiene un análisis de tiempo real de 1/3 de octava, también contiene un software de descarga.

Analizador portátil Tipo 2250 y 2270: las mediciones de sonido son de clase 1 de acuerdo con las normas internacionales, evaluación del ruido ambiental y analizando frecuencias en bandas de tercios de octava y de 1/3 de octava, analizando parámetros espectrales máximos y mínimos, también visualiza resultados en banda ancha, registra de por un periodo de 1 hora a 24 horas en parámetros espectrales y de banda ancha, registrando cada periodo durante 100ms del tiempo transcurrido. También controla las mediciones de vibración humana de la mano o brazo y de cuerpo entero (RMS, MTVV y factor de cresta). Este conecta por la interfaz USB 1.1 o RS232 y el software BZ-5503

## Anexo D

### D.1. Características de los muros ideales



**Figura D1. Muros ideales para las aulas a caracterizar. ,**

Grosor del muro ideal 0.16m

Primeras dos láminas de yeso con dimensiones cartón 2 x 13,1 mm, dividen el tabique de madera y las tres láminas de yeso cartón 3 x 13,1 mm, paralelas a las mencionadas anteriormente.

Los coeficientes de absorción se suman logarítmicamente

CERTIFICADO

Por medio del presente certifico, a quien pueda interesar, que:

La joven Laura Mercedes Arteaga Rojas, identificada con cedula de ciudadanía #1031153359, contó en días pasados con el uso de nuestros software de predicción acústica, asesoría en el uso de estas herramientas, entre otros temas, lo anterior por parte de nuestros ingenieros. La presente se expide en Bogotá D.C., a los 27 días del mes de Agosto de 2018.

Quedo atento a cualquier inquietud.

Cordial saludo,



Ing. Franklin Serrano Poveda  
gerencia@control-acustico.com  
Control Acústico - SFSerrano S.A.S.