

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABI**



**Uleam**  
UNIVERSIDAD LAICA  
ELOY ALFARO DE MANABÍ

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

INFORME FINAL DE TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION  
DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

**TEMA:**

“CARACTERÍSTICAS ESPACIALES QUE INCIDEN EN LA CONFORTABILIDAD  
ACÚSTICA Y PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO”

**ELABORADO POR:**

JANDRY ALEXANDER GARCÍA SALTOS

**DIRIGIDO POR:**

Arq. ARMANDO ZAMBRANO LOOR, Mg.

**MANTA – MANABI - ECUADOR**

**2019**

Características espaciales que inciden en la confortabilidad acústica y propuesta de  
acondicionamiento

Jandry Alexander García Saltos

Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí

Septiembre 18 de 2019

Notas del autor

Jandry García Saltos, Facultad de Arquitectura, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí

Este proyecto ha sido financiado parcialmente por el autor

La correspondencia relacionada con este proyecto deber ser dirigida a Jandry García Saltos,  
Facultad de Arquitectura, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Av. Circunvalación -  
Vía a San Mateo

Contacto: [Jandry1593@gmail.com](mailto:Jandry1593@gmail.com)

### **Certificación del tutor**

En calidad de docente tutor de la Carrera Arquitectura de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico:

Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación, cuyo tema del proyecto es “**CARACTERISITCAS ESPACIALES QUE INCIDEN EN LA CONOFORTABILIDAD ACÚSTICA Y PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO**”; cumpliendo los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo CERTIFICO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado, corresponde al estudiante **Jandry Alexander García Saltos**, portador de la **C.I. # 1312095058-4**, estudiante de la carrera Arquitectura, quien se encuentra apto para la sustentación de su trabajo de titulación.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, septiembre de 2019

Lo certifico,

.....  
**Arq. Armando Zambrano Loor, Mg.**  
**Docente Tutor**  
**Área: Arquitectura**

**Declaración de autoría**

Yo, Jandry Alexander García Saltos, con CI. 131208508-4 declaro ser el autor del trabajo que se presenta en este documento y exonero a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí en toda coacción legal.

Así mismo expreso que conozco la disposición de la Universidad, de que todo Trabajo Final de Carrera pasa a formar parte de los recursos bibliográficos de la misma para aportar al desarrollo y crecimiento del conocimiento.

.....  
**Jandry Alexander García Saltos**  
**AUTOR**

### **Certificación de aprobación**

Los Miembros de Tribunal de Trabajo de Fin de Carrera, **APRUEBAN** el trabajo de investigación con el tema “**CARACTERISITCAS ESPACIALES QUE INCIDEN EN LA CONFORTABILIDAD ACÚSTICA Y PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO**”, realizado por el Sr. **JANDRY ALEXANDER GARCÍA SALTOS**, egresado de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, de conformidad con el Reglamento de Graduación para obtener el Título de Arquitecto.

Manta, septiembre de 2019

Para constancia firman,

.....  
**Arq. Carlos Lourido, Mg.**  
**Docente Miembro del Tribunal**  
**Área: Arquitectura**

.....  
**Arq. Enrique Cueva, Mg.**  
**Docente Miembro del Tribunal**  
**Área: Arquitectura**

### **Dedicatoria**

El presente trabajo investigativo va dedicados principalmente a mis padres Richard y María, que con su esfuerzo y dedicación me guiaron por el camino del bien, del respeto y de la honestidad dentro de mi vida estudiantil.

A mis hermanos Andy y Steven que con su apoyo incondicional estuvieron a mi lado en todo momento, para seguir día a día durante los arduos momentos de trabajo y estudio.

Y, al ser supremo por mantenerme firme y darme las fuerzas necesarias para culminar esta etapa muy importante en mi proceso de formación y de la vida.

## **Agradecimientos**

A mi querida familia por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi formación académica y profesional, y por mantener siempre su confianza y fe en mí.

A mi tutor el Arq. Armando Zambrano Loor, por su esfuerzo y compromiso, y por sus grandes aportes académicos que permitieron direccionar y desarrollar mi proyecto de tesis.

A la facultad de arquitectura por hacer de mi un futuro profesional orgulloso de su formación académica, a todos los docentes, catedráticos que son parte de ésta formación, y mención especial al Ing. Alfredo Sánchez por incentivar y apoyar los procesos investigativos que han sido parte de mi proyecto de tesis

Y, finalmente al ser supremo por su bendición y luz de guía.

## Tabla de contenido

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	III
CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTOS .....	VI
RESUMEN .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	XV
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>XVI</b>
<b>1.1. MARCO CONTEXTUAL .....</b>	<b>XVI</b>
1.1.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA.....	XVI
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>XVII</b>
1.2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA. ....	XVII
1.2.2. PROBLEMA CENTRAL.....	XVII
1.2.3. SUB-PROBLEMAS.....	XVIII
1.2.4. FORMULACIÓN DE PREGUNTA CLAVE.....	XVIII
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>XVIII</b>
1.3.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL. ....	XVIII
1.3.2. JUSTIFICACIÓN ARQUITECTÓNICA.....	XIX
1.3.3. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.....	XIX
1.3.4. JUSTIFICACIÓN PERSONAL. ....	XIX
<b>1.4. DEFINICIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO .....</b>	<b>XIX</b>
1.4.1. DELIMITACIÓN SUSTANTIVA DEL TEMA.....	XX
1.4.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	XX
1.4.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL. ....	XX
<b>1.5. CAMPO DE ACCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>XX</b>
<b>1.6. OBJETIVOS.....</b>	<b>XXI</b>
1.6.1. OBJETIVO GENERAL. ....	XXI
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	XXI
<b>1.7. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....</b>	<b>XXI</b>
1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE. ....	XXI
1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	XXI
<b>1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....</b>	<b>XXII</b>
1.8.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE. ....	XXII
1.8.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE .....	XXII
<b>1.9. FORMULACIÓN DE IDEA A DEFENDER – HIPÓTESIS.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>1.10. TAREAS CIENTÍFICAS DESARROLLADAS.....</b>	<b>XXIII</b>
1.10.1. Tc 1. ....	XXIII
1.10.2. Tc 2. ....	XXIII

1.10.3. Tc 3.....	XXIII
<b>1.11. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>XXIII</b>
1.11.1. FASES DEL ESTUDIO, MÉTODOS TEÓRICOS Y EMPÍRICOS Y TÉCNICAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS. .....	XXIII
1.11.1.1. <i>Capítulo 1.</i> .....	XXIV
1.11.1.2. <i>Capítulo 2.</i> .....	XXIV
1.11.1.3. <i>Capítulo 3.</i> .....	XXIV
1.11.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	XXIV
1.11.2.1. <i>Investigación bibliográfica.</i> .....	XXIV
1.11.2.2. <i>Investigación de campo.</i> .....	XXV
1.11.3. POBLACIÓN Y MUESTRA. ....	XXV
1.11.3.1. <i>Población espacial en la Facultad de arquitectura ULEAM.</i> .....	XXV
1.11.4. FÓRMULA PARA OBTENCIÓN DE MUESTRA. ....	XXV
<b>1.12. RESULTADOS ESPERADOS .....</b>	<b>XXVI</b>
<b>1.13. NOVEDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>XXVII</b>
<b>2. CAPÍTULO I - MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2.1. MARCO ANTROPOLÓGICO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.3.1. ACÚSTICA.....	4
2.3.2. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA. ....	4
2.3.2.1. <i>Introducción.</i> .....	5
2.3.2.2. <i>Antecedentes.</i> .....	6
2.3.2.3. <i>Definición de acústica arquitectónica.</i> .....	7
2.3.2.3.1. <i>Sonido.</i> .....	8
2.3.2.3.2. <i>Frecuencia del sonido.</i> .....	8
2.3.2.3.3. <i>Banda de frecuencia.</i> .....	9
2.3.2.3.4. <i>Nivel de presión sonora.</i> .....	10
2.3.2.3.5. <i>Medición del sonido.</i> .....	10
2.3.2.3.6. <i>Propagación del sonido.</i> .....	11
2.3.2.3.7. <i>Reverberación.</i> .....	12
2.3.2.4. <i>Propiedades básicas del sonido.</i> .....	13
2.3.2.4.1. <i>Transmisión.</i> .....	13
2.3.2.4.2. <i>Absorción.</i> .....	13
2.3.2.4.3. <i>Reflexión.</i> .....	14
2.3.2.4.4. <i>Difusión.</i> .....	14
2.3.2.5. <i>Acústica en aulas de clase.</i> .....	15
2.3.2.6. <i>Característica de los materiales.</i> .....	15
2.3.2.6.1. <i>Materiales Convencionales.</i> .....	16
2.3.2.6.2. <i>Materiales acústicos.</i> .....	16
2.3.2.7. <i>Acondicionamiento acústico.</i> .....	17
2.3.3. CONFORT ACÚSTICO.....	17
2.3.3.1. <i>Definición de confort acústico.</i> .....	17
2.3.3.2. <i>Salud y confort.</i> .....	18
2.3.3.3. <i>Ruido y discomfort.</i> .....	18
2.3.3.4. <i>Ruido y salud.</i> .....	19
2.3.3.5. <i>Efectos del ruido.</i> .....	19
<b>2.5. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>21</b>
<b>2.7. MARCO NORMATIVO.....</b>	<b>24</b>

<b>2.7.1. NORMATIVA NACIONAL- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MAE)</b> .....	<b>24</b>
<b>2.7.1.1. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE RUIDO.</b> .....	<b>25</b>
<b>2.7.2. NORMATIVA INTERNACIONAL.</b> .....	<b>25</b>
<b>2.7.2.1. NORMA ANSI S12.60-2010 PARA ESCUELAS.</b> .....	<b>25</b>
<b>2.7.2.1.1. ANSI/ASA S12.60-210/PART 1. ACOUSTICAL PERFORMANCE CRITERIA, DESIGN REQUIREMENTS, AND GUIDELINES FOR SCHOOLS, PART 1: PERMANENT SCHOOLS.</b> .....	<b>26</b>
<b>2.7.2.2. REAL DECRETO 1371/2007, NORMATIVA ESPAÑOLA.</b> .....	<b>28</b>
<b>2.7.2.2.1. DOCUMENTO BÁSICO HR PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO (DB-HR) DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.</b> .....	<b>28</b>
<b>2.7.2.3. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4595.</b> .....	<b>29</b>
<b>2.8. MODELO REPERTORIO</b> .....	<b>31</b>
<b>2.8.1. MODELOS REPERTORIOS NACIONALES.</b> .....	<b>31</b>
<b>2.8.1.1. ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS FUNCIONALES, FORMALES Y TECNOLÓGICOS QUE INCIDEN EN EL CONFORT DE LOS ESPACIOS DE APRENDIZAJE Y PROPUESTA DE LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE AULAS UNIVERSITARIAS EN LA UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ – ULEAM.</b> .....	<b>31</b>
<b>2.8.1.2. TRABAJO PRACTICO, RADIO SONÓMETRO – ULEAM.</b> .....	<b>32</b>
<b>2.8.1.2.1. TRABAJO PRACTICO # 1 – TALADRO.</b> .....	<b>32</b>
<b>2.8.1.2.2. TRABAJO PRACTICO # 2 – AMOLADORA.</b> .....	<b>34</b>
<b>2.8.1.3. MATERIALES AISLANTES ACÚSTICOS PARA MUROS.</b> .....	<b>36</b>
<b>2.8.2. MODELOS REPERTORIOS INTERNACIONALES.</b> .....	<b>37</b>
<b>2.8.2.1. “LA CALIDAD ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA” – EL AMBIENTE ACÚSTICO EN EDIFICIOS ESCOLARES DE NIVEL SUPERIOR.</b> .....	<b>37</b>
<b>2.8.2.2. CARACTERIZACIÓN SONORA DE AULAS: UN ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS ACÚSTICOS EN AULAS ARGENTINAS.</b> .....	<b>38</b>
<b>3. CAPÍTULO II – DIAGNOSTICO</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1. INFORMACIÓN BÁSICA</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1.1. FACULTAD DE ARQUITECTURA (ULEAM)</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1.1.1. Criterios constructivos.</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1.1.2. Factores que priorizan las construcciones convencionales.</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1.2. INFORMACIÓN DE CAMPO.</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2.1. TABULACIÓN DE ENCUESTA.</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2.1.1. ANÁLISIS CUALITATIVO.</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2.1.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO.</b> .....	<b>53</b>
<b>3.2.1.2.1. TIEMPOS DE REVERBERACIÓN.</b> .....	<b>53</b>
<b>3.2.1.2.2. DISTRIBUCIÓN DEL SONIDO – CÁLCULO ESTADÍSTICO.</b> .....	<b>60</b>
<b>3.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>66</b>
<b>3.4. PRONÓSTICO</b> .....	<b>68</b>
<b>3.5. COMPROBACIÓN DE IDEA PLANTEADA</b> .....	<b>69</b>
<b>4. CAPITULO III – PROPUESTA</b> .....	<b>70</b>

<b>4.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA ARQUITECTÓNICO .....</b>	<b>70</b>
4.1.1. ASPECTOS FUNCIONALES.....	70
4.1.2. ASPECTOS FORMALES.....	70
4.1.3. ASPECTOS TÉCNICOS. ....	71
4.1.4. ASPECTOS AMBIENTALES. ....	71
<b>4.2. SUBSISTEMAS Y COMPONENTES.....</b>	<b>71</b>
<b>4.3. PLANES, PROGRAMAS, PROYECTOS, ESTRATEGIAS Y ACCIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>4.4. LÓGICA DE IMPLANTACIÓN DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>73</b>
<b>4.5. CAPACIDAD DE LA RESPUESTA .....</b>	<b>74</b>
<b>4.6. REQUERIMIENTOS NORMATIVOS.....</b>	<b>74</b>
4.6.1. NORMATIVAS GENERALES. ....	74
<b>4.7. REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS .....</b>	<b>75</b>
<b>4.8. PRE FACTIBILIDAD DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>76</b>
4.8.1. ANÁLISIS TÉCNICO. ....	76
4.8.2. ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO. ....	76
4.8.3. ANÁLISIS LEGAL.....	77
<b>4.9. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>77</b>
4.9.1. EN QUE CONSISTE. ....	77
4.9.2. PROPÓSITO.....	78
4.9.3. MATERIALES Y HERRAMIENTAS. ....	78
4.9.4. PRUEBAS. ....	79
4.9.5. RESULTADOS. ....	82
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>5.1. ASPECTOS TÉCNICOS – CUANTITATIVOS .....</b>	<b>86</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>6.1. ASPECTOS TÉCNICOS – CUANTITATIVOS .....</b>	<b>88</b>
<b>6.2. ASPECTOS CUALITATIVOS .....</b>	<b>88</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>90</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> , Operacionalización de variable independiente.....	XXII
<b>Tabla 2</b> , Operacionalización de variable dependiente.....	XXII
<b>Tabla 3</b> , Población.....	XXV
<b>Tabla 4</b> , Datos de muestreo.....	XXVI
<b>Tabla 5</b> , Niveles de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva.....	10
<b>Tabla 6</b> , Límites de los niveles de ruido de fondo en espacios de aprendizaje amueblados desocupados.....	12
<b>Tabla 7</b> , Límites de presión sonora máximos según MAE.....	25
<b>Tabla 8</b> , Límites de nivel sonoro y tiempos de reverberación máximos.....	26
<b>Tabla 9</b> , <i>Coficiente de absorción (<math>\alpha</math>) de los materiales</i> .....	27
<b>Tabla 10</b> , Nivel máximo de intensidad de sonido.....	30
<b>Tabla 11</b> , Tiempos de reverberación.....	30
<b>Tabla 12</b> , Información de campo - encuesta.....	42
<b>Tabla 13</b> , Referente a la pregunta 1.....	43
<b>Tabla 14</b> , Referente a la pregunta 2.....	44
<b>Tabla 15</b> , Referente a la pregunta 3.....	45
<b>Tabla 16</b> , Referente a la pregunta 4.....	46
<b>Tabla 17</b> , Referente a la pregunta 5.....	47
<b>Tabla 18</b> , Referente a la pregunta 6.....	48
<b>Tabla 19</b> , Referente a la pregunta 7.....	49
<b>Tabla 20</b> , Referente a la pregunta 8.....	50
<b>Tabla 21</b> , Referente a la pregunta 9.....	51
<b>Tabla 22</b> , Referente a la pregunta 10.....	52
<b>Tabla 23</b> , Comprobación de idea planteada.....	69
<b>Tabla 24</b> , Subsistemas y Componentes.....	72
<b>Tabla 25</b> , Planes, programas, proyectos, estrategias y acciones.....	72

## Lista de figuras

<b>Figura 1,</b> Ejemplos de oscilaciones de frecuencias 1 y Hz. ....	9
<b>Figura 2,</b> Banda de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz. ....	9
<b>Figura 3,</b> Comportamiento de ondas sonoras en un espacio cerrado. ....	11
<b>Figura 4,</b> Ejemplo de llegada del sonido directo y las primeras reflexiones a un receptor. ....	11
<b>Figura 5,</b> Transmisión del sonido a través de una superficie ....	13
<b>Figura 6,</b> Absorción, disipación de energía en el interior de un material poroso. ....	14
<b>Figura 7,</b> Reflexión del sonido sobre una superficie, relación fuente-receptor. ....	14
<b>Figura 8,</b> Comportamiento de difusión del sonido. ....	15
<b>Figura 9,</b> Distribución de materiales absorbentes. ....	29
<b>Figura 10,</b> Material aplicado - Esponja negra. ....	33
<b>Figura 11,</b> desarrollo de media, mediana y moda. ....	34
<b>Figura 12,</b> Material aplicado - Esponja negra. ....	35
<b>Figura 13,</b> desarrollo de media, mediana y moda. ....	36
<b>Figura 14,</b> Calculo de tiempos reverberantes en aulas de clase. ....	39
<b>Figura 15,</b> Material aplicado - Esponja negra. ....	79
<b>Figura 16,</b> Sonómetro. ....	79
<b>Figura 17,</b> Elaboramos paneles de 50x50 cm. ....	94
<b>Figura 18,</b> Procedimos a aplicarlos en las paredes con separaciones de 15 cm. ....	94
<b>Figura 19,</b> Colocación del material acustico. ....	94
<b>Figura 20,</b> Material acústico aplicado. ....	95
<b>Figura 21,</b> Proceso de medición de presión sonora. ....	95
<b>Figura 22,</b> Demostración de la propuesta . ....	95
<b>Figura 23,</b> Sonómetro – Equipo de medición. ....	95

## Lista de Gráficos

<b>Gráfico 1</b> , Referente al ruido en el interior de las aulas.....	43
<b>Gráfico 2</b> , Referente al tonos de voz en clases.....	44
<b>Gráfico 3</b> , Referente al ruido y la existencia de molestar. ....	45
<b>Gráfico 4</b> , Referente al confort acústico en el aula de clases.....	46
<b>Gráfico 5</b> , Referente al rendimiento académico.....	47
<b>Gráfico 6</b> , Malestar causado por el disconfort acústico. ....	48
<b>Gráfico 7</b> , Referente a la concentración.....	49
<b>Gráfico 8</b> , Referente a la percepción del sonido. ....	50
<b>Gráfico 9</b> , Referente a la geometría del espacio.....	51
<b>Gráfico 10</b> , Referente a los materiales aplicados. ....	52
<b>Gráfico 11</b> , TR (60s) en aula 101.....	53
<b>Gráfico 12</b> , TR (60s) en aula 102.....	53
<b>Gráfico 13</b> , TR (60s) en aula 201.....	54
<b>Gráfico 14</b> , TR (60s) en aula 202.....	54
<b>Gráfico 15</b> , TR (60s) en aula 203.....	55
<b>Gráfico 16</b> , TR (60s) en aula 204.....	55
<b>Gráfico 17</b> , TR (60s) en aula 205.....	56
<b>Gráfico 18</b> , TR (60s) en aula 301.....	56
<b>Gráfico 19</b> , TR (60s) en aula 302.....	57
<b>Gráfico 20</b> , TR (60s) en aula 401.....	57
<b>Gráfico 21</b> , TR (60s) en aula 402.....	58
<b>Gráfico 22</b> , TR (60s) en aula 403.....	58
<b>Gráfico 23</b> , TR (60s) en aula 404.....	59
<b>Gráfico 24</b> , TR (60s) en aula 405.....	59
<b>Gráfico 25</b> , TR (60s) en aula 406.....	60
<b>Gráfico 26</b> , Calculo estadístico aula 101.....	60
<b>Gráfico 27</b> , Distribución de ondas sonoras aula 101.....	61
<b>Gráfico 28</b> , Calculo estadístico aula 202.....	62
<b>Gráfico 29</b> , Distribución de ondas sonoras aula 205.....	63
<b>Gráfico 30</b> , Calculo estadístico aula 405.....	64
<b>Gráfico 31</b> , Distribución de ondas sonoras aula 405.....	65
<b>Gráfico 32</b> , Distribución de ondas sonoras aula 205.....	80
<b>Gráfico 33</b> , Distribución de ondas sonoras aula 205.....	81
<b>Gráfico 34</b> , Tiempo de Reverberación según formula Sabine . ....	82
<b>Gráfico 35</b> , Desarrollo de Formula Sabine. ....	83
<b>Gráfico 36</b> , Distribución de ondas sonoras aula 205, ya acondicionado.....	84
<b>Gráfico 37</b> , Distribución de ondas sonoras aula 205.....	85

## Resumen

El campo de la acústica es enorme, por lo cual en este escrito se manifiesta únicamente la acústica arquitectónica y su incidencia en la confortabilidad de los espacios educativos, pues el medio pedagógico es principalmente auditivo y lo inmejorable sería que estos espacios garanticen ser confortables acústicamente, en el presente documento se realiza un diagnóstico del estado actual de condiciones acústicas de aulas de clase en una edificación dedicada a la educación superior. Procediendo a que eventualmente las características acústicas arquitectónicas y constructivas inadecuadas son causantes del discomfort acústico, lo que genera repercusiones a quienes están dedicados estos espacios.

Direccionar el estudio a través de una metodología científica que derivo a niveles exploratorios, puesto que el objeto de estudio se analiza de manera cuantitativa y cualitativa, en referente a la percepción del espacio y a las condiciones estadísticas que presente; y que utilizando el método directo y método estadístico se obtienen resultados que demuestran que los espacios en cuestión no prestan las condiciones adecuadas.

La espacialidad en estudio padece de características acústicas, pues la percepción que se tiene en el ambiente interior de las aulas es deficiente e inadecuado, asiduamente repercute en la inexistencia del confort acústico, esto es, en una edificación educativa inquietante lo que da la pauta a pensar en la descontextualización del diseño arquitectónico y constructivo.

**Palabras claves:** Acústica, Acústica arquitectónica, Confortabilidad, Discomfort, Espacialidad.

## **Introducción**

Es preciso mencionar que la confortabilidad acústica en el interior de los espacios educativos no es tomada con la importancia que merece; a tal nivel que no existen normativas nacionales que regulen los estándares y parámetros acústicos de las edificaciones educativas. Por ello parte de la intención del presente escrito se expone como una fuente referente para futuros análisis, se presentan normas internacionales en las cuales se basa ésta investigación, conceptualizaciones elementales, marcos referenciales nacionales e internacionales, pautas y parámetros de diseño y acondicionamiento acústico.

No obstante, se plantea como prioridad la elaboración de un diagnóstico referente al estado actual de las condiciones acústicas en las que se encuentran las aulas de clase de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, pues es así que se sostiene la concepción de que las características acústicas arquitectónicas y constructivas inadecuadas son causantes del discomfort acústico, para corroborarla; se evaluarán las condiciones acústicas de los materiales, se determinarán los niveles sonoros y se identificarán factores que influyen en el confort acústico.

La estructura y desarrollo del documento se presenta por secciones que responden a recopilación de datos bibliográficos, datos analíticos y mitigación de propuesta; en el primer apartado se explica, se justifica y se propone el alcance y la finalidad del proyecto investigativo; en el segundo apartado se conceptualiza puntualmente la acústica arquitectónica y sus derivaciones, y el confort acústico, sus componentes y parámetros; en el tercer apartado se analiza la situación actual de la problemática; y el cuarto apartado se desarrolla una propuesta acorde a la solución problémica en estudio.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1. Marco contextual**

En nuestro entorno macro-nacional el confort en los espacios arquitectónicos, urbanos y edificaciones en general está tomando a pasos lentos la importancia que se merece, ya que vivimos en ciudades donde cada vez aumenta el uso de automotores que conllevan a un importante grado de contaminación ambiental y por consiguiente contaminación auditiva; quienes habitan cerca de aeropuertos, vías principales, mercados, entre otros, o incluso realizan actividades dentro de centros educativos donde la población estudiantil es considerable; están expuestos a contraer malestares, incluso problemas de salud auditiva o salud mental. Todos estos espacios son ambientes de mucha interacción, lo que generan alteraciones en los estándares convencionales para desarrollar nuestras actividades diarias cuando los espacios no están acondicionados debidamente.

#### **1.1.1. Situación actual del problema.**

Las directrices de éste proyecto van encaminadas al análisis de las condiciones acústicas en las aulas de clases de una edificación dedicada a la actividad educativa, como lo es el edificio de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM), la cual es una edificación construida de manera convencional (Estructura de Hormigón Armado), con pasillos extensos y escaleras de alto tráfico peatonal, además de aulas considerables y de geometría regular, paredes con materiales rígidos, ventanas vidriadas y cortinadas, puertas mixtas de madera y vidrio, entre otras. En su mayoría las aulas tienen un ambiente acústico inapropiado muy notorio, lo que provoca en muchas ocasiones una fatiga tanto para el docente encargado de la cátedra como para el alumno que recibe las charlas en clases, dando consecuencias desagradables para quienes están en un mismo espacio.

Existen criterios y diferentes trabajos investigativos a nivel internacional sobre el tema, que nos indican que el problema de la ausencia de estudios en la acústica de las aulas de clase en edificaciones o recintos educativos, ha sido trabajado en numerosas instituciones y organizaciones tanto en el marco nacional como en el marco internacional.

Los altos niveles sonoros que existente dentro de las aulas, las características acústicas inapropiadas y los bajos rendimientos académicos, llevaron en 1996 a la institución de mayor prestigio en lo relacionado con la acústica alrededor del mundo, la Acoustical Society of America (ASA, EE.UU.), a crear el subcomité de acústica de aulas (Classroom Acoustics), el cual ha realizado numerosas y excelentes contribuciones en esta disciplina, creando una normativa, la ANSI S12.60-2002, y su última actualización en el año 2010 (ANSI S12.60-2010) la cual logra regular los distintos parámetros acústicos para lograr altos estándares de calidad acústica dentro de las salas de clases.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Definición del problema.**

Los ambientes destinados a la actividad educativa deben priorizar obtener confort acústico, debido a que el medio pedagógico de enseñanza y aprendizaje es principalmente auditivo, y un espacio al caracterizarse por un déficit de calidad acústica generará una serie de alteraciones como; tiempos de reverberación altos, ruidos de fondo, baja absorción sonora, entre otros, que provocaran discomfort en los usuarios, inconvenientes de la salud o incluso dificultades académicas.

### **1.2.2. Problema central.**

Las construcciones convencionales, el uso de materiales de característica dura o rígidos en nuestro medio y el hecho de no tomar en consideración la importancia adecuada del confort acústico en cada ambiente, suscita en la propagación de altos niveles de ruido lo cual genera repercusiones directas en los usuarios, lo que es inapropiado debido a que se

convierten en espacios ruidosos lo cual provoca en que se desarrollen actividades cotidianas en ambientes en donde prima el discomfort acústico.

### **1.2.3. Sub-problemas.**

- Al ser necesario elevar el tono de voz para ser escuchado en un supuesto con claridad, genera acciones que distorsionan la calidad acústica y que realmente no se logra mejorar llegando al punto de desempeñar tareas en un ambiente discomfortable acústicamente.
- Las aulas por motivo de distribución en el contexto constructivo general de la edificación son aulas de forma regular, cuadradas o rectangulares; además de utilizar materiales convencionales que no son materiales acústicos, finalizando en superficies duras, rígidas y paralelas entre sí lo que genera espacios con discomfort acústico.
- Por la misma disposición y característica de que no son espacios confortables acústicamente repercute en las actividades de los usuarios, provocando estrés, malestar, inconvenientes en la salud de los usuarios o incluso afectaciones en el desenvolvimiento académico de los estudiantes.

### **1.2.4. Formulación de pregunta clave.**

Dadas las condiciones del presente análisis, éste responderá a la siguiente pregunta:

*¿Cuáles son los factores de las condiciones espaciales que afecten la confortabilidad acústica, que permitan elaborar una propuesta arquitectónica que resuelva la situación problemática en estudio?*

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Justificación social.**

El estudio investigativo va dirigido hacia la búsqueda del bienestar y la mejora de calidad acústica en los ambientes en que se desenvuelve los estudiantes y catedráticos de la facultad de arquitectura; los niveles acústicos en las aulas de clases deben ser óptimos y no

deben interferir en el desarrollo de actividades en el interior de estos espacios. Nace la exigencia y necesidad de disponer de límites o recomendaciones para controlar el nivel de ruidos en el interior de las aulas de clase en la edificación.

### **1.3.2. Justificación arquitectónica.**

El presente análisis se direcciona a evaluar el nivel de calidad acústica en espacios arquitectónicos con la finalidad de conocer si éstos ambientes físicos están completamente confortables y permitan desarrollar actividades cotidianas de una forma idónea, además de aportar con criterios basados en recopilación de textos y normativas internacionales para que se desarrollen futuros proyectos o estudios arquitectónicos tomando éstas directrices y logren el objetivo de obtener espacios completamente confortables.

### **1.3.3. Justificación académica.**

Posterior al estudio y análisis de la problemática se logrará aportar académicamente con un texto además de recopilación de información basados en teorías y normativas el cual será de beneficio para la comunidad académica de la facultad para futuros análisis con respecto a la misma tipología.

### **1.3.4. Justificación personal.**

El Cumplir con los requisitos que nos solicita la Facultad de Arquitectura y la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM) en lo que corresponde a la elaboración del trabajo final de investigación, justificando nuestros conocimientos adquiridos durante los años de estudio y su relación con la práctica para la obtención del título.

## **1.4. Definición del objeto de estudio**

El objeto de estudio en la presente investigación es la espacialidad arquitectónica, esto es, de acuerdo con la percepción que se tiene sobre las condiciones acústicas en que se encuentran las aulas de la facultad de arquitectura, que da indicios para llegar a un análisis

del confort acústico en el interior de estos espacios arquitectónicos, además de conocer resultados, normas y parámetros que intervienen durante el proceso investigativo.

#### **1.4.1. Delimitación sustantiva del tema.**

El análisis realizado en ésta investigación busca determinar las condiciones acústicas en que se encuentran las aulas de clases en el edificio de la Facultad de Arquitectura, la acústica arquitectónica es una disciplina que estudia los fenómenos vinculados a la propagación adecuada del sonido en función de un espacio, las cualidades acústicas se entienden por las propiedades físicas relacionadas con el comportamiento del sonido en un espacio determinado, los cuales son; Transmisión, Absorción, Reflexiones, Difusión o Resonancias, Reverberación, Ambiencia, entre otros. Con la finalidad de saber la conceptualización y llevarla a desarrollo a través de recolección de datos a través de mediciones.

#### **1.4.2. Delimitación espacial.**

Para el desarrollo de éste estudio se tomó las aulas de clases de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, en la ciudad de Manta, provincia de Manabí.

#### **1.4.3. Delimitación temporal.**

Con la finalidad de conocer las condiciones y la confortabilidad acústica en la edificación objeto de estudio se procede a realizar observaciones, mediciones y encuestas “in situ” en un tiempo real de sesenta (60) días entre los meses de junio, julio y agosto en el año 2019.

### **1.5. Campo de acción de la investigación**

Se enmarca en los campos investigativos: Proyectos arquitectónicos de hábitat y teoría de la arquitectura, en igual forma en Arquitectura y edificaciones sostenibles y sustentables, pues se sistematizan criterios y parámetros ambientales en lo que respecta a las mejoras de las

condiciones acústicas dentro de los espacios arquitectónicos y en especial en espacios concebidos para desarrollar el proceso de enseñanza - aprendizaje, con la finalidad de lograr espacios confortables acústicamente.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general.**

Diagnosticar el estado actual de las condiciones acústicas en las aulas de clase de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, en referencia a la norma ANSI S12.60-2010 y proponer una posible solución arquitectónica con material acústicos.

### **1.6.2. Objetivos específicos.**

1. Medir las condiciones acústicas de los materiales aplicados en el proceso de construcción en las aulas de clases.
2. Calcular el tiempo de reverberación en las aulas de clase.
3. Determinar los niveles sonoros presentes en aulas de clases.
4. Analizar el nivel de afectación que inciden en las condiciones de aprendizaje oral-acústico de los estudiantes.
5. Establecer los factores que influyen en los parámetros del discomfort acústico.
6. Identificar las aulas que presenten índices de discomfort acústico.

## **1.7. Identificación de variables**

### **1.7.1. Variable independiente.**

- Características acústicas arquitectónicas y constructivas inadecuadas en las aulas de clases del edificio de la Facultad de Arquitectura

### **1.7.2. Variable dependiente.**

- Discomfort acústico de las aulas de clases de la Facultad de Arquitectura.

## 1.8. Operacionalización de las variables

### 1.8.1. Operacionalización de variable independiente.

VARIABLES	CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADORES	PREFGUNTA
Características acústicas arquitectónicas y constructivas inadecuadas en las aulas de clases.	Los diseños arquitectónicos y la construcción convencional caracterizan a los espacios y los condiciona a que sean geoméricamente inadecuados para un ambiente de confort acústico, además de ser cuadrados y/o rectangulares con grandes superficies de paredes paralelas y duras lo que ocasionan que sean espacios inadecuados acústicamente.	Diseños convencionales	Geometría	¿La forma geométrica de las aulas es adecuada para el confort acústico-espacial?
			Bajo aislamiento acústico	¿Existe influencias de la forma espacial para controlar el nivel acústico en las aulas?
			Elementos estructurales	¿Tienen alguna repercusión las vigas peraltadas o columnas en el acondicionamiento acústico de las aulas?
		Construcciones convencionales	Materiales rígidos	¿Son adecuados los materiales convencionales para acondicionar acústicamente las aulas de clase?
			Revestimiento y acabados	¿Los acabados y revestimientos son apropiados para lograr un confort acústico?
			Factores económicos	¿Son los factores económicos condicionantes para lograr un confort acústico?

Tabla 1, Operacionalización de variable independiente.

Fuente, Autor

### 1.8.2. Operacionalización de variable dependiente

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADORES	INDICADORES	PREFGUNTA
Disconfort acústico en las aulas de clases	El disconfort acústico hace referencia a la incomodidad espacial que es provocado por ambientes acústicos inapropiados; esto conlleva y repercute en el desarrollo habitual de actividades de los usuarios.	Ambientes acústicos inapropiados	Mala acústica	¿Es apropiado es el nivel acústico en las aulas de clases?
			Esforzar el nivel de voz	¿Es necesario elevar el tono de voz para transmitir charlas, debates o clases?
			Mucho ruido	¿Existe mucho ruido en el ambiente interior de las aulas?
		Incidencia en actividades	Molestias para comunicarse	¿Existen dificultades comunicativas en el interior de las aulas de clases?
			Rendimiento académico	¿El rendimiento académico es afectado por el confort acústico inapropiado en las aulas de clases?
			Malestar físico y/o psicológico	¿Causa algún tipo de malestar físico y/o psicológico el disconfort acústico?

Tabla 2, Operacionalización de variable dependiente.

Fuente, Autor

### **1.9. Formulación de idea a defender – hipótesis**

Las características acústicas arquitectónicas y constructivas inadecuadas en las aulas de clase del edificio de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM) son causantes del discomfort acústico lo que genera alteraciones y distractores que contribuyen en gran medida al bajo rendimiento académico, fatiga, lagunas en la atención de contenidos, entre otros efectos colaterales.

### **1.10. Tareas Científicas desarrolladas**

#### **1.10.1. Tc 1.**

Se elaboró el marco referencial inherente al tema de investigación Proyectos arquitectónicos de hábitat y teoría de la arquitectura, y de igual manera en Arquitectura y edificaciones sostenibles y sustentables el cual se realizó mediante información bibliográfica, ya que se estudiaron teorías que luego se consideraron plasmar en el área de estudio

#### **1.10.2. Tc 2.**

El diagnóstico y pronóstico de la problemática, el cual se desarrollaron mediante la obtención de resultados de los estudios de campo, así como encuestas y observaciones.

#### **1.10.3. Tc 3.**

Se realizó un estudio y levantamiento de información mediante la utilización de equipos electrónicos de medición acústica basados en la norma ANSI S12.60-2010. La cual logra regular los distintos parámetros acústicos.

### **1.11. Diseño de la investigación**

#### **1.11.1. Fases del estudio, métodos teóricos y empíricos y técnicas e instrumentos utilizados.**

La investigación se logró desarrollar en tres capítulos, cuya descripción y métodos utilizados en cada uno de ellos se detallan a continuación:

#### ***1.11.1.1. Capítulo 1.***

Se elaboró el marco referencial de la investigación para lo cual se utilizó el método inductivo y el método deductivo, para la organización de la información recopilada.

#### ***1.11.1.2. Capítulo 2.***

Se elaboró el diagnóstico en referencia a la problemática mencionada, mediante el análisis de datos que resultaron de la observación, percepción e investigación de campo, además de que se utilizaron equipos electrónicos para medir los parámetros acústicos de las aulas para lo cual fue necesario utilizar el método directo y método estadístico.

#### ***1.11.1.3. Capítulo 3.***

Se procede a la formulación de una propuesta que entregue estrategias aplicables a la realidad espacial de aulas de la facultad de arquitectura, por lo que se utilizó el método de abstracción y lógico deductivo.

### **1.11.2. Técnicas de investigación.**

Para el desarrollo de la investigación fueron necesarias las siguientes técnicas investigativas:

- Recolección documentada de datos.
- Encuestas.
- Fichas.
- Observación de campo.
- Muestreo.

#### ***1.11.2.1. Investigación bibliográfica.***

Para la investigación bibliográfica se utilizó:

- Literal.
- Grafica.
- Estadística.

### **1.11.2.2. Investigación de campo.**

Para la investigación de campo se utilizó:

- Observación de campo.
- Encuesta.
- Fichas.
- Utilización de equipos de medición.

### **1.11.3. Población y muestra.**

La población para la obtención de la muestra en la investigación se procedió a la utilización de la fórmula adecuada para el número de población y así establecer una muestra estratificada adecuadamente dependiendo de la población con la que se cuenta. Se procedió a diagnosticar las aulas, ya que éstas son la fuente de información de los espacios en cuestión para la investigación.

#### **1.11.3.1. Población espacial en la Facultad de arquitectura ULEAM.**

Al ser éste un estudio sobre la espacialidad arquitectónica, la población a tomar en consideración es específicamente son las aulas de la facultad de arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM).

- **Cuadro #1:** Población a diagnosticar.

<b>ESTARTO</b>	<b>POBLACION</b>
Aulas de Clase	15
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>

Tabla 3, Población

Elaborado por, Autor.

Fuente, Unidad Central de Coordinación Informática, ULEAM.

### **1.11.4. Fórmula para obtención de muestra.**

La población a estudiar es menor a 10,000 es por eso que se utiliza la formula siguiente:

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{e^2(N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

- **Cuadro #2:** Datos para obtención de muestra.

<b>DATOS PARA OBTENCIÓN DE LA MUESTRA</b>	
Población total	N=13
Probabilidad de ocurrencia	P=50%=0.5
Probabilidad de no ocurrencia	Q=50%=0.5
Nivel de confianza	Z=95%=-1.96
Error de estimación	e=5%=0.05
Tamaño de muestra	n=?

**Tabla 4,** Datos de muestreo.

**Elaborado por,** Autor.

- **Desarrollo de fórmula:**

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{e^2(N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 15}{0.05^2(15 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{3.8416 * 0.5 * 0.5 * 15}{0.0025 (14) + 3.8416 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{14.406}{0.9954}$$

$$n = 14.4726 \cong 14$$

De esta manera ya aplicada la fórmula de muestreo, concluimos que el número de aulas a considerar y a encuestar será de **14**.

### **1.12. Resultados esperados**

Con el presente estudio investigativo sobre las condiciones acústicas arquitectónicas y constructivas que derivan en el confort acústico en las aulas de clase de la facultad de arquitectura se pretende lograr un marco referencial optimo que servirán de guía para futuros trabajos a realizarse en el campo de acción de la arquitectura y edificaciones sustentables.

Se resuelve el análisis de confort acústico en las aulas por medio de la obtención de datos a través de mediciones de parámetros que precisan el confort de los ambientes, como instrumento se utilizaron equipos electrónicos que nos permitirán con exactitud conocer el nivel de ruido en el interior de los espacios para posteriormente llegar a posibles soluciones y/o recomendaciones, con el fin de que estos espacios alcances estándares altos de calidad y confort.

### **1.13. Novedad de la investigación**

La elaboración del presente estudio se enfoca en demostrar las condiciones acústicas arquitectónicas y constructivas en la espacialidad de una edificación diseñada a la función o actividad educativa, esto deriva a la confortabilidad acústica en las aulas de clase de la facultad de arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM); además de realizar una propuesta que pretende disminuir los altos niveles de ruido por medio de paneles con característica de absorción acústica.

## 2. Capítulo I - Marco Referencial

### 2.1. Marco antropológico

El concepto de bienestar entorno al ser humano hace referencia al término “confort” el cual no es una expresión natal, la conceptualización de éste acoge una gran repercusión en nuestro medio, aunque es realmente más amplio y relacionado con la salud. Es así como el ser humano en relación al espacio, salud y ambiente en el que se encuentra busca en todo aspecto su comodidad, o su confortabilidad.

Sin embargo, en el proceso histórico del desarrollo de las ciudades se han implementado un sin número de condicionantes que buscan lograr la comodidad del ser humano en general, y así mismo la percepción que se considera de confort ha evolucionado de acuerdo a las épocas y circunstancias; donde el arquitecto W. Rybczynski (1989) en su libro *La casa, Historia de una idea* afirma lo siguiente:

La idea de confort ha evolucionado de manera que en distintos períodos ha asumido diferentes significados. Inicialmente, el término confort fue sinónimo de confortar, consolar o reforzar, pues éste era el significado de su raíz latina “confortare”. En el siglo XVII, la idea de confort estuvo vinculada con lo privado, con la intimidad y, a su vez, se relacionaba con la domesticidad. En el siglo XVIII, esta palabra dio más relevancia al ocio y a la comodidad, mientras que en el siglo XIX se tradujo como la calidad y el comportamiento de los elementos en los que intervenía lo mecánico: luz, calor y ventilación. Fue en los primeros años del siglo XX cuando las llamadas ingenieras domésticas subrayaron la eficiencia y la comodidad como la idea de confort (p. 233).

Posteriormente y en los años siguientes se planteó el confort como algo que podía ser cuantificado, analizado y estudiado. Desde luego considerando al ser humano como el factor principal de la ecuación.

Como el hombre evoluciona, también evolucionan los modos de preparación intelectual, es por ello que ha experimentado modificaciones tanto en los métodos educativos como en los espacios para desarrollar dichos procesos. En los inicios de la educación, las aulas se disponían de tal manera que el maestro y el alumno se encontraban con un abismo subjetivo entre ambos, ya que en las aulas se disponían de estrados desde el cual el maestro dictaba la clase, lo cual psicológicamente influenciaba en la formación de una barrera de relación entre los dos. (A. Fernández, 2014, p. 8).

Posteriormente el proceso de aprendizaje se transformó, donde existe una interacción directa oral-auditiva entre catedráticos y estudiantes, es por ellos que los espacios deben de brindar las condiciones necesarias.

A partir de lo ya mencionado, sabemos la importancia que ha tenido la confortabilidad de los espacios, ha evolucionado de acuerdo a las necesidades que ha tenido el ser humano, por lo consiguiente también de la función a la que esté diseñado un espacio es por ello que se enfatiza la importancia del confort acústico en el interior de edificaciones con función educativa. Proporcionar aulas con niveles acústicos óptimos que permita al catedrático comunicarse sin forzar su voz y que los alumnos puedan comunicarse de manera efectiva entre ellos y el catedrático, debería ser considerada ésta una condicionante principal en el momento de realizar proyectos arquitectónicos donde el estudiante es el factor principal.

Haciendo mención a la transcendencia de la misma Edgar Tristán (2014) en su tesis doctoral *Caracterización de ambientes sonoros en recintos universitarios* hace referencia a:

El acondicionamiento acústico dentro de las instalaciones universitarias, es un tema al que se le da poca importancia. Desafortunadamente, no es muy común encontrar lugares destinados a actividades educativas, con las condiciones acústicas adecuadas.

Contrario a esto es muy común encontrar lugares como pasillos y vestíbulos improvisados, los cuales, son adaptados para desarrollar actividades de estudio y que, a su vez, son

utilizados como espacios para socializar con otros estudiantes, Normalmente, se puede encontrar una gran cantidad de estudiantes reunidos en un mismo lugar, siendo estos el principal foco generador de ruido. estas concentraciones provocan un incremento en los niveles de ruido de manera muy consiente; especialmente en lugares donde no se cuenta con el tratamiento acústico adecuado. (p. 2)

### **2.3. Marco teórico**

En el desarrollo de la investigación se realizan análisis rigurosos de las teorías que proporcionaran reflexiones de los componentes para lograr que los ambientes sean confortables acústicamente, además de marcar el camino para saber la condición en que se encuentran los espacios. Una serie de parámetros los cuales hay que conocer se mencionaran a lo largo del contenido, todos basados en el acondicionamiento acústico de los espacios con el fin del bienestar de los usuarios.

#### **2.3.1. Acústica.**

El término acústica hace referencia al sentido de la audición, pero se puede conceptualizar que “La acústica es la rama de la física que estudia los fenómenos vinculados a la generación, propagación y detección de las ondas mecánicas que generan el sonido” (Castellanos, 2014. p. 1). Además de la capacidad de adaptación que posee una edificación para oír adecuadamente.

“La acústica es la disciplina que se ocupa de estudiar el sonido en sus diversos aspectos, se puede dividir en una gran cantidad de subdisciplinas” (Miyara, 2003, p. 1).

Conociendo los criterios de lo anteriormente citado, definimos a *la acústica como la ciencia o disciplina que analiza el comportamiento del sonido y sus derivados que se actúan tanto en el interior como el exterior de en un espacio.*

Para el desarrollo de ésta investigación solo se hará énfasis en la acústica arquitectónica y el confort de la acústica arquitectónica.

#### **2.3.2. Acústica arquitectónica.**

Al seleccionar los subtemas a desarrollar se puso especial énfasis en la Acústica Arquitectónica ya que el estudio únicamente de la acústica es muy amplio, complejo que conlleva a otras ramas profesionales a su desarrollo. El teórico Federico Miyara (2003) en su libro *Acústica y sistemas de sonido*, menciona que:

La Acústica Arquitectónica hace referencia al estudio de los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto, ya sea una sala de conciertos, un auditorio, un salón de clases o un estudio de grabación musical. Esto involucra también el problema de la aislación acústica (p. 44).

### ***2.3.2.1. Introducción.***

Todo ser humano tiene la posibilidad de percibir la riqueza del universo. Los órganos sensoriales que dispone le ayudan a procesar el significado profundo de las cosas, la actitud de persona, los olores, colores y sonidos que ocurren a su alrededor.

Sonidos y ruidos se traducen en movimientos vibratorios en el espacio y que al chocar en los cuerpos inmediatamente son detectados por nuestro oído. Aquí, surge la acústica como una rama de la física que estudia la capacidad de escuchar. La aplicación arquitectónica se relaciona con la estimación de las leyes físicas de la acústica relacionadas al comportamiento de éstas en las edificaciones, para determinar calidades materiales y objetivas en relación con la percepción de los sonidos (Cruz, 2014, p. 09).

Se deduce lo fundamental de conocer previamente las referencias teóricas sobre la acústica arquitectónica, por lo tanto, se desarrollarán definiciones o conceptos básicos y teóricos más relevantes inherentes a la acústica aplicada en edificaciones educativas y en salones de clases.

Dentro de la acústica arquitectónica se hace importante referencian al acondicionamiento acústico, es decir, a la percepción de los fenómenos sonoros dentro de un espacio, como lo son: reflexión del sonido, difusión del sonido, absorción del sonido, entre otros. No obstante, el tema de la acústica y sus derivaciones es muy amplio y de rigurosas definiciones, en este marco referencial solo se hace énfasis en la acústica arquitectónica, ésta como pieza fundamental para direccionar la investigación manera correcta, precisa y de

menor complejidad posible, ya que sin su comprensión no sería posible la aplicación técnica en las evaluaciones y estudios acústicos arquitectónicos.

### **2.3.2.2. Antecedentes.**

Se proporcionará un breve repaso sobre la historia en busca de aportes relacionados a la acústica, el catedrático de nacionalidad española Antoni Carrión ha recopilado importantes datos bibliográficos sobre teorías acústicas que fueron aplicadas en el crecimiento de la civilización urbana. Donde se narra que la acústica no es considerada como ciencia en la historia de las civilizaciones, pero se manifiesta a través del descubrimiento de cálculos matemáticos a partir del siglo III A.C. Posteriormente, ubicados en la línea de tiempo de la época de la antigua Grecia perciben la conceptualización de la audición y la visibilidad como elementos inseparables y los incorporan a la arquitectura con el teatro siendo esta la cumbre donde se intensifica el desempeño acústico. La primera referencia escrita se obtiene en siglo I A.C. con aportaciones de Vitrubio en su *Tratado de la arquitectura*, libro V, donde aparecen conceptos relacionados a la acústica dentro de los espacios. Además, reúne y conjuga criterios acústicos donde basa sus principios en la geometría de las formas para teatros y coliseos como una definición acústica más adecuada (Cruz, 2014, p. 10).

Ya entre los siglos II y VI con la aparición de las iglesias paleocristianas de Roma se tenía consciencia del sonido que se creaba en ciertos espacios debido a sus características; en este caso, el carácter duro de las basílicas debido a los muros pétreos, grandes y vacías naves. Se observa como la relación entre la arquitectura y música era tan estrecha que la primera condicionaba a la segunda. No se creaba una arquitectura para albergar un determinado tipo de música como ocurre en la actualidad, si no que sucedía lo contrario, la música se componía específicamente para sonar en un espacio concreto (Díaz, 2019, p. 15).

En el periodo de tiempo entre los siglos XVIII y XIX, la Acústica Arquitectónica hace su importante aparición en la historia; en la que se caracterizó por el crecimiento de edificaciones en las que las condiciones acústicas mejoraron de calidad.

Para el año 1895, la modernidad trajo consigo al investigador, Wallace Clement Sabine, fundador de la *Acústica Arquitectónica*, que logró un punto de quiebre entre la ciencia y la práctica, empezó su trabajo pionero encaminado a la aplicación de la acústica en la arquitectura. Sabine formuló en la década de 1920 una ecuación clave que calcula el tiempo de reverberación en un recinto cerrado; con el que logró relacionar el volumen de un espacio, las propiedades de sus superficies y la persistencia audible del sonido. Desde entonces se ha desarrollado enormemente la acústica, el análisis y las mediciones; dieron paso a la aplicación de un modelo abstracto para la regulación a través de la absorción, de energía en las superficies y la persistencia audible del sonido (Cruz, 2014, p. 12).

Asentados en la actualidad y casi un siglo después del desarrollo investigativo de Sabine y su ecuación, aún sigue siendo primordial en el desarrollo de análisis de condiciones acústicas en espacios cerrados, aunque también se implementó el desarrollo tecnológico el cual dio paso a diseñadores de software aplicados a la creación de éstos en los cuales se logran realizar simulaciones predecibles mucho antes de ser construidos. A la par de éstos también nace la necesidad de la implementación de materiales acústicos, la cual existe una extensa diversidad.

### ***2.3.2.3. Definición de acústica arquitectónica.***

Definir la acústica arquitectónica implica interpretar de manera coherente la acústica y su comportamiento, adicional es muy importante conjuntar el comportamiento de la acústica en relación a espacio arquitectónico, o a la arquitectura en general. Es así como Medina (2009) en su tesis magistral *La calidad acústica arquitectónica - El ambiente acústico en edificios escolares de nivel superior* define que:

La acústica arquitectónica es el punto de encuentro de un conjunto de disciplinas que se ubican dentro de las ciencias, la tecnología y el arte, esto aplica con mayor énfasis cuando se habla de espacios que tienen que ver con la apreciación de la música o la palabra. Y un ambiente acústico arquitectónico satisfactorio se define como aquel que el carácter y la magnitud de todos los sonidos son compatibles con el uso del espacio. Se define así que un ambiente confortable es aquel donde no existe distracción o molestia, de tal manera que las tareas o las actividades puedan realizarse sin perturbaciones físicas y mentales (p. 22).

La calidad acústica es el estado de satisfacción o de bienestar físico y mental del ser humano en percepción auditiva, en un momento dado y en un ambiente específico. Es aquel en el que el carácter y la magnitud de los sonidos ajenos no interfieren con la actividad que se vaya a desarrollar en el recinto o espacio arquitectónico (Rodríguez, 1998, p. 75).

Una vez ya conceptualizada la acústica arquitectónica definiremos conceptos propios de la acústica, como lo son; sonido, frecuencia del sonido, banda de frecuencias, nivel de presión sonora, medición del sonido, propagación del sonido y reverberación.

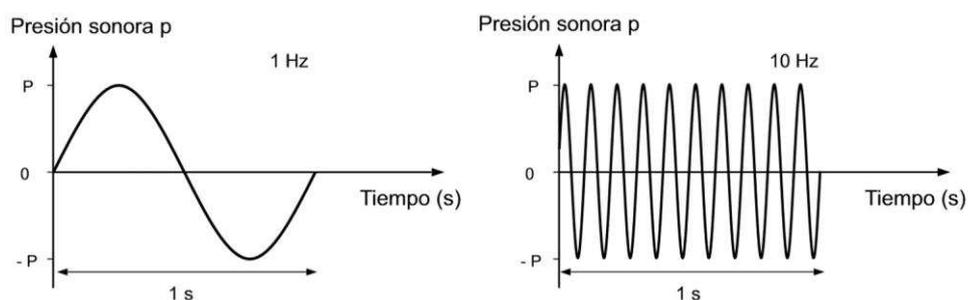
#### *2.3.2.3.1. Sonido.*

El sonido se entiende como el fenómeno resultante de la vibración generada por un objeto o fuente sonora en un medio, desde el cual se emiten un grupo de ondas de presión variable, que se disipan y propagan desde la fuente. Dichas ondas sonoras alcanzan la membrana del tímpano en el oído humano, produciendo señales que se transmiten al cerebro, donde se produce la audición (Rodríguez, 2001, p. 53).

#### *2.3.2.3.2. Frecuencia del sonido.*

La frecuencia es un factor importante en la mayoría de las mediciones acústicas. El sonido se produce cuando una fuente vibrante causa pequeñas fluctuaciones en el aire, y la frecuencia es la repetición de estas vibraciones. La frecuencia se mide en Hertz (Hz), donde 1

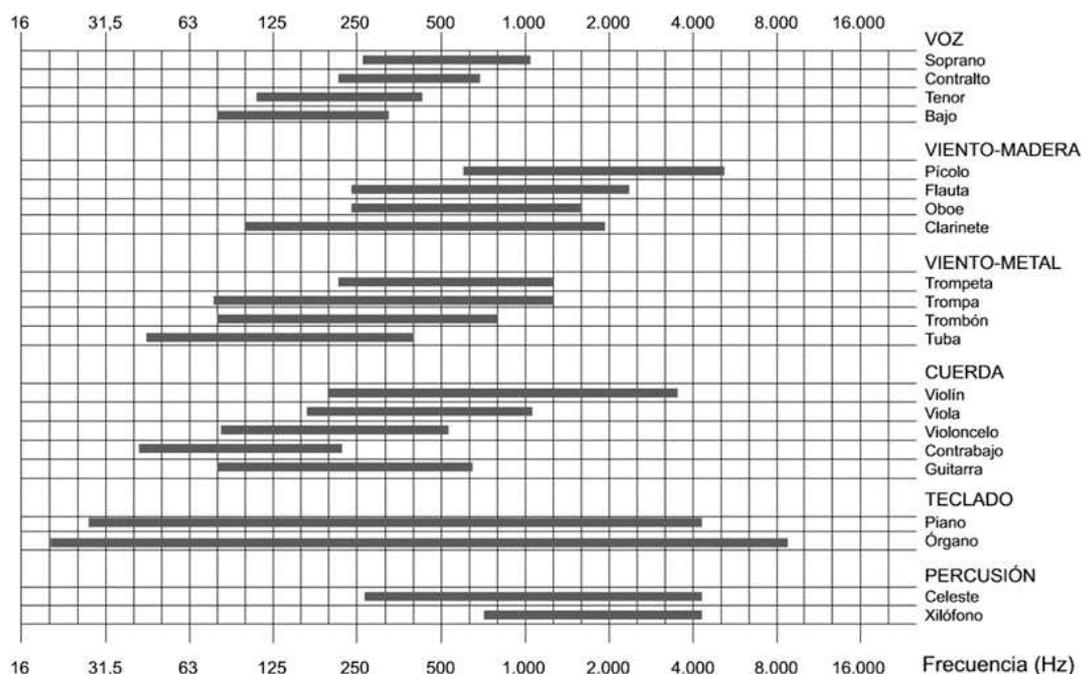
Hz = 1 ciclo por segundo (c/s). Una persona joven con audición normal puede detectar un amplio rango de frecuencias desde unos 20 a 20,000 Hz (Beristáin, 2006, p. 69).



**Figura 1,** Ejemplos de oscilaciones de frecuencias 1 y 10 Hz.  
**Fuente,** Carrión, 1998, p. 29.

### 2.3.2.3.3. Banda de frecuencia.

La composición y forma del espectro de la señal acústica de cada una de las fuentes primarias del sonido varía continentemente. Se distinguen espectros de altas y bajas frecuencias, discontinuos y continuos. El espectro de cualquier fuente de sonido, tienen sus rasgos individuales, que identifican a esta fuente de resonancia característica denominada timbre del sonido o conocido también como timbre de la voz (Castellanos, 2014. p. 1).



**Figura 2,** Banda de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz.  
**Fuente,** Carrión, 1998, p. 32.

2.3.2.3.4. Nivel de presión sonora.

La presión sonora es la sensación sonora que percibimos en nuestro oído como información, donde catalogamos o adjetivamos para luego hacer reconocimiento de la información sensorial que fuimos adquiriendo en base a la experiencia, sin importar la fuente sonora la percepción sonora puede varias magnitudes asociadas (Cruz, 2014, p. 18).

FUENTE SONORA	NIVEL DE PRESION SONORA SPL (dB)	VALORACION SBJETIVA DEL NIVEL
Despegue de avión (a 60 metros)	120	Muy elevado
Edificio en construcción	110	
Martillo en construcción	100	
Camión pesado (a 15 metros)	90	Elevado
Calle (Ciudad)	80	
Interior automóvil	70	
Conversación normal (a 1 metro)	60	Moderado
Oficina, aula	50	
Sala de estar	40	
Dormitorios (noche)	30	Bajo
Estudio de radiodifusión	20	

**Tabla 5,** Niveles de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva.

**Elaborado por,** Autor  
**Fuente,** Carrión, 1998, p. 33.

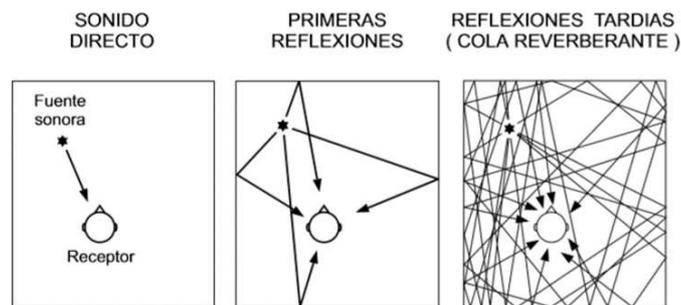
2.3.2.3.5. Medición del sonido.

Debido a la complejidad del funcionamiento del oído humano, hasta el momento actual no ha sido posible diseñar un aparato de medida objetiva del sonido que sea capaz de dar resultados precisos del tono equivalente, sin embargo, resulta evidente disponer necesariamente de un instrumento electrónico que permita medir sonidos bajo condiciones rigurosas de tal manera que los resultados obtenidos sean siempre objetivos y repetitivos dentro los márgenes de tolerancia previamente conocidos. Dicho aparato electrónico recibe el nombre de Sonómetro, el cual mide exclusivamente niveles de presión sonora, su unidad de

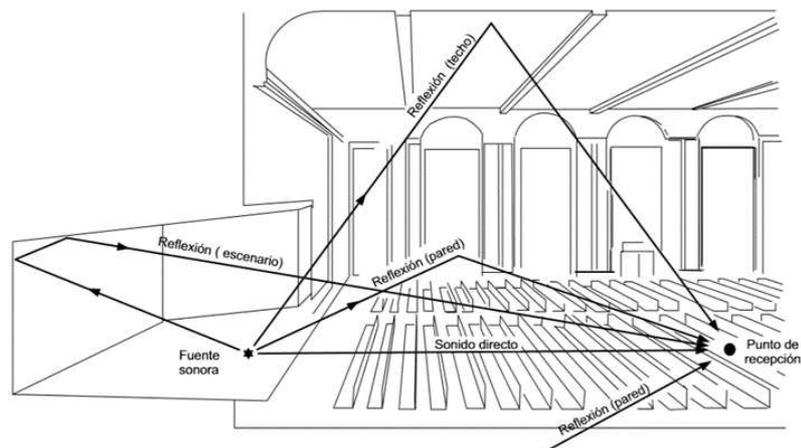
procesado permite realizar medidas globales, y la unidad de medida es en decibeles (dB) (Carrión, 1998, p. 40).

### 2.3.2.3.6. Propagación del sonido.

Cuando una fuente sonora situada en un espacio es activada, genera una onda sonora que se propaga en todas las direcciones. Un oyente receptor ubicado en cualquier punto del mismo espacio recibe dos tipos de sonido; el denominado sonido directo, es decir, aquél que le llega directamente desde la fuente sin ningún tipo de interferencia, y el sonido indirecto o reflejado originado como consecuencia de las diferentes reflexiones que sufre la onda sonora la incidir sobre las superficies que limitan el espacio (Carrión, 1998, p. 47).



**Figura 3,** Comportamiento de ondas sonoras en un espacio cerrado.  
**Fuente,** Carrión, 1998, p. 50.



**Figura 4,** Ejemplo de llegada del sonido directo y las primeras reflexiones a un receptor.  
**Fuente,** Carrión, 1998, p. 51.

## 2.3.2.3.7. Reverberación.

La reverberación hace referencia a la reflexión del sonido sobre las superficies de un espacio arquitectónico, es así como; “La reverberación se define como la persistencia del sonido tras la extinción de la fuente sonora debido a las múltiples ondas reflejadas que continúan llegando al oído” (Cruz, 2014, p. 56).

Aunque los tiempos de reverberación (TR) prolongados son “muy comunes” en los salones de clases con mala acústica, existe una solución. Idealmente los salones de clase deben tener un TR en el rango de 0.4 - 0.6 segundos, sin embargo, muchos de los salones existentes tienen TR del orden de 1 segundo o más (Beristáin, 2006, p. 56).

ESPACIO	NIVEL SONORO (dB)	TIEMPOS DE REVERBERACIÓN (s)	SEGÚN
AULAS	35	0.6	OMS
CORREDORES Y CAFETERÍAS	variable	< 1,0	
ESPACIOS EXTERIORES	55	variable	
VOLUMEN DE ESPACIOS	NIVEL DE RUIDO DE FONDO MAXIMO (dB)	TIEMPOS DE REVERBERACIÓN MAXIMO(s)	SEGÚN
VOLUMEN < 283 m <sup>3</sup>	35	0,6	ANSI S12.60-2010
VOLUMEN > 283 m <sup>3</sup> < 566 283 m <sup>3</sup>	35	0,7	
VOLUMEN > 566 283 m <sup>3</sup> Y ESPACIOS DE APRENDIZAJE AUXILIARES	40	variable	

**Tabla 6,** Límites de los niveles de ruido de fondo en espacios de aprendizaje amueblados desocupados.

**Elaborado por,** Autor

**Fuente,** ANSI/ASA S12.60-2010/Parte 1.

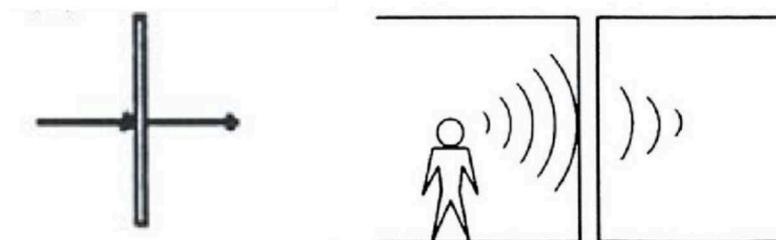
Los tiempos de reverberación pueden ser estimables tanto en salones nuevos, como en salones ya construidos, empleando la ecuación de Sabine. Las variables son el volumen físico (m<sup>3</sup>), las áreas (m<sup>2</sup>) de los diferentes materiales superficiales, y los coeficientes de absorción de esos materiales a ciertas frecuencias. El coeficiente de absorción es una medida en referencia a cuanta energía de la onda sonora absorbe el material (Beristáin, 2006, p. 56).

#### 2.3.2.4. *Propiedades básicas del sonido.*

Se hace referencia como propiedades del sonido al comportamiento o interacción de éste dentro de un espacio arquitectónico. “Imaginemos el sonido como un haz, como un rayo de luz atravesando el espacio y encontrando objetos. Varias cosas pueden ocurrir cuando el sonido llega a una superficie” (Lazzarini, 1998, p. 18).

##### 2.3.2.4.1. *Transmisión.*

La transmisión ocurre cuando el sonido pasa a través de las superficies delimitantes del espacio arquitectónico al espacio detrás de ellas, haciendo una semejanza como la luz a través de una ventana. El sonido tiene la capacidad de reconstruirse y de continuar extendiéndose. A esto le denominamos transmisión del sonido.

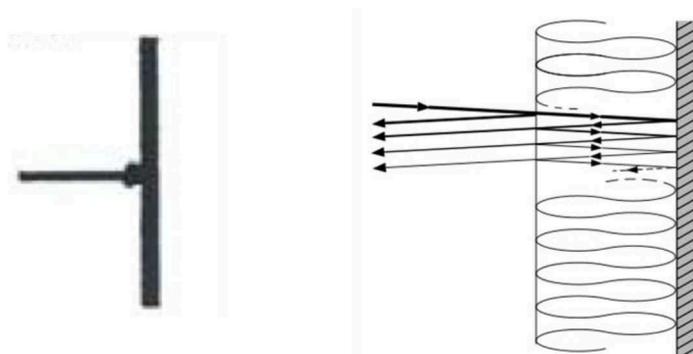


**Figura 5,** Transmisión del sonido a través de una superficie  
**Fuente,** Beristaín, 2006, p. 56.

##### 2.3.2.4.2. *Absorción.*

Técnicamente el sonido se absorbe cuando entra en contacto con cualquier objeto físico. Esto sucede porque el objeto afectado tenderá a vibrar, dispersando la energía de las ondas sonoras, y también debido a la pérdida de fricción dentro del material. En general, los materiales porosos, debido a la gran cantidad de área de interacción disponible, tienden a ser los mejores absorbentes de sonido. Por lo tanto, lana de vidrio, telas, corcho, etc., son los mejores materiales para la absorción de sonido (Lazzarini, 1998, p. 18).

Haciendo una semejanza simplificada podemos decir que la superficie del espacio arquitectónico absorbe el sonido tal y como una esponja absorbe agua.

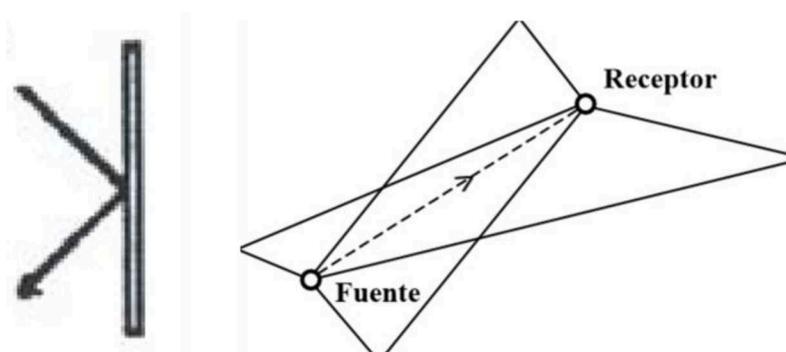


**Figura 6,** Absorción, disipación de energía en el interior de un material poroso.  
**Fuente,** Carrión, 1998, p. 76.

#### 2.3.2.4.3. Reflexión.

Cuando el sonido llega a una superficie rígida tiende a reflejarse de nuevo. Este es el fenómeno básico de la reflexión. Esto tiende a generar los efectos conocidos de Eco y reverberación. El eco suele ser una simple repetición con diferencia de tiempo de más de 08 segundos del sonido original y su reflejo. La reverberación es un conjunto de reflejos rápidos y complejos en superficies de un entorno cerrado (Lazzarini, 1998, p. 19).

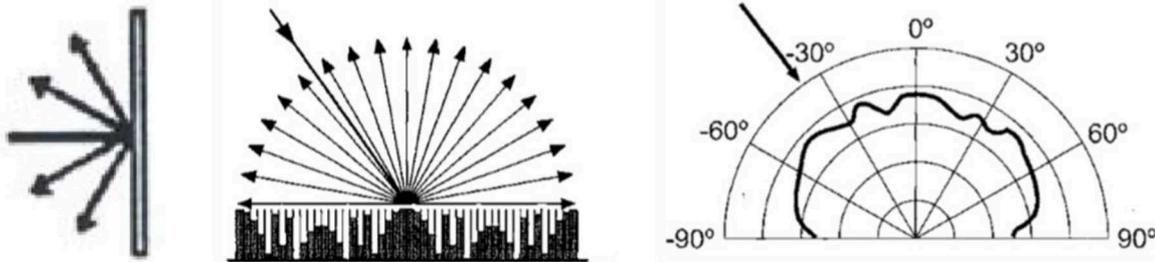
Simplificando la definición decimos que: la reflexión se produce cuando el sonido impacta la superficie y cambia de dirección, asemejando a una pelota rebotando en un muro.



**Figura 7,** Reflexión del sonido sobre una superficie, relación fuente-receptor.  
**Fuente,** Miyara, 2003, p.45.

#### 2.3.2.4.4. Difusión.

Se define como difusión del sonido cuando éste impacta a la superficie y es reflejado en múltiples direcciones, es decir; es el efecto de redistribuir espacialmente la energía acústica que incide sobre una superficie, este fenómeno se produce cuando la superficie donde se produce la reflexión presenta alguna rugosidad.



**Figura 8,** Comportamiento de difusión del sonido.  
**Fuente,** Carrión, 1998, p. 123.

#### **2.3.2.5. Acústica en aulas de clase.**

La importancia de óptimas características y condiciones acústicas según Acoustical Society of America (ASA por sus siglas en inglés) y American National Standards Institute (ANSI por sus siglas en inglés) radica en que; el aprendizaje es más fácil, más profundo, más sostenido y menos fatigoso. La enseñanza debe ser más eficaz y menos estresante con características acústicas bien diseñadas en un aula. Puede haber más interacción verbal y menos repetición entre el maestro y los alumnos cuando las palabras habladas se escuchan y entienden claramente.

Las características acústicas de un salón dependen de distintos factores: las características físicas como el volumen y área de las superficies que influyen principalmente en el tiempo de reverberación; y las características de los materiales con que está construido el salón que influyen en la disipación de la energía acústica (Ramírez, 2009, p. 29).

#### **2.3.2.6. Característica de los materiales.**

Los materiales aplicados en un espacio arquitectónico repercuten directamente en el comportamiento del sonido, es por ello que las características de los materiales aplicados deben estar acorde a la función para el que está diseñado. Investigaciones anteriores afirman la importancia de las características de los materiales es así que según Acevedo (2009): “El éxito en el diseño acústico de cualquier tipo de recinto, una vez fijado su volumen y definidas

sus formas, radica en primer lugar en la elección de los materiales más adecuados para utilizar como revestimientos del mismo” (p. 25).

#### *2.3.2.6.1. Materiales Convencionales.*

Definiremos a los materiales convencionales como materiales típicos y propios de la zona donde se proyecta una edificación y que comúnmente son empleados en construcciones actuales. Los elementos estructurales, mamposterías divisorias, revestimientos y acabados, entre otros aplican materiales como: Hormigón simple, hormigón armado, ladrillo macizo o hueco, bloques de hormigón, aluminio y vidrio, mortero, cerámicas o baldosas, entre otros; Todos éstos son materiales de poca disipación acústica, es decir; no absorben la energía emitida por una fuente sonora, lo que en conclusión se afirma que al aplicar materiales de estas características obtenemos espacios que no son confortables acústicamente.

#### *2.3.2.6.2. Materiales acústicos.*

Los materiales acústicos se caracterizan principalmente por absorber gran cantidad de la energía emitida por una fuente sonora y poder reflectarla constituyendo mejores condiciones acústicas, es decir; gran cantidad de energía que capta se disipa en el interior de la composición estructural del material, pero que en poca proporción ésta energía es reflectada y colabora a obtener condiciones acústicas óptimas, reduciendo el tiempo de reverberación dentro de un espacio y que como consecuencia se logra el confort acústico.

Actualmente existe gran variedad de materiales con características óptimas para el acondicionamiento acústico, por ejemplo; materiales a base de fibra de vidrio, de lana de roca, de fibra de madera, placas de yeso, láminas de corcho, espuma de poliestireno, espuma de polietileno, espuma de poliuretano, entre otros. Y que principalmente se usan para el revestimiento de superficies duras.

### ***2.3.2.7. Acondicionamiento acústico.***

De una manera simplificada, Carrión (1998) menciona que: el acondicionamiento acústico consiste en la definición de las formas y revestimientos de las superficies interiores de un recinto con objeto de conseguir las condiciones acústicas más adecuadas para el tipo de actividad a la que se haya previsto destinarlo (p. 19).

Acorde a lo ya mencionado, Castellanos (2014) afirma que: el acondicionamiento acústico es una parte fundamental en el diseño de diferentes recintos ya que cuando no poseen las características acústicas apropiadas el sonido no se difunde correctamente. Éste engloba todas las técnicas destinadas a corregir y adecuar el campo sonoro al interior de los mismos, logrando así los objetivos acústicos deseados (p. 65).

### **2.3.3. Confort acústico.**

En éste apéndice se desarrollan definiciones inherentes a la problemática del confort acústico como principio del modelo de estudio y el vínculo existente entre la salud y las condiciones acústicas, y que constituyen en el objetivo del presente proyecto investigativo. Se expondrán conceptos precisos de la confortabilidad acústico-espacial, la relación que presenta con la salud, la incidencia del ruido en el confort y los efectos que este conlleva; todo esto desde la perspectiva de las actividades del ser humano (docentes y estudiantes) y la actividad que realiza.

#### ***2.3.3.1. Definición de confort acústico.***

El confort acústico se relaciona principalmente con el nivel de calidad acústica de los espacios arquitectónicos, pero hay que considerar que la apreciación auditiva es una configuración sensorial de la espacialidad y que es tan imprescindible como la vista, que además implica la adquisición de confortabilidad y el bienestar integral de las personas.

Es así que Rodríguez (2001) precisa que: “el confort acústico se define como aquel en el cual el carácter y la magnitud de todos los sonidos son compatibles con el uso satisfactorio del espacio, con el propósito para el cual es utilizado” (p. 73).

#### **2.3.3.2. Salud y confort.**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la salud como “*el estado de completo bienestar físico, mental y social del individuo y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades*”. Conceptualizando puntualmente se menciona que el “Confort se refiere, en términos generales, a un estado ideal del hombre que supone una situación de bienestar, salud y comodidad en la cual no existe en el ambiente ninguna distracción o molestia que perturbe física o mentalmente”. (Simancas, 2003, p. 01).

Conociendo las definiciones anteriores y relacionándolas con nuestro caso de estudio, se entiende que existe una influencia considerable en la confortabilidad acústica de los espacios y la salud, es decir, que espacios en condiciones acústicas confortables y óptimas podrán contribuir a un correcto estado de bienestar o salud mental o física. Esto repercute directamente en la predisposición del estudiante o docente en el desarrollo de sus actividades habituales, y muchos estudios confirman que el ser humano desarrolla mejor sus tareas en espacios donde prima la confortabilidad.

#### **2.3.3.3. Ruido y discomfort.**

EL ruido textualmente es un sonido no deseado, según el Comité de electrotécnica francés, la definición del “ruido es toda sensación auditiva desagradable o molesta, que generalmente no posee componentes definidos”. En relación al espacio arquitectónico, como lo son las aulas, los niveles de ruido producidos en estos espacios se disparan en gran medida debido a que no existen el acondicionamiento acústico adecuado que ayude a mitigar el impacto de éste sobre las superficies.

En el desenlace conceptualizado se considera que los niveles de ruidos existentes en las aulas de clases contribuyen y afectan directamente al disconfort de los espacios, por lo tanto, la relación que existe entre ruido y disconfort se encamina en que según estudios afirman que interfieren en el desarrollo de actividades cotidianas del ser humano.

#### ***2.3.3.4. Ruido y salud.***

Desafortunadamente, en nuestros días, el tema del ruido generado dentro de espacios arquitectónicos educativos no se ha tomado con la importancia que se merece. Estudiantes, catedráticos, responsables académicos y autoridades, no han sido conscientes de las consecuencias que el ruido puede traer sobre la salud física y psicológica de quienes habitualmente están en éstos espacios (Tristán, 2014, p. 09).

El oído por naturaleza es un sentido de alarma, por lo que es muy sensible a ruidos, el organismo del ser humano es capaz de acostumbrarse e incluso puede ignorar las molestias que puede causar el ruido, pero es solo la percepción consciente del ser humano; aunque el efecto que contaminante que causa como el estrés que el ruido impone siguen igual y los efectos negativos contraídos no se reducen por costumbre, es decir; si el ser humano se acostumbra a una anomalía existente en el espacio, no impide que los efectos colaterales le afecten (Martínez y Peters, 2015, p. 23).

#### ***2.3.3.5. Efectos del ruido.***

Los efectos que causa el ruido pueden llegar a ser desde leves a muy graves; si existen ruidos con niveles entre 80 o 90 decibeles causan ligeras fatigas, estrés, e incluso aumento de presión arterial, niveles superiores a 100 decibeles actúan directamente a los músculos y órganos internos, si los niveles llegan a 130 decibeles o más, pueden perjudicar el oído interno (Soto, 2012, p. 05).

Existen muchas investigaciones sobre los efectos del ruido en la salud. Los daños posibles son múltiples y no siempre cuantificables, entre los efectos o impactos que producen en la salud son:

- Alteraciones de la capacidad cognitiva.
- Causar alteraciones fisiológicas.
- Producir molestia, estrés o distracciones en las personas.
- Interferir en la comunicación verbal.
- Alterar en el desarrollo de algunas tareas.
- Provocar problemas de tipo psicológico.

## 2.5. Marco conceptual

En el desarrollo de la investigación se emplean terminologías principalmente sencillas para su fácil entendimiento, pero existe también un léxico de grado técnico y que puede causar cierta confusión o dudas al momento de su lectura, a continuación, se desarrollaran ciertas conceptualizaciones que se consideran necesarias para su mejor comprensión.

**Absorción sonora:** Acción que lleva a cabo toda superficie en mayor o menor grado, absorbiendo y eliminando parte de la energía sonora que incide sobre ella (Miyara, 2003).

**Acondicionamiento acústico:** Consiste en conseguir que el sonido proveniente de una fuente sonora sea irradiado por igual en todas las direcciones (Cruz, 2014).

**Acústica:** Disciplina que estudia el sonido en sus diversos aspectos. / Conjunto de características de un ambiente que determinan cómo se comporta el sonido (Miyara, 2003).

**Ambiente:** Espacio en el que suceden diferentes relaciones interpersonales y se llevan a cabo actividades pedagógicas o complementarias a estas.

**Banda de octava:** Intervalos conjuntos de frecuencias, agrupadas para realizar un análisis acústico.

**Calidad acústica:** Grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se desarrollan en el mismo (Cruz, 2014)

**Coefficiente de absorción:** Es la fracción de la energía sonora que es absorbida por la superficie (Cruz, 2014).

**Confort:** Es el estado físico y mental en que el ser humano expresa satisfacción con el medio ambiente que lo rodea (Fernández, 2014).

**Decibel:** Unidad convencional asignada a la expresión logarítmica de una magnitud o relación de magnitudes (Miyara, 2003).

**Disconfort:** Estado de incomodidad en que se encuentra el ser humano.

**Eco:** Reflexión del sonido en un espacio que regresa a la fuente sonora con menor o igual intensidad.

**Energía acústica:** Una forma de energía mecánica relacionada con las vibraciones del aire u otros medios (Miyara, 2003).

**Espacio arquitectónico:** Corresponde a las partes delimitadas de la obra arquitectónica, también objeto de creación arquitectónica (Fernández, 2014).

**Espacio:** Lugar donde el ser humano realiza sus actividades cotidianas ya sean de forma individual como en conjunto, satisfaciendo sus necesidades espaciales.

**Frecuencia:** En una señal periódica, cantidad de ciclos o periodos por unidad de tiempo (Miyara, 2003).

**Fuente sonora:** Dispositivo, objeto, persona, etc. que genera sonido (Miyara, 2003).

**Hertz:** (Hz) Unidad de frecuencia, igual a un ciclo por segundo (Miyara, 2003).

**Intensidad sonora:** Energía sonora que atraviesa una superficie por unidad de tiempo y por unidad de área (Miyara, 2003).

**Nivel sonoro:** Intensidad del sonido que alcanza a una persona en un momento dado, su unidad de medida es el decibel (dB).

**Onda sonora:** Perturbación que se propaga a través de un medio elástico, que se dispersa alejándose de la fuente que lo originó.

**Recinto:** Espacio del edificio limitado por cerramientos, particiones o cualquier otro elemento separador.

**Reflexión:** Reflejo de un sonido sobre una superficie, retornado al ambiente limitado por esa superficie (Miyara, 2003).

**Reverberación:** Permanencia de un sonido en un ambiente después de extinguida su fuente a causa de múltiples reflexiones (Miyara, 2003).

**Ruido:** Una señal no deseada, una mezcla compleja de sonidos con frecuencias fundamentalmente diferente.

**Sabine:** Físico estadounidense que desarrollo una ecuación para calcular el tiempo de reverberación (TR).

**Sonido:** Onda que se propaga en el aire, agua y otros medios, cuya frecuencia está comprendida entre 20 Hz y 4000 Hz (Miyara, 2003).

**Sonómetro:** Instrumento utilizado para la medición del nivel sonoro, en la unidad de medida de decibel.

## **2.7. Marco normativo**

En el desarrollo del marco normativo presentamos las disposiciones que regulan el funcionamiento correcto de una determinada actividad; en nuestro caso de estudio nos referimos a normativas dentro del ámbito del diagnóstico y acondicionamiento acústico de aulas de clase. Es imprescindible mencionar que a nivel nacional se ha realizado poco o nada respecto al control del ruido en espacios arquitectónicos educativos, y que como máximas disposiciones mencionan los niveles de ruido que pueden presentar ciertos espacios, indicado en una norma técnica del Ministerio del Ambiente (MAE). Es por este motivo que se hace mención a la parte normativa nacional como internacional referente al comportamiento acústico en las aulas de clase de espacios arquitectónicos educativos con el objeto de captar una idea que dirija y respalde el proceso investigativo.

### **2.7.1. Normativa nacional- Ministerio del Ambiente (MAE).**

El ministerio de ambiente en libro VI anexo 5 presenta su apartado *Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones* en la cual menciona que:

La presente norma tiene como objetivo el preservar la salud y bienestar de las personas, y del ambiente en general, mediante el establecimiento de niveles máximos permisibles de ruido. La norma establece además los métodos y procedimientos destinados a la determinación de los niveles de ruido en el ambiente, así como disposiciones generales en lo referente a la prevención y control de ruidos (p.416).

Como mencionamos anteriormente, no existe a nivel nacional una norma específica que mencione o regule parámetros para el acondicionamiento acústico en aulas de clase; pero ésta norma técnica si presenta una tabla con indicadores de niveles máximos permitidos del ruido la cual tomaremos en consideración.

### 2.7.1.1. Niveles máximos permisibles de ruido.

Los niveles de presión sonora equivalente (NPS), expresados en decibeles que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, no podrán exceder los valores que se fijan en la siguiente tabla.

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	NIVEL DE PRESION SONORA PERMITIDOS (dB)	
	HORARIO DE 06:00 A 20:00	HORARIO DE 20:00 A 06:00
ZONA HOSPITALARIA Y EDUCATIVA	45	35
ZONA RESIDENCIAL	50	40
ZONA RESIDENCIAL MIXTA	55	45
ZONA COMERCIAL	60	50
ZONA COMERCIAL MIXTA	65	55
ZONA INDUSTRIAL	70	65

**Tabla 7,** Límites de presión sonora máximos según MAE.

**Elaborado por,** Autor

**Fuente,** MAE, libro VI, Anexo 5.

### 2.7.2. Normativa internacional.

#### 2.7.2.1. Norma ANSI S12.60-2010 para escuelas.

Ésta norma es pionera en el estudio de la acústica dentro de recintos educativos, no antepone ni precede alguna norma ISO; redactada por la Sociedad Acústica de América (ASA por sus siglas en inglés) como organización científica constituida para aumentar y difundir conocimientos de la acústica, y aprobada por el Instituto Americano de Estándares Nacionales (ANSI por sus siglas en inglés) como coordinador de desarrollo de normas nacionales. Observan la necesidad de incluir el estudio y comportamiento acústico en recintos educativos y proporcionar parámetros para acondicionarlos. En el año 2002 hace su primera publicación y su reforma entre los años 2009 y 2010 reemplazando y actualizando la versión anterior.

2.7.2.1.1. ANSI/ASA S12.60-210/Part 1. *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools.*

Esta norma proporciona los criterios de funcionamiento, requisitos de diseño y las pautas de diseño acústico enfocándose en aulas de clase y otros espacios de aprendizaje, con volúmenes en el interior que no se superen los 566 m<sup>3</sup>. En los criterios, requisitos y pautas proporcionadas por esta norma; se busca obtener la calidad acústica necesaria para alcanzar un alto nivel de confortabilidad espacial.

Espacio de aprendizaje	El nivel de sonido promedio ponderado del ruido de fondo de la fuente externa (dB)	El nivel de sonido ponderado del ruido de fondo de la fuente interior (dB)	Tiempos de reverberación máximos permitidos para niveles de presión de sonido en bandas de octava con frecuencias de banda media de 500, 1000 y 2000 Hz (s)
Espacio de aprendizaje básico con volumen cerrado $\leq 283 \text{ m}^3$ ( $\leq 10\,000 \text{ ft}^3$ )	35 / 55	35 / 55	0.6 seg
Espacio de aprendizaje básico con volumen cerrado $> 283 \text{ m}^3$ y $\leq 566 \text{ m}^3$ ( $> 10\,000 \text{ ft}^3$ y $\leq 20\,000 \text{ ft}^3$ )	35 / 55	35 / 55	0.7 seg
Espacios de aprendizaje principales con volúmenes cerrados $> 566 \text{ m}^3$ ( $> 20\,000 \text{ ft}^3$ ) y todos los espacios de aprendizaje auxiliares	40 / 60	40 / 60	Sin requerimientos

**Tabla 8,** Límites de nivel sonoro y tiempos de reverberación máximos.

**Elaborado por,** Autor

**Fuente,** ANSI/ASA S12.60-2010/Parte 1.

En nuestra investigación aplicaremos esta norma para calcular el tiempo de reverberación en las aulas, siguiendo los parámetros de cálculo según la ecuación de Sabine; asimismo, se aplicará esta norma para la realización de nuestra propuesta de acuerdo a la implementación de material absorbente del ruido.

A continuación, se detalla la ecuación de Sabine:

$$TR(60) = \frac{0.161V}{(\Sigma S\alpha)}$$

**Donde:**

TR (60) = Tiempo de reverberación (segundos).

V = Volumen del espacio (m<sup>3</sup>).

S = Área de la superficie (m<sup>2</sup>).

$\alpha$  = Coeficiente de absorción del material a la frecuencia considerada.

$\Sigma$  = Indica que se deben sumar los productos (S).( $\alpha$ ) de todas las superficies.

Para ejecutar ésta ecuación es necesario conocer el volumen del recinto o espacio, el área de cada superficie material y los coeficientes de absorción de esos materiales. Los coeficientes son obtenidos de estudios realizados en laboratorios especializados, los cuales son proporcionados por diferentes investigadores, se presenta a continuación:

Coeficiente de absorción ( $\alpha$ ) de sonido por banda de octava						
Materiales	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Pisos de baldosa	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Enlucido de paredes	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03
Panel de yeso en pared o tumbado con cámara de aire en el dorso	0.29	0.10	0.06	0.05	0.05	0.05
Vidrio	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Puerta de madera	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06	0.06
Persona sentada	0.20	0.36	0.45	0.50	0.50	0.46
Persona de pie	0.12	0.33	0.41	0.42	0.46	0.42
Mobiliario vacío	0.15	0.19	0.22	0.39	0.38	0.30
Paneles de fibra de vidrio, e=5 cm	0.30	0.50	0.80	0.90	0.80	0.75
Paneles plafón de fibra de vidrio	0.70	0.85	0.75	0.85	0.90	0.90
Enlucido rugoso	0.025	0.026	0.06	0.085	0.043	0.05
Algodón, tela	0.04	0.23	0.40	0.57	0.53	0.53
Cartones de huevos	0.02	0.05	0.20	0.66	0.53	0.55
Caucho, alfombra	0.04	0.04	0.07	0.11	0.03	0.05
<b>Espuma de poliuretano</b>	<b>0.17</b>	<b>0.36</b>	<b>0.71</b>	<b>0.90</b>	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>
Lana mineral	0.42	0.66	0.73	0.74	0.76	0.75
Madera ordinaria	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05	0.05

**Tabla 9, Coeficiente de absorción ( $\alpha$ ) de los materiales.**

**Elaborado por,** Autor

**Fuente,** Beristáin, 2006, p. 72 / Soto, 2012, p. 56 / Cruz, 2014, p. 50.

### **2.7.2.2. Real Decreto 1371/2007, Normativa española.**

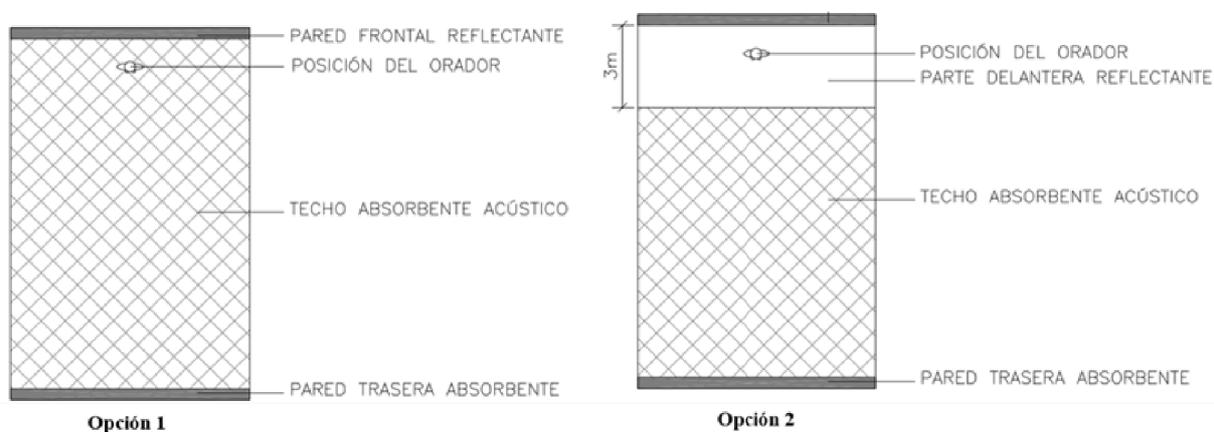
El Código Técnico de la Edificación es el conjunto de normativas que regulan la construcción de edificaciones en España, las normativas creadas o propuestas reciben el nombre de “Real Decreto”. El documento básico DB-HR establece las reglas y pautas que facultan cumplir exigencias elementales de protección frente al ruido. Este Real Decreto hace énfasis a las condiciones acústicas en los edificios en general.

#### *2.7.2.2.1. Documento básico HR Protección frente al ruido (DB-HR) del Código Técnico de la edificación.*

Esta normativa se aplicará en nuestro proyecto investigativo únicamente en las “Recomendaciones de diseño acústico para aulas y salas de conferencias”, donde según el Documento básico (DB-HR) en su Anejo J nos indica; que en el caso de aulas y salas de conferencias de volumen hasta 350 m<sup>3</sup>, las siguientes recomendaciones sobre la geometría de los recintos y la distribución de los materiales absorbentes tienen por objeto mejorar la calidad acústica.

- a) Deben evitarse los recintos cúbicos o con proporciones entre lados que sean números enteros.
- b) En cuanto a la distribución de los materiales absorbentes, se recomienda una de las dos opciones de diseño siguientes:
  - a) *Opción 1.* Se dispondrá un material absorbente acústico en toda la superficie del techo, la pared frontal será reflectante y la pared posterior será absorbente acústica para minimizar los ecos tardíos.
  - b) *Opción 2.* Se dispondrá un material absorbente acústico en el techo, pero sólo se cubrirá la parte posterior del techo, dejando una banda de 3 m de ancho de material reflectante en la parte frontal del techo. La pared frontal será reflectante y

en la pared posterior se dispondrá un material absorbente acústico de coeficiente de absorción acústica similar al del techo.



**Figura 9,** Distribución de materiales absorbentes.  
**Fuente,** Documento Básico HR p. hrJ-1.

### **2.7.2.3. Norma Técnica Colombiana NTC 4595.**

Ésta norma establece requisitos para el planeamiento y diseño físico-espacial de nuevas instalaciones escolares, orientada a mejorar la calidad del servicio educativo. Adicionalmente, puede ser utilizada para la evaluación y adaptación de instalaciones educativas existentes. Ésta norma abarca aquellas instalaciones y ambientes que son generadas para cumplir únicamente procesos educativos.

En este proceso investigativo solo se hace énfasis al capítulo 7 *Comodidad*, la cual hace referencia a la calidad de los ambientes educativos, y su apéndice 7.4 *Comodidad auditiva*. en la que específicamente hace referencia a las condiciones ambientales indispensables para garantizar un acondicionamiento acústico apropiado en los distintos espacios generados por el Proyecto Educativo Institucional. Esta norma hace énfasis en la adecuación sonora de los diferentes recintos educativos para la buena audición sin utilización de medios electrónicos de amplificación.

AMBIENTES (RECINTOS SIN OCUPAR)	NIVEL DE INTENSIDAD DE SONIDO, EN dB	CARACTERIZACIÓN
Ambientes B y F para música	35 a 40	Silencio
Ambientes A y C en laboratorios	40 a 45	Conversación voz baja
Ambientes C en Artes y Oficinas	45 a 50	Conversación natural
Ambientes C tecnologías, D, E, F, baños y depósitos.	hasta 60	Voz humana en publico

**Tabla 10,** Nivel máximo de intensidad de sonido.

**Elaborado por,** Autor

**Fuente,** NTC 4595 p. 24.

En cuanto al acondicionamiento acústico interior de los recintos, se debe asegurar que el sonido se distribuya adecuadamente para alcanzar a los puestos más retirados de la fuente. La distancia máxima a una fuente sonora (voz humana) debe ser de 8 m. cuando el máximo nivel de intensidad de sonido permitido sea de hasta 45 dB y de 7 m. cuando el máximo nivel de intensidad de sonido sea de 60 dB.

Según esta normativa los diferentes ambientes pedagógicos y complementarios deben alcanzar, con media ocupación, los tiempos de reverberación que se indican en la siguiente tabla.

Ambiente	Tiempo de reverberación, en s
Ambientes B	Hasta 0.9
Ambientes A y Oficinas	De 0.9 a 1
Ambientes C y E	De 0.9 a 1.2
Ambientes F	De 0.9 a 2.2

**Tabla 11,** Tiempos de reverberación.

**Elaborado por,** Autor

**Fuente,** NTC 4595 p. 25.

Por la naturaleza de las actividades que se suceden en las edificaciones escolares, se debe alentar la condición absorbente de sonido de los distintos espacios. Se debe preferir la ubicación de los materiales absorbentes en las partes más altas de los recintos, en muros a una altura superior a los 2,0 m y muy especialmente en los cielos rasos.

## **2.8. Modelo repertorio**

Se presentan investigaciones y proyectos ya realizados el cual se realiza un análisis crítico, comparativo y reflexivo en base de búsqueda de fundamentos ideales para nuestra investigación; se presentarán modelos nacionales como internacionales.

### **2.8.1. Modelos repertorios nacionales.**

Pese a ser la acústica arquitectónica y el acondicionamiento acústico en aulas de clases uno de los temas menos indagados en cuanto a la confortabilidad, aquí se presentan proyectos investigativos relacionando aspectos de confort ambiental, precisamente confort acústico en edificaciones educativas y su repercusión en la salud mental y física del ser humano, así mismo se presentan estudios relacionados al comportamiento del sonido dentro de aulas de clases.

#### ***2.8.1.1. Análisis de los aspectos funcionales, formales y tecnológicos que inciden en el confort de los espacios de aprendizaje y propuesta de lineamientos para el diseño arquitectónico de aulas universitarias en la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí – ULEAM.***

Este trabajo investigativo corresponde al proyecto de tesis de pregrado de la arquitecta Andrea Fernández Briones, realizado en el año 2014. Aquí se desarrolla un riguroso análisis en aspectos arquitectónicos y su incidencia en la confortabilidad espacial de aulas de tres facultades de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí. Tiene como objetivo principal Identificar los factores que condicionan los aspectos funcionales, formales y tecnológicos incidentes en la confortabilidad de las aulas de la ULEAM.

Puesto que abarca la confortabilidad espacial, aborda la temática de estudio del presente proyecto investigativo, que corresponde a la confortabilidad acústica de aulas de la facultad de arquitectura. Los resultados presentados muestran una clara existencia de espacios que no son confortables y que además influyen en el rendimiento de estudiantes y docentes.

### **2.8.1.2. Trabajo practico, Radio sonómetro – ULEAM.**

Éste trabajo practico es de autoría intelectual del Arq. Armando Zambrano Mg., docente de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, y que corresponde a la materia de Estadística impartida en 3<sup>er</sup> semestre. El desarrollo del mismo consiste de aplicar la estadística relacionada a la acústica y observar el comportamiento acústico en un aula de clase de la Facultad de Arquitectura; mediante la utilización de una malla reticular, la distribución puntos o coordenadas, la colocación de una fuente de ruido en uno de éstos puntos y la utilización de sonómetros en aplicaciones móviles como instrumento de medición; todas éstas fueron parámetros para determinar y demostrar éste trabajo practico. Así mismo mediante fórmulas estadísticas se ejecutan las ecuaciones relacionadas al cálculo de la Moda, la Media y la Mediana.

A continuación, se detalla lo mencionado.

#### **2.8.1.2.1. Trabajo practico # 1 – Taladro.**

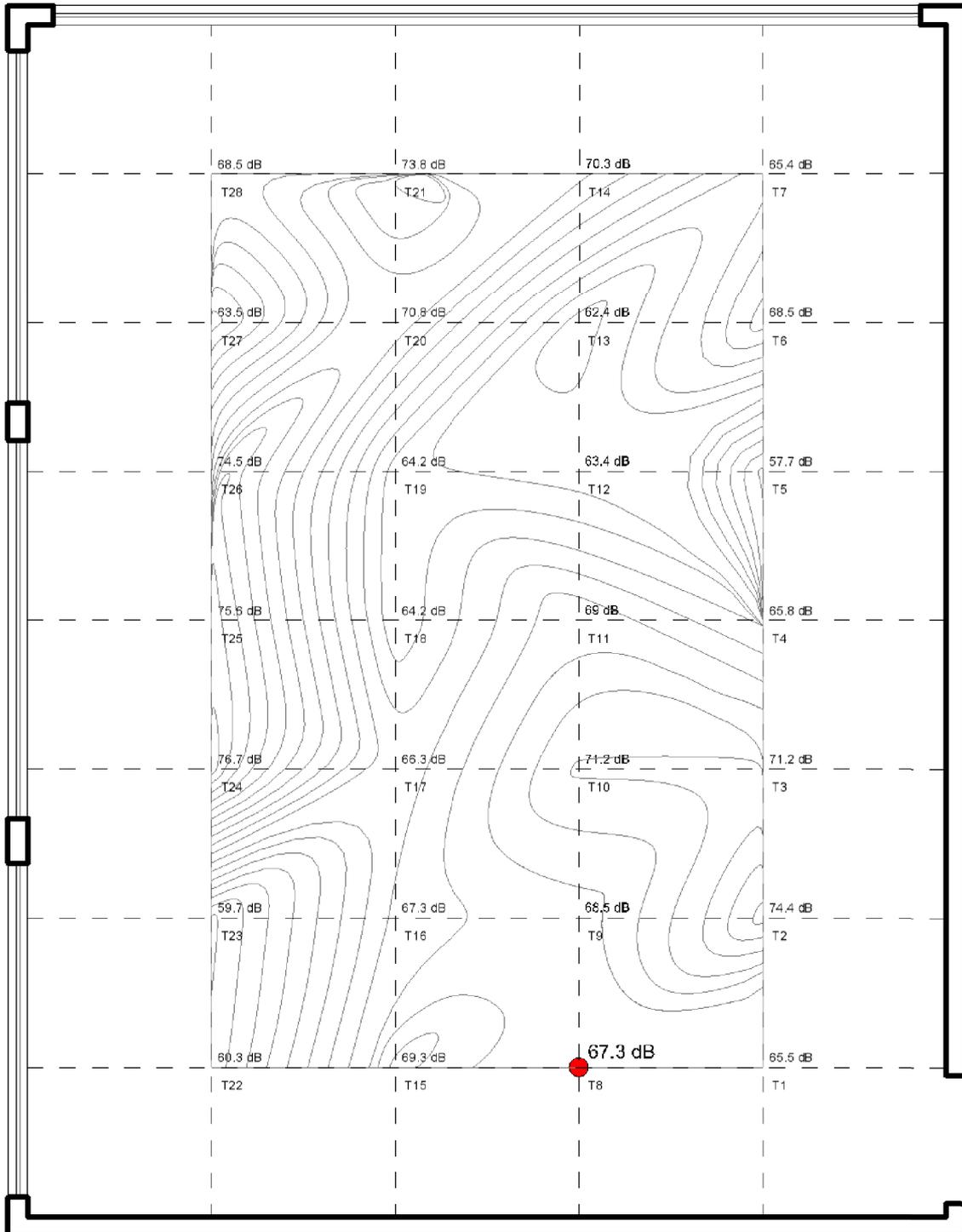
En ésta práctica se utiliza una fuente de ruido mecánica, como lo es el taladro.

#### **Proceso:**

- Se coordina con los estudiantes para que tengan acceso a una aplicación móvil que simule un sonómetro y puedan medir el nivel sonoro (dB), ubicados en determinados puntos formando una cuadrícula en el aula de clases.
- En uno de los puntos se establece una fuente de ruido, un taladro en este caso.
- Durante un periodo de 30 segundos el taladro se mantiene encendido y los estudiantes captan el nivel sonoro en cada punto.
- Se realiza un gráfico que proporciona el comportamiento del ruido en el aula.
- Y finalmente mediante la estadística se procede a calcular la media, mediana y modo; el cual proporcionará datos estadísticamente precisos.

A continuación, se muestra el desarrollo mediante cálculos y gráficos.

**Comportamiento del sonido:**



**Figura 10, Material aplicado - Esponja negra.  
Elaborado por, Autor.  
Fuente, Estadística – Arq. Zambrano.**

**Nivel de intensidad del sonido:**

DATOS OBTENIDOS EN EL AULA n° 205																																																														
AULA N° 205		Fuente de ruido de un taladro encendido 67.3 dB																																																												
PUNTO	INTENSIDAD																																																													
T1	63.50	<b>1.- Rango</b>																																																												
T2	74.40	R= Xmax - Xmin																																																												
T3	71.20	R= 76.70 - 57.70	R= <b>19.00</b>																																																											
T4	65.80	<b>2.- Número de intervalos</b>																																																												
T5	57.70	K= 1+3.322 x log n																																																												
T6	68.50	K= 1 + 3.322 x 1.447	K= <b>5.807</b>																																																											
T7	65.40	<b>3.- Amplitud</b>																																																												
T8	67.30	A= R / K																																																												
T9	68.50	A= <b>3.27</b>																																																												
T10	71.20	<b>4.- Tabla de frecuencias</b>																																																												
T11	69.00																																																													
T12	63.40																																																													
T13	62.40	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Amplitud dB</th> <th>Xi</th> <th>fi</th> <th>Fa</th> <th>(Xi) (fi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>57.70</td> <td>60.97</td> <td>59.34</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>178.01</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>60.97</td> <td>64.24</td> <td>62.61</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>375.64</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>64.24</td> <td>67.51</td> <td>65.88</td> <td>4</td> <td>13</td> <td>263.52</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>67.51</td> <td>70.79</td> <td>69.15</td> <td>7</td> <td>20</td> <td>484.06</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>70.79</td> <td>74.06</td> <td>72.42</td> <td>5</td> <td>25</td> <td>362.11</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>74.06</td> <td>77.33</td> <td>75.69</td> <td>3</td> <td>28</td> <td>227.08</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>TOTAL</b></td> <td></td> <td></td> <td><b>28</b></td> <td></td> <td><b>1890.42</b></td> </tr> </tbody> </table>						N°	Amplitud dB	Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)	1	57.70	60.97	59.34	3	3	178.01	2	60.97	64.24	62.61	6	9	375.64	3	64.24	67.51	65.88	4	13	263.52	4	67.51	70.79	69.15	7	20	484.06	5	70.79	74.06	72.42	5	25	362.11	6	74.06	77.33	75.69	3	28	227.08	<b>TOTAL</b>				<b>28</b>		<b>1890.42</b>
N°	Amplitud dB	Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)																																																									
1	57.70	60.97	59.34	3	3	178.01																																																								
2	60.97	64.24	62.61	6	9	375.64																																																								
3	64.24	67.51	65.88	4	13	263.52																																																								
4	67.51	70.79	69.15	7	20	484.06																																																								
5	70.79	74.06	72.42	5	25	362.11																																																								
6	74.06	77.33	75.69	3	28	227.08																																																								
<b>TOTAL</b>				<b>28</b>		<b>1890.42</b>																																																								
T14	70.30																																																													
T15	69.30																																																													
T16	67.30																																																													
T17	66.30																																																													
T18	64.20																																																													
T19	64.20																																																													
T20	70.80																																																													
T21	70.80																																																													
T22	60.30	<b>5.- Media</b>																																																												
T23	59.70	$\bar{x} = \frac{\sum (Xi) (fi)}{n}$																																																												
T24	76.70	$\bar{x} = \frac{1890.42}{28}$																																																												
T25	75.60	$\bar{x} = \mathbf{67.51}$ dB																																																												
T26	74.50	<b>6.- Mediana</b>																																																												
T27	63.50	$Me = Li + \frac{\frac{n}{2} - F - 1}{fi} (a)$																																																												
T28	68.50	$Me = 67.51 + \frac{14 - 13}{7} \times 3.27$																																																												
		$Me = 67.51 + 0.467$																																																												
		$Me = \mathbf{67.98}$ dB																																																												
		<b>7.- Moda</b>																																																												
		$Mo = Li + \frac{fi - fi - 1}{(fi - fi - 1) + (fi - fi + 1)} (a)$																																																												
		$Mo = 67.51 + \frac{3}{3 + 2} \times 3.27$																																																												
		$Mo = 67.51 + \frac{3}{5} \times 3.27$																																																												
		$Mo = 67.51 + 1.963$																																																												
		$Mo = \mathbf{69.48}$ dB																																																												

Figura 11, desarrollo de media, mediana y moda.

Elaborado por, Autor.

Fuente, Estadística – Arq. Zambrano.

2.8.1.2.2. Trabajo practico # 2 – Amoladora.

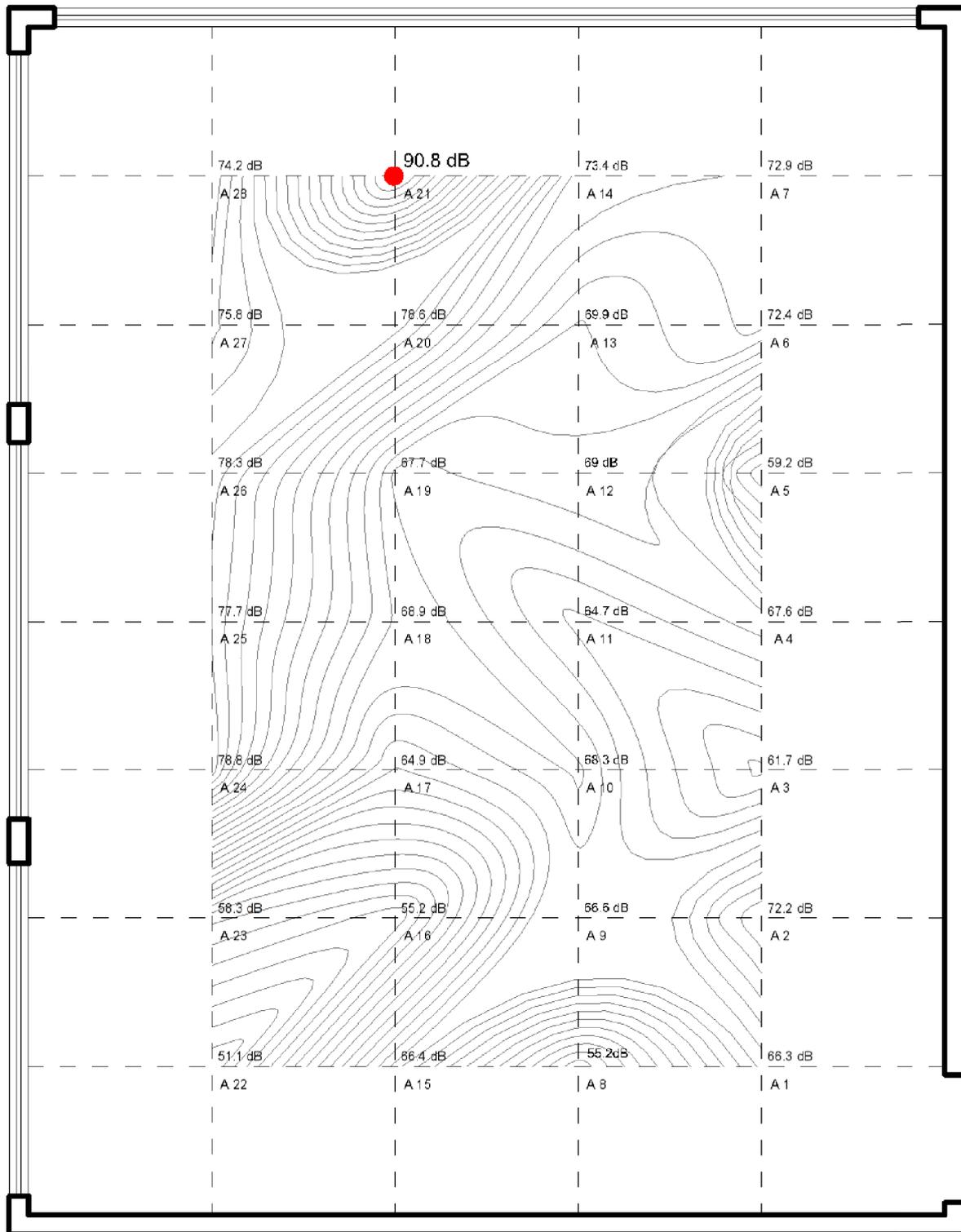
En ésta práctica se utiliza una fuente de ruido mecánica, como lo es el taladro.

**Proceso:**

- El proceso es el mismo anteriormente explicado, la diferencia es que aquí se ubicó la fuente de ruido en otro punto y la fuente de ruido es una amoladora.

A continuación, se muestra el desarrollo mediante cálculos y gráficos.

**Comportamiento del sonido:**



**Figura 12, Material aplicado - Esponja negra.  
Elaborado por, Autor.  
Fuente, Estadística – Arq. Zambrano.**

**Nivel de intensidad del sonido:**

DATOS OBTENIDOS EN EL AULA n° 205									
AULA N° 205		Fuente de ruido de un amoladora encendida 90.8 dB							
PUNTO	INTENSIDAD								
A1	66.30	<b>1.- Rango</b>							
A2	72.20	R= Xmax - Xmin							
A3	61.70	R=	90.80	-	51.10	R=	<b>39.70</b>		
A4	67.60								
A5	59.20	<b>2.- Número de intervalos</b>							
A6	72.40	K= 1+3.322 x log n							
A7	72.90	K=	1	+	3.322	x	1.447	K=	<b>5.807</b>
A8	55.20								
A9	66.60	<b>3.- Amplitud</b>							
A10	68.30	A= R / K							
A11	64.70	A= <b>6.84</b>							
A12	69.00	<b>4.- Tabla de frecuencias</b>							
A13	69.90	N°	Amplitud dB		Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)	
A14	73.40	1	51.10	57.94	54.52	3	3	163.55	
A15	66.40	2	57.94	64.77	61.35	4	7	245.42	
A16	55.20	3	64.77	71.61	68.19	10	17	681.90	
A17	64.90	4	71.61	78.44	75.03	8	25	600.21	
A18	68.90	5	78.44	85.28	81.86	2	27	163.72	Li 14.0
A19	67.70	6	85.28	92.12	88.70	1	28	88.70	
A20	78.60	<b>TOTAL</b>				<b>28</b>		<b>1943.50</b>	
A21	90.80								
A22	51.10	<b>5.- Media</b>							
A23	58.30	$\bar{x} = \frac{\sum (Xi) (fi)}{n}$							
A24	78.80	$\bar{x} = \frac{1943.50}{28}$							
A25	77.70	$\bar{x} = \mathbf{69.41 \text{ dB}}$							
A26	78.30	<b>6.- Mediana</b>							
A27	75.80	$Me = Li + \frac{\frac{n}{2} - F_{i-1}}{fi} (a)$							
A28	74.20	$Me = 64.77 + \frac{14 - 17}{8} \times 6.84$							
		$Me = 64.77 + -2.564$							
		$Me = \mathbf{62.21 \text{ dB}}$							
		<b>7.- Moda</b>							
		$Mo = Li + \frac{fi - fi-1}{(fi - fi-1) + (fi - fi+1)} (a)$							
		$Mo = 64.77 + \frac{-2}{-2 + 6} \times 6.84$							
		$Mo = 64.77 + \frac{-2}{4} \times 6.84$							
		$Mo = 64.77 + -3.418$							
		$Mo = \mathbf{61.35 \text{ dB}}$							

Figura 13, desarrollo de media, mediana y moda.

Elaborado por, Autor.

Fuente, Estadística – Arq. Zambrano.

**2.8.1.3. Materiales aislantes acústicos para muros.**

El modelo de repertorio presente es realizado como trabajo de fin de carrera por el ahora Arq. Marco Soto Zumba, de la Universidad Técnica Particular de Loja, y su temática que aborda importantes pautas para la selección de materiales acústicos.

Propone considerar las condiciones acústicas antes de planificar un espacio arquitectónico, debido a que la población en general considera de poca importancia ésta

temática. Las edificaciones en su proceso constructivo con respecto a los efectos sonoros entran en conflicto debido al desconocimiento de la existencia de materiales acústicos y su aplicación, lo que posteriormente conlleva a tener construcciones económicamente no viables y que además no logran una confortabilidad espacial.

Como objetivo principal este documento tiene potenciar las características aislantes de los materiales en sistemas para la conformación de muros, es decir; que se potencian las propiedades acústicas tanto en el interior como en el exterior de las edificaciones. Asimismo, proporciona una serie de materiales con características óptimas para calidad acústica, la cual es de importante colaboración para la temática (véase tabla 9).

### **2.8.2. Modelos repertorios internacionales.**

En el ámbito internacional el estudio del comportamiento acústico y sus condicionantes ha sido mucho más indagado que nuestro ámbito nacional, en las cuales muchas ponencias y escritos redactan estudios e incluso disponen de pautas teóricas para mejorar las condiciones acústicas de recintos educativos, incidencias al confort acústico, los efectos que causa el ruido en espacios educativos, entre otros; es así que a continuación describiremos los casos de estudios y sus pautas más importantes inherentes a nuestra temática en estudio.

#### ***2.8.2.1. “La calidad acústica arquitectónica” – El ambiente acústico en edificios escolares de nivel superior.***

Éste modelo repertorio es de autoría de Ayde Medina Valdez en su tesis de maestría en Ciencias en Arquitectura otorgado por el Instituto Politécnico Nacional-Escuela superior de ingeniería y arquitectura, de la ciudad de Tecamachalco, México.

Aquí se centra exclusivamente en la acústica arquitectónica en términos de la calidad en las aulas, se abordan temas relacionados al ambiente acústico, como los problemas de diseño arquitectónico; previo a la ejecución de este escrito se observó la ausencia de calidad

acústica óptima en el interior de aulas escolares; se manifiesta en forma de eco y de ruidos, los cuales afectan a la transmisión del sonido que emite el docente y viceversa.

Las aulas poseen elementos y características típicas de dos naturalezas:

- a) Fijas, tales como: paredes, ventanas, cielos rasos, puertas y pisos.
- b) Móviles, como: mobiliario y elementos didácticos, los cuales pueden ser cambiados de lugar para una gran diversidad de actividades de mayor o menor duración, y la cantidad de usuarios.

Entre las posibles causas de un ambiente acústico inapropiado en las instalaciones educativas pueden ser:

- a) Mal diseño de las aulas (cuadradas o rectangulares con grandes superficies de paredes paralelas, paredes duras, etc.).
- b) Ruido invasivo proveniente de espacios adyacentes.
- c) Ruido interno generado por los propios alumnos.

Asimismo, los principales problemas originados por el ruido, deben evaluarse:

- a) Interferencia en la conversación: se dificulta oír la voz del docente.
- b) Fatiga en los docentes, que en deben elevar su voz por encima de lo normal para ser oídos supuestamente mejor, causándoles depresión, angustia, jaquecas, etc.
- c) Contribuye en gran medida al bajo rendimiento académico.

Por todo lo anterior expuesto, es necesario que la calidad acústica sea óptima para el correcto desenvolvimiento de los docentes y alumnos en las aulas de clases.

#### ***2.8.2.2. Caracterización sonora de aulas: Un estudio de los principales parámetros acústicos en aulas argentinas.***

En el presente trabajo abarca un estudio diagnóstico en el que se muestran resultados de mediciones de parámetros acústicos efectuadas en aulas de dos instituciones educativas,

ubicados en la ciudad de Bahía Blanca, argentina, y autoría de L. Ercoli y A. P. Azzurro, del Grupo de Análisis de Sistemas Mecánicos, Universidad Tecnológica Nacional.

Aquí se muestran que las características constructivas de los edificios no tienen en cuenta un diseño apropiado para lograr condiciones acústicas favorables que coadyuven al mejoramiento de este importante aspecto del proceso enseñanza-aprendizaje, encontrándose los parámetros analizados muy por encima de los criterios recomendados por diferentes investigadores internacionales.

Se determinaron valores de los principales parámetros acústicos que deben tenerse en cuenta para el diseño y la construcción de edificios destinados a este tipo de actividades; como resultado del análisis se obtiene que los edificios educativos objetos de estudio claramente resultan altamente inapropiados para las actividades de enseñanza y aprendizaje.

Como conclusión final del presente documento puede aseverarse que las características arquitectónicas no contribuyen en absoluto a brindar en ambiente acústico adecuado para éste tipo de actividades. Los autores consideran que deben investigarse soluciones que logren relación costo/beneficio óptimas. A tal efecto una proyección desde el punto de vista de la eficiencia y la economía se podrá lograr mejoras en aspectos tales como aislamiento, absorción, entre otros, todo en beneficio de los usuarios de dichos espacios. A continuación, se muestran gráficos del diagnóstico realizado.

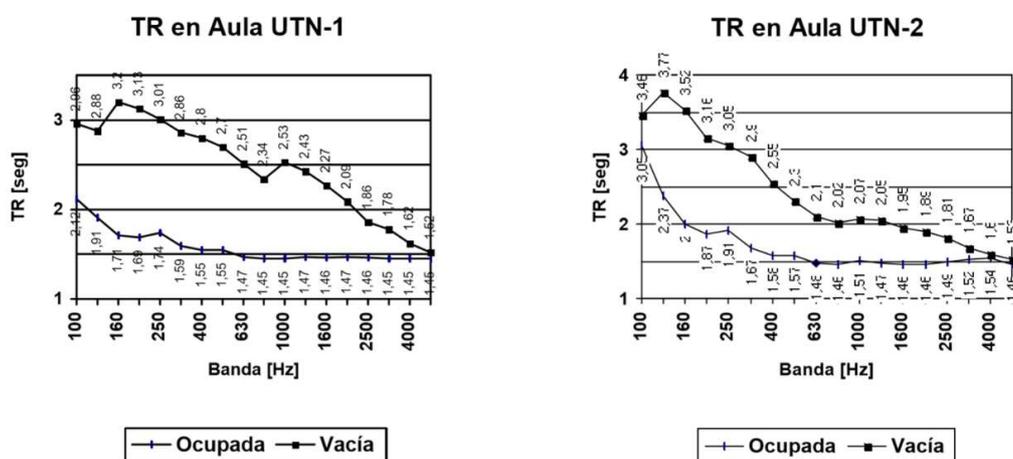


Figura 14, Cálculo de tiempos reverberantes en aulas de clase.  
Fuente, Ercoli y Azzurro p. 12.

### **3. Capítulo II – Diagnostico**

#### **3.1. Información básica**

En el presente trabajo investigativo se desarrolla un diagnostico general de las condiciones acústicas en que se encuentran las aulas de clase de la Facultad de Arquitectura de la Universidad laica “Eloy Alfaro” de Manabí. Se logra demostrar características arquitectónicas y constructivas que no permiten el desarrollo de una acústica favorable que coadyuven al mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje. Es habitual, en nuestro medio que se realicen diseños, y que posteriormente se construyan sin prestar la atención adecuada a los aspectos acústicos, las edificaciones de centros educativos son típicas construcciones de estructura de hormigón armado, ladrillo o bloque, enlucidos duros y lisos, pisos y revestimientos duros, cielos rasos (en algunas ocasiones), sillas, mesas o mobiliarios en general duros; todos estos son factores característicos dentro de tipologías educativas.

##### **3.1.1. Facultad de Arquitectura (ULEAM)**

La facultad de arquitectura en la *Reseña Histórica de la Facultad*. Además, menciona que: se inicia su vida institucional en noviembre del año 1985, y que posteriormente en junio del año 1986, lo que era la escuela de Arquitectura se convierte en Facultad de Arquitectura, y que se caracterizó en su momento por un limitado desarrollo del proceso de aprendizaje debido ante la insuficiente infraestructura física existente, es decir; que en el presente año (1986) ya se contaba con una edificación destinada al proceso de aprendizaje.

En años posteriores, aproximadamente en el año 2009-2010 debido al crecimiento y demanda estudiantil en la región se realiza una remodelación y ampliación del edificio de la Facultad de Arquitectura, aunque en el año 2016 se realizaron trabajos de restauración debido al terremoto que sufrió la provincia de Manabí, aquí se implementó en baja proporción paredes o tabiques con materiales blandos (paredes de gypsum), ésta fue la última modificación

constructiva que se realizó, lo cual es el actual edificio en el que se realiza la investigación. Constructivamente en su momento cumplió con la necesidad de infraestructura física para el proceso de aprendizaje de los estudiantes, no obstante, existió la omisión o el descuido de parte de los profesionales a cargo del proyecto, debido a que no dieron la importancia adecuada de las condiciones acústicas que iban a caracterizar las aulas de clases lo que después finalizaría desencadenando en el discomfort acústico.

#### ***3.1.1.1. Criterios constructivos.***

Los criterios constructivos responden a un diseño previo y convencional en el que deriva posteriormente a la inobservancia de las condiciones acústicas de las aulas de clases de la Facultad de arquitectura, originados por carencia de criterios como:

- Diseño de acústica arquitectónica.
- Normativas técnicas.
- Aplicación de materiales de característica acústica.

#### ***3.1.1.2. Factores que priorizan las construcciones convencionales.***

Los factores que dan prioridad a las construcciones convencionales y que no facultan las condiciones del confort acústico son:

- Utilización de materiales convencionales, materiales rígidos, duros.
- Factores económicos.

#### **3.1.2. Información de campo.**

A continuación, se describe una tabla de contenidos que corresponden al análisis de las variables puesto que se analizaran de forma cualitativa y cuantitativa, asimismo, se muestra la recolección de datos obtenidos en base a encuestas, mediciones y cálculos realizadas sobre las características acústicas que tienen de las aulas de clases de la Facultad de arquitectura.

VARIABLES	INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	PORCENTAJES	PROMEDIOS
Disconfort acústico en las aulas de clase	Encuesta	Pregunta 1.- ¿Cómo describirías la existencia del ruido en el ambiente interior del aula de clase?	Ruidosa	70%	----
		Pregunta 2.- ¿En qué medida considera usted que es necesario elevar el tono de voz en el desarrollo de la clase?	Muy necesario	50%	----
		Pregunta 3.- ¿En qué medida el ruido existente le causa molestias?	Mucho	70%	----
		Pregunta 4.- ¿En qué medida considera usted que es adecuado el nivel de confort acústico en el aula de clases?	Poco adecuado	70%	----
		Pregunta 5.- ¿Consideras que el rendimiento académico se ve afectado por el confort acústico inadecuado ?	Talvez	80%	----
		Pregunta 6.- ¿Qué tipo de molestar físico o psicológico causa en usted el disconfort acústico?	Irritabilidad	45%	----
		Pregunta 7.- ¿En qué medida nota que la presencia de ruido en el aula disminuye tu concentración?	Poco	60%	----
		Pregunta 8.- ¿Cómo describirías la percepción del sonido en el aula de clases?	Con eco	100%	----
		Pregunta 9.- ¿Consideras que la forma geométrica del aula contribuye al disconfort acústico?	Si	50%	----
		Pregunta 10.- ¿Consideras los materiales aplicados son óptimos para lograr el confort acústico?	No	70%	----
VARIABLES	INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	PORCENTAJES	PROMEDIOS
Características acústicas arquitectónicas y constructivas inadecuadas en las aulas de clases.	Ficha	Aula n° 101.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	3.35	----	3.27
		Aula n° 102.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	3.37	----	3.29
		Aula n° 201.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	3.06	----	2.97
		Aula n° 202.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	2.78	----	2.74
		Aula n° 203.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	3.41	----	3.11
		Aula n° 204.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	3.01	----	2.92
		Aula n° 205.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	3.06	----	3.01
		Aula n° 301.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	2.70	----	2.40
		Aula n° 302.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	2.87	----	2.41
		Aula n° 401.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	2.70	----	2.25
		Aula n° 402.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	2.92	----	2.48
		Aula n° 403.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	3.04	----	2.54
		Aula n° 404.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	3.38	----	2.78
		Aula n° 405.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	3.04	----	2.57
	Aula n° 406.- Ecuación Sabine; TR(60) a 500 Hz (Resultado en segundos)	2.86	----	2.46	
	INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	PORCENTAJES	PROMEDIOS
	Gráfico	Aula n° 101.- Comportamiento del ruido según sonómetro (Resultados en dB)	69.48	69.32	69.15
Aula n° 205.- Comportamiento del ruido según sonómetro (Resultados en dB)		73.35	73.36	74.36	
Aula n° 405.- Comportamiento del ruido según sonómetro (Resultados en dB)		71.71	71.92	71.83	

**Tabla 12, Información de campo - encuesta.  
Elaborado por, Autor**

### 3.2. Tabulación de la información

Con la finalidad de determinar las condiciones y confortabilidad acústica de los espacios de aprendizaje de la Facultad de Arquitectura de la ULEAM; se exponen los resultados obtenidos de la aplicación de diferentes técnicas investigativas.

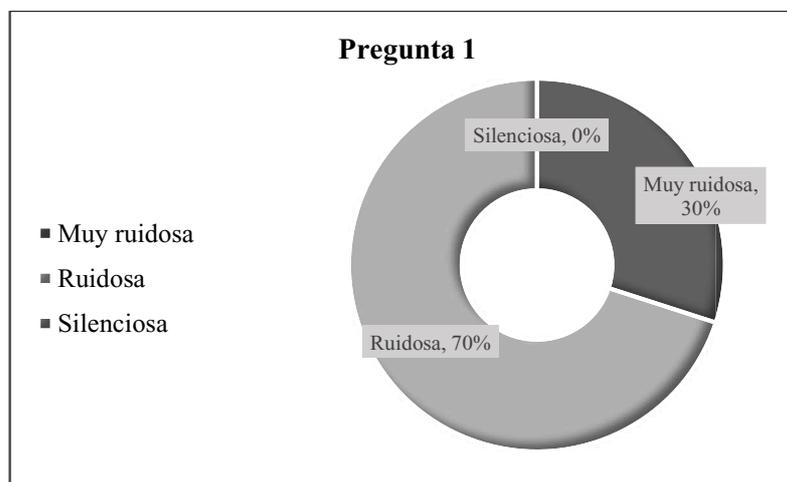
#### 3.2.1. Tabulación de encuesta.

##### 3.2.1.1. Análisis cualitativo.

a) **Pregunta 1.-** ¿Cómo describirías la existencia del ruido en el ambiente interior del aula de clase?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Muy ruidosa	9	30%
Ruidosa	21	70%
Silenciosa	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

**Tabla 13,** Referente a la pregunta 1.  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 1,** Referente al ruido en el interior de las aulas.  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Investigación de campo.

**Descripción:** En la tabla y gráfico se manifiesta que el 70% de las personas encuestadas describen el aula de clases como “Ruidosa”; el 30% la describen como “Muy ruidosa”, es decir; que existe la presencia de ruidos en el interior de las aulas.

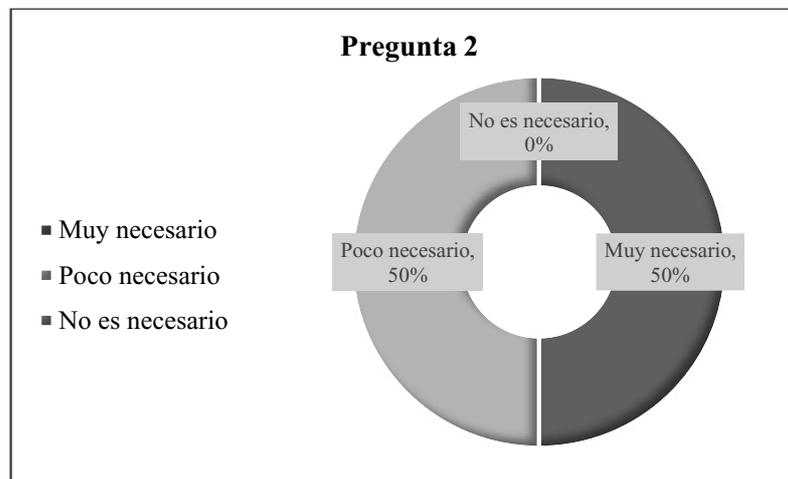
**b) Pregunta 2.-** ¿En qué medida considera usted que es necesario elevar el tono de voz en el desarrollo de la clase?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Muy necesario	15	50%
Poco necesario	15	50%
No es necesario	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

**Tabla 14,** Referente a la pregunta 2.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 2,** Referente al tonos de voz en clases.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.

**Descripción:** En la tabla y gráfico se demuestra que la población encuestada considera respecto a la necesidad de elevar el tono de voz para ser escuchados que es “Muy necesario” en un 50%, asimismo, el 50% restante aseguro que es “Poco necesario” elevar el tono de voz; los gráficos demuestran que, si es necesario forzar la voz en una u otra medida, ya que nadie considero que en el aula de clases no se necesario hacerlo.

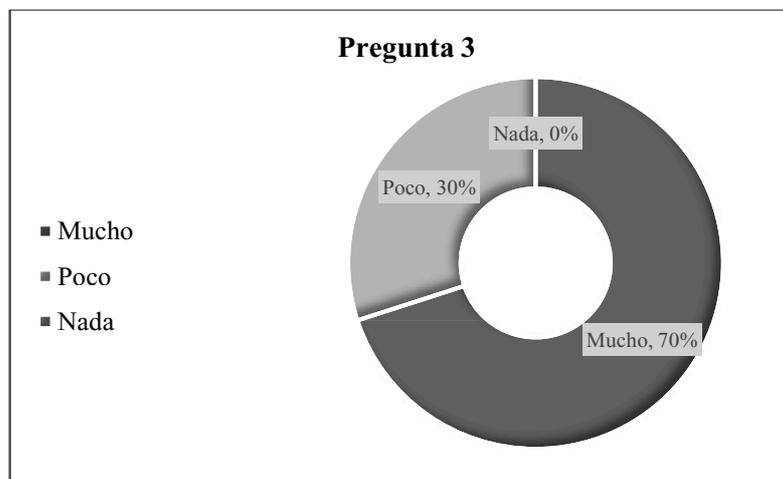
c) **Pregunta 3.-** ¿En qué medida el ruido existente le causa molestias?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Mucho	21	70%
Poco	9	30%
Nada	0	0%
<b>TOTAL</b>	30	100%

**Tabla 15,** Referente a la pregunta 3.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 3,** Referente al ruido y la existencia de molestar.

**Elaborado por,** Autor.

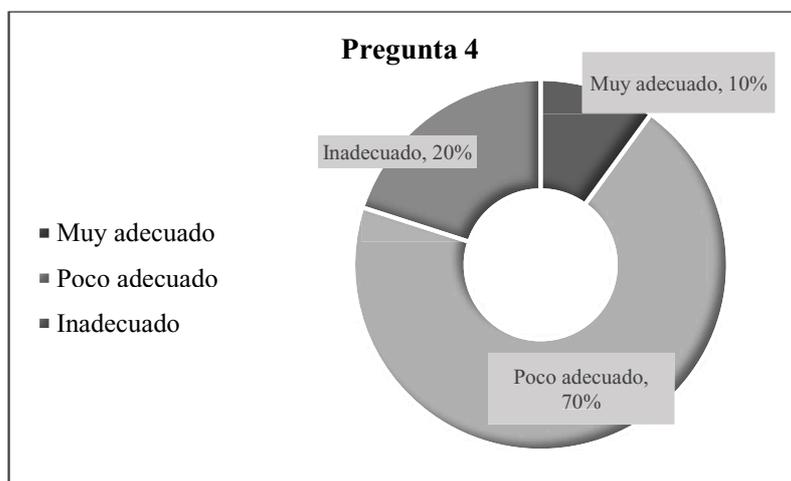
**Fuente,** Investigación de campo.

**Descripción:** En la tabla y el gráfico según los datos obtenidos por los encuestados afirman en un 70% que el ruido existente le causa “Mucha” molestias, y un 30% causa “Poca” molestia, es decir; que su 100% consideran la existencia de molestias causadas por la presencia del ruido en las aulas.

**d) Pregunta 4.-** ¿En qué medida considera usted que es adecuado el nivel de confort acústico en el aula de clases?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Muy adecuado	3	10%
Poco adecuado	21	70%
Inadecuado	6	20%
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

**Tabla 16,** Referente a la pregunta 4.  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 4,** Referente al confort acústico en el aula de clases.  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Investigación de campo.

**Descripción:** En la tabla y gráfico de la pregunta 4, en referente al confort acústico en las aulas; un 70% consideran que el confort acústico en las aulas de clases es “Poco” adecuado, un 20% considera que es “Inadecuado” y el 10% considera las aulas de clases confortables.

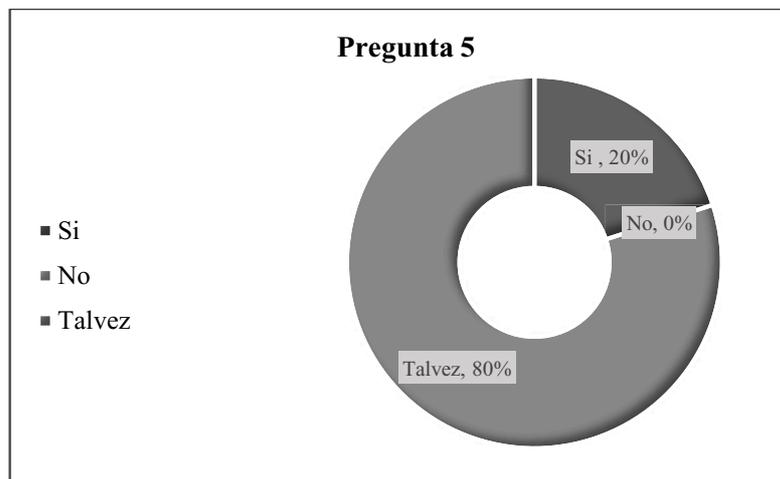
e) **Pregunta 5.-** ¿Consideras que el rendimiento académico se ve afectado por el confort acústico inadecuado?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Si	6	20%
No	0	0%
Talvez	24	80%
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

**Tabla 17,** Referente a la pregunta 5.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 5,** Referente al rendimiento académico.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.

**Descripción :** En la tabla y el gráfico se aprecia que un 80% de personas encuetadas consideran que “Talvez” el rendimiento académico se ve afectado por el confort acústico, un 20% considera que “Si” afecta de manera directa el confort acústico en el rendimiento académico; lo cierto es que se menciona en muchos estudios la importancia de éste debido a su incidencia directa en el los estudiantes, es decir; el rendimiento académico si se ve afectado por la calidad del nivel de confort acústico existente.

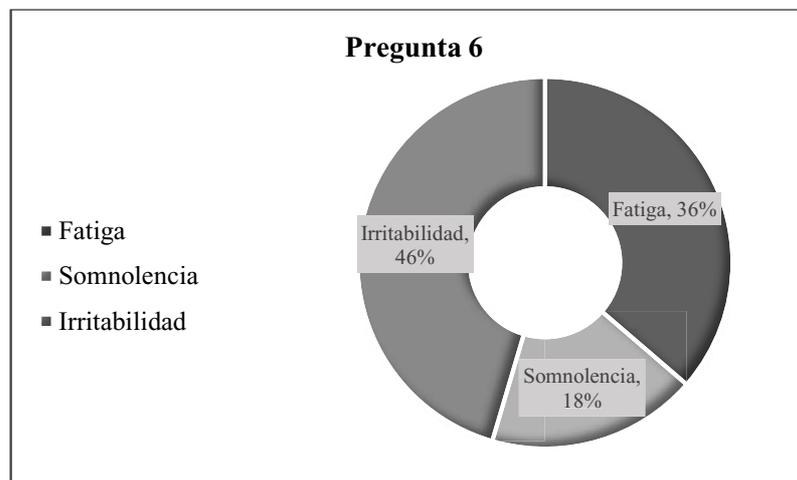
f) **Pregunta 6.-** ¿Qué tipo de molestar físico o psicológico causa en usted el disconfort acústico?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Fatiga	12	36%
Somnolencia	6	18%
Irritabilidad	15	45%
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>	<b>100%</b>

**Tabla 18,** Referente a la pregunta 6.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 6,** Malestar causado por el disconfort acústico.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.

**Descripción:** Los datos obtenidos, y que se muestran en la tabla y en el gráfico nos mencionan que con respecto al malestar físico o psicológico que causa el disconfort acústico, a un 46% de las personas encuestadas les causa “Irritabilidad”, mientras que a un 36% les causa “Fatiga” y a un 18% restante les causa “Somnolencia”; es decir que el disconfort acústico en las aulas de clases causa efectos inmediatos y permisibles para los usuarios.

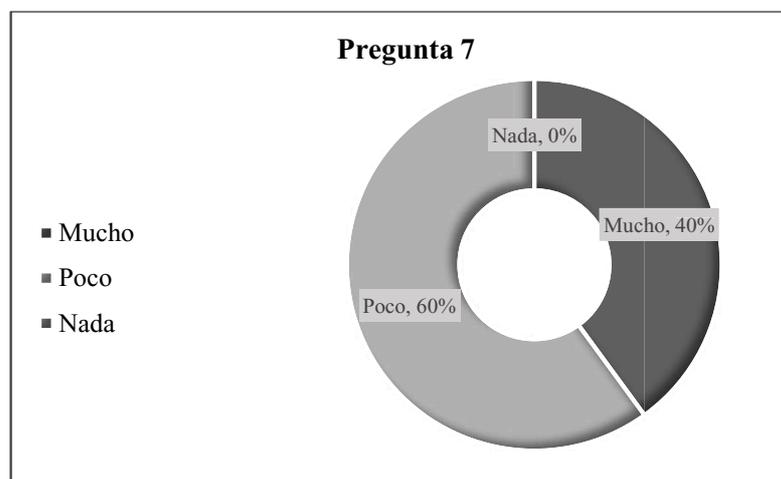
**g) Pregunta 7.-** ¿En qué medida nota que la presencia de ruido en el aula disminuye tu concentración?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Mucho	12	40%
Poco	18	60%
Nada	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

**Tabla 19,** Referente a la pregunta 7.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 7,** Referente a la concentración.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.

**Descripción:** En la tabla y en el gráfico con respecto a la disminución de concentración por la presencia del ruido, los encuestados afirman en un 60% que les afecta “Mucho” a su concentración, un 40% menciona que le afecta “Poco” en su concentración, es decir; que la concentración de los estudiantes y docentes se ve afectada por la presencia de ruido, provocando que se desenvuelvan en espacios donde se garantiza la concentración.

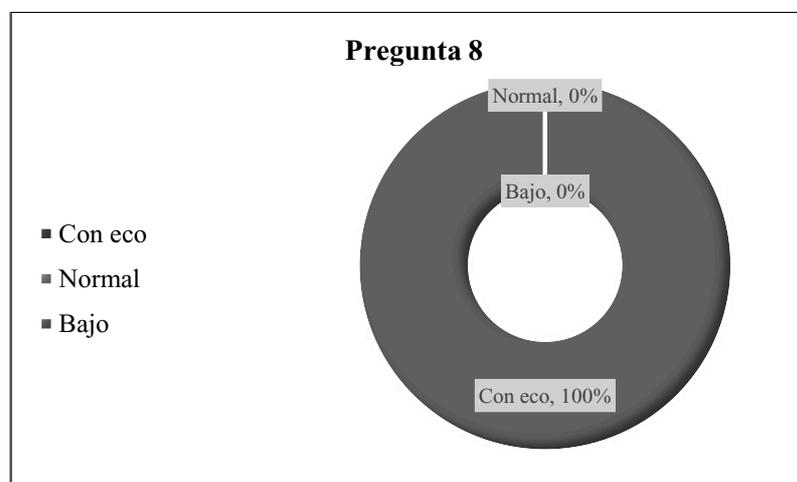
**h) Pregunta 8.-** ¿Cómo describirías la percepción del sonido en el aula de clases?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Con eco	30	100%
Normal	0	0%
Bajo	0	0%
<b>TOTAL</b>	30	100%

**Tabla 20,** Referente a la pregunta 8.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 8,** Referente a la percepción del sonido.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.

**Descripción:** En esta tabla y en el gráfico, los encuestados pese a tener tres opciones para describir el espacio de estudio, el 100% lo describe a las aulas como espacios “Con eco”; es decir que existe la presencia del rebote del sonido y que además es notoria por la totalidad de la población estudiantil encuestada.

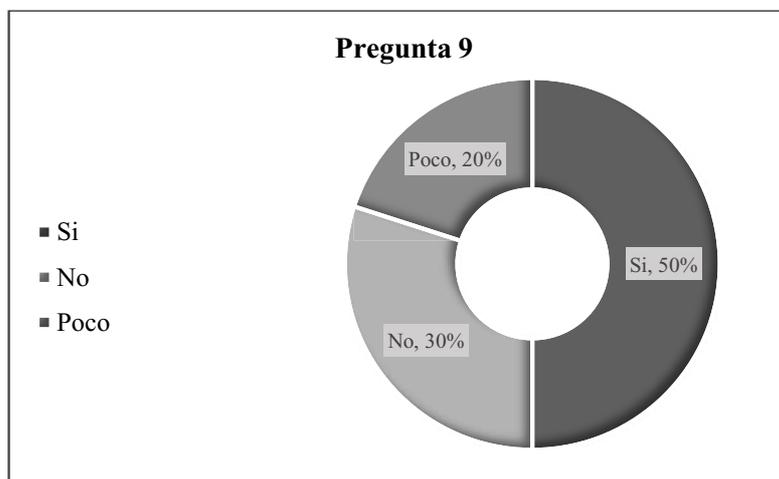
i) **Pregunta 9.-** ¿Consideras que la forma geométrica del aula contribuye al disconfort acústico?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Si	15	50%
No	9	30%
Poco	6	20%
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

**Tabla 21,** Referente a la pregunta 9.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 9,** Referente a la geometría del espacio.

**Elaborado por,** Autor.

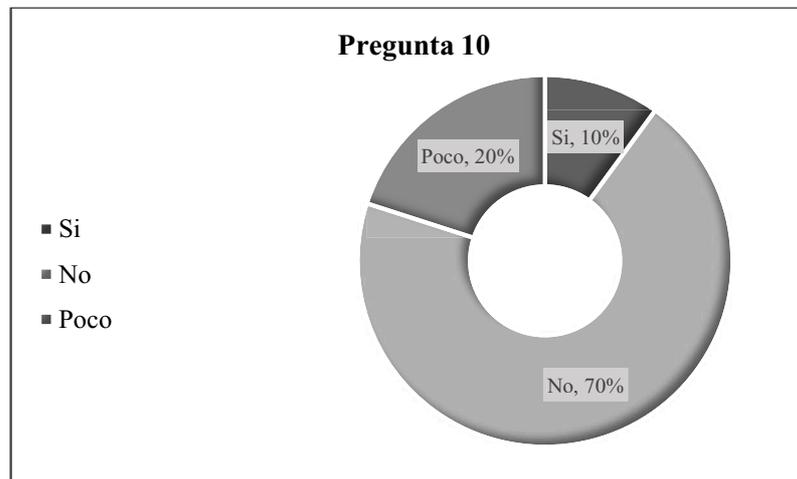
**Fuente,** Investigación de campo.

**Descripción:** Esta pregunta del cuestionario es decidida a realizarla puesto que los encuestados son estudiantes de la facultad de arquitectura, los cuales tiene una completa percepción del espacio. En la tabla y gráficos en referente a la geometría de las aulas de clases los encuestados responden en un 50% que “Si” contribuye la forma geométrica de las aulas al disconfort acústico, un 30% menciona que “No” afecta, y un 20% menciona que es poca la afectación de la forma geométrica; lo cierto es que puntualmente la forma geométrica de las sí condiciona la confortabilidad en el aula.

**j) Pregunta 10.-** ¿Consideras los materiales aplicados son óptimos para lograr el confort acústico?

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Si	3	10%
No	21	70%
Poco	6	20%
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

**Tabla 22,** Referente a la pregunta 10.  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Investigación de campo.



**Gráfico 10,** Referente a los materiales aplicados.  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Investigación de campo.

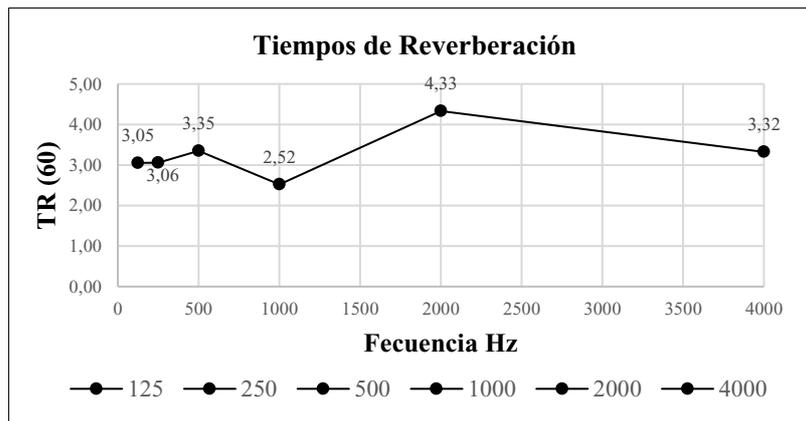
**Descripción:** Al igual que la pregunta anterior, los estudiantes tienen capacidad de responder de la manera que según crean conveniente basados en sus criterios como estudiantes de arquitectura. En la tabla y en el gráfico con respecto si los materiales aplicados son óptimos para lograr el confort acústico un 70% coinciden en que los materiales aplicados “No” son los óptimos, un 20% considera que son “Poco” óptimos y un 10% consideran que “Si” son óptimos; lo cierto es que la calidad del material aplicado contribuye de manera directa a la confortabilidad acústica.

### 3.2.1.2. Análisis cuantitativo.

#### 3.2.1.2.1. Tiempos de reverberación.

Mediante fichas y gráficos como técnicas investigativas, se realizaron cálculos para conocer tiempos de reverberación en las aulas.

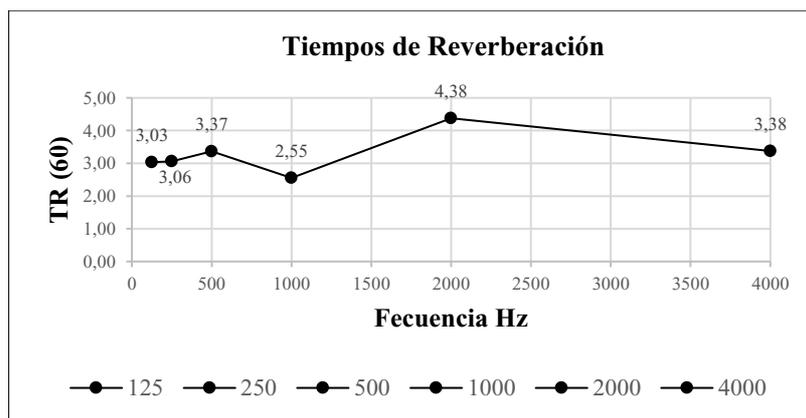
#### a) Tiempos de reverberación – Aula 101.



**Gráfico 11, TR (60s) en aula 101.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 101 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 3.35 segundos a 500 Hz.

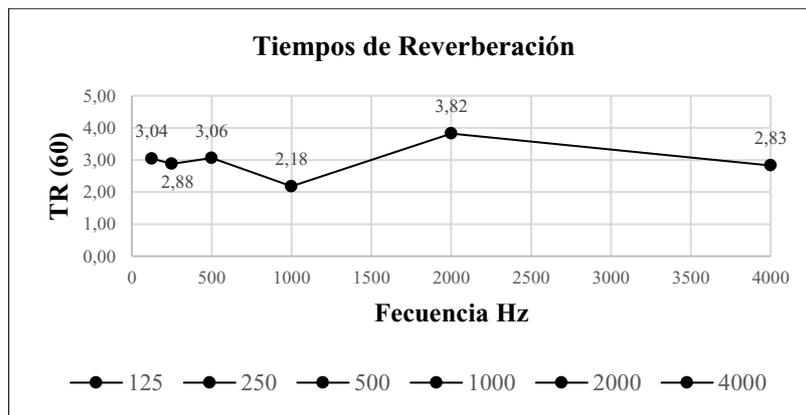
#### b) Tiempos de reverberación – Aula 102



**Gráfico 12, TR (60s) en aula 102.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 102 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 3.37 segundos a 500 Hz.

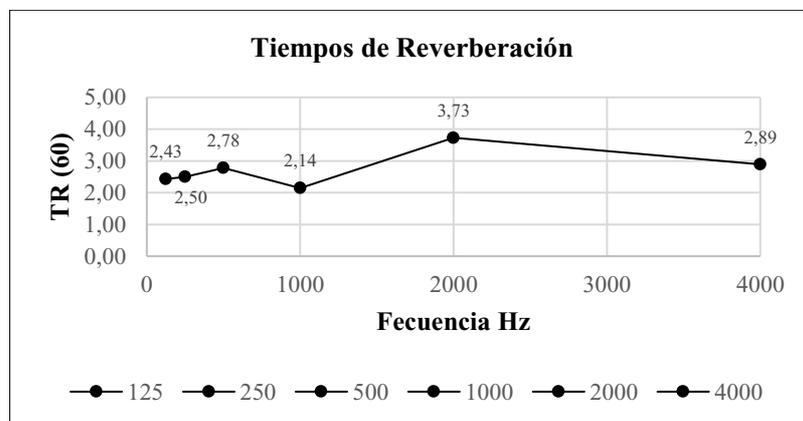
**c) Tiempos de reverberación – Aula 201**



**Gráfico 13, TR (60s) en aula 201.**  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Desarrollo de ecuación Sabine.

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 201 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 2.88 segundos a 250 Hz, cuando lo ideal es tener en aulas de clases TR de 0.7 segundos.

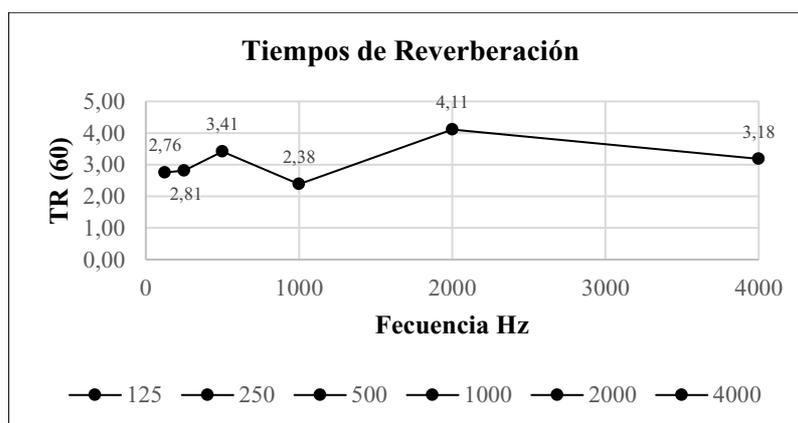
**d) Tiempos de reverberación – Aula 202**



**Gráfico 14, TR (60s) en aula 202.**  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Desarrollo de ecuación Sabine.

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 202 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 2.78 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

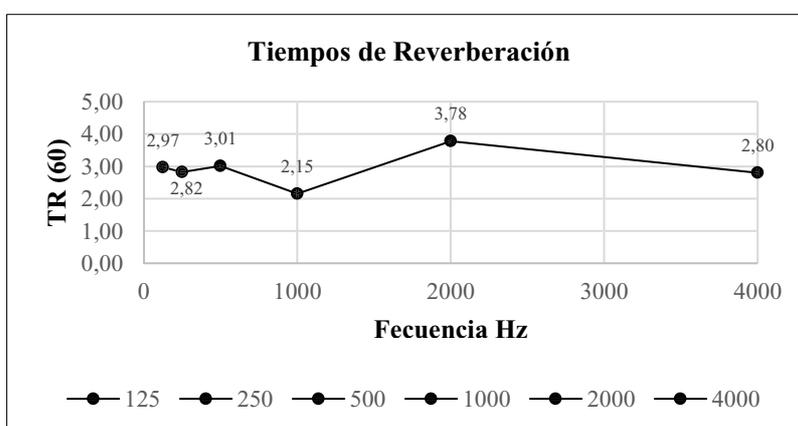
e) **Tiempos de reverberación – Aula 203**



**Gráfico 15, TR (60s) en aula 203.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 203 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 3.41 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

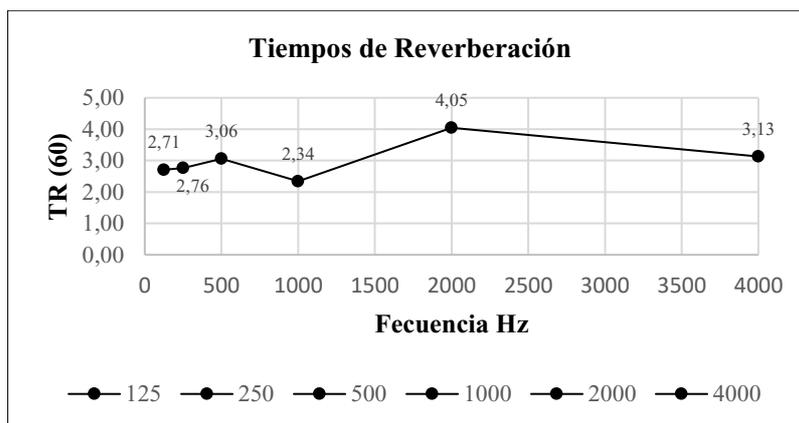
f) **Tiempos de reverberación – Aula 204**



**Gráfico 16, TR (60s) en aula 204.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 204 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 3.01 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

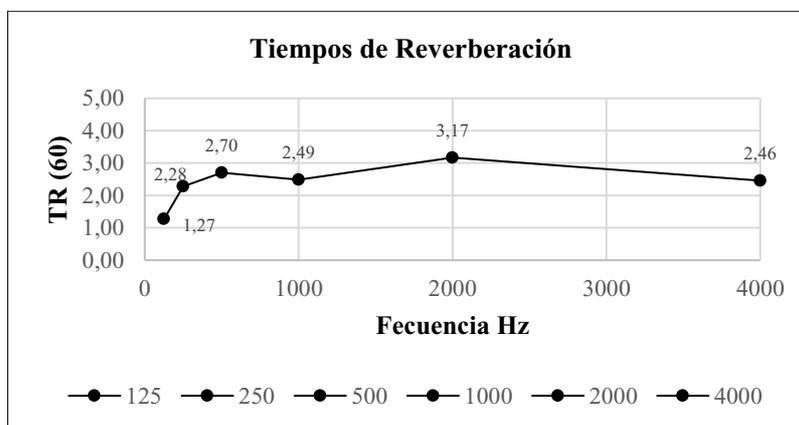
**g) Tiempos de reverberación – Aula 205**



**Gráfico 17, TR (60s) en aula 205.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 205 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 3.06 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

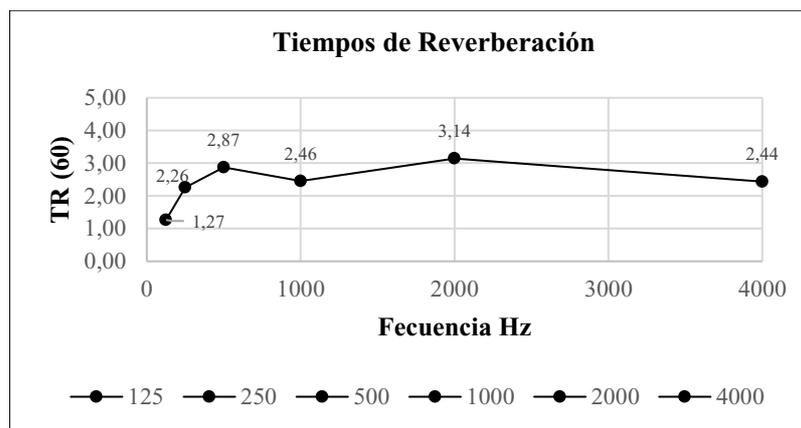
**h) Tiempos de reverberación – Aula 301**



**Gráfico 18, TR (60s) en aula 301.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 301 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 2.70 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

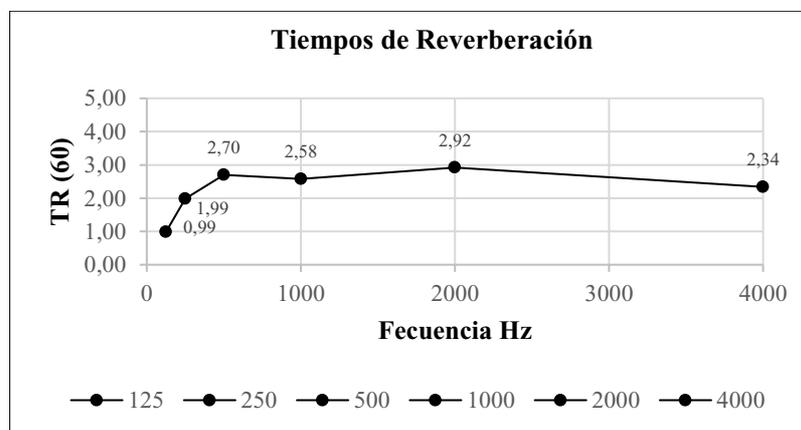
**i) Tiempos de reverberación – Aula 302**



**Gráfico 19, TR (60s) en aula 302.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 302 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 2.87 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

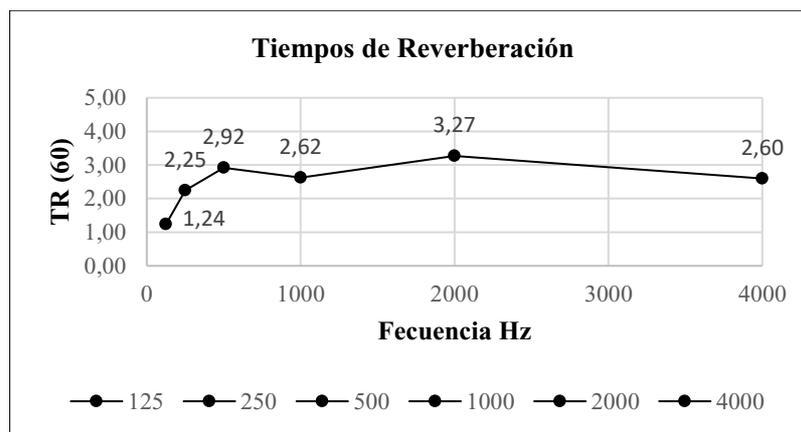
**j) Tiempos de reverberación – Aula 401**



**Gráfico 20, TR (60s) en aula 401.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 401 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 2.70 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

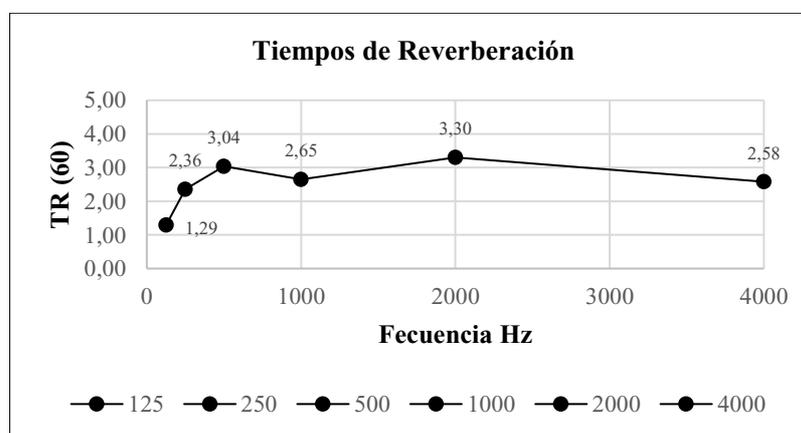
**k) Tiempos de reverberación – Aula 402**



**Gráfico 21, TR (60s) en aula 402.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 402 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 2.92 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

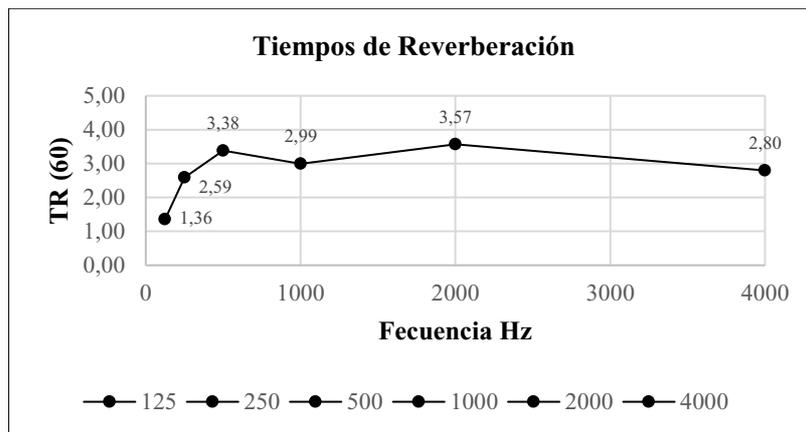
**l) Tiempos de reverberación – Aula 403**



**Gráfico 22, TR (60s) en aula 403.**  
**Elaborado por, Autor.**  
**Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 403 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 3.04 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

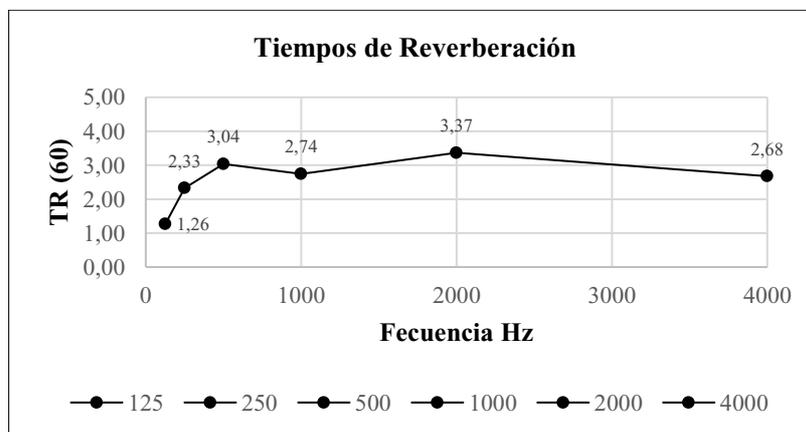
**m) Tiempos de reverberación – Aula 404**



**Gráfico 23, TR (60s) en aula 404.**  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Desarrollo de ecuación Sabine.

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 404 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 3.38 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

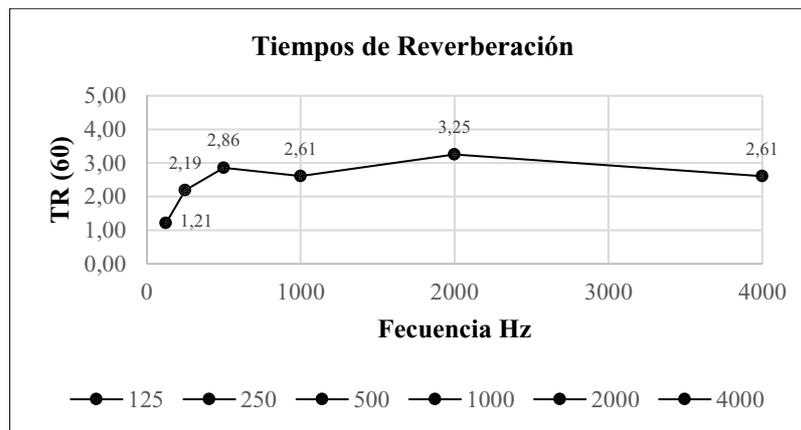
**n) Tiempos de reverberación – Aula 405**



**Gráfico 24, TR (60s) en aula 405.**  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Desarrollo de ecuación Sabine.

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 405 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 3.04 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

**o) Tiempos de reverberación – Aula 406**



**Gráfico 25, TR (60s) en aula 406.  
Elaborado por, Autor.  
Fuente, Desarrollo de ecuación Sabine.**

**Descripción:** El análisis de los tiempos de reverberación obtenidos en el aula 406 según la fórmula Sabine, no son los ideales, se obtienen tiempos de hasta 2.86 segundos a 500 Hz, cuando lo recomendado es 0.7 segundos máximo.

*3.2.1.2.2. Distribución del sonido – Cálculo estadístico.*

**Aula N° 101:**

4.- Tabla de frecuencias						
N°	Amplitud dB		Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)
1	64.9	66.43	65.67	3	3	197.00
2	66.43	67.97	67.20	3	6	201.60
3	67.97	69.50	68.73	13	19	893.54
4	69.50	71.03	70.27	10	29	702.68
5	71.03	72.57	71.80	2	31	143.60
6	72.57	74.10	73.33	4	35	293.34
<b>TOTAL</b>				<b>35</b>		<b>2431.76</b>
5.- Media						
$\bar{x} = \frac{\sum (Xi) (fi)}{n}$		$\bar{x} = \frac{2431.76}{35}$		$\bar{x} = 69.48$ dB		
6.- Mediana						
$Me = Li + \frac{\frac{n}{2} - F - 1}{fi} (a)$		$Me = 67.97 + \frac{17.5 - 6}{13} \times 1.53$		$Me = 69.32$ dB		
7.- Moda						
$Mo = Li + \frac{fi - fi - 1}{(fi - fi - 1) + (fi - fi + 1)} (a)$		$Mo = 67.97 + \frac{10}{10 + 3} \times 1.53$		$Mo = 69.15$ dB		
		$Me = 67.97 + 1.180$		$Me = 69.15$ dB		

**Gráfico 26, Cálculo estadístico aula 101.  
Elaborado por, Autor.  
Fuente, Estadística – Arq. Zambrano.**

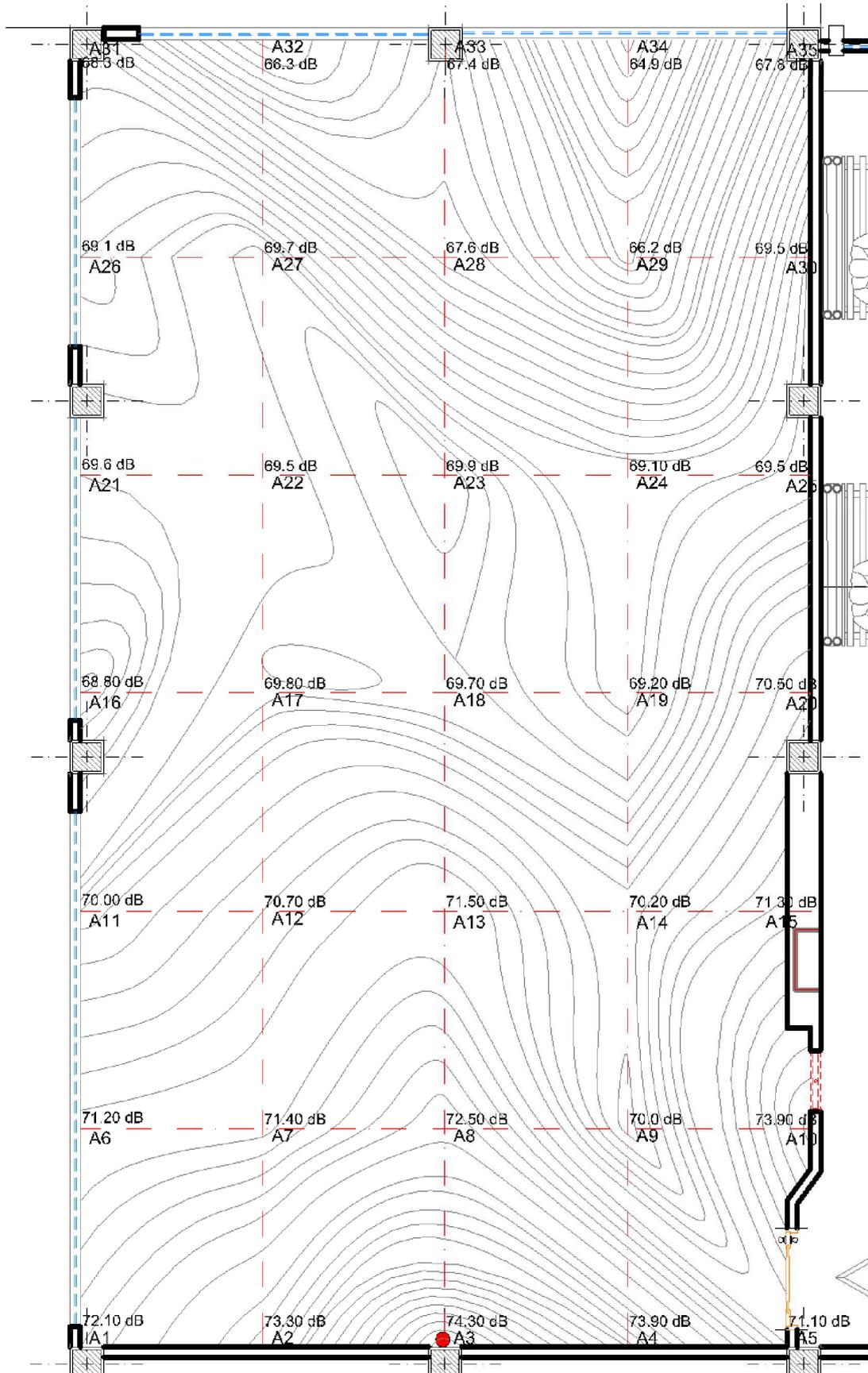


Gráfico 27, Distribución de ondas sonoras aula 101.

Elaborado por, Autor.

Fuente, Estadística – Arq. Zambrano.

**Descripción:** De acuerdo con las mediciones tomadas en sitio con un sonómetro, observamos que la distribución del sonido no es uniforme. Asimismo, los cálculos estadísticos de media, mediana y moda, proporcionan datos promedios de 69 dB.

**Aula N° 205:**

4.- Tabla de frecuencias						
N°	Amplitud dB		Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)
1	71.20	71.80	71.50	3	3	214.51
2	71.80	72.41	72.11	5	8	360.53
3	72.41	73.01	72.71	6	14	436.25
4	73.01	73.61	73.31	6	20	439.88
5	73.61	74.22	73.92	5	25	369.58
6	74.22	74.82	74.52	8	33	596.16
7	74.82	75.43	75.12	2	35	150.25
<b>TOTAL</b>				<b>35</b>		<b>2567.15</b>
5.- Media						
$\bar{x} = \frac{\sum (Xi) (fi)}{n}$		$\bar{x} = \frac{2567.15}{35}$		$\bar{x} = 73.35$ dB		
6.- Mediana						
$Me = Li + \frac{\frac{n}{2} - F - 1}{fi} (a)$		$Me = 73.01 + \frac{17.5 - 14}{6} \times 0.60$		$Me = 73.01 + 0.352$ <b>Me = 73.36</b> dB		
7.- Moda						
$Mo = Li + \frac{fi - fi - 1}{(fi - fi - 1) + (fi - fi + 1)} (a)$		$Mo = 74.22 + \frac{3}{3 + 10} \times 0.60$		$Mo = 74.22 + \frac{3}{13} \times 0.60$		
		$Me = 74.22 + 0.139$		<b>Me = 74.36</b> dB		

**Gráfico 28,** Calculo estadístico aula 202.  
**Elaborado por,** Autor.  
**Fuente,** Estadística – Arq. Zambrano.

**Descripción:** De acuerdo con las mediciones tomadas y los cálculos estadísticos de media, mediana y moda, proporcionan datos promedios de 73.35 dB.

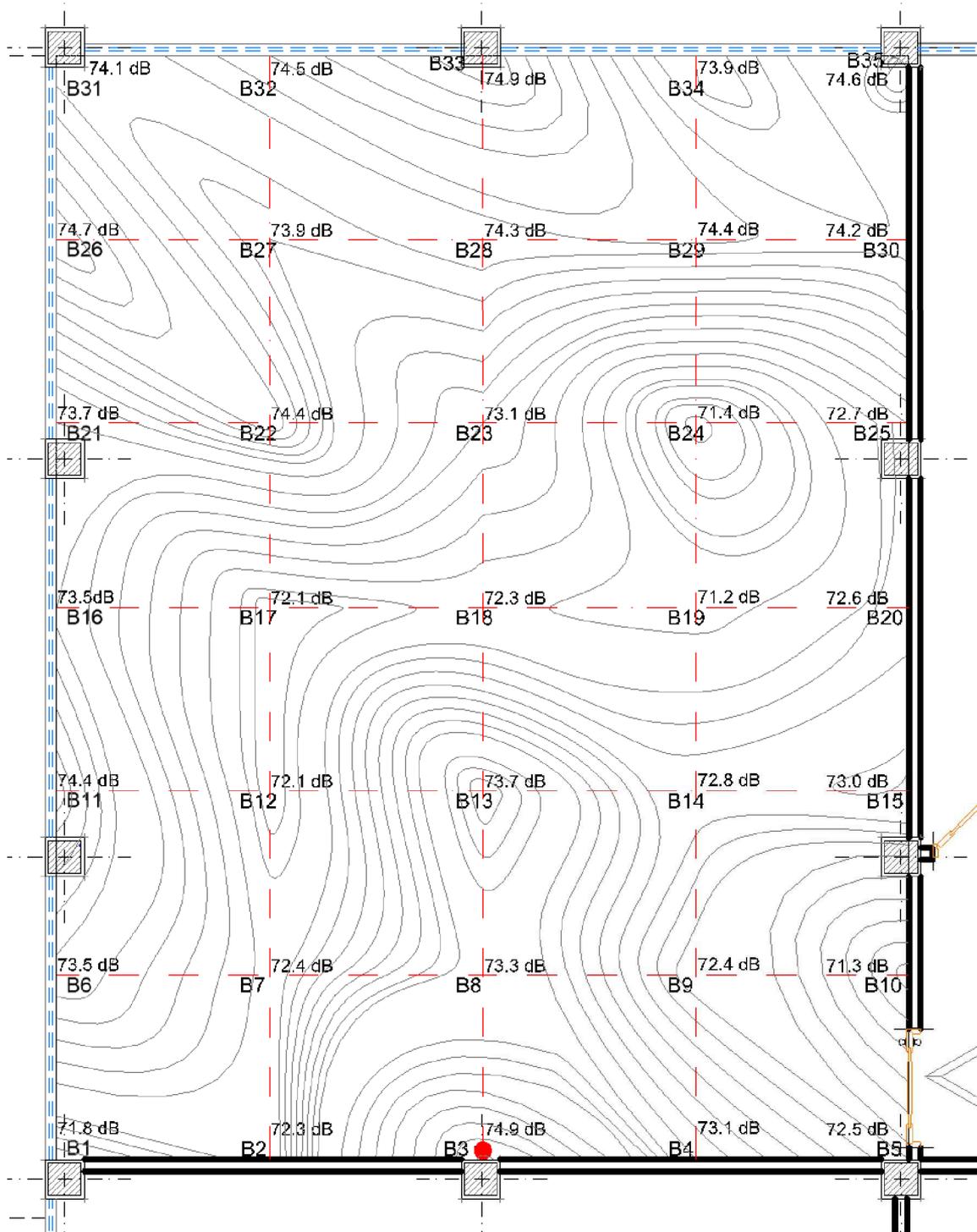


Gráfico 29, Distribución de ondas sonoras aula 205.  
Elaborado por, Autor.  
Fuente, Estadística – Arq. Zambrano.

**Descripción:** De acuerdo con las mediciones tomadas en sitio con un sonómetro, observamos que la distribución del sonido no es uniforme, y presenta condiciones acústicas muy por encima de los parámetros ideales.

**Aula N° 405:**

4.- Tabla de frecuencias						
N°	Amplitud dB		Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)
1	69.30	70.10	69.70	5	3	348.50
2	70.10	70.90	70.50	4	7	282.00
3	70.90	71.70	71.30	8	15	570.39
4	71.70	72.50	72.10	9	24	648.88
5	72.50	73.30	72.90	4	28	291.59
6	73.30	74.10	73.70	5	33	368.48
<b>TOTAL</b>				<b>35</b>		<b>2509.84</b>

5.- Media						
$\bar{x} = \frac{\sum (Xi) (fi)}{n}$		$\bar{x} =$	2509.84		$\bar{x} =$	<b>71.71 dB</b>
			35			
6.- Mediana						
$Me = Li + \frac{\frac{n}{2} - F - 1}{fi} (a)$		$Me =$	71.70 +	$\frac{17.5 - 15}{9} \times 0.80$		
		$Me =$	71.70 + 0.222		$Me =$	<b>71.92 dB</b>
7.- Moda						
$Mo = Li + \frac{fi - fi - 1}{(fi - fi - 1) + (fi - fi + 1)} (a)$		$Mo =$	70.90 +	$\frac{1}{1 + 5} \times 0.80$		
		$Mo =$	70.90 +	$\frac{1}{6} \times 0.80$		
		$Me =$	70.90 + 0.133		$Me =$	<b>71.03 dB</b>

**Gráfico 30,** Calculo estadístico aula 405.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Estadística – Arq. Zambrano.

**Descripción:** De acuerdo con las mediciones tomadas y los cálculos estadísticos de media, mediana y moda, proporcionan datos promedios de 71.71 dB.

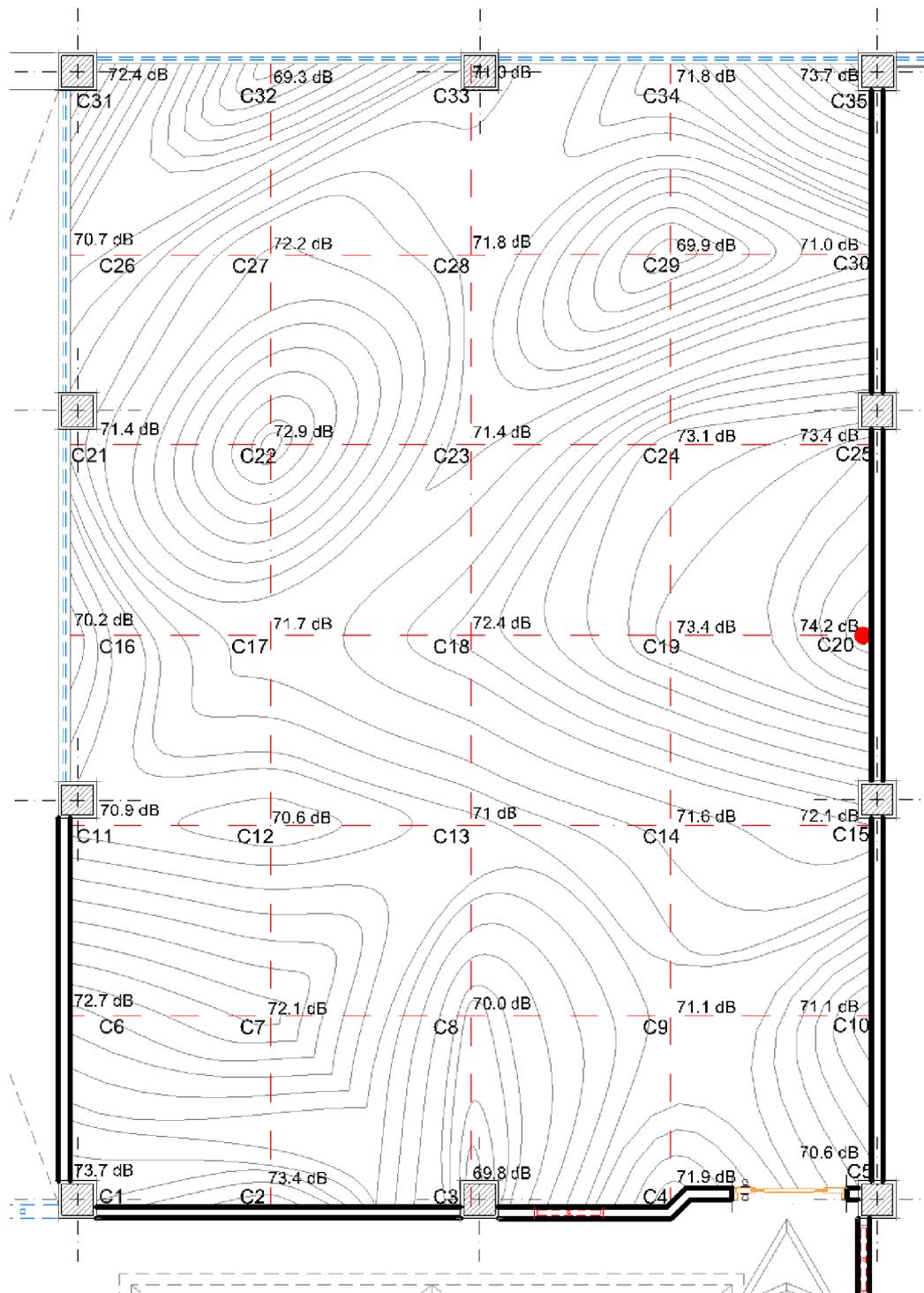


Gráfico 31, Distribución de ondas sonoras aula 405.

Elaborado por, Autor.

Fuente, Estadística – Arq. Zambrano.

**Descripción:** De acuerdo con las mediciones tomadas en sitio con un sonómetro, observamos que la distribución del sonido no es uniforme, y presenta condiciones acústicas muy por encima de los parámetros ideales.

### **3.3. Interpretación de resultados**

Como resultado del análisis y comparación de información bibliográfica, referencias recopiladas; tanto a nivel de observación de campo, como datos obtenidos a través de aparatos de mediciones en sitio, opiniones varias y demás parámetros que se tomaron como muestra para este proceso, se determina lo siguiente:

La situación problemática tiene su pauta inicial de la inexistencia de la confortabilidad acústica en las aulas de clase debido a las condiciones y características acústicas y arquitectónicas que presenta, posterior a esto se derivan un sin número de repercusiones.

El contexto anteriormente citado, nace en referencia a que la edificación objeto de estudio es una construcción diseñada y construida de manera convencional, parcialmente el edificio de la facultad de arquitectura es una construcción nueva, lo que nos motiva aún más a analizar las condiciones acústicas de las aulas de clase. El inconveniente encontrado no es principalmente que se una construcción convencional, el problema radica en el diseño arquitectónico, las características constructivas, las recomendaciones o pautas para la utilización de materiales adecuados que permitan la disipación de energía en el interior de las aulas de clase y poder lograr aulas confortables.

De esta manera con las técnicas investigativas como la encuesta, fichas y desarrollos de ecuaciones, gráficos, mediciones y cálculos estadísticos; nos proporcionan datos que conllevan a la afirmación que las características acústicas arquitectónicas son inadecuadas para lograr la confortabilidad en las aulas, por ellos los encuestados concluyen en su mayoría sienten la incomodidad pero que es parte de sus actividades cotidianas, tanto así que puede llevar a que los estudiantes y docentes se acostumbren a estas condiciones ya que el ser humano tiene una enorme capacidad de adaptación a diferentes situaciones.

Para una mayor comprensión de lo descrito se detallan a continuación las diferentes situaciones diagnósticas:

**Geometría de las aulas:** La forma geométrica en que se disponen las aulas nacen del proceso de diseño arquitectónico, lo cual en el caso de estudio no son propias de edificaciones educativas y lo cual repercuten a las condiciones acústicas de las aulas de clase, más allá de esto el problema radica en las pautas y parámetros que deben ser tomadas en cuenta en el proceso de diseño para recomendar o diseñar espacios acústicos y el uso de material acústicos.

Es así que, de manera concluyente la forma geométrica si repercute en las condiciones acústicas de las aulas y previamente en un proceso de diseño arquitectónico.

**Características de los materiales:** Los materiales aplicados en su mayoría en la construcción de éste edificio educativo son materiales convencionales, presentando así uno de los principales inconvenientes para la calidad acústica, son materiales de características rígidas, duras y de poca capacidad de absorción frente al sonido generado por una fuente sonora; lo que provoca un comportamiento inadecuado de las ondas sonoras provocando sensaciones incómodas para los usuarios.

Es así que concluimos con respecto a las características de los materiales no son las adecuadas para lograr el confort acústico.

**Acústica en las aulas:** En el interior de las aulas de clase, independientemente de la clase, charla debate que se esté dando, el comportamiento de la acústica es totalmente inadecuado según normas anteriormente citadas. La acústica contribuye de manera primordial a la enseñanza, el medio de aprendizaje es oral-auditivo, si ésta cualidad no es adecuada, los usuarios que en estos espacios realizan sus actividades estarían teniendo inconvenientes para el desarrollo de sus tareas.

Concluyendo la temática de la acústica, de acuerdo al análisis cualitativo y cuantitativo realizado, pudimos observar que las condiciones acústicas de las aulas de clase no son adecuadas.

**Confort y salud:** La confortabilidad acústica va ligada con la salud, en el interior de las aulas de clases no se obtiene confortabilidad, esto atrae a problemas que repercuten netamente al desenvolvimiento óptimo de los estudiantes y docentes, la exposición al ruido que se generan en el interior del aula causa, irritabilidad, fatiga, estrés, son condiciones propias de las salud tanto mental y física de los usuarios. y que según las encuestas se presentan en las aulas de clase. Para concluir, las aulas son espacios donde prima el discomfort acústico, y esto afecta directamente a la salud de los usuarios.

### 3.4. Pronóstico

Si bien es cierto no es sencillo lograr que las edificaciones educativas alcancen estándares óptimos, más aún cuando existe la ausencia de normativas en nuestro medio, aunque si es muy claro que el proceso de aprendizaje deber de excelentes condiciones acústicas, también es cierto que esto no determina o define completamente los procesos educativos, pero de una u otra manera si los condiciona.

La acústica en las aulas de clases depende de muchos factores, es por eso que, entre las realidades expuestas en esta investigación, se manifiesta que las condiciones físicas y materiales actúan de manera negativa a la confortabilidad espacial, incidiendo directamente en el comportamiento y salud de las personas.

Por lo tanto, es necesario considerar disminuir o mitigar los efectos provocados por las condiciones acústicas inadecuadas, con la finalidad de alcanzar estándares óptimos, y dar a conocer a los estudiantes la importancia de la acústica en el interior de los espacios, para que sean ellos en un futuro los principales actores en los procesos de diseños acústicos y constructivos. A la par de esto va a repercutir de excelente manera en el desenvolvimiento de los estudiantes y docentes, no existirían molestias, ni distracciones, ni pérdida de atención, se podría oír con claridad y sin ruido, lo que sin duda haría de estas aulas lugares totalmente agradables y confortables acústicamente.

Por lo tanto, para el presente proyecto investigativo se pronostica que si se persiste en dejar a un lado la temática de la acústica en relación a su comportamiento en el interior de los espacios se estaría perjudicando constante al confort acústico del mismo, en el caso de nuestro objeto de estudio se deberá tomar correctivos, de no hacerlo seguirá existiendo aulas donde prime el disconfort acústico y repercutiendo en la salud mental y física de los estudiante y docente.

### 3.5. Comprobación de idea planteada

HIPÓTESIS	INDICADORES	PARAMETRO	RESULTANTE
Las características acústicas arquitectónicas y constructivas inadecuadas en las aulas de clase del edificio de la Facultad de Arquitectura de la ULEAM son causantes del disconfort acústico	Ruido en ambiente interior	El confort en las aulas	El 70% de los encuestados indicaron que el ambiente interior en las aulas de clase es ruidosa.
	Nivel de voz	Elevar tonos vocales	El 50% de los encuestados indicaron que es muy necesario elevar el tono de voz en el desarrollo de clases.
	Molestias	Efectos de incomodidad	El 70% de los encuestados mencionaron que la existencia del ruido en las aulas causa mucha molestia.
	Nivel de confort acústico	Confortabilidad poca adecuada	El 70% de los encuestados indican que el nivel de confort acústico en las aulas de clase es poco adecuado.
	Rendimiento académico	Posibles calificaciones bajas	El 80% de los encuestados indicaron que el confort acústico inadecuado en las aulas talvez afecte a su rendimiento académico.
	Perdida de concentración	Distracciones	El 60% de los encuestados mencionan que el ruido en las aulas de clase le disminuye poco la concentración.
	El sonido en aulas de clase	comportamiento del ruido en las aulas	EL 100% de los encuestados indican que las aulas se caracterizan por la presencia de eco.
	Malestar físico y/o psicológico	Problemas de salud mental	El 40% de los encuestados afirman que el disconfort acústico causa irritabilidad en las aulas de clase.
	Geometría	Forma espacial de las aulas	El 50% de los encuestados mencionan que la forma geométrica de las aulas contribuyen al disconfort acústico
	Materiales rígidos	Materiales no acústicos	El 70% de los encuestados consideran que los materiales no son óptimos para el confort acústico.
	Tiempos de reverberación óptimos	Ecuación Sabine	El tiempo de reverberación de acuerdo al desarrollo de la ecuación Sabine en promedios esta por 3 segundos, cuando lo ideal es de 0.7 segundos.
	Acústica estadística	Media, Mediana y Moda	Se Calcula estadísticamente el comportamiento acústico, en promedios de 65 a 70 dB, cuando lo óptimo es de 45 y máximo 60 dB.

**Tabla 23,** Comprobación de idea planteada.  
Elaborado por, Autor.

## **4. Capítulo III – Propuesta**

### **4.1. Análisis del sistema arquitectónico**

Conforme a los parámetros obtenidos sobre las condiciones acústicas en las aulas de clase de la Facultad de Arquitectura de la ULEAM, identificados de acuerdo al presente trabajo investigativo, se proponen tomar en consideración en el diseño, construcción, adecuación y acondicionamiento de las edificaciones educativas las siguientes pautas o parámetros que están acorde al diagnóstico presentado en este documento, de esta manera se recomienda tomar en cuenta los siguiente:

#### **4.1.1. Aspectos funcionales.**

Es aquí donde corresponde a los aspectos funcionales de las aulas de clase de la Facultad de Arquitectura en los que se recomienda principalmente lograr disminuir los tiempos de reverberación en el interior de las aulas de clases, esto es, mediante la selección de materiales absorbentes acústicos que permitan disipar o disminuir la energía sonora, y que posteriormente se procederán a la correcta aplicación de mencionados materiales.

La funcionalidad del material acústico es ideal para lograr que los espacios interiores sean confortables, una vez lograda la confortabilidad acústica espacial la personas podrán percibir claramente el cambio y que adicional a esto el estudiante o docente se sentirá en situación de comodidad en las aulas de clases. Es así, pues que cada aspecto y condición en el aula intervienen en la percepción de quienes estén en el interior de la misma.

#### **4.1.2. Aspectos formales.**

En cuanto a los aspectos formales la influencia geométrica de las aulas es importante, debido a que la voz se emite en forma “cónica” lo ideal es que en esa misma forma se distribuya la forma geométrica de los espacios, no obstante, es complicado realmente acondicionar las aulas para lograr esa forma geométrica, pero lo es más viable lograr diseños

de tumbados o cielos rasos con inclinaciones o suspendidas para que permitan la correcta difusión de las ondas sonoras; además de estos los tabiques o paredes delimitantes se las puede acondicionar de forma parecidas a las cubiertas para lograr el mismo comportamiento de las ondas sonoras.

Adicional a esto es que la disposición de los objetos móviles como los pupitres o mesas de trabajo sean también parte de la disposición geométrica de las aulas.

#### **4.1.3. Aspectos técnicos.**

Entre los aspectos técnicos mencionaremos que las disposiciones de distintos materiales permiten un ideal comportamiento del sonido en espacios interiores como en las aulas, los materiales acústicos no solo buscan absorber el sonido, sino también buscan que el sonido sea difundido de manera uniforme en todo el espacio, es decir que existan reflexiones sonoras que colaboren a un correcto ambiente sonoro.

Asimismo, existe la disposición de equipos y herramientas electrónicas que en ocasiones son necesarias para la correcta difusión del sonido.

#### **4.1.4. Aspectos ambientales.**

Los aspectos ambientales que mencionaremos son únicamente los que así se denominen en el interior del espacio arquitectónico, es así que, las condiciones ambientales afectan de manera directa al ser humano, desarrollar tareas en ambientes acústicos inapropiados provocara efectos nocivos para quien sean partícipes cotidianos de estos espacios. No obstante, deberán planificarse, diseñarse y construirse espacios que logren que los ambientes acústicos sean totalmente confortables.

### **4.2. Subsistemas y componentes**

Se describen sistemas, subsistemas y componentes que permitirán generar pautas y directrices para lograr el desarrollo de la propuesta.

SISTEMAS	SUB-SISTEMAS	COMPONENTES
Físico	Aulas	Dimensiones
		Materiales
		Acabados
		Acústica
	Mobiliarios	Materialidad
Psicológico	Rendimiento académico	Estudiante
		Docente
	Malestar / salud	Estudiante
		Docente
	Confort Acústico	Estudiante
		Docente

**Tabla 24,** Subsistemas y Componentes.  
Elaborado por, Autor.

### 4.3. Planes, programas, proyectos, estrategias y acciones

Con el documento y estudio investigativo presentado, se procura que se tomen consideraciones de los aspectos analizados y que sean acaparados por diseñadores, constructores y demás dedicados a la misma tarea, para que fomenten futuros proyectos donde la confortabilidad acústica sea la adecuada partiendo desde el diseño.

PLANES	PROGRAMAS	PROYECTO	ESTRATEGIAS / ACCIONES
Mejorar las aulas existentes	Diseño Arquitectónico	Elementos acústicos arquitectónicos y constructivos	Acondicionamiento
			Materiales absorbentes
			Acabados de caceristas porosas
			Cortinas de tela
Plan de innovación de aulas acústicamente confortables	Funcionalidad	Confort acústico	Escuchar con calidad
			Tiempos de reverberación óptimos
			Intensidad de sonido uniforme
			Evitar molestias y distracciones
Plan de difusión de la importancia del confort acústico	Bibliográfico	Promover la difusión del confort acústico	Folletos
			Fuentes bibliográficas
			Normativa

**Tabla 25,** Planes, programas, proyectos, estrategias y acciones.  
Elaborado por, Autor.

#### **4.4. Lógica de implantación de la propuesta**

La lógica implantación del proyecto se basa pensado en mejorar las condiciones acústicas de las aulas de clase de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, y que abarque consigo la obtención de espacios acústicamente confortables que permitan a los estudiantes y docentes realizar sus actividades habituales de manera óptima, precisa y sin distracciones, logrando un mejor rendimiento tanto académico como laboral.

**Ubicación:** El diagnostico se realizó en quince (15) aulas de la Facultad de Arquitectura, posterior a esto se analizó a tres aulas las cuales presentan según la ecuación Sabine tiempos de reverberación altos y fuera del parámetro óptimos; las tres aulas que se analizaron a fondo fueron: el aula 101, el aula 205 y el aula 405; de estas tres aulas mediante la aplicación estadística y gráficos para poder apreciar el comportamiento del sonido en el espacio, se procede a elegir la que presente más deficiencias acústicas, es así que seleccionamos el aula 205 para la elaboración de nuestra propuesta.

**Capacidad:** Las aulas de clase de la facultad de arquitectura están capacitadas para facultar los procesos de aprendizaje inherentes a la formación de futuros arquitectos, muestra de ello son los mobiliarios que posee. Pero es evidente que las capacidades acústicas no son ideales, es por ello que se prioriza el acondicionamiento acústico mediante esta propuesta.

**Condiciones físicas:** Las condiciones físicas, forma geométrica y materiales que son características de las aulas de clase no son las óptimas, los materiales aplicados no prestan las condiciones para lograr la confortabilidad acústica que ameritan las aulas, es por ello que mediante la aplicación de material acústico se buscará mejorar las condiciones físicas del espacio y posterior a mejorar la confortabilidad acústica.

#### **4.5. Capacidad de la respuesta**

Lograr que las condiciones físicas en las aulas de clase de la Facultad de Arquitectura sean favorables para lograr la confortabilidad acústica, va a repercutir directamente en mejorar el rendimiento de los estudiantes y docentes, además de mitigar molestias y distracciones.

La capacidad auditiva debe ser uniforme en toda la espacialidad de las aulas, se logrará tener tiempos de reverberación óptimos de 0.7 segundos máximo y un nivel sonoro promedio de máximo 55 dB, todo esto se logra con la implementación de material acústico.

#### **4.6. Requerimientos normativos**

Basados en recomendaciones, pautas y parámetros los requerimientos normativos a tomar en cuanto para las circunstancias de acondicionar, construir y diseñar espacios educativos, hacen referencia a las condiciones acústica óptimas en las aulas de clase y a lograr espacios acústicamente confortables.

##### **4.6.1. Normativas generales.**

Las normativas primordiales serán prestadas únicamente para mejorar o lograr espacios arquitectónicos que cumplan parámetros mínimos en referente a la acústica, posterior a esto se lograra el confort acústico.

Según la norma ANSI/ASA S12.60-210/Part 1, los límites de nivel sonoro son los siguientes;

p) Para espacios de aprendizaje con volumen cerrado  $\leq 283 \text{ m}^3$ :

Nivel sonoro: El nivel sonoro en el aula será entre 35 / 55 dB.

Tiempo de reverberación: El tiempo óptimo permitido será de 0.6 seg.

q) Para espacios de aprendizaje con volumen cerrado  $> 283 \text{ m}^3$  y  $\leq 566 \text{ m}^3$ :

Nivel sonoro: El nivel sonoro en el aula será entre 35 / 55 dB.

Tiempo de reverberación: El tiempo óptimo permitido será de 0.7 seg.

Según el Real Decreto 1371/2007, la distribución de materiales absorbentes será:

r) Opción 1; el material absorbente acústico deberá ser colocado de acuerdo al siguiente procedimiento:

*Pared posterior o trasera;* deberá disponer de material absorbente acústico.

*Pared frontal (Pizarra);* deberá disponer de material reflectante acústico.

*Techo o tumbado;* deberá disponer en su totalidad de material absorbente acústico.

s) Opción 2; el material absorbente acústico deberá ser colocado de acuerdo al siguiente procedimiento:

*Pared posterior o trasera;* deberá disponer de material absorbente acústico.

*Pared frontal (Pizarra);* Sin modificaciones.

*Techo o tumbado;* los 3 primeros metros deberá disponer de material reflectante. El restante deberá en su totalidad disponer de material absorbente acústico.

#### **4.7. Requerimientos tecnológicos**

Los requerimientos tecnológicos en nuestro contexto serán aplicados correspondiente a los materiales aplicados debido a prefabricación de estos y el uso de tecnologías que garantizan el uso óptimo de estos materiales para mejorar la calidad acústica.

Asimismo, a los equipos y herramientas que permitan establecer las condiciones posteriores a las intervenciones en que se encuentran los espacios, es ideal que se demuestre que la aplicación de los materiales logra los estándares esperados.

En otro ámbito tecnológico, la existencia de software aplicados a la acústica nos permite predecir el comportamiento del sonido mucho antes de aplicar materiales o incluso de construir o diseñar, aunque éste es una temática más extensa que debería ser abordada por otros investigadores.

#### **4.8. Pre factibilidad de la propuesta**

Acorde al diagnóstico desarrollado con el procedimiento de medición de nivel sonora en las aulas, y con la finalidad de analizar las características acústicas y arquitectónicas en los espacios ya construidos por lo que como consecuencia presentamos soluciones para el acondicionamiento acústico; que además pueden ser consideradas en el caso de iniciar un nuevo proceso de diseño y posterior construcción.

##### **4.8.1. Análisis técnico.**

Técnicamente se tendrá que considerar que las condiciones acústicas son similares en todas las aulas; no obstante, las condicionantes físicas y técnicas son cambiantes, por ejemplo; Área de superficies vidriadas, superficie en totales de paredes, tipo de tumbado, entre otros, que deberán ser consideradas en la aplicación de la solución que se pretendes. La solución más viable es aumentar la capacidad absorbente en el interior de las aulas, es decir mediante la aplicación de materiales que reduzcan la presencia del ruido. Se dispondrá de paneles en base de espuma de poliuretano (esponja común); de medidas de 50x50 centímetros y de espesor variable, entre 2,3 o 4 centímetros, ubicadas según la norma correspondiente.

##### **4.8.2. Análisis económico – financiero.**

En lo referente a los factores económicos – financieros, es viable que los materiales y herramientas sean proporcionados por la misma Facultad de Arquitectura o por autogestión

para lo obtención de los mismos; la mano de obra podrá ser mitigada, puesto que la realización de la propuesta podrá ser considerada como espacios talleres de aprendizaje para los estudiantes y serán ellos que mediante la práctica colaboraran en el proceso constructivo del acondicionamiento de las aulas de clase.

Relativamente el análisis económico – financiero será en beneficio mismo de la facultad y se hará una relación Costo – Beneficio, Así, el factor económico pasara a segundo plano, y el aprendizaje junto a la realización material de la propuesta serán viables.

#### **4.8.3. Análisis legal.**

Referentes a los aspectos legales de la propuesta se designará a quien corresponda formalizar espacios talleres que cuenten con la aprobación de la autoridad de turno, y que garanticen a los estudiantes que éstos sean espacios que le reconozcan la participación en los mismos, que le servirán para fomentar sus tareas extracurriculares.

#### **4.9. Desarrollo de la propuesta**

Como se mencionó anteriormente el desarrollo de la propuesta va direccionado a lograr las condiciones óptimas para mejorar las condiciones acústicas en las aulas de clase, es así que luego del proceso de diagnóstico realizado a las quince (15) aulas de la facultad de arquitectura, se conoció el estado acústico de las aulas, las cuales se seleccionó las tres que presentaban condiciones más desfavorables, se realiza un estudio en sitio basado en medición de niveles sonoros, utilizando un sonómetro lo que posteriormente los datos obtenidos se analizan gráficamente y se obtienen el comportamiento acústico en las aulas. Posterior a esto se procedió a escoger una de ellas a las cual se aplicaría la propuesta de acondicionamiento acústico.

##### **4.9.1. En que consiste.**

Consiste en un análisis y verificación del comportamiento del ruido en las aulas de clase, y que se describe a continuación:

Este estudio y propuesta contribuye a la generación de pautas y parámetros a considerar para lograr que las condiciones acústicas en el interior de los espacios sean adecuadas; independientemente si son o no espacios destinados a la educación, ésta investigación proporciona datos bibliográficos, estadísticos y gráficos en los podrán ser replicados para futuros proyectos.

Las condiciones acústicas que se encuentran las aulas de clase son realmente inadecuadas, los estudiantes y docentes desconocen la importancia que esto atrae; además de que el ser humano es un animal de costumbre y de fácil adaptación, de seguro muchos de los usuarios de estos espacios no logran percibir las condiciones en que se encuentran, eso no quiere decir que no cause en ellos algún tipo de malestar físico o psicológico. Se pretende con la propuesta mitigar todas estas situaciones y proporcionar espacios con mejores condiciones acústicas.

#### **4.9.2. Propósito.**

Se procederá a la elaboración de pautas para el acondicionamiento acústico:

La intención es proporcionar parámetros que mejoren las condiciones acústicas de las aulas de clase, y llevarlas a la práctica, se logró obtener datos recopilados por un sonómetro, los cuales demuestran un comportamiento del ruido en condiciones poco adecuadas en cuanto al espacio.

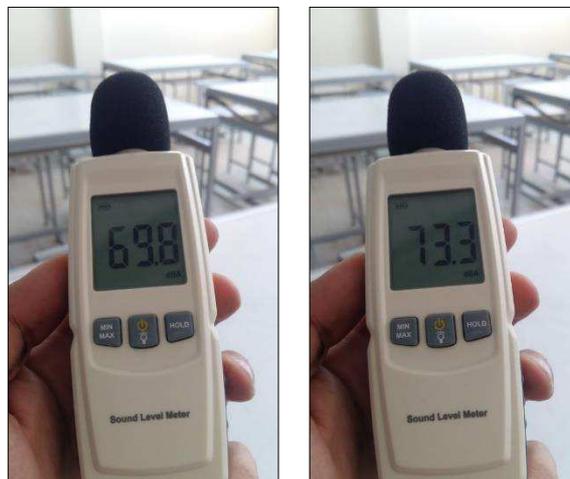
#### **4.9.3. Materiales y herramientas.**

La propuesta está basada en la utilización de material acústico que permita mitigar y absorber la energía acústica, dando así una mejor percepción del sonido en las aulas de clase. El material a utilizar es espuma de poliuretano, comúnmente conocida como esponja, se dispondrá de paneles de medidas de 50x50 cm y de espesor de 1 cm, lo ideal es que entre más espesor tenga más aumenta la capacidad de absorción, en nuestro caso al ser prototipo y propuesta demostrativo se procede a utilizar del espesor ya mencionado por fines

económicos. Como herramienta se dispone de la utilización de un sonómetro básico el cual nos permite conocer e interpretar las condiciones acústicas de las aulas.



**Figura 15,** Material aplicado - Esponja negra.  
**Fuente,** Autor.



**Figura 162,** Sonómetro.  
**Fuente,** Autor.

#### **4.9.4. Pruebas.**

Como se mencionó anteriormente las pruebas se realizaron a tres aulas que prestan las condiciones acústicas más desfavorables; las cuales son: el aula 101, el aula 205, y el aula 405; Posterior a esto se escogió el aula 205 el desarrollo de la propuesta; lo que mostraremos de las pruebas obtenidas serán gráficos, y análisis estadístico.

#### **Aula N° 205:**

A continuación, se describe la situación actual del aula, en la cual gráficamente se demuestra el comportamiento del sonido en el interior de los espacios y estadísticamente se demuestra el nivel de intensidad sonora demostrado en dB.

**Nivel de intensidad del sonido:** Se describe el análisis estadístico del nivel de intensidad del sonido en el interior de las aulas, datos obtenidos por medio de la utilización de un equipo electrónico, el sonómetro; tomando como fuente sonora una persona realizando una lectura, asemejando el proceso de clases.

AULA N° 205		Fuente de ruido de una persona leyendo un texto 74.90 dB																																																																				
PUNTO	INTENSIDAD dB																																																																					
B1	71.80	<b>1.- Rango</b>																																																																				
B2	72.30	R= Xmax - Xmin																																																																				
B3	74.90	R=	74.90	-	71.20	R=	3.70 dB																																																															
B4	73.10																																																																					
B5	72.50	<b>2.- Número de intervalos</b>																																																																				
B6	73.50	K= 1+3.322 x log n																																																																				
B7	72.40	K=	1	+	3.322	x	1.544	K=	6.129																																																													
B8	73.30																																																																					
B9	72.40	<b>3.- Amplitud</b>																																																																				
B10	71.30	A= R / K																																																																				
B11	74.40	A=						0.60																																																														
B12	72.10	<b>4.- Tabla de frecuencias</b>																																																																				
B13	73.70	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Amplitud dB</th> <th>Xi</th> <th>fi</th> <th>Fa</th> <th>(Xi) (fi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>71.20</td> <td>71.80</td> <td>71.50</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>214.51</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>71.80</td> <td>72.41</td> <td>72.11</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>360.53</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>72.41</td> <td>73.01</td> <td>72.71</td> <td>6</td> <td>14</td> <td>436.25</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>73.01</td> <td>73.61</td> <td>73.31</td> <td>6</td> <td>20</td> <td>439.88</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>73.61</td> <td>74.22</td> <td>73.92</td> <td>5</td> <td>25</td> <td>369.58</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>74.22</td> <td>74.82</td> <td>74.52</td> <td>8</td> <td>33</td> <td>596.16</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>74.82</td> <td>75.43</td> <td>75.12</td> <td>2</td> <td>35</td> <td>150.25</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>TOTAL</b></td> <td></td> <td></td> <td><b>35</b></td> <td></td> <td><b>2567.15</b></td> </tr> </tbody> </table>						N°	Amplitud dB	Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)	1	71.20	71.80	71.50	3	3	214.51	2	71.80	72.41	72.11	5	8	360.53	3	72.41	73.01	72.71	6	14	436.25	4	73.01	73.61	73.31	6	20	439.88	5	73.61	74.22	73.92	5	25	369.58	6	74.22	74.82	74.52	8	33	596.16	7	74.82	75.43	75.12	2	35	150.25	<b>TOTAL</b>				<b>35</b>		<b>2567.15</b>	Li= 18
N°	Amplitud dB	Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)																																																																	
1	71.20	71.80	71.50	3	3	214.51																																																																
2	71.80	72.41	72.11	5	8	360.53																																																																
3	72.41	73.01	72.71	6	14	436.25																																																																
4	73.01	73.61	73.31	6	20	439.88																																																																
5	73.61	74.22	73.92	5	25	369.58																																																																
6	74.22	74.82	74.52	8	33	596.16																																																																
7	74.82	75.43	75.12	2	35	150.25																																																																
<b>TOTAL</b>				<b>35</b>		<b>2567.15</b>																																																																
B14	72.80																																																																					
B15	73.00																																																																					
B16	73.50																																																																					
B17	72.10																																																																					
B18	72.30																																																																					
B19	71.20																																																																					
B20	72.60																																																																					
B21	73.70																																																																					
B22	74.40	<b>5.- Media</b>																																																																				
B23	73.10	$\bar{x} = \frac{\sum (Xi) (fi)}{n}$																																																																				
B24	71.40			$\bar{x} =$	$\frac{2567.15}{35}$	$\bar{x} =$	73.35 dB																																																															
B25	72.70	<b>6.- Mediana</b>																																																																				
B26	74.70	$Me = Li + \frac{\frac{n}{2} - F - 1}{fi} (a)$																																																																				
B27	73.90			Me=	$73.01 + \frac{17.5 - 14}{6} \times 0.60$																																																																	
B28	74.30			Me=	$73.01 + 0.352$	Me=	73.36 dB																																																															
B29	74.40	<b>7.- Moda</b>																																																																				
B30	74.20	$Mo = Li + \frac{fi - fi - 1}{(fi - fi - 1) + (fi - fi + 1)} (a)$																																																																				
B31	74.10			Mo=	$74.22 + \frac{3}{3 + 10} \times 0.60$																																																																	
B32	74.50			Mo=	$74.22 + \frac{3}{13} \times 0.60$																																																																	
B33	74.90			Me=	$74.22 + 0.139$	Me=	74.36 dB																																																															
B34	73.90																																																																					
B35	74.60																																																																					

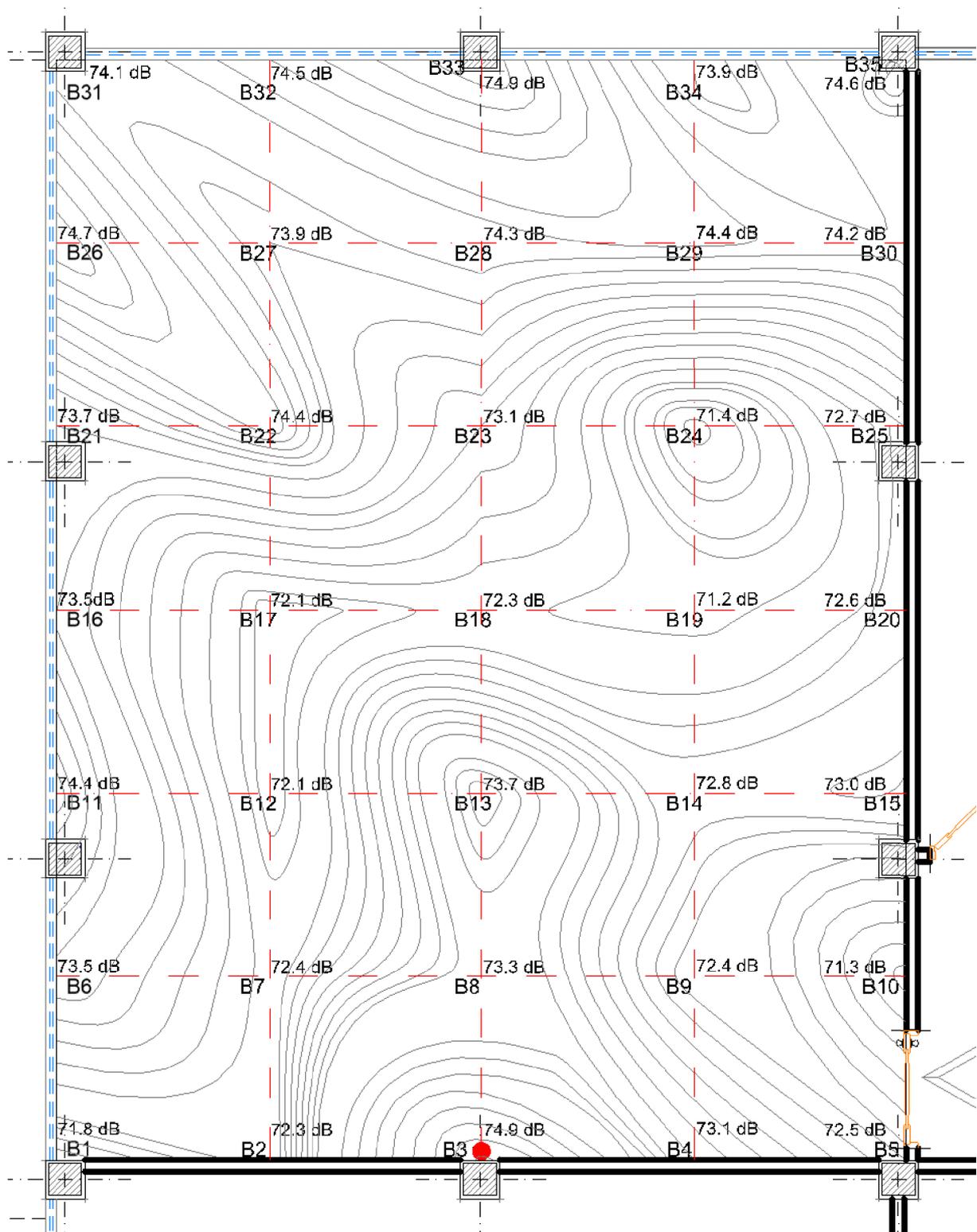
Gráfico 32, Distribución de ondas sonoras aula 205.

Elaborado por, Autor.

Fuente, Estadística – Arq. Zambrano.

**Descripción:** Se procede a calcular la media, mediana y moda, la cual estadísticamente nos proporciona datos promedios, como se aprecia, en promedio de 73.35dB; lo cual no es óptimo, lo recomendado es entre 55 y 65 dB.

**Comportamiento del sonido:** Se describe situación actual sobre la conducta del sonido en el interior de las aulas de acuerdo a los datos ya obtenidos.



**Gráfico 33, Distribución de ondas sonoras aula 205.**

**Elaborado por, Autor.**

**Fuente, Mediciones en sitio, autor.**

#### 4.9.5. Resultados.

Se obtienen los resultados después de haber concretado la propuesta, que consistió en acondicionar el aula n° 205 con material absorbente acústico como se hace mención anteriormente. Posterior a esto procedemos a realizar cálculos de tiempo de reverberación, recopilación de datos con un sonómetro, análisis grafico de la conducta y finalmente un análisis estadístico.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

#### Aula N° 205:

A continuación, se describe la situación actual del aula posterior al acondicionamiento, en la cual gráficamente se demuestra el comportamiento del sonido en el interior de los espacios y estadísticamente se demuestra el nivel de intensidad sonora demostrado en dB.

#### Tiempo de reverberación:

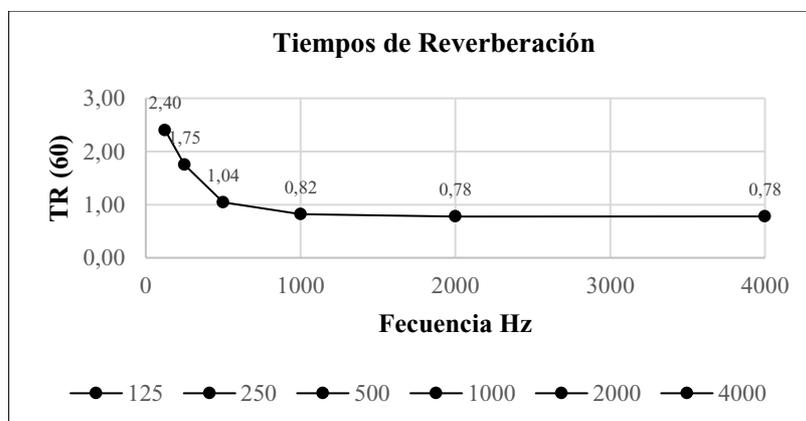


Gráfico 34, Tiempo de Reverberación según formula Sabine .

Elaborado por, Autor.

Fuente, Mediciones en sitio, autor.

**Descripción:** El cálculo matemático con la ejecución de la ecuación Sabine se puede apreciar un comportamiento mejorado con respecto a los tiempos de reverberación. no se alcanza lo óptimo según la norma, pero alcanzan los resultados esperados. se obtienen tiempos de reverberación se 1.04 segundo a 500 Hz.



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI**  
**Facultad de Arquitectura**



Proyecto de fin de carrera previo obtención de título de Arquitecto

**Tema:** "Características espaciales que inciden en la confortabilidad acústica y propuesta de acondicionamiento con material acústico".

Ficha Técnica del Aula de clases

<b>Descripción:</b>						<b>Aula número:</b>		<b>205</b>																																																									
<ul style="list-style-type: none"> <li>En la siguiente ficha técnica se detallan datos y características de las aulas; que posteriormente permitan desarrollar la ecuación de Sabine con el que se calcula los tiempos de reverberación en las aulas, la cual es:</li> </ul>						$TR(60) = \frac{0.161}{(\sum \alpha)}$																																																											
<b>1.- Dimensiones del aula:</b>																																																																	
Ancho (X):	7.05	m	Largo (Y):	9.65	m	Altura (H):	3.40	m	.....																																																								
Área (A)=	68.03	m <sup>2</sup>	Volumen(V)=	231.31	m <sup>3</sup>	.....	.....	.....	.....																																																								
<b>2.- Superficies m<sup>2</sup>:</b>																																																																	
Piso:	68.03	m <sup>2</sup>	Tumbado:	46.03	m <sup>2</sup>	Paredes tipo 1:	70.57	m <sup>2</sup>	Paredes tipo 2:	22.10	m <sup>2</sup>																																																						
Ventanas:	4.94	m <sup>2</sup>	Puerta:	2.2	m <sup>2</sup>	Paneles:	43.75	m <sup>2</sup>	.....	.....																																																							
<b>3.- Materiales:</b>																																																																	
Piso:	H.A.	Tumbado:	Losa de H.A.	Paredes tipo 1:	Mampostería de bloque	Paredes tipo 2:	Paredes de gypsum																																																										
Ventanas:	Aluminio - vidrio	Puerta:	Mixta	Paneles:	Espuma de poliuretano (Esponja común)																																																												
<b>4.-Acabados:</b>																																																																	
Piso:	Cerámica	Tumbado:	Enlucido y pintado	Paredes:	Enlucido y pintado	Paredes tipo 2:	Mampostería de bloque																																																										
Ventanas:	Aluminio y vidrio	Puerta:	Madera y Vidrio	Paneles:	Espuma de poliuretano (Esponja común)																																																												
<b>5.-Grafico:</b>					<b>4.-Desarrollo de ecuación Sabine:</b>																																																												
					Datos: $V = 231.31 \text{ m}^3$ <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\sum S\alpha =</math></th> <th>Piso</th> <th>Tumbado</th> <th>Paredes 1</th> <th>Paredes 2</th> <th>Paneles</th> <th>Ventanas</th> <th>Puerta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>68.03</td> <td>46.03</td> <td>70.57</td> <td>22.10</td> <td>43.75</td> <td>4.94</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.680</td> <td>0.921</td> <td>1.411</td> <td>1.33</td> <td>31.06</td> <td>0.180</td> <td>0.090</td> </tr> <tr> <td><math>\sum S\alpha =</math></td> <td colspan="7"><b>35.671</b></td> </tr> <tr> <td><math>TR(60) =</math></td> <td colspan="2"><math>\frac{0.161}{35.671}</math></td> <td colspan="5"><math>\frac{231.31}{35.671}</math></td> </tr> <tr> <td><math>TR(60) =</math></td> <td colspan="2"><math>\frac{37.241}{35.671}</math></td> <td colspan="5"><math>\frac{37.241}{35.671}</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2"><b><math>TR(60) = 1.04</math></b></td> <td colspan="5"><math>TR(60) = 1.03 \text{ seg. A } 500 \text{ Hz.}</math></td> </tr> </tbody> </table>					$\sum S\alpha =$	Piso	Tumbado	Paredes 1	Paredes 2	Paneles	Ventanas	Puerta		68.03	46.03	70.57	22.10	43.75	4.94	2.2		0.680	0.921	1.411	1.33	31.06	0.180	0.090	$\sum S\alpha =$	<b>35.671</b>							$TR(60) =$	$\frac{0.161}{35.671}$		$\frac{231.31}{35.671}$					$TR(60) =$	$\frac{37.241}{35.671}$		$\frac{37.241}{35.671}$						<b><math>TR(60) = 1.04</math></b>		$TR(60) = 1.03 \text{ seg. A } 500 \text{ Hz.}$				
					$\sum S\alpha =$	Piso	Tumbado	Paredes 1	Paredes 2	Paneles	Ventanas	Puerta																																																					
						68.03	46.03	70.57	22.10	43.75	4.94	2.2																																																					
						0.680	0.921	1.411	1.33	31.06	0.180	0.090																																																					
					$\sum S\alpha =$	<b>35.671</b>																																																											
					$TR(60) =$	$\frac{0.161}{35.671}$		$\frac{231.31}{35.671}$																																																									
$TR(60) =$	$\frac{37.241}{35.671}$		$\frac{37.241}{35.671}$																																																														
	<b><math>TR(60) = 1.04</math></b>		$TR(60) = 1.03 \text{ seg. A } 500 \text{ Hz.}$																																																														

**Gráfico 35, Desarrollo de Formula Sabine.**

**Elaborado por, Autor.**

**Fuente, Datos levantados in situ**

**Descripción:** El desarrollo de la ecuación Sabine nace de esta ficha técnica en la que se proporcionan datos físicos de las superficies y características de los materiales aplicados y puntalmente el material adecuado para acondicionar el espacio, en este caso es espuma de poliuretano y su coeficiente de absorción (Tabla 9). Se desarrolla el cálculo a 500 Hz pues es ese el rango de frecuencia de la voz emitida por un ser humano.

**Análisis estadístico:**

DATOS OBTENIDOS POSTERIOR AL ACONDICIONAMIENTO DEL AULA n° 205																																																															
AULA N° 205		Fuente de ruido de una persona leyendo un texto 72.5 dB																																																													
PUNTO	INTENSIDAD																																																														
B1	67.70	<b>1.- Rango</b>																																																													
B2	67.50	R= Xmax - Xmin																																																													
B3	72.50	R=	72.50	-	62.80	R=	9.70																																																								
B4	69.70																																																														
B5	63.70	<b>2.- Número de intervalos</b>																																																													
B6	68.80	K= 1+3.322 x log n																																																													
B7	68.10	K=	1	+	3.322	×	1.544	K=	6.129																																																						
B8	71.50																																																														
B9	68.30	<b>3.- Amplitud</b>																																																													
B10	69.80	A= R / K		A=		1.58																																																									
B11	67.10																																																														
B12	65.40	<b>4.- Tabla de frecuencias</b>																																																													
B13	68.90	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th colspan="2">Amplitud dB</th> <th>Xi</th> <th>fi</th> <th>Fa</th> <th>(Xi) (fi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>62.80</td> <td>64.38</td> <td>63.59</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>190.77</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>64.38</td> <td>65.97</td> <td>65.17</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>195.52</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>65.97</td> <td>67.55</td> <td>66.76</td> <td>4</td> <td>10</td> <td>267.03</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>67.55</td> <td>69.13</td> <td>68.34</td> <td>18</td> <td>28</td> <td>1230.10</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>69.13</td> <td>70.71</td> <td>69.92</td> <td>6</td> <td>34</td> <td>419.53</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>70.71</td> <td>72.30</td> <td>71.50</td> <td>1</td> <td>35</td> <td>71.50</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>TOTAL</b></td> <td></td> <td><b>35</b></td> <td></td> <td><b>2374.45</b></td> </tr> </tbody> </table>						N°	Amplitud dB		Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)	1	62.80	64.38	63.59	3	3	190.77	2	64.38	65.97	65.17	3	6	195.52	3	65.97	67.55	66.76	4	10	267.03	4	67.55	69.13	68.34	18	28	1230.10	5	69.13	70.71	69.92	6	34	419.53	6	70.71	72.30	71.50	1	35	71.50	<b>TOTAL</b>				<b>35</b>		<b>2374.45</b>
N°	Amplitud dB		Xi	fi	Fa	(Xi) (fi)																																																									
1	62.80	64.38	63.59	3	3	190.77																																																									
2	64.38	65.97	65.17	3	6	195.52																																																									
3	65.97	67.55	66.76	4	10	267.03																																																									
4	67.55	69.13	68.34	18	28	1230.10																																																									
5	69.13	70.71	69.92	6	34	419.53																																																									
6	70.71	72.30	71.50	1	35	71.50																																																									
<b>TOTAL</b>				<b>35</b>		<b>2374.45</b>																																																									
B14	69.20																																																														
B15	68.20																																																														
B16	65.10																																																														
B17	68.30																																																														
B18	67.70																																																														
B19	63.30																																																														
B20	62.80																																																														
B21	67.60																																																														
B22	68.30	<b>5.- Media</b>																																																													
B23	69.60	$\bar{x} = \frac{\sum (Xi) (fi)}{n}$		$\bar{x} = \frac{2374.45}{35}$		$\bar{x} = 67.84$ dB																																																									
B24	68.30																																																														
B25	67.80	<b>6.- Mediana</b>																																																													
B26	66.40	$Me = Li + \frac{\frac{n}{2} - F-1}{fi} (a)$		$Me = 67.55 + \frac{17.5 - 10}{18} \times 1.58$																																																											
B27	68.60			$Me = 67.55 + 0.659$		$Me = 68.21$ dB																																																									
B28	68.00																																																														
B29	65.40	<b>7.- Moda</b>																																																													
B30	68.10	$Mo = Li + \frac{fi - fi-1}{(fi - fi-1) + (fi - fi+1)} (a)$		$Mo = 67.55 + \frac{14}{14 + 12} \times 1.58$																																																											
B31	66.90			$Mo = 67.55 + \frac{14}{26} \times 1.58$																																																											
B32	69.20																																																														
B33	68.30																																																														
B34	68.30			$Me = 67.55 + 0.852$		$Me = 68.40$ dB																																																									
B35	67.40																																																														

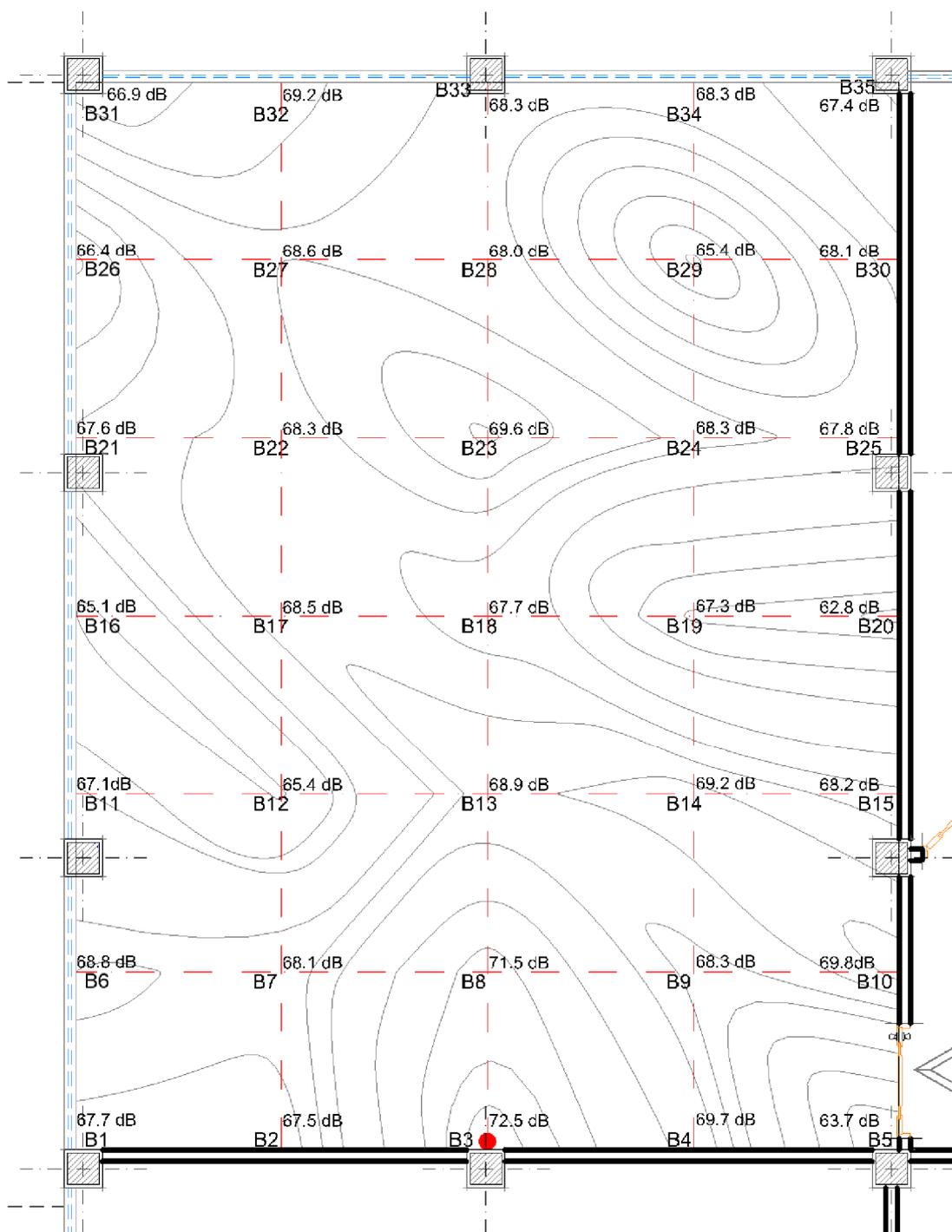
**Gráfico 36,** Distribución de ondas sonoras aula 205, ya acondicionado.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Datos levantaos in situ

**Descripción:** Se procede a calcular la media, mediana y moda, la cual estadísticamente nos proporciona datos promedios, como se aprecia, en promedio de 67.84dB; se aprecia una reducción de dB en comparación con el gráfico 31. No obstante no alcanzamos los estándares deseados, pues que debería ubicarse entre 55 dB y 65 dB.

**Análisis gráfico:**



**Gráfico 37,** Distribución de ondas sonoras aula 205.

**Elaborado por,** Autor.

**Fuente,** Mediciones en sitio, autor.

**Descripción:** Se logra apreciar la conducta del ruido, no se obtienen los resultados esperados, pero se logra diferenciar una pequeña mejoría en su comportamiento.

## **5. Conclusiones**

### **5.1. Aspectos técnicos – cuantitativos**

**a.-** La edificación objeto de estudio, es una construcción considerada como convencional por lo que las formas geométricas son regulares; cuadradas o rectangulares. Y la disposición geométrica influye, condiciona y hace del espacio inadecuado para obtener condiciones acústicas óptimas, concluyendo en un diseño descontextualizado de las aulas de clase.

**b.-** Los materiales aplicados no corresponden a materiales acústicos, las superficies son de características duras, rígidas y no absorbentes, es decir; que no permiten que la energía sonora sea mitigada.

**c.-** Los tiempos de reverberación encontrados en el proceso de diagnóstico, corresponden a niveles no permisibles de acuerdo a la normativa, por lo que es un indicio afirmativo que deriva en que las aulas son espacios acústicos inadecuados.

**d.-** La existencia de ruido es muy perceptible, pero en el análisis que realizamos demuestran que los valores son muy superiores a los parámetros recomendados, y que originan las inadecuadas condiciones acústicas en las aulas de clase.

**e.-** La conducta o comportamiento de las ondas sonoras en el interior de las aulas de clases no son uniformes, no existe uniformidad en la distribución del sonido.

### **5.2. Aspectos cualitativos**

**a.-** El ruido en el ambiente interior de clase es perceptible, consideradas en su mayoría como aulas “ruidosas”. Esto tiene consecuencia de muchos factores entre ellos la causa de molestias de los usuarios y posterior afectación en su rendimiento.

**b.-** Las condiciones desfavorables del ambiente interior de las aulas causan malestar físico, como dolor de cabeza o psicológico, como irritabilidad, fatiga o somnolencia.

**c.-** La presencia del ruido afecta también a la concentración, sea al docente o al estudiante; pues debido a la presencia del mismo se generan distracciones, susurros, ecos, entre otros y finalmente el estudiante no logra captar la información con atención y el docente puede desvincularse de sus diálogos por distracciones.

**d.-** Al estar el ruido presente en el ambiente interior de las aulas, uno de sus efectos puede representarse en la repercusión del rendimiento académico, es decir; el estudiante será afectado de manera desfavorable en su rendimiento académico.

**e.-** Las condiciones que prestan las aulas de clase influyen directamente a la confortabilidad de las mismas, es decir; en el ambiente interior de las aulas de clase prima el discomfort acústico.

## **6. Recomendaciones**

### **6.1. Aspectos técnicos – cuantitativos**

**a.-** Realizar procesos de diseños arquitectónicos en los que se priorice la confortabilidad acústica siguiendo las pautas, parámetros y condiciones correspondientes para hacer de estos, espacios acústicos adecuados; no obstante, la edificación objeto de estudio, para lograr acondicionar la acústica geoméricamente se dispondrá de diseños en las cubiertas y paredes modifiquen la forma geométrica, por ejemplo, inclinación del cielo raso /tumbados.

**b.-** Ejecutar procesos de acondicionamiento acústico en base a materiales que sean de características porosas, rugosas, que posean grandes propiedades acústicas; es así que permitirán absorber y mitigar la energía sonora que se produce en los espacios.

**c.-** Para lograr que las aulas de clase sean espacios acústicos adecuados se tendrá que reducir los tiempos de reverberación de acuerdo a la normativa, la metodología más accesible y viable es acondicionar las superficies existentes, aumentando el coeficiente de absorción de energía sonora en estos espacios.

**d.-** En cuanto los niveles del ruido existentes en las aulas se deberán disminuir hasta llegar al valor óptimo de 55 decibeles o máximo a 65 decibeles, por lo que mediante el acondicionamiento acústico se dispondrá a lograr dichos estándares.

**e.-** Para lograr una correcta distribución del sonido deberá aplicarse materiales con propiedades acústicas, no solo absorbentes, sino que también sean materiales difusores y así permitir la uniformidad de las ondas sonoras en las aulas.

### **6.2. Aspectos cualitativos**

**a.-** Para evitar que los estudiantes y docentes presenten afectaciones a su rendimiento tanto académico como profesional se deberá proceder a realizar el acondicionamiento acústico de las aulas, y se caractericen por ser espacios óptimos y parcialmente silenciosos, sin presencia de ruidos molestos.

**b.-** Se deberán prestar las condiciones favorables que garanticen la ausencia de malestar físicos o psicológicos.

**c.-** Se deberán diseñar y acondicionar espacios adecuados que garanticen que la concentración de los estudiantes y docentes no se verá afectada por problemas acústicos, es decir; que se deberán prestar las condiciones acústicas adecuadas.

**d.-** Para que los estudiantes no presenten posibles cuadros desfavorables en su rendimiento académico se deberá mejorar las condiciones acústicas en el interior de las aulas y así la acústica se aplicara de manera inversa y podrá aumentar el rendimiento académico de los estudiantes.

**e.-** Se deberá hacer total énfasis en los correctos procesos de diseño arquitectónico, aplicación de materiales y análisis acústicos siguiendo parámetros y recomendaciones, es así que deberán garantizar espacios adecuados para los usuarios, y así alcanzar el confort acústico adecuado.

## 7. Referencias bibliográficas

- Acevedo Martínez, V. (2009). *Evaluación del acondicionamiento acústico y recomendaciones de diseño para salas de clases en la facultad de Ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1. (2010). *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools*. United States of América. Acoustical Society of America/American National Standards Institute.
- Beristáin S. (2006). *Acústica en salones de clase; Un recurso para crear ambientes de aprendizaje con condiciones de audición deseables, Parte II*. Instituto Mexicano de Acústica. México.
- Bitar, M. L., Sobrinho, L. F. C., & Simões-Zenari, M. (2018). *Ações para a melhoria do conforto acústico em instituições de educação infantil*. *Ciencia e Saude Coletiva*, 23(1), 315-324. doi:10.1590/1413-81232018231.22932015.
- Carlos Augusto Santos Pereira, Leila Cristiane Souza Silva, & Fábio Henrique Silva Sales. (2011). *Análise do nível de conforto acústico na biblioteca de uma escola pública*. *Holos*, 4, 65-90. doi:10.15628/holos.2011.621.
- Carrión, A. (1<sup>era</sup> Ed.) (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona, España: Edicions UPC.
- Castellanos Balderas, A. (2014). *Acústica arquitectónica: Acondicionamiento acústico de recintos* (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional. México.
- Cruz V, Vanessa V. (2014). *Evaluación acústica del teatro y sala de cine Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión" Núcleo Loja*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular Loja. Ecuador.
- Díaz Gallardo, B. (2019). *Arquitectura y sonido. El evento sonoro como generador del proyecto* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Ercoli L. & Azzurro A. (1998). *Caracterización sonora de aulas: Un estudio de los principales parámetros acústicos en las aulas argentinas*. Grupo Análisis de Sistemas Mecánicos, Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.
- Fernández, Andrea. (2014). *Análisis de los aspectos funcionales, formales y tecnológicos que inciden en el confort de los espacios de aprendizaje y propuesta de lineamientos para el diseño arquitectónico de aulas universitarias-ULEAM* (Tesis de pregrado). Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí. Manta, Ecuador.
- Lazzarini, V. (1998). *Elementos de Acústica*. Londrina, Brasil: Music Departament / National University of Ireland, Maynooth.

- Magioli, F. B., & Julio Cesar Boscher Torres. (2018). *Influência das transformações urbanas no conforto acústico: Estudo-piloto da cidade universitária da UFRJ*. Urbe: Revista Brasileira De Gestão Urbana, doi:10.1590/2175-3369.010. 002.ao01.
- Martínez, Peters. (3<sup>ra</sup> Ed.) (2015). *Contaminación acústica y ruido*. Madrid, España: Ecologistas en Acción.
- Medina Valdez, A. (2009). “*La calidad acústica arquitectónica” el ambiente acústico en edificios escolares de nivel superior* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. Tecamachalco, México.
- Miyara, F. (3<sup>a</sup> Ed.) (2003). *Acústica y sistemas de sonido*. Rosario, Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
- Ramírez Garcia, A. (2009). *Caracterización acústica de un salón, usando procesamiento digital de señales* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos – Facultad de Ingeniería. Guatemala.
- Rodríguez Manzo, F. (2001). *Análisis y balance acústico de los espacios arquitectónicos* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Rybczynski, W. (1<sup>era</sup> Ed.) (1991). *La Casa. Historia de una idea*. Buenos Aires, Argentina: Emecé Editores.
- Silva Díaz, M. (2008). *Academia de música en la ciudad de Quito. Relación entre música y arquitectura* (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito. Ecuador.
- Simancas Yovane, K. *Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo*. Tesis doctoral, UPC, Departament de Construccions Arquitectòniques I, 2003. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/93425>
- Soto Zumba, M. (2012). *Materiales aislantes acústicos para muros* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
- Tristán H, Edgar. (2014). *Caracterización de ambientes sonoros en recintos universitarios: Influencia el ruido sobre procesos cognitivos básicos* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

8. Anexos



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALAFARO DE MANABI**  
**Facultad de Arquitectura**



Proyecto de fin de carrera previo obtención de título de Arquitecto

**Tema:** "Características espaciales que inciden en la confortabilidad acústica y propuesta de acondicionamiento con material acústico".

Encuesta - Usuarios (Docentes & Estudiantes)

Disposiciones	Aula número:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El siguiente cuestionario esta compuesto por varios ítems, su tarea consistirá en leer con mucha atención las interrogantes y contestar con la mayor autenticidad posible.</li> <li>• Cada pregunta requiere solo de una respuesta, la cual sera señalada con una ( X ).</li> </ul>	
<b>Pregunta 1.- ¿Cómo describirías la existencia del ruido en el ambiente interior del aula de clase?</b>	
Muy ruidosa ___	Ruidosa ___ Silenciosa ___
<b>Pregunta 2.- ¿En que medida considera usted que es necesario elevar el tono de voz en el desarrollo de la clase?</b>	
Muy necesario ___	Poco necesario ___ No es necesario ___
<b>Pregunta 3.- ¿En que medida el ruido existente le causa molestias?</b>	
Mucho ___	Poco ___ Nada ___
<b>Pregunta 4.- ¿En que medida considera usted que es adecuado el nivel de confort acústico en el aula de clases?</b>	
Muy adecuado ___	Poco adecuado ___ Inadecuado ___
<b>Pregunta 5.- ¿Consideras que el rendimiento académico se ve afectado por el confort acústico inadecuado ?</b>	
Si ___	No ___ Talvez ___
<b>Pregunta 6.- ¿Qué tipo de molestar físico o psicológico causa en usted el disconfort acústico?</b>	
Fatiga ___	Somnolencia ___ Irritabilidad ___
<b>Pregunta 7.- ¿En que medida nota que la presencia de ruido en el aula disminuye tu concentración?</b>	
Mucho ___	Algo ___ Nada ___
<b>Pregunta 8.- ¿Cómo describirías la percepción del sonido en el aula de clases?</b>	
Con eco ___	Normal ___ Bajo ___
<b>Pregunta 9.- ¿Consideras que la forma geometrica del aula contribuye al disconfort acústico?</b>	
Si ___	No ___ Poco ___
<b>Pregunta 10.- ¿Consideras los materiales aplicados son optimos para lograr el confort acústico?</b>	
Si ___	No ___ Poco ___



**Tema:** "Características espaciales que inciden en la confortabilidad acústica y propuesta de acondicionamiento con material acustico".

Ficha Técnica del Aula de clases

<b>Descripción:</b>					<b>Aula número: 101</b>																										
<ul style="list-style-type: none"> <li>En la siguiente ficha tecnica se detallan datos y caracterisitcas de las aulas; que posteriormente permitiran desarrollar la ecuación de Sabine con el que se calcula los tiempos de reverberación en las aulas, la cual es:</li> </ul>					$TR(60) = \frac{0.161}{(\Sigma \alpha)}$																										
<b>1.- Dimensiones del aula:</b>																															
Ancho (X):	7.10	m	Largo (Y):	12.90	m	Altura (H):	3.40	m																							
Area (A)=	91.59	m <sup>2</sup>	Volumen(V)=	311.41	m <sup>3</sup>																										
<b>2.- Superficies m<sup>2</sup>:</b>																															
Piso:	91.59	m <sup>2</sup>	Tumbado:	91.59	m <sup>2</sup>	Paredes:	113.90	m <sup>2</sup>																							
Ventanas:	19.90	m <sup>2</sup>	Puerta:	2.2	m <sup>2</sup>																										
<b>3.- Materiales:</b>																															
Piso:	H.A.	Tumbado:	Losa de H.A.	Paredes:	Mamposteria de bloque																										
Ventanas:	Aluminio - vidrio	Puerta:	Mixta																												
<b>4.-Acabados:</b>																															
Piso:	Cerámica	Tumbado:	Enlucido y pintado	Paredes:	Enlucido y pintado																										
Ventanas:	Aluminio y vidrio	Puerta:	Madera y Vidrio																												
<b>5.-Grafico:</b>				<b>4.-Desarrollo de ecuación Sabine:</b>																											
				<p>Datos:</p> <p>V= 311.41 m<sup>3</sup></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\Sigma S\alpha</math></th> <th>Piso</th> <th>Tumbado</th> <th>Paredes</th> <th>Ventanas</th> <th>Puerta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\Sigma S\alpha</math></td> <td>91.59</td> <td>91.59</td> <td>113.90</td> <td>19.90</td> <td>2.20</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.916</td> <td>4.580</td> <td>5.695</td> <td>3.581</td> <td>0.198</td> </tr> <tr> <td><math>\Sigma S\alpha</math></td> <td colspan="5"><b>14.970</b></td> </tr> </tbody> </table> $TR(60) = \frac{0.161 \cdot 311.41}{14.970}$ $TR(60) = \frac{50.136}{14.970}$ <p><b>TR(60) = 3.35</b></p> <p>TR(60) = 3.36 seg. A 500 Hz.</p>				$\Sigma S\alpha$	Piso	Tumbado	Paredes	Ventanas	Puerta	$\Sigma S\alpha$	91.59	91.59	113.90	19.90	2.20		0.916	4.580	5.695	3.581	0.198	$\Sigma S\alpha$	<b>14.970</b>				
$\Sigma S\alpha$	Piso	Tumbado	Paredes	Ventanas	Puerta																										
$\Sigma S\alpha$	91.59	91.59	113.90	19.90	2.20																										
	0.916	4.580	5.695	3.581	0.198																										
$\Sigma S\alpha$	<b>14.970</b>																														



**Figura 17,** Elaboramos paneles de 50x50 cm.  
**Fuente,** Autor.



**Figura 18,** Procedimos a aplicarlos en las paredes con separaciones de 15 cm.  
**Fuente,** Autor.



**Figura 19,** Colocación del material acustico.  
**Fuente,** Autor.



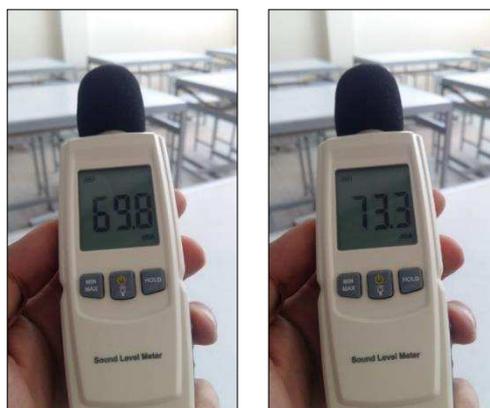
**Figura 20,** Material acústico aplicado.  
**Fuente,** Autor.



**Figura 21,** Proceso de medición de presión sonora.  
**Fuente,** Autor.



**Figura 22,** Demostración de la propuesta .  
**Fuente,** Autor.



**Figura 23,** Sonómetro – Equipo de medición.  
**Fuente,** Autor.