



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERÍA EN SONIDO Y ACÚSTICA

**“DISEÑO PARA EL ACONDICIONAMIENTO Y AISLAMIENTO ACÚSTICO  
DE UN POLÍGONO DE TIRO CERRADO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS  
REQUISITOS ESTABLECIDOS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN SONIDO Y ACÚSTICA

PROFESOR GUÍA:

ING. CHRISTIAM GARZÓN MSc.

AUTOR:

**EDISON AUGUSTO GARCÉS MUÑOZ**

**AÑO**

**2011**

**DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA:**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema y tomando en cuenta la Guía de Trabajos de Titulación correspondiente”.

Ing. Christiam Garzón MSc.

C.I. 171364462-1

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE:**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Edison Augusto Garcés Muñoz

C.I. 171660447-3

**AGRADECIMIENTO:**

En primer lugar agradezco con todo mi corazón a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones junto a mi familia y amigos...a mis Padres por su amor, cariño, comprensión y sacrificio...en todo momento los llevo conmigo...

Agradezco a mis hermanos por la compañía y el apoyo que me brindan. Sé que cuento con ellos siempre...

Agradezco a Christiam por su disposición y ayuda brindadas...

**DEDICATORIA:**

Esta tesis la dedico con amor a Dios que me ha dado la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa...

## RESUMEN:

Actualmente en el Ecuador, no existen estudios de acústica acerca de qué características debe considerar un polígono de tiro, es por eso que los polígonos que han venido funcionando lo han hecho con ideas empíricas y técnicas deficientes que han ocasionado que las condiciones acústicas no sean favorables ni para los practicantes de este deporte, ni para el personal de trabajo que se desempeña en estos lugares, ni tampoco para las personas que residen cerca de estas zonas.

Considerando que el recinto que servirá de referencia para la presente investigación en las actuales condiciones representa una amenaza a la salud de las personas que lo visitan, trabajan o residen cerca, por los exagerados niveles de ruido producto de la detonación de las municiones y por el largo tiempo de exposición a estos altos niveles de presión sonora, y pensando en los efectos nocivos que el ruido provoca en el cuerpo humano como la pérdida de la audición entre otros trastornos tanto fisiológicos como psicológicos, es que se pretende mediante el uso de ingeniería, diseñar un sistema de aislamiento y acondicionamiento acústico para este polígono de tiro, es decir, diseñar una solución técnica eficiente, para mejorar la acústica de este espacio, de acuerdo a lo establecido en normas nacionales como la Ordenanza Metropolitana 213 e internacionales como las normas UNE-EN ISO-3382 y la UNE-EN ISO-17201-1, las cuales marcarán el camino correcto para obtener un buen diseño que se espera sirva de guía para nuevos estudios o proyectos relacionados con este tema.

**ABSTRACT:**

Nowadays in Ecuador, do not exist studies of acoustic about what characteristics it must consider a shooting range, it is because of it that the shooting ranges that have come working have done it with empirical ideas and deficient technologies that have caused that the acoustic conditions were not been favorable for the sportsmen, neither for the personnel of work in these places, nor neither for the persons who reside near these zones.

Considering the enclosure that will serve of reference for the present investigation in the current conditions represents a threat to the health of the persons who visit it or persons that work there or reside nearby, for the exaggerate levels of noise, product of the detonation of the ammunitions and the long exposure time to these high levels of sonorous pressure, and thinking about the harmful effects that the noise provokes in the human body as the loss of the hearing between other physiological and psychological disorders, is that is claimed by means of the use of engineering, to design a system of conditioning and soundproofing for this shooting range, that is to say, to design a technical efficient solution, to improve the acoustic of this space, according to national standards set like Metropolitan Ordinance 213 and the international standards like UNE- EN ISO-3382 and UNE- EN ISO-17201-1, which will mark the correct path to obtain a good design which is expected to serve as a guide for further studies or projects related to this topic.

# ÍNDICE

<b>1. Capítulo I</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Alcance .....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Objetivos .....	3
1.5.1 Objetivo General.....	3
1.5.2 Objetivos Específicos .....	4
1.6 Hipótesis .....	4
<b>2. Capítulo II</b> .....	<b>5</b>
2.1 Marco Teórico.....	5
2.1.1 Conceptos Elementales.....	5
2.1.1.1 Acústica.....	5
2.1.1.2 Sonido.....	5
2.1.1.3 Frecuencia del Sonido (f).....	5
2.1.1.4 Velocidad de Propagación del Sonido (c).....	6
2.1.1.5 Longitud de Onda del Sonido ( $\lambda$ ).....	7
2.1.1.6 Ruido .....	8
2.1.1.7 Presión Sonora.....	9
2.1.1.8 Nivel de Presión Sonora (Lp).....	9
2.1.1.9 Potencia Sonora .....	9
2.1.1.10 Nivel de Potencia Sonora (Lw) .....	10
2.1.1.11 Intensidad Sonora.....	10



2.1.1.12 Nivel de Intensidad Sonora (Li).....	10
2.1.1.13 Curvas Isofónicas .....	11
2.1.2 Conceptos de Acondicionamiento Acústico.....	12
2.1.2.1 Acústica Arquitectónica .....	12
2.1.2.2 Absorción.....	13
2.1.2.3 Coeficiente de Absorción ( $\alpha$ ) .....	13
2.1.2.4 Coeficiente de Absorción Medio .....	13
2.1.2.5 Tiempo de Reverberación (RT) .....	13
2.1.2.6 Propagación del Sonido en un Recinto Cerrado.....	14
2.1.2.7 Sonido Reflejado .....	14
2.1.2.8 Reflexiones y Ecos .....	15
2.1.2.9 Primeras Reflexiones. Acústica Geométrica.....	15
2.1.2.10 Eco Flotante (Flutter Echo).....	17
2.1.2.11 Acústica Estadística.....	17
2.1.2.12 Campo directo y campo reverberante.....	18
2.1.2.13 Modos Normales de Vibración.....	20
2.1.2.14 Diagrama de Bolt.....	22
2.1.3 Conceptos de Aislamiento Acústico.....	22
2.1.3.1 Aislación Acústica.....	22
2.1.3.2 Pérdida por Transmisión (TL) .....	23
2.1.3.4 Partición Simple.....	23
2.1.3.5 Acoplamiento Mecánico.....	24
2.1.3.6 Ley de Masa .....	24
2.1.3.7 Rigidez y Efecto de Coincidencia .....	26
2.1.3.8 Límites Máximos Permisibles de Nivel de Ruido Ambiente para Fuentes Fijas.....	26

2.1.4	Conceptos de Arma y Munición .....	27
2.1.4.1	Breve Historia del Surgimiento de las Armas.....	27
2.1.4.2	Revólver .....	28
2.1.4.3	Pistola.....	29
2.1.4.4	Munición .....	29
2.1.4.5	Calibre .....	29
2.1.5	Conceptos de Control de Ruido.....	29
2.1.5.1	Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq) .....	29
2.1.5.2	Nivel de Exposición Sonora (SEL) .....	30
<b>3.</b>	<b>Capítulo III.....</b>	<b>31</b>
3.1	Descripción de la Situación Actual.....	31
3.1.1	Ubicación del Recinto .....	31
3.1.2	Forma y Dimensiones del Recinto .....	32
3.1.3	Medición In Situ .....	33
3.1.4	Medición de los Niveles de Ruido emitidos hacia el exterior .....	43
3.1.5	Análisis de la Situación del Recinto .....	45
3.1.5.1	Tiempo de Reverberación .....	45
3.1.5.2	Análisis del Recinto a través de Acústica Geométrica.....	45
3.1.5.3	Análisis del Aislamiento Acústico Actual.....	45
3.1.6	Simulación de la Situación Actual del Polígono.....	46
<b>4.</b>	<b>Capítulo IV .....</b>	<b>55</b>
4.1	Propuesta de Diseño .....	55
4.1.1	Objetivos Acústicos .....	56
4.1.2	Solución de Eco Flotante debido a Geometría del Recinto .....	56
4.1.3	Soluciones para disminuir el Tiempo de Reverberación.....	57

4.1.3.1 Tratamiento en Techo:.....	57
4.1.3.2 Tratamiento en Pared Lateral Izquierda .....	58
4.1.3.3 Tratamiento en Pared Lateral Derecha:.....	59
4.1.3.4 Tratamiento en Pared Posterior:.....	60
4.1.3.5 Tratamiento en Puerta de Acceso: .....	61
4.1.4 Resultados del Tiempo de Reverberación.....	62
4.1.5 Simulación del Polígono con las Soluciones Propuestas .....	64
4.1.6 Soluciones para el Aislamiento Acústico del Recinto .....	71
4.1.6.1 Aislamiento hacia el exterior:.....	71
4.1.6.2 Aislación del Techo:.....	72
4.1.6.3 Aislación de la Pared Lateral Izquierda: .....	72
4.1.6.4 Aislación de la Pared Lateral Derecha:.....	73
4.1.6.5 Aislación de las ventanas: .....	74
4.1.6.6 Aislación de la Puerta: .....	75
<b>5. Capítulo V .....</b>	<b>77</b>
5.1 Propuesta Económica .....	78
<b>6. Capítulo VI.....</b>	<b>78</b>
6.1 Conclusiones.....	79
6.2 Recomendaciones.....	81
Bibliografía .....	82
Anexos .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Ejemplos de presión sonora $p$ asociada a oscilaciones de diferente frecuencia.....	6
<b>Figura 2.2.</b> Longitud de onda ( $\lambda$ ) del sonido. ....	7
<b>Figura 2.3.</b> Onda con ruido.....	8
<b>Figura 2.4.</b> Curvas de Fletcher y Munson.....	12
<b>Figura 2.5.</b> Ecograma del sonido directo, las primeras reflexiones y la cola reverberante.....	15
<b>Figura 2.6.</b> Reflexión especular del sonido sobre una superficie.....	16
<b>Figura 2.7.</b> Eco flotante aparecido al colocar la fuente sonora entre dos paredes paralelas.....	17
<b>Figura 2.8.</b> Evolución del nivel relativo total de presión sonora.....	20
<b>Figura 2.9.</b> Relaciones recomendadas entre las dimensiones de una sala rectangular y sus frecuencias propias. ....	22
<b>Figura 2.11.</b> Bosquejo de un revólver de 6 cartuchos. ....	28
<b>Figura 2.12.</b> Bosquejo de una pistola semiautomática de 11 cartuchos.....	29
<b>Figura 3.1.</b> Vista satelital de las instalaciones del Club Rancho San Francisco.....	31
<b>Figura 3.2.</b> Ubicación de los puntos de medición al interior del Polígono.....	41
<b>Figura 3.3.</b> Vista del Polígono de tiro con las 2 áreas de audiencia y los altavoces simulado en EASE 4.1. ....	47
<b>Figura 3.4.</b> Gráfica de NPS Directo simulado en EASE 4.1.....	47
<b>Figura 3.5.</b> Mapa de NPS Directo simulado en EASE 4.1. ....	48
<b>Figura 3.6.</b> Gráfica de C50 simulado en EASE 4.1.....	49
<b>Figura 3.7.</b> Mapa de C50 simulado en EASE 4.1. ....	50
<b>Figura 3.8.</b> Gráfica de C80 simulado en EASE 4.1.....	50

<b>Figura 3.9.</b> Mapa de C80 simulado en EASE 4.1.....	51
<b>Figura 3.10.</b> Gráfica de Articulation Loss simulado en EASE 4.1.....	52
<b>Figura 3.11.</b> Mapa de Articulation Loss simulado en EASE 4.1.....	53
<b>Figura 3.12.</b> Gráfica de RaSTI simulado en EASE 4.1.....	53
<b>Figura 3.13.</b> Mapa de RaSTI simulado en EASE 4.1.....	54
<b>Figura 4.1.</b> Corte transversal del Sistema de Techo del Polígono.....	57
<b>Figura 4.2.</b> Vista de la Pared Lateral Izquierda del Polígono.....	58
<b>Figura 4.3.</b> Vista de la Pared Lateral derecha del Polígono. ....	60
<b>Figura 4.4.</b> Corte transversal del sistema de la Puerta del Polígono.....	62
<b>Figura 4.5.</b> Gráfica de NPS Directo simulado en EASE 4.1.....	65
<b>Figura 4.6.</b> Mapa de NPS Directo simulado en EASE 4.1.....	65
<b>Figura 4.7.</b> Gráfica de C50 simulado en EASE 4.1.....	66
<b>Figura 4.8.</b> Mapa de C50 simulado en EASE 4.1.....	67
<b>Figura 4.9.</b> Gráfica de C80 simulado en EASE 4.1.....	67
<b>Figura 4.10.</b> Mapa de C80 simulado en EASE 4.1.....	68
<b>Figura 4.11.</b> Gráfica de Articulation Loss simulado en EASE 4.1.....	69
<b>Figura 4.12.</b> Mapa de Articulation Loss simulado en EASE 4.1.....	69
<b>Figura 4.13.</b> Gráfica de RaSTI simulado en EASE 4.1.....	70
<b>Figura 4.14.</b> Mapa de RaSTI simulado en EASE 4.1.....	70
<b>Figura 4.15.</b> Gráfica de la curva de TL del techo.....	72
<b>Figura 4.16.</b> Gráfica de curva de TL de la pared lateral izquierda.....	73
<b>Figura 4.17.</b> Gráfica de curva de TL de la pared lateral derecha.....	74
<b>Figura 4.18.</b> Gráfica de curva de TL de las ventanas.....	74
<b>Figura 4.19.</b> Gráfica de curva de TL de la puerta.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.2.</b> Niveles Máximos de Ruido Permisibles según Uso de Suelo. ....	26
<b>Tabla 3.1.</b> Dimensiones del Recinto. ....	33
<b>Tabla 3.2.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 0° y Nivel de Exposición. ....	34
<b>Tabla 3.3.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 15° y Nivel de Exposición. ....	34
<b>Tabla 3.4.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 30° y Nivel de Exposición. ....	35
<b>Tabla 3.5.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 60° y Nivel de Exposición. ....	35
<b>Tabla 3.6.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 90° y Nivel de Exposición. ....	36
<b>Tabla 3.7.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm] a 0° y Nivel de Exposición. ....	36
<b>Tabla 3.8.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm] a 15° y Nivel de Exposición. ....	37
<b>Tabla 3.9.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola	

calibre 9 [mm] a 30° y Nivel de Exposición.....	37
<b>Tabla 3.10.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm] a 60° y Nivel de Exposición.....	38
<b>Tabla 3.11.</b> Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm] a 90° y Nivel de Exposición.....	38
<b>Tabla 3.12.</b> Coordenadas de los puntos de Medición.....	42
<b>Tabla 3.13.</b> Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid). ....	42
<b>Tabla 3.14.</b> Datos obtenidos del Nivel de Ruido emitido hacia el exterior. ....	44
<b>Tabla 3.15.</b> Datos obtenidos de los valores aplicando la corrección.....	44
<b>Tabla 3.16.</b> Valores obtenidos del aislamiento acústico de las particiones.....	46
<b>Tabla 4.1.</b> Coeficientes de absorción sonora estimada del sistema del Techo. ....	58
<b>Tabla 4.2.</b> Coeficientes de absorción sonora estimada de la Pared Lateral Izquierda. ....	59
<b>Tabla 4.3.</b> Coeficientes de absorción sonora estimada de la Pared Lateral Derecha. ....	60
<b>Tabla 4.4.</b> Coeficientes de absorción sonora estimada de la Pared Posterior. ....	61
<b>Tabla 4.5.</b> Coeficientes de absorción sonora estimada de la Puerta. ....	62
<b>Tabla 4.6.</b> Tabla para el cálculo del Tiempo de Reverberación. ....	63
<b>Tabla 4.7.</b> Tabla de Absorción Total por banda de octava.....	63
<b>Tabla 4.8.</b> Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid). ....	64
<b>Tabla 4.9.</b> Tabla de la Diferencia de Niveles.....	71

<b>Tabla 4.10.</b> TL del muro de paneles de MDF.....	76
<b>Tabla 4.11.</b> TL de la capa de Barrier.....	76
<b>Tabla 4.12.</b> TL del muro de hormigón.....	76
<b>Tabla 5.1.</b> Tabla de Costos para el Proyecto.....	78



# ÍNDICE DE FÓRMULAS

<b>2.1</b> Velocidad de propagación del sonido.....	7
<b>2.2</b> Longitud de onda.....	8
<b>2.3</b> Nivel de Presión Sonora (LP).....	10
<b>2.4</b> Nivel de Potencia Sonora (Lw).....	10
<b>2.5</b> Nivel de Intensidad Sonora (Li).....	11
<b>2.6</b> Absorción Sonora.....	13
<b>2.7</b> Frecuencia Límite Inferior de Schröder.....	17
<b>2.8</b> Acústica Estadística.....	18
<b>2.9</b> Distancia Crítica.....	20
<b>2.10</b> Modos Normales de Vibración.....	22
<b>2.11</b> Pérdida por Transmisión (TL).....	24
<b>2.12</b> Pérdida por Transmisión (TL).....	25
<b>2.13</b> Aislamiento de una Partición.....	26
<b>2.14</b> Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq).....	31
<b>4.1</b> Tiempo de Reverberación (Sabine).....	65

# 1. Capítulo I

---

## 1.1 Introducción

El fenómeno básico en la acústica, conocido ya por los antiguos filósofos griegos, principalmente por Aristóteles, consiste en que cuando un cuerpo provoca la sensación del sonido se halla en estado de *vibración*, o sea, que está sujeto a oscilaciones rápidas que se propagan por el aire en forma de *ondas* comparables a los círculos que se producen en la superficie del agua cuando cae una piedra. Se puede decir entonces que la acústica tiene por objeto el estudio de los sonidos y de las ondas sonoras<sup>1</sup>.

Pitágoras fue el primero que aplicó el lenguaje numérico al estudio de este fenómeno físico. Bacon y Galileo establecieron definitivamente las bases de esta ciencia, que se desarrollo rápidamente. Gassendi por su parte explicó la agudeza y la gravedad de los sonidos por la frecuencia de las vibraciones y Mersenne estableció la relación entre las frecuencias de las diferentes notas de la escala. Otto Von Guericke descubrió que el sonido no se propaga en el vacío; Kircher dio la explicación del eco, y Sauveur descubrió los *nudos* y los *vientres* de vibración, más tarde Newton elaboraría una teoría matemática de la transmisión del sonido fundada en la elasticidad del medio en que se propaga.

Todo este valioso aporte de grandes hombres de ciencia a través de los años, y sumado al trabajo de mentes brillantes como Bernoulli, Euler, Taylor, entre otros, han permitido que la acústica se haya ido desarrollado mucho desde sus inicios hasta poder dividirla o clasificarla para su estudio en varias ramas como son la acústica molecular, electroacústica, acústica subacuática, acústica ambiental, acústica arquitectónica, control de ruido, entre otras.

Es así, que para el presente estudio será de suma importancia la teoría de la *Acústica Arquitectónica*, el *Aislamiento Acústico* y el *Acondicionamiento Acústico*, para definir un diseño óptimo del recinto y preservar la salud auditiva de las personas que lo frecuentan.

---

<sup>1</sup> Nueva Enciclopedia Larousse, "Tomo Primero", Editorial Planeta, Barcelona, 1984. Pág. 104.

## 1.2 Antecedentes

En los últimos años se ha incrementado la cantidad de personas que prefieren practicar nuevos deportes o nuevas disciplinas, que han venido despertando el interés de la gente y precisamente uno de los deportes que ha tomado acogida en nuestro país con gran éxito es el de la práctica de tiro.

La práctica de este deporte requiere de un lugar específico donde se lleve a cabo cómodamente el ejercicio de esta disciplina, a este sitio se le denomina “polígono de tiro”, y es un espacio que debe cumplir con ciertos lineamientos y requerimientos en cuanto a normas de seguridad y de confort tanto para los practicantes, como para las demás personas que de alguna manera también se ven afectadas por el ruido generado a causa de esta actividad, por lo tanto, la acústica es un factor de gran importancia para contribuir con esta idea de confort.

De acuerdo a su infraestructura, existen dos tipos de polígonos: abiertos y cerrados.

Los polígonos abiertos se encuentran al aire libre, generalmente en campos extensos.

Los polígonos cerrados por su parte, se encuentran en su totalidad dentro de un recinto, es decir, que funcionan en un espacio delimitado; y es precisamente este último el caso del polígono de tiro del Club Rancho San Francisco, que servirá de referencia para el presente estudio.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, es que con la presente investigación se pretende desarrollar un modelo o diseño acústico práctico y efectivo, *basándose en la teoría del acondicionamiento y del aislamiento acústico y trabajando principalmente para mitigar los daños que producen los altos niveles de ruido a los que están expuestos y que soportan las distintas personas que se ven afectadas por este problema y así ayudar a preservar la salud auditiva e integral de las todas los individuos que se desenvuelven en su alrededor.*

### **1.3 Alcance**

El presente estudio consiste en proponer un diseño valiéndose de la teoría del aislamiento y del acondicionamiento acústico y de la aplicación tanto de normas nacionales como de normas internacionales que fijen un adecuado rumbo técnico, para que dicho planteamiento logre cumplir con los parámetros acústicos óptimos para un mejor funcionamiento del lugar.

### **1.4 Justificación**

Existen pocos polígonos de tiro cerrados en el Ecuador y todos ellos han sido aislados y acondicionados de modo poco eficiente. El motivo de la ineficiencia en el aislamiento y en el acondicionamiento acústico de los polígonos se debe justamente en gran parte a la falta de referencias y de información acerca de cómo hacerlo o qué parámetros tomar en cuenta al momento de realizarlo. Lo que ha provocado molestias a las personas que frecuentan este sitio y a las personas que residen cerca del mismo.

Debido a que estas incógnitas reflejan una falta de conocimiento del tema, se espera que el presente estudio sirva de referencia a personas que estén involucradas con esta actividad, sobre todo para precautelar la salud auditiva, que puede verse afectada a corto plazo y de manera irreversible.

### **1.5 Objetivos**

#### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de aislamiento y acondicionamiento acústico para el polígono de tiro del Club Rancho San Francisco, que garantice el bienestar auditivo de las personas que se desenvuelven entorno a este lugar.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar las mediciones de los distintos parámetros acústicos del recinto.
- Obtener a través de las mediciones, datos de la situación actual del polígono.
- Efectuar la medición para constatar los niveles de ruido que el polígono emite al ambiente exterior.
- Realizar un análisis de la exposición al ruido del personal que se desempeña en el lugar.
- Realizar un análisis de los datos obtenidos de las mediciones.
- Establecer un diseño, basándose en el cálculo de los distintos parámetros.
- Elaborar el presupuesto económico de dicho diseño, para determinar su factibilidad de construcción.
- Establecer con el presente estudio, un modelo que sirva de referencia para diseños posteriores de espacios destinados a la práctica de este deporte.

## 1.6 Hipótesis

Se pronostica que manipulando variables como el tiempo de reverberación, la geometría de la sala y el aislamiento acústico del recinto, se logrará reducir el ruido hasta en un 40% en el interior del polígono para mantener un confort auditivo y de igual forma al exterior del lugar, brindando así un medio ambiente saludable

## 2. Capítulo II

---

### 2.1 Marco Teórico

Para un mejor entendimiento de este trabajo, se enuncian los siguientes conceptos elementales que aparecen ordenados de forma metódica de manera que sea más sencilla su comprensión.

#### 2.1.1 Conceptos Elementales

##### 2.1.1.1 Acústica

“La Acústica es la disciplina que se ocupa de estudiar el sonido en sus diversos aspectos”<sup>2</sup>. Se puede dividir en una gran cantidad de subdisciplinas, como la Psicoacústica, Acústica musical, Acústica arquitectónica, Aislamiento acústico, etc. Para este estudio se referirá más en concreto a las dos últimas subdisciplinas antes mencionadas: la acústica arquitectónica y el aislamiento acústico.

##### 2.1.1.2 Sonido

El sonido es la sensación dada por el órgano del oído. Se demuestra fácilmente que un cuerpo no puede emitir sonido más que cuando vibra. Sus vibraciones son transmitidas, a través del aire al tímpano, que vibra a su vez y comunica sus vibraciones a la cadena de huesecillos del oído medio y después al oído interno, en el que afloran las ramificaciones del nervio auditivo. El sonido no transmite solamente a través del aire, sino, de manera general, en todos medios naturales (sólidos, líquidos o gaseosos); pero no se propaga en el vacío<sup>3</sup>.

##### 2.1.1.3 Frecuencia del Sonido (f)

Se define como el número de oscilaciones por segundo de la presión sonora “p” y se mide en Hertz [Hz] o ciclos por segundo.

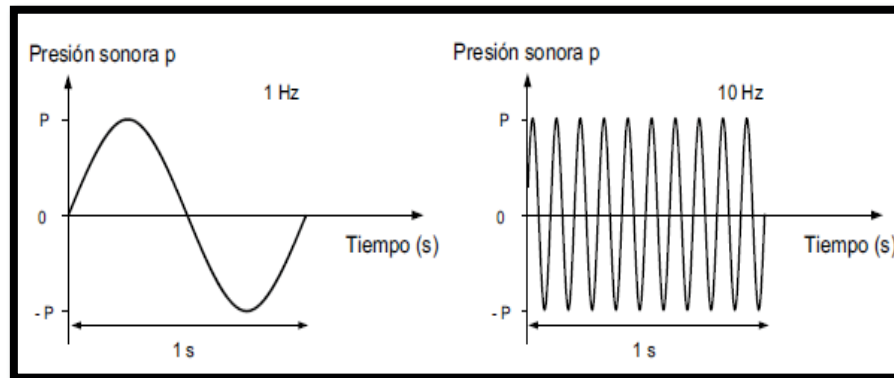
---

<sup>2</sup> MIYARA, Federico, “Acústica y Sistemas de Sonido”, Cuarta Edición, UNR Editora (Universidad Nacional de Rosario) 2006, Pág. 1.

<sup>3</sup> Nueva Enciclopedia Larousse, “Tomo Noveno”, Editorial Planeta, Barcelona, 1984. Pág. 9276.

Lógicamente, la frecuencia del sonido coincide con la frecuencia de la vibración mecánica que lo ha generado.

**Figura 2.1.** Ejemplos de presión sonora  $p$  asociada a oscilaciones de diferente frecuencia.



Fuente: CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos".

#### 2.1.1.4 Velocidad de Propagación del Sonido (c)

La velocidad de propagación del sonido es función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Debido a que, en el aire, ambas magnitudes dependen de la presión atmosférica estática  $P_0$  y de la temperatura, resulta que, considerando las condiciones normales de 1 atmósfera de presión y  $22^\circ\text{C}$  de temperatura, la velocidad de propagación del sonido es de aproximadamente 345 m/s.

Si bien el aire constituye el medio habitual de propagación de las ondas sonoras, conviene tener presente que el sonido puede propagarse a través de cualquier otro medio elástico y denso. "Cuanto más denso y menos elástico sea el medio, mayor será la velocidad del sonido a su través"<sup>4</sup>. Una velocidad aproximada (en metros/segundo) puede ser calculada mediante la siguiente fórmula empírica:

<sup>4</sup> CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos", Primera Edición, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1998, Pág. 32.

$$C = (331.5 + 0.6 \cdot \vartheta) \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (2.1)$$

Donde:

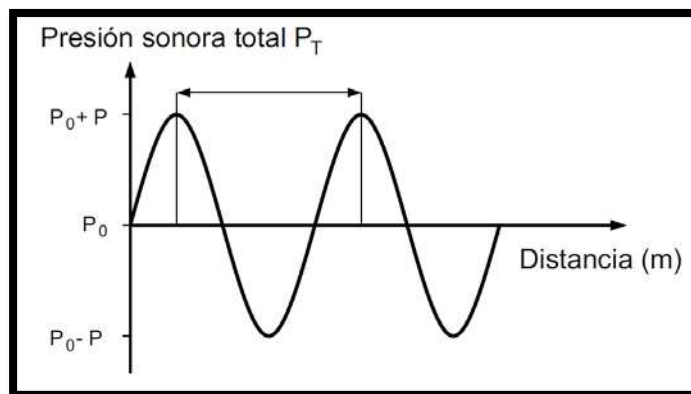
“ $\vartheta$ ” Es la temperatura en grados Centígrados [ $^{\circ}\text{C}$ ].

### 2.1.1.5 Longitud de Onda del Sonido ( $\lambda$ )

Una vez definidos los conceptos fundamentales de frecuencia y velocidad de propagación del sonido, es preciso definir otro concepto básico que guarda una estrecha relación con ambos: la longitud de onda del sonido.

Se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante de tiempo. Por ejemplo, si en un instante dado se seleccionan dos puntos consecutivos del espacio donde los valores de presión son máximos, la longitud de onda es precisamente la distancia entre ambos puntos.

**Figura 2.2.** Longitud de onda ( $\lambda$ ) del sonido.



Fuente: CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos".

La relación entre las tres magnitudes: frecuencia ( $f$ ), velocidad de propagación ( $c$ ) y longitud de onda ( $\lambda$ ), viene dada por la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$



Según se observa, para cada frecuencia, la longitud de onda depende del medio de propagación, ya que es proporcional a la velocidad, y ésta varía para cada medio.

Por otro lado, se puede ver que la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, es decir, cuanto mayor es  $f$  menor es  $\lambda$ , y viceversa.

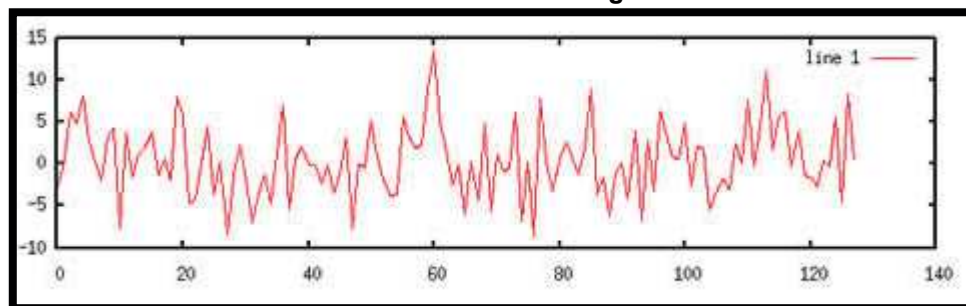
Por ejemplo, en el aire, las longitudes de onda correspondientes a la banda de frecuencias audibles se hallan situadas entre 17,25 [m] ( $f = 20$  Hz) y 1,72 [cm] ( $f = 20$  kHz).

### 2.1.1.6 Ruido

Definir al ruido resulta algo complicado, puesto que físicamente no hay distinción entre sonido y ruido por poseer una faceta subjetiva e individual. Cualquier sonido puede llegar a ser desagradable para una persona y con ello clasificarlo como ruido, todo depende del punto desde el cual se lo analice. De una manera amplia, se puede definir al ruido como un sonido no deseado que puede interferir en la recepción de un sonido.

De esta manera, el ruido es considerado como un sonido molesto, producido por la mezcla de ondas sonoras de distintas frecuencias y distintas amplitudes. La mezcla se produce a diferentes niveles ya que se conjugan tanto las frecuencias fundamentales como los armónicos que las acompañan. La representación gráfica de este ruido es la de una onda sin forma (la sinusoide ha desaparecido) como se puede ver a continuación en la figura:

**Figura 2.3.** Onda con ruido.



Fuente: <http://www.machin.com.mx/archives/146>.

### 2.1.1.7 Presión Sonora

Según se ha visto, el sonido puede considerarse como una sucesión de ondas de compresión seguidas por ondas de descompresión que se propagan por el aire a una velocidad de 345 m/s<sup>5</sup>. Sin embargo, si una persona se ubicara en una posición fija, vería que la presión atmosférica aumenta y disminuye periódicamente, conforme pasan por el lugar las sucesivas perturbaciones. Para distinguir este incremento de la presión atmosférica en ausencia de sonido, se lo denomina *presión sonora*, abreviada *p*. Así, la presión sonora es lo que se debe agregar a la presión atmosférica en reposo para obtener el valor real de presión atmosférica.

### 2.1.1.8 Nivel de Presión Sonora (Lp)

Dado que el rango de presión sonora que podemos escuchar es muy amplio se transformó a una escala logarítmica que va desde 0 [dB] ( $2 \cdot 10^{-5}$  [Pa]) que es el mínimo nivel que una persona puede escuchar a una frecuencia de 1000 [Hz] hasta 120 [dB] (20 [Pa]) que es el umbral de dolor, no existe un valor máximo en esta escala.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$L_p = 20 * \log \frac{P}{P_{ref}} [dB] \quad (2.3)$$

Dónde:

$P_{ref}$  = Mínimo nivel que una persona puede escuchar a una frecuencia de 1000 [Hz]  $2 \cdot 10^{-5}$  [Pa].

### 2.1.1.9 Potencia Sonora

La potencia acústica es la cantidad de energía por unidad de tiempo (potencia), emitida por una fuente determinada en forma de ondas sonoras. La potencia acústica viene determinada por la propia amplitud de la onda, pues cuanto

---

<sup>5</sup> MIYARA, Federico, "Acústica y Sistemas de Sonido", Cuarta Edición, UNR Editora (Universidad Nacional de Rosario) 2006, Pág. 7.

mayor sea la amplitud de la onda, mayor es la cantidad de energía (potencia acústica) que genera. La potencia acústica es un valor intrínseco de la fuente y no depende del local donde se halle, el valor no varía por estar en un local reverberante o en uno seco.

#### **2.1.1.10 Nivel de Potencia Sonora ( $L_w$ )**

El nivel de potencia sonora es la energía que una fuente puede emitir en un tiempo determinado. Este parámetro define únicamente cualidades de la fuente es decir que no importa en el medio que la fuente se encuentre este valor a va ser constante mientras se trabaje con la misma fuente. El valor puede cambiar si existe algún mal funcionamiento de la fuente como condiciones de operación defectuosas, falta de mantenimiento de sus componentes, etc.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$L_w = 10 * \log \frac{W}{W_{ref}} [dB] \quad (2.4)$$

Donde:

$$W_{ref} = 10^{-12} [W].$$

#### **2.1.1.11 Intensidad Sonora**

Es la energía sonora que atraviesa una sección de área normal a la dirección de propagación del sonido en 1(s) su unidad es potencia sobre área [ $W / m^2$ ].

#### **2.1.1.12 Nivel de Intensidad Sonora ( $L_i$ )**

Es la razón en decibeles de dos intensidades sonoras.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$L_i = 10 * \log \frac{I}{I_{ref}} [dB] \quad (2.5)$$

Donde:

$$I_{ref} = 10^{-12} [W / m^2].$$

### 2.1.1.13 Curvas Isofónicas

Estas curvas calculan la relación existente entre la frecuencia y la intensidad (en decibeles) de dos sonidos para que éstos sean percibidos como igual de fuertes, con lo que todos los puntos sobre una misma curva isofónica tienen la misma sonoridad.

Así, si 0 Fon corresponden a una sonoridad con una intensidad de 0 dB con una frecuencia de 1 kHz, también una sonoridad de 0 Fon podría corresponder a una sonoridad con una intensidad de 60 dB con una frecuencia de 70 Hz.

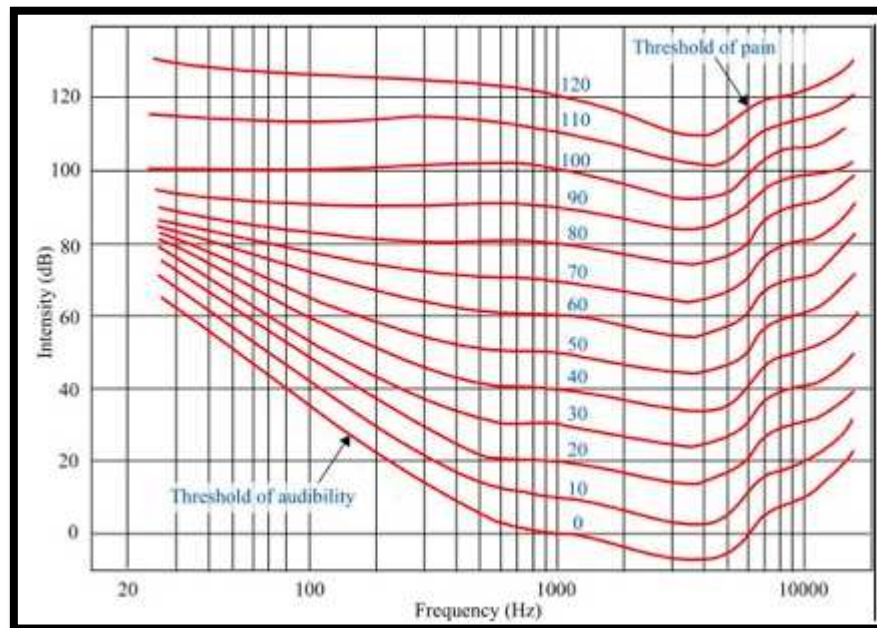
Las primeras curvas de igual sonoridad fueron establecidas por Fletcher y Munson en 1930.

En estas curvas isofónicas se observa cómo a medida que aumenta la intensidad sonora, las curvas se hacen, cada vez, más planas. Esto se traduce en que la dependencia de la frecuencia es menor a medida que aumenta el nivel de presión sonora, lo que significa que si disminuye la intensidad sonora los últimos sonidos perceptibles en desaparecer serían los agudos (altas frecuencias).

Las curvas de Fletcher y Munson fueron recalculadas, más tarde, por Robinson y Dadson.

Las curvas Fletcher y Munson y las curvas de Robinson y Dadson sólo son válidas para un campo sonoro directo, dado que no tienen en cuenta que no percibimos por igual los sonidos si provienen de diferentes direcciones (campo sonoro difuso). Las curvas isofónicas también son curvas que relaciona como escucha el oído en función de la presión y de la frecuencia.

**Figura 2.4.** Curvas de Fletcher y Munson.



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Curva\\_isofónica](http://es.wikipedia.org/wiki/Curva_isofónica).

## 2.1.2 Conceptos de Acondicionamiento Acústico

### 2.1.2.1 Acústica Arquitectónica

La *Acústica Arquitectónica*, estudia los fenómenos relacionados o vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto, ya sea una sala de concierto o un estudio de grabación. Esto involucra también el problema de la aislación acústica.

Las habitaciones o salas dedicadas a una aplicación determinada (por ejemplo para la grabación de música, para conferencias o para conciertos) deben tener cualidades acústicas adecuadas para dicha aplicación. Por *cualidades acústicas* de un recinto se entiende una serie de propiedades relacionadas con el comportamiento del sonido en el recinto, entre las cuales se encuentran las reflexiones tempranas, la reverberación, la existencia o no de ecos y resonancias, la cobertura sonora de las fuentes, entre otras<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> MIYARA, Federico, "Acústica y Sistemas de Sonido", Cuarta Edición, UNR Editora (Universidad Nacional de Rosario) 2006, Pág. 44.

### 2.1.2.2 Absorción

Está definida como la capacidad de una superficie determinada, para transformar energía acústica en calor. Se la calcula de la siguiente manera:

$$A = S \cdot \alpha \text{ [m}^2 \text{ Sabine]} \quad (2.6)$$

A esta absorción se la conoce como *Absorción Sabine*, en honor a la persona que desarrollo esta teoría. La unidad surge de la necesidad de cuantificar la absorción producida por una superficie cualquiera.

### 2.1.2.3 Coeficiente de Absorción ( $\alpha$ )

El coeficiente de absorción está definido como la relación entre la intensidad energética absorbida y la incidente. Cuantifica la capacidad de un material para absorber energía. Generalmente el  $\alpha$  se especifica por bandas de octava desde 125 [Hz] a 4 [KHz] y tiende a aumentarse en alta frecuencia.

### 2.1.2.4 Coeficiente de Absorción Medio

Cuantifica la cantidad de energía que un recinto es capaz de absorber, teniendo en cuenta que dentro de él, existen varias superficies que poseen distintos " $\alpha$ ". El  $\alpha$  medio se define como el promedio ponderado de todas las absorciones presentes en el recinto, dividido para la superficie total del mismo.

### 2.1.2.5 Tiempo de Reverberación (RT)

Con el fin de poder cuantificar la reverberación de un recinto, se define el tiempo de reverberación (Forma abreviada RT) a una frecuencia determinada como el tiempo (en segundos) que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora SPL cae 60 dB con respecto a su valor inicial.

Un recinto con un RT grande se denomina "vivo" (nave industrial, iglesia, etc.), mientras que si el RT es pequeño recibe el nombre de recinto "apagado" o "sordo" (locutorio, estudio de grabación, etc.). Ambas denominaciones coinciden con las del apartado anterior, lo cual es lógico habida cuenta de que el nivel de campo reverberante aumenta con el tiempo de reverberación.

Por lo general, el RT varía con la frecuencia, tendiendo a disminuir a medida que ésta aumenta. Ello es debido, en parte, a las características de mayor absorción con la frecuencia de los materiales comúnmente empleados como revestimientos, así como a la absorción del aire, especialmente manifiesta en recintos grandes y a altas frecuencias.

#### **2.1.2.6 Propagación del Sonido en un Recinto Cerrado**

En un recinto cerrado, la energía que radia una fuente sonora puede llegar al oyente de dos maneras distintas: de manera directa (sonido directo), que es cuando el sonido llega en línea directa desde la fuente sin reflexiones y de manera indirecta (sonido reflejado), que es el sonido que llega al oyente debido a la múltiples reflexiones de éste producidas por las paredes, piso y techo del recinto.

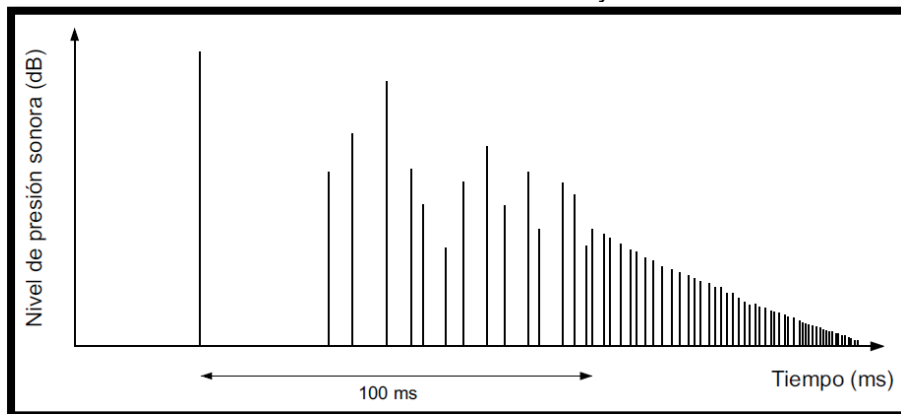
La energía que llega al oyente del sonido directo, depende de la distancia entre la fuente y el oyente, y de la potencia acústica de la fuente, mientras que la energía que corresponde al sonido reflejado depende del camino que ha recorrido la onda reflejada y de la absorción que presenten los materiales que revisten las superficies del recinto.

#### **2.1.2.7 Sonido Reflejado**

Al analizar dentro de un recinto cómo llega el sonido reflejado al oyente, se pueden determinar dos tipos de reflexiones: primeras reflexiones o reflexiones tempranas, que son las que llegan inmediatamente después del sonido directo, y reflexiones tardías que son las que forman la cola reverberante.

Las reflexiones tempranas son aquellas que llegan dentro de los primeros 50 [ms] aproximadamente, pero este valor puede variar dependiendo del mensaje que se transmite, por ejemplo: para mensaje oral hasta 50 [ms], cuando se trata de música este valor puede variar hasta los 100 [ms].

**Figura 2.5.** Ecograma del sonido directo, las primeras reflexiones y la cola reverberante.



Fuente: CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos".

### 2.1.2.8 Reflexiones y Ecos

Todas aquellas reflexiones que llegan a un oyente dentro de los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo son integradas por el oído humano y, en consecuencia, su percepción no es diferenciada respecto al sonido directo.

Cuando el sonido emitido es un mensaje oral, tales reflexiones contribuyen a mejorar la inteligibilidad o comprensión del mensaje y, al mismo tiempo, producen un aumento de sonoridad (o sensación de amplitud del sonido).

Por el contrario, la aparición en un punto de escucha de una reflexión de nivel elevado con un retardo superior a los 50 ms es totalmente contraproducente para la obtención de una buena inteligibilidad de la palabra, ya que es percibida como una repetición del sonido directo (suceso discreto). En tal caso, dicha reflexión se denomina eco. El retardo de 50 ms equivale a una diferencia de caminos entre el sonido directo y la reflexión de, aproximadamente 17 m.

### 2.1.2.9 Primeras Reflexiones. Acústica Geométrica

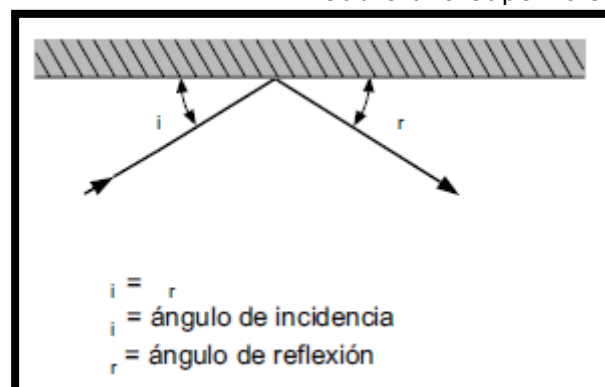
Se consideran primeras reflexiones cuando estas se han reflejado hasta tres veces antes de llegar al receptor; o cuando la variación del nivel de presión sonora con respecto al sonido emitido por la fuente es menor a 100 dB. Las primeras reflexiones poseen un nivel energético mayor que las tardías, esto se debe a que las primeras reflexiones se han reflejado menos veces antes de llegar al receptor.



Para analizar el comportamiento de las primeras reflexiones se utiliza la acústica geométrica. Esta es una forma de ver cómo se reflejaría el sonido suponiendo que las reflexiones son especulares, de esta forma se trazan los rayos sonoros como si fueran rayos de luz. Las reflexiones especulares se rigen por la ley de reflexión regular, la cual establece que cuando un rayo es reflejado por una superficie, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, es decir, que el ángulo formado por el rayo del sonido incidente con la superficie, es igual al ángulo formado por dicha superficie y el rayo reflejado.

En la práctica para que las reflexiones sean especulares, la superficie de reflexión debe ser grande en comparación a la longitud de onda del sonido, y debe ser lisa de un material que sea reflejante.

**Figura 2.6.** Reflexión especular del sonido sobre una superficie.



*Fuente: CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos".*

Schröder expone una frecuencia límite inferior, la cual posee una longitud de onda pequeña comparada con la dimensión de la sala, permitiendo que desde la misma este análisis sea válido. Para determinar dicha frecuencia se emplea la siguiente ecuación:

$$F = 2000 * \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (2.7)$$

Donde:

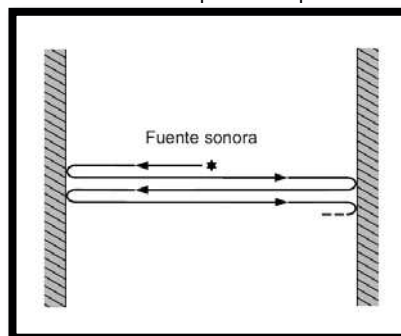
T = Tiempo de Reverberación de la Sala.

V = Volumen de la Sala.

### 2.1.2.10 Eco Flotante (Flutter Echo)

El eco flotante consiste en una repetición múltiple, en un breve intervalo de tiempo, de un sonido generado por una fuente sonora, y aparece cuando ésta se sitúa entre dos superficies paralelas, lisas y muy reflectantes.

**Figura 2.7.** Eco flotante aparecido al colocar la fuente sonora entre dos paredes paralelas.



Fuente: CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos".

### 2.1.2.11 Acústica Estadística

Mientras mayores sean las dimensiones de la sala en estudio con relación a las longitudes de onda que se generan dentro de ella, y conforme va aumentando el valor de la frecuencia, el número de modos normales es tan grande que analizar el comportamiento de ellas por medio de la ecuación de ondas se vuelve muy complicado. En estos casos se trabaja con la acústica estadística que se basa en la ecuación de la densidad de energía:

$$D = \frac{\langle P \rangle^2}{\rho c} \quad (2.8)$$

Donde:

D = Densidad de Energía.

P = Magnitud de la presión sonora promediada en el tiempo y espacio.

$\rho$  = Densidad del aire. 1,18  $\left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$

c = Velocidad del sonido 344  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

#### 2.1.2.12 Campo directo y campo reverberante

Siguiendo con la hipótesis de régimen permanente y aplicando exclusivamente la teoría de la acústica estadística, resulta que la energía sonora total presente en cualquier punto de una sala se obtiene como suma de una energía de valor variable, que depende de la ubicación del punto, y otra de valor constante. Se supone que se parte de una fuente sonora de directividad conocida que radia una potencia constante.

La energía de valor variable corresponde al sonido directo, y disminuye a medida que el receptor se aleja de la fuente, mientras que la energía de valor constante va asociada al sonido indirecto o reflejado. El hecho de que dicha energía no dependa del punto en consideración proviene de aplicar la teoría estadística a todo el sonido reflejado y, en consecuencia, de tratar por igual todas las reflexiones, sean primeras o tardías (cola reverberante). Esta hipótesis teórica conduce a resultados evidentemente aproximados, si bien presenta la ventaja de la simplicidad de cálculo de la energía total<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos", Primera Edición, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1998, Pág. 61.

Habitualmente no se trabaja en términos de energía, sino de nivel de presión sonora SPL, lo cual es totalmente equivalente. Ello se debe a que, en la práctica, el nivel SPL es fácilmente medible. Por lo tanto, según lo que se acaba de exponer, la presión sonora total en un punto cualquiera de un recinto se obtiene a partir de la contribución de las presiones del sonido directo (disminuye con la distancia a la fuente) y del sonido reflejado (se mantiene constante).

La zona donde predomina el sonido directo se denomina zona de campo directo. A dicha zona pertenecen los puntos más próximos a la fuente sonora y en ella el nivel de presión sonora, llamado nivel de campo directo LD, disminuye 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente. Es como si el receptor estuviese situado en el espacio libre.

La zona donde predomina el sonido reflejado recibe el nombre de zona de campo reverberante (es por ello que a dicho sonido también se le denomina sonido reverberante). A ella pertenecen los puntos más alejados de la fuente sonora. En esta zona, el nivel de presión sonora, denominado nivel de campo reverberante LR, se mantiene constante<sup>8</sup>.

La distancia para la cual LD = LR se denomina distancia crítica Dc. Se puede demostrar que:

$$D_c = 0,14 \sqrt{QR} \quad (2.9)$$

Donde:

Q = factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada.

R = constante de la sala

St = superficie total de la sala [m<sup>2</sup>]

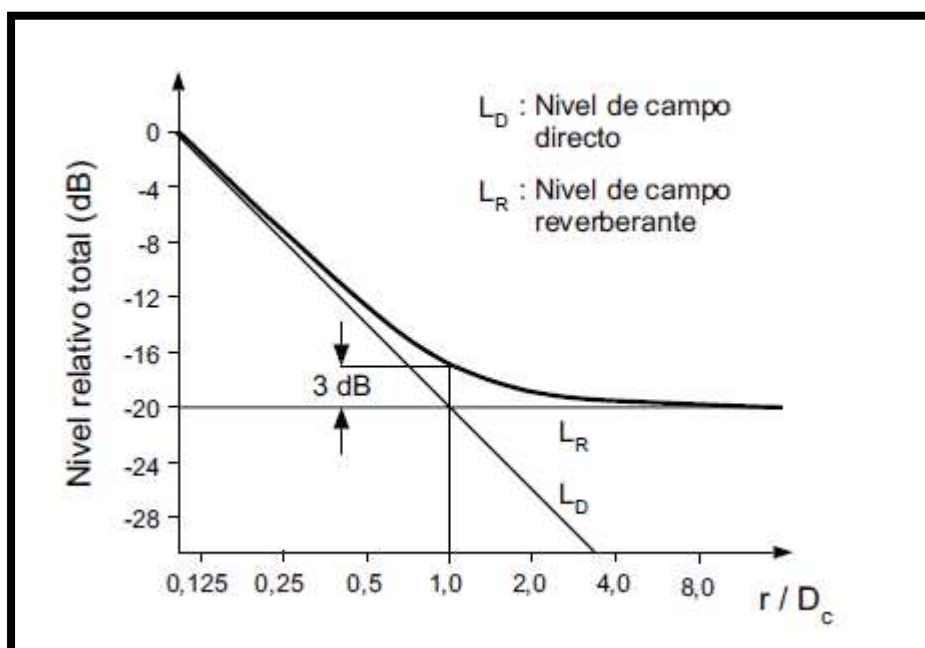
$\alpha$  = coeficiente medio de absorción de la sala.

A continuación se muestra la evolución del nivel relativo total de presión sonora en función de la distancia a la fuente, normalizada con respecto a la distancia crítica Dc:

---

<sup>8</sup> CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos", Primera Edición, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1998, Pág. 61.

**Figura 2.8.** Evolución del nivel relativo total de presión sonora.



Fuente: CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos".

### 2.1.2.13 Modos Normales de Vibración

En toda sala existen ondas estacionarias que son la combinación de ondas incidentes y reflejadas en las paredes de la misma, que al interactuar entre ellas van a generar los modos normales de vibración propios de una sala. Cada modo normal está asociado a una frecuencia, cuyo valor de nivel de presión sonora va a ir variando en función del punto que se esté estudiando dentro de la sala. La geometría y las dimensiones de la sala, son las que van a determinar los valores de las frecuencias de los modos normales de dicha sala y determinar este caso se puede utilizar la fórmula de Rayleigh, para encontrar los valores de las frecuencias asociadas a los modos normales propios de una sala sus valores resulta muy complicado, a excepción de recintos en forma de paralelepípedo que tengan sus paredes totalmente reflectantes, en.

$$F_{k,m,n} = 172.5 \sqrt{\left(\frac{k}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{m}{Ly}\right)^2 + \left(\frac{n}{Lz}\right)^2} \quad (2.10)$$

Donde:

$Lx, Ly, Lz$ , representan las dimensiones de la sala (en metros)

$K, m, n$ , pueden tomar cualquier valor entero (0, 1, 2, 3,...)

Cada combinación de valores  $k, m, n$ , da lugar a una frecuencia y modo propio asociado, que recibe el nombre de modo propio  $k, m, n$ . Por ejemplo la combinación:

$K=2; m=1; n=1$  da lugar al modo propio 2, 1, 1.

El número de modos normales es infinito, aunque su distribución a lo largo del eje de la frecuencia es discreta, va aumentando su densidad conforme aumenta la frecuencia. Esto provoca una concentración de energía alrededor de las diferentes frecuencias de los modos normales dando un sonido característico a cada sala, que recibe el nombre de “coloración” que es mucho más notorio en salas de dimensiones relativamente pequeñas, como por ejemplo, en estudios de grabación<sup>9</sup>. El significado de coloración de sonido, a partir de una cierta frecuencia, deja de tener sentido, ya que una alta acumulación de modos normales da como resultado la ausencia de éstos, por el hecho de que deja de existir concentraciones discretas de energía.

En conclusión, el efecto de los modos normales tiene una mayor incidencia en salas pequeñas, como locutorios, salas de control de estudios de grabación, etc. La manera práctica de minimizar dicho efecto es mediante la utilización de sistemas electrónicos de ecualización, o si es posible diseñando salas cuyas paredes no sean paralelas entre sí. En general, las frecuencias de los modos normales cuyo efecto se pretende atenuar, suelen estar situados por debajo de los 300 Hz.

---

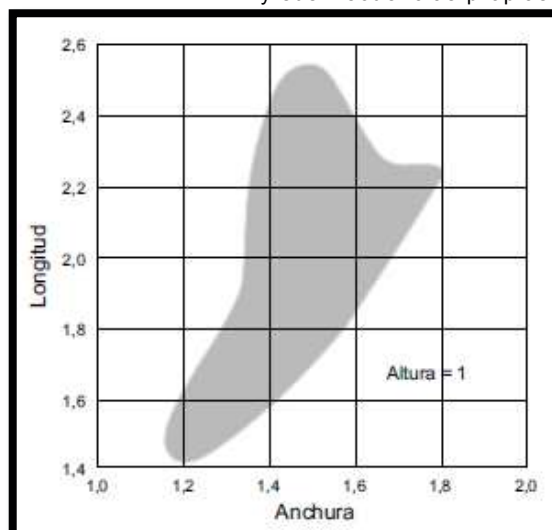
<sup>9</sup> CARRIÓN, Antoni, “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”, Primera Edición, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1998, Pág. 56.

En el caso de recintos grandes, como teatros, salas de concierto e iglesias, la coloración del sonido a causa de los modos normales es prácticamente nula y, por tanto, no se tiene en cuenta en la fase de diseño, ya que estos modos caen en frecuencias muy bajas, por lo general inferiores a los 40Hz o incluso 30 Hz, que para ser escuchados necesitan mucha presión sonora y suelen estar uniformemente distribuidos.

#### 2.1.2.14 Diagrama de Bolt

Es un diagrama que representa una zona sombreada indicativa del conjunto de relaciones recomendadas entre la longitud y la anchura de una sala rectangular (suponiendo una altura normalizada de valor 1), con el objeto de obtener una distribución lo más uniforme posible de sus frecuencias propias.

**Figura 2.9.** Relaciones recomendadas entre Las dimensiones de una sala rectangular y sus frecuencias propias.



Fuente: CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos".

### 2.1.3 Conceptos de Aislamiento Acústico

#### 2.1.3.1 Aislación Acústica

Aislar acústicamente un recinto significa impedir que los sonidos generados dentro del mismo trasciendan hacia el exterior y, recíprocamente, que los ruidos externos se perciban desde su interior.

La aislación acústica o aislación sonora es muy importante en todo lo que tenga que ver con sonido profesional. Si el recinto es una sala de concierto o de espectáculos en la cual se ejecuta o se propaga música a alto nivel sonoro, es preciso evitar que los sonidos trasciendan convirtiéndose en ruidos molestos al vecindario<sup>10</sup>.

### 2.1.3.2 Pérdida por Transmisión (TL)

Está definido como la relación logarítmica entre la energía incidente y la energía transmitida a través de la partición. Cuantifica el aislamiento producido por dicha partición en dB, por lo tanto, mientras más alto es su valor, mayor aislamiento por parte de dicha partición.

Se la puede calcular con la siguiente fórmula:

$$TL = 10 \log \frac{Li}{Lt} \quad (2.11)$$

Donde:

$li$  = Intensidad de Energía incidente [ $w/m^2$ ]

$lt$  = Intensidad de Energía transmitida [ $w/m^2$ ]

### 2.1.3.4 Partición Simple

Partición simple es aquella en la cual sus dos caras exteriores se encuentran rígidamente conectadas, como por ejemplo muros de ladrillo, hormigón, etc. Los muros tipo sándwich también pueden ser particiones simples si es que su interior es rígido. El aislamiento acústico que brinda una partición depende principalmente de su masa por unidad de superficie, de su rigidez, y del amortiguamiento que posea el material del que está construida. Mientras mayor densidad de masa tenga un muro, este tendrá un mayor TL, ya que al ser más pesado vibra menos cuando una onda sonora incide sobre él, e irradia menor energía sonora hacia el otro lado.

---

<sup>10</sup> MIYARA, Federico, "Acústica y Sistemas de Sonido", Cuarta Edición, UNR Editora (Universidad Nacional de Rosario) 2006, Pág. 54.



### 2.1.3.5 Acoplamiento Mecánico

Es importante que dentro de una cámara de aire de una pared doble, no existan conexiones rígidas entre los muros, ya que el ruido se puede transmitir de manera directa de un muro al otro como ocurre con la vibración en los materiales sólidos. En vez de esto el sonido se debe transmitir a través de la cámara de aire, lo que supone una vía de transmisión poco efectiva para el sonido, excepto para frecuencias próximas a la  $f_{mam}$ .

Si las uniones mecánicas que unen a los dos muros están hechas de algún material flexible, la transmisión estructural será atenuada. Cuando se transmite vibración a través de las uniones entre los muros, el tener la cámara rellena de material absorbente no representará una mejora aparente.

### 2.1.3.6 Ley de Masa

Es una expresión semiempírica que puede ser utilizada para predecir la pérdida por transmisión de particiones delgadas, homogéneas y simples<sup>11</sup>. La ley de masa está expresada en la ecuación:

$$TL = 20 \log (mf) - 48 \quad [\text{dB}] \quad (2.12)$$

Donde:

TL = Pérdida por Transmisión [dB].

m = Masa por unidad de superficie de la partición  $\left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$ .

f = Frecuencia [Hz].

---

<sup>11</sup> HARRIS, Cyril, "Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido", Volumen II, Pág. 31.6.

De la ecuación se puede concluir que va a haber mayor pérdida por transmisión, conforme se aumenta la masa, esto se debe a que al hacer más pesada la partición, ésta va a estar más limitada a vibrar en respuesta al frente de onda que incide sobre ésta, y por lo tanto, irradiará meno energía sonora hacia el otro lado.

Esta ley también predice que cada vez que se duplique la masa de la superficie, la pérdida por transmisión aumentará en 6 dB, y ésta también puede aumentar si el material de la partición es más denso. De la misma manera, fijada la densidad de la partición, la pérdida de transmisión crece con la frecuencia. Por esta razón los sonidos de frecuencia baja atraviesan fácilmente las paredes, lo que no ocurre con los sonidos de frecuencia alta.

Para cuantificar la insonorización que es capaz de brindar una partición se utiliza la siguiente ecuación<sup>12</sup>:

$$R = 10 \log \left\{ \frac{m \cdot \omega \cdot \cos \theta \cdot f}{2 \cdot d \cdot v} \right\}^2 \quad [\text{dB}] \quad (2.13)$$

Donde:

$m$  = Densidad del material  $\left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$

$\omega$  = Pulsación de onda  $[2 \cdot \pi \cdot f]$ .

$\theta$  = Ángulo de incidencia del sonido en el cerramiento  $[0^\circ]$ .

$d$  = Densidad del aire  $1,18 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$

$v$  = Velocidad del sonido  $344 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

$f$  = Frecuencia del sonido [Hz].

---

<sup>12</sup> BOLAÑOS, Guillermo, "Diseño Acústico en Proyecto de Rehabilitación Integral del Teatro Capitol", Tesis, Universidad de las Américas, Quito-Ecuador, 2009, Pág. 67.

### 2.1.3.7 Rigidez y Efecto de Coincidencia

Por lo general, hay un rango de frecuencias en que la pérdida por transmisión de una partición está controlada por su rigidez y amortiguamiento. El efecto es más pronunciado a la frecuencia crítica, en que la longitud de onda de las ondas libremente flexionadas en el panel coincide con la longitud de onda del sonido incidente. La pérdida media muestra una bajada por “efecto de coincidencia” característica a frecuencias que van desde las inmediatas inferiores a la frecuencia crítica hasta una octava o más por encima de ésta<sup>13</sup>.

La rigidez y el grosor del material que compone la partición, son los que van a determinar la frecuencia crítica en la cual se produce una reducción en la transmisión sonora, mientras más rígida o gruesa sea la capa del material, más baja será esta frecuencia.

### 2.1.3.8 Límites Máximos Permisibles de Nivel de Ruido Ambiente para Fuentes Fijas

En el Distrito Metropolitano de Quito se aplica la Norma Técnica (Resolución 002) de la Ordenanza Metropolitana 213, en la cual dice que los niveles de presión sonora equivalente, NPSeq<sup>14</sup>, expresados en decibeles, en ponderación con escala A, que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, no podrán exceder los valores que se fijan en la tabla:

---

<sup>13</sup> HARRIS, Cyril, “Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido”, Volumen II, Pág. 31.7.

<sup>14</sup> Nivel de Presión Sonora Equivalente (NPS eq): Es aquel nivel de presión sonora constante, expresado en decibeles [dB], que en el mismo intervalo de tiempo, contiene la misma energía total que el ruido medido.

**Tabla 2.2.** Niveles Máximos de Ruido Permisibles según Uso de Suelo.

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dBA]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
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

#### 2.1.4 Conceptos de Arma y Munición

##### 2.1.4.1 Breve Historia del Surgimiento de las Armas

Las *armas* nacieron de la necesidad del hombre de protegerse de los ataques de los animales y de sus propios semejantes (armas defensivas), o de atacarlos a su vez (armas ofensivas). Para fabricar sus armas el hombre ha empleado todos los recursos de su inteligencia y de la técnica de cada época, hasta el punto de que los inventos más importantes (pólvora, energía atómica) han tenido su origen en una utilización militar.

La aparición de *las armas de fuego* en los siglos XV y XVI condujo a nuevas clasificaciones de estas armas, que se distinguían y oponían a las armas blancas. Según la forma en que funcionan se distingue *armas de mecha*, como el primitivo arcabuz; *armas de chispa*, cuyo cebo se enciende con las chispas que da el rastrillo al chocar con el pedernal; *armas de percusión*, en las que la pólvora se inflama por el choque de una pieza llamada percutor.

Hoy se clasifican las armas de fuego en *individuales* (fusil, pistola, revólver, etc.) y *colectivas*, que requieren el servicio de varias personas (cañón, mortero, ametralladora)<sup>15</sup>.

Para este trabajo se hará mención de dos armas en particular: el revólver calibre 38 [mm] y la pistola calibre 9 [mm]; puesto que estas armas son las más utilizadas comúnmente para el deporte de la práctica de tiro en el país.

#### 2.1.4.2 Revólver

Arma corta caracterizada por una recámara múltiple (que aloja 5 ó 6 cartuchos) en forma de tambor, cuyo giro se produce al accionar el gatillo, dejando un nuevo cartucho ante el mecanismo percutor.

Aunque su sistema de recarga no es tan rápido como el de la pistola automática, la seguridad que ofrece el revólver en cuanto a probabilidad casi nula de encasquillamiento e inferior peligro de disparo fortuito ha revalorizado su empleo<sup>16</sup>.

**Figura 2.11.** Bosquejo de un revólver de 6 cartuchos.



Fuente: <http://www.clker.com/clipart-15171.html>.

<sup>15</sup> Nueva Enciclopedia Larousse, "Tomo Primero", Editorial Planeta, Barcelona, 1984. Pág. 682.

<sup>16</sup> Nueva Enciclopedia Larousse, "Tomo Noveno", Editorial Planeta, Barcelona, 1984. Pág. 8514.

### 2.1.4.3 Pistola

Arma de fuego individual, corta, ligera, de tiro tenso, generalmente semiautomática, destinada preferentemente a la defensa personal<sup>17</sup>. Su alcance eficaz es de unos 50 metros, la capacidad de su cargador oscila entre los 6 y 20 cartuchos, y su peso se aproxima al kilogramo.

**Figura 2.12.** Bosquejo de una pistola semiautomática de 11 cartuchos.



Fuente: <http://www.clker.com/clipart-15173.html>.

### 2.1.4.4 Munición

Se denomina munición a la carga que se pone en las armas de fuego, generalmente son pedazos de plomo en forma esférica que encabezan el cartucho.

### 2.1.4.5 Calibre

Se refiere al diámetro de un proyectil, también se refiere al diámetro interior del cañón de las armas de fuego, habitualmente se lo especifica en milímetros.

## 2.1.5 Conceptos de Control de Ruido

### 2.1.5.1 Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq)

Es un estadístico que proporciona una sumatoria en cada instante de la medición sin tomar en cuenta cuanto duro dicha medición, se obtiene un solo resultado que puede ser presentado como el nivel de presión sonora que hay en ese lugar.

---

<sup>17</sup>Nueva Enciclopedia Larousse, "Tomo Noveno", Editorial Planeta, Barcelona, 1984. Pág. 7821.

$$L_{eq} = 10 * \log \frac{\frac{1}{T} \int_0^T P_A^2 dt}{P_{ref}^2} \quad [dB] \quad (2.14)$$

### 2.1.5.2 Nivel de Exposición Sonora (SEL)

Este parámetro se aplica para eventos de corta duración, es un nivel constante en un tiempo de 1 [s] que posee la energía de todo el evento que ocurrió. Es un equivalente de  $L_{eq}$  pero en vez del tiempo total de la medición es un acumulado en 1 [s].

## 3. Capítulo III

---

### 3.1 Descripción de la Situación Actual

#### 3.1.1 Ubicación del Recinto

**Figura 3.1.** Vista satelital de las instalaciones del Club Rancho San Francisco.



*Fuente: Google Maps.*

El Club Rancho San Francisco se encuentra ubicado en el sector de Miravalle en el Kilómetro 1.3 vía a Tanda al Noreste de Quito, con coordenadas  $0^{\circ} 10' 58.65''$  S y  $78^{\circ} 26' 34.12''$  W, tomadas con dispositivo GPS; se sitúa en un sector residencial, está delimitado al Sur y al Este por una arbolada extensa, al Norte por la carretera principal que conduce a Tanda y al Este por conjuntos habitacionales, cabe mencionar también que el Club funciona dentro de una urbanización residencial, es decir, que existen varios motivos por los cuales se deben cumplir con las disposiciones que exige para este caso la Ordenanza



Metropolitana 213, que establece los límites máximos permisibles de ruido según el uso de suelo del sector.

En cuanto al polígono de tiro, éste se encuentra en el edificio central en la planta baja, junto a un corredor principal que lo separa de las canchas de squash y del área de oficinas, posee una puerta con cerradura electrónica para el acceso del personal autorizado y el de las personas que van a practicar.

### **3.1.2 Forma y Dimensiones del Recinto**

En su interior el polígono alberga un cuarto de extensiones pequeñas donde se almacenan las armas y las municiones que se denomina “rastrillo”, siguiendo por el corredor se ingresa a una sala con gradas para los espectadores que está separada de la galería de tiro por unos ventanales y una puerta. Ya en la galería existen cinco cabinas de tiro, en el techo encima de cada cabina hay una rejilla para el paso de aire que permite la extracción del humo que resulta de la explosión de la munición, puesto que por el plomo y los demás metales pesados que se utilizan en su fabricación resultaría peligroso mantenerse en el lugar con muy poca ventilación.

La galería es de forma rectangular, las paredes son de bloque enlucido, texturado y pintado, están recubiertas por lana mineral pero de manera desordenada, no uniforme; al final de la pista se encuentra una trampa de balas, que consiste en una estructura de acero con varios niveles similares a unas gradas con ranuras, donde se depositan las balas que impactan contra esta superficie. A continuación se muestran las dimensiones del recinto en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1.** Dimensiones del Recinto.

<b>GALERIA DE TIRO</b>	
ALTURA	4.00 [m]
LONGITUD	25.00 [m]
ANCHO	6.00 [m]
SUPERFICIE TOTAL	470.20 [m <sup>2</sup> ]
VOLUMEN TOTAL	600.00 [m <sup>3</sup> ]
SUPERFICIE PAREDES	217.52 [m <sup>2</sup> ]
SUPERFICIE TECHO	150.00 [m <sup>2</sup> ]
SUPERFICIE PISO	150.00 [m <sup>2</sup> ]
SUPERFICIE VENTANAS	5.52 [m <sup>2</sup> ]
SUPERFICIE PUERTA	1.40 [m <sup>2</sup> ]
SUPERFICIE TRAMPA DE BALAS	24.00 [m <sup>2</sup> ]

### 3.1.3 Medición In Situ

La medición de detonación de la munición se realizó el día jueves 10 de marzo del 2011, de 17H00 a 18H00, siguiendo los lineamientos que establece la norma UNE-EN ISO-17201-1 que se refiere a ruido en galerías de tiro.

Lo que se hizo fue medir la detonación en la salida en primer lugar de un revólver calibre 38 [mm] y posteriormente de una pistola calibre 9 [mm] con el objeto de obtener los valores de presión sonora a los que están sometidos las personas dentro de la galería de tiro. Se procuró para ambos casos que la boca del arma quede a una altura de 1.6 [m]  $\pm$  0.05 [m] respecto al suelo, el micrófono de medición marca AUDIX, modelo TR40 se colocó a 10 [m] de distancia de la ubicación del arma y a una altura de 1.5 [m] por encima del suelo, orientado a incidencia rasante y se utilizó además el software SPECTRAPLUS 5.0 con una interface M-AUDIO modelo FAST TRACK PRO; los dispositivos antes mencionados cumplen con las requisitos que exige la norma UNE-EN ISO-17201-1, es decir, poseen un ancho de banda adecuado y un rango dinámico adecuado para el almacenamiento de señales, cabe resaltar además que la norma estipula que por lo menos se deben efectuar cinco mediciones en cada punto. El ángulo de la línea de fuego con respecto al suelo

era igual a cero. El incremento angular elegido fue de 30°, pero se midió además la posición de 15°.

Para la medición de la detonación, se presupone que el sonido es simétricamente rotacional en torno a la línea de fuego, por eso se midió hasta los 90°. En las siguientes tablas se muestran los resultados derivados de la medición, se muestra el promedio de las cinco mediciones y su respectiva desviación estándar, las tablas completas se encuentran en el Anexo 3:

**Tabla 3.2.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 0° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	0°	88.8 [dB]	1.106	114.67 [dBA]
63 [Hz]	0°	93.7 [dB]	0.829	114.47 [dBA]
125 [Hz]	0°	97.4 [dB]	0.743	115.62 [dBA]
250 [Hz]	0°	103.7 [dB]	1.137	115.83 [dBA]
500 [Hz]	0°	108.3 [dB]	0.917	115.50 [dBA]
1000 [Hz]	0°	105.6 [dB]	1.441	114.44 [dBA]
2000 [Hz]	0°	109.7 [dB]	0.905	114.28 [dBA]
4000 [Hz]	0°	107.4 [dB]	1.448	114.24 [dBA]
8000 [Hz]	0°	100.9 [dB]	1.304	115.54 [dBA]

**Tabla 3.3.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 15° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	15°	87.2 [dB]	0.522	113.79 [dBA]
63 [Hz]	15°	94.1 [dB]	0.311	115.29 [dBA]
125 [Hz]	15°	102.9 [dB]	0.698	116.58 [dBA]
250 [Hz]	15°	101.5 [dB]	0.383	117.47 [dBA]
500 [Hz]	15°	104.2 [dB]	0.461	118.18 [dBA]
1000 [Hz]	15°	110.8 [dB]	0.294	115.33 [dBA]
2000 [Hz]	15°	106.4 [dB]	0.585	116.74 [dBA]
4000 [Hz]	15°	105.1 [dB]	0.219	116.25 [dBA]
8000 [Hz]	15°	103.5 [dB]	0.810	114.97 [dBA]

**Tabla 3.4.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 30° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	30°	84.5 [dB]	0.328	110.96 [dBA]
63 [Hz]	30°	94.7 [dB]	0.376	110.41 [dBA]
125 [Hz]	30°	102.4 [dB]	0.327	109.93 [dBA]
250 [Hz]	30°	101.7 [dB]	0.288	109.19 [dBA]
500 [Hz]	30°	107.4 [dB]	0.353	108.57 [dBA]
1000 [Hz]	30°	108.1 [dB]	0.187	109.08 [dBA]
2000 [Hz]	30°	103.7 [dB]	0.303	109.82 [dBA]
4000 [Hz]	30°	99.2 [dB]	0.219	109.43 [dBA]
8000 [Hz]	30°	97.6 [dB]	0.363	108.29 [dBA]

**Tabla 3.5.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 60° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	60°	77.2 [dB]	0.439	109.58 [dBA]
63 [Hz]	60°	88.1 [dB]	0.350	110.25 [dBA]
125 [Hz]	60°	97.8 [dB]	0.421	109.58 [dBA]
250 [Hz]	60°	96.9 [dB]	0.260	108.35 [dBA]
500 [Hz]	60°	98.8 [dB]	0.444	109.37 [dBA]
1000 [Hz]	60°	101.4 [dB]	0.151	110.93 [dBA]
2000 [Hz]	60°	99.0 [dB]	0.522	110.45 [dBA]
4000 [Hz]	60°	98.4 [dB]	0.194	113.16 [dBA]
8000 [Hz]	60°	94.1 [dB]	0.228	114.22 [dBA]

**Tabla 3.6.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm] a 90° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	90°	72.1 [dB]	0.158	110.25 [dBA]
63 [Hz]	90°	81.6 [dB]	0.427	112.31 [dBA]
125 [Hz]	90°	88.4 [dB]	0.296	114.07 [dBA]
250 [Hz]	90°	87.6 [dB]	0.207	114.18 [dBA]
500 [Hz]	90°	96.6 [dB]	0.273	113.43 [dBA]
1000 [Hz]	90°	95.4 [dB]	0.397	111.04 [dBA]
2000 [Hz]	90°	94.9 [dB]	0.544	107.54 [dBA]
4000 [Hz]	90°	93.6 [dB]	0.559	109.14 [dBA]
8000 [Hz]	90°	90.4 [dB]	0.426	116.44 [dBA]

**Tabla 3.7.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm] a 0° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	0°	88.2 [dB]	1.513	107.63 [dBA]
63 [Hz]	0°	93.7 [dB]	1.393	109.23 [dBA]
125 [Hz]	0°	98.1 [dB]	0.810	111.98 [dBA]
250 [Hz]	0°	103.5 [dB]	1.138	109.87 [dBA]
500 [Hz]	0°	108.3 [dB]	1.312	112.74 [dBA]
1000 [Hz]	0°	105.3 [dB]	0.798	109.11 [dBA]
2000 [Hz]	0°	109.0 [dB]	0.952	114.25 [dBA]
4000 [Hz]	0°	107.0 [dB]	1.770	113.55 [dBA]
8000 [Hz]	0°	100.9 [dB]	1.482	114.76 [dBA]

**Tabla 3.8.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm] a 15° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	15°	87.0 [dB]	0.730	110.42 [dBA]
63 [Hz]	15°	94.1 [dB]	1.207	113.30 [dBA]
125 [Hz]	15°	102.7 [dB]	0.687	115.14 [dBA]
250 [Hz]	15°	101.8 [dB]	0.277	111.85 [dBA]
500 [Hz]	15°	104.4 [dB]	0.618	109.56 [dBA]
1000 [Hz]	15°	110.3 [dB]	0.641	113.69 [dBA]
2000 [Hz]	15°	106.3 [dB]	0.690	112.38 [dBA]
4000 [Hz]	15°	104.9 [dB]	0.506	115.64 [dBA]
8000 [Hz]	15°	103.8 [dB]	0.476	113.09 [dBA]

**Tabla 3.9.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm] a 30° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	30°	85.0 [dB]	0.622	112.64 [dBA]
63 [Hz]	30°	94.6 [dB]	0.487	110.95 [dBA]
125 [Hz]	30°	102.4 [dB]	0.327	114.13 [dBA]
250 [Hz]	30°	102.1 [dB]	0.178	111.87 [dBA]
500 [Hz]	30°	107.3 [dB]	0.602	112.30 [dBA]
1000 [Hz]	30°	108.0 [dB]	0.743	115.23 [dBA]
2000 [Hz]	30°	103.4 [dB]	0.672	115.17 [dBA]
4000 [Hz]	30°	99.3 [dB]	0.328	109.64 [dBA]
8000 [Hz]	30°	97.7 [dB]	0.427	114.37 [dBA]

**Tabla 3.10.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm] a 60° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	60°	76.9 [dB]	0.578	115.83 [dBA]
63 [Hz]	60°	87.8 [dB]	0.591	115.50 [dBA]
125 [Hz]	60°	97.8 [dB]	0.422	114.44 [dBA]
250 [Hz]	60°	97.1 [dB]	0.712	114.28 [dBA]
500 [Hz]	60°	98.8 [dB]	0.524	114.24 [dBA]
1000 [Hz]	60°	101.2 [dB]	0.396	114.24 [dBA]
2000 [Hz]	60°	98.5 [dB]	0.342	110.25 [dBA]
4000 [Hz]	60°	98.4 [dB]	0.194	112.31 [dBA]
8000 [Hz]	60°	93.9 [dB]	0.496	114.07 [dBA]

**Tabla 3.11.** Promedio y desviación estándar de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm] a 90° y Nivel de Exposición.

Frecuencia	Ángulo	Valor Promedio	Desviación	SEL
31.5 [Hz]	90°	72.4 [dB]	0.743	108.16 [dBA]
63 [Hz]	90°	80.7 [dB]	0.554	110.22 [dBA]
125 [Hz]	90°	88.1 [dB]	0.549	110.96 [dBA]
250 [Hz]	90°	87.1 [dB]	1.097	110.41 [dBA]
500 [Hz]	90°	95.8 [dB]	1.126	114.93 [dBA]
1000 [Hz]	90°	95.5 [dB]	0.931	112.19 [dBA]
2000 [Hz]	90°	94.6 [dB]	1.080	115.57 [dBA]
4000 [Hz]	90°	93.5 [dB]	0.928	114.08 [dBA]
8000 [Hz]	90°	90.5 [dB]	0.870	115.82 [dBA]

Como se puede observar los resultados obtenidos en ambas tablas son muy parecidos, esto se debe a que las armas utilizadas son de características similares, y que los proyectiles que fueron empleados tanto en el revólver como en la pistola cuentan prácticamente con la misma cantidad de explosivo, por lo que en la detonación no se logra apreciar diferencias significativas.

Se puede apreciar también el nivel de exposición sonora al que se encuentran expuestos los usuarios y el personal de instructores que trabajan en el polígono.

Cabe mencionar que tradicionalmente, se han atribuido los problemas referentes al ruido a las grandes industrias, donde evidentemente, los trabajadores están expuestos a un elevado ruido en sus lugares de trabajo, como por ejemplo, en salas de compresores, procesos de fabricación, maquinaria, entre otras. No obstante, es importante señalar que este problema no está presente sólo en la industria, ya que este tipo de problemas pueden existir en otros entornos de trabajo donde, en un principio, el personal no es consciente de la existencia de tales niveles de ruido perjudiciales para los trabajadores como pueden ser bares, restaurantes, centralitas, entre otras. Prueba evidente de la cotidianeidad de este tipo de problemas es que, según datos oficiales, la pérdida de audición provocada por el ruido es la enfermedad profesional crónica más común hoy en día que, por desgracia, se manifiesta al final de la vida laboral, cuando las consecuencias son ya irreversibles y poco se puede hacer para recuperar parte de la audición ya perdida.

La pérdida de audición por parte del trabajador puede deberse a varios factores, siendo el riesgo más conocido el que procede de una exposición prolongada al ruido en entornos de trabajo. A pesar de ser el problema auditivo más común, es conveniente señalar que éste no es el único, ya que también pueden darse otro tipo de problemas relacionados con la disminución de la coordinación y la concentración, lo cual induce a que exista una mayor probabilidad de que se produzcan accidentes. Recientemente, también se han asociado a este aspecto problemas de tensión, trastornos cardiacos,



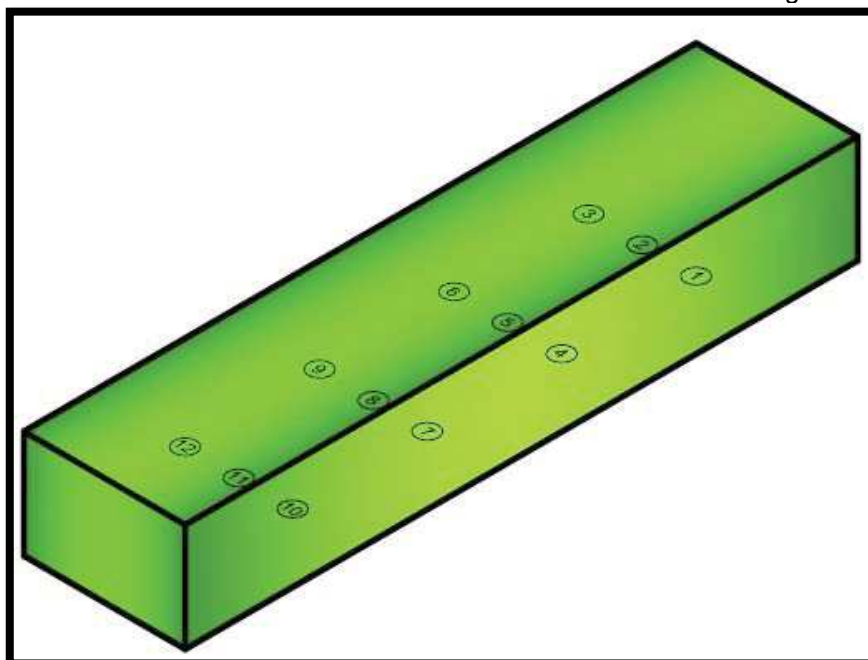
estomacales, nerviosos, nerviosismo, insomnio y fatiga, disminuyéndose así la productividad laboral. Ante este tipo de riesgos, se pueden ofrecer varios tipos de soluciones. Aunque en primer lugar, es importante señalar que los centros de trabajo que presenten este tipo de problemas deben aplicar controles periódicos del nivel del ruido para intentar disminuir la exposición al ruido de modo colectivo antes de pasar a usar una protección auditiva para los trabajadores expuestos a dichos niveles altos de ruido. En el caso en el que esto no sea posible, es cuando la empresa debe facilitar protección auditiva a sus trabajadores. En este caso, podemos agrupar los distintos tipos de protectores auditivos en: tapones y orejeras. La elección de uno u otro tipo, dependerá principalmente de la combinación práctica con el equipo de seguridad laboral a utilizar, aunque en el caso de ruidos intermitentes, es aconsejable la utilización de protección auditiva en cinta u orejera dependiendo de la exposición al ruido equivalente.

Las orejeras son protectores auditivos que permiten encerrar por completo el pabellón auditivo externo que se colocan, principalmente sobre la cabeza, aunque también existen otras orejeras que permiten su acople a un casco rígido. En este último caso, las orejeras suelen ofrecer un menor nivel de protección, ya que esta clase de acople hace más difícil el ajuste de las orejeras y no se adapta tan bien como en el primer caso descrito. Dentro de las orejeras, también debemos distinguir las orejeras electrónicas, que dependiendo de sus características técnicas, permiten una atenuación del nivel del ruido ajustable según las circunstancias.

Los tapones para los oídos se suelen llevar en el canal auditivo externo. En esta modalidad, podemos distinguir entre tapones desechables, tapones reutilizables y tapones auditivos con banda, de tal forma que el usuario pueda elegir aquel modelo que más se ajuste a sus necesidades y permita su acople a otros equipos de protección individual ofreciendo una mayor seguridad y comodidad al usuario durante el desarrollo de su trabajo.

En cuanto a la medición para constatar las características acústicas del polígono de tiro, ésta fue hecha según lo determina la norma UNE-EN ISO-3382-1, que se refiere a la medición de los parámetros acústicos de un recinto, en la cual se establecen el número de puntos de medición a ser considerados teniendo un máximo de 12 en total, que fue el número de puntos que se midieron al interior del polígono, en la figura 3.2 se muestran las posiciones de los puntos de medición y a continuación se muestra una tabla que indica las coordenadas de los mismos con referencia en el punto de origen (0,0,0) :

**Figura 3.2.** Ubicación de los puntos de medición al interior del Polígono.



*Fuente: Autor.*

**Tabla 3.12.** Coordenadas de los puntos de Medición.

Punto	Posición en X [m]	Posición en Y [m]	Posición en Z [m]
1	7.5	-2	1.5
2	7.5	0	1.5
3	7.5	2	1.5
4	2.5	-2	1.5
5	2.5	0	1.5
6	2.5	2	1.5
7	-2.5	-2	1.5
8	-2.5	0	1.5
9	-2.5	2	1.5
10	-7.5	-2	1.5
11	-7.5	0	1.5
12	-7.5	2	1.5

Esta medición se la realizó el día miércoles 16 de marzo del 2011 desde las 16H00 hasta las 17H00, se utilizó también el software SPECTRAPLUS 5.0, el micrófono de medición marca AUDIX modelo TR40, , una caja auto amplificada JBL EON15 G2 y una interface M-AUDIO modelo FAST TRACK PRO.

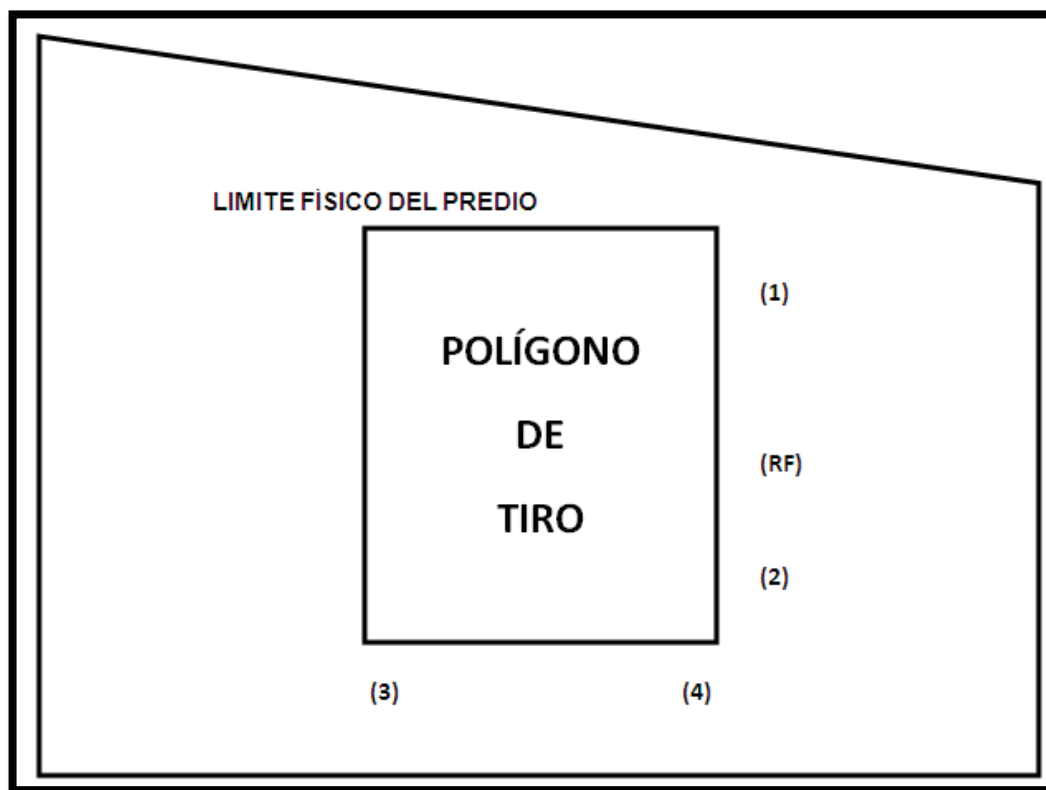
Los resultados conseguidos en esta medición brindan una idea clara y precisa de la situación actual en la que se encuentra el polígono, la cual se analizará en detalle más adelante, a continuación se muestran en la tabla los valores obtenidos de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid):

**Tabla 3.13.** Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid).

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]	RTmid
RT60 [s]	3.61	3.27	2.93	2.76	2.52	2.27	2.85

### 3.1.4 Medición de los Niveles de Ruido emitidos hacia el exterior

#### Ubicación Aproximada de los Puntos de Medición:



La medición se realizó el día jueves 17 de marzo del 2011, teniendo como normativa aplicada a la Ordenanza Metropolitana 213, se midió desde las 17H00 hasta las 18H15. La medición se efectuó en el exterior del polígono estando éste en funcionamiento, en el lindero del predio como lo dictamina la normativa, se establecieron los puntos de medición: (1), (2), (3), (4) y (RF) conservando la debida distancia de por lo menos 3 [m] a fin de prevenir la influencia de las ondas sonoras reflejadas por la estructura física, se empleó además un sonómetro integrador tipo 2, marca Metravib, Modelo SOLO 01 dB, normalizado, previamente calibrado, con sus selectores en el filtro de ponderación (A) y en respuesta lenta (Slow).

Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 3.14.** Datos obtenidos del Nivel de Ruido emitido hacia el exterior.

Posición	Tipo de Ruido	LEQ [dB(A)] (10 min)
(1)	Fluctuante	68.9
(2)	Fluctuante	71.2
(3)	Fluctuante	70.6
(4)	Fluctuante	71.9
(RF)	Fluctuante	65.4

### Valores con Corrección:

**Tabla 3.15.** Datos obtenidos de los valores aplicando la corrección.

Posición	LEQ[dB(A)] Medido	Ruido de Fondo [dB(A)]	Diferencia	Corrección	LEQ[dB(A)] Corregido
(1)	68.9	65.4	3.5	-3	65.9
(2)	71.2	65.4	5.8	-2	69.2
(3)	70.6	65.4	5.2	-2	68.6
(4)	71.9	65.4	6.5	-1	70.9

### Conclusiones y Resultados de la Medición:

- Debido a que el NPS producido en todos los puntos evaluados es mayor al que establece la norma como límites permisibles para la zona donde está ubicado el predio, se concluye que el polígono de tiro del Club Rancho San Francisco no cumple con la norma de emisión de ruido para fuentes fijas en la zona y horario correspondientes.
- A Pesar de no cumplir con la legislación, la relación que se guarda entre el área de mayor ruido (interior del polígono) y los puntos de medición exteriores es grande, y se nota tanto en el equipo de medición como auditivamente.

### **3.1.5 Análisis de la Situación del Recinto**

Después de haber efectuado diversas mediciones para verificar y constatar el estado en el que se encuentra el recinto tanto en términos de los distintos parámetros acústicos como en los valores obtenidos del ruido ambiente del entorno en el que se emplaza dicho espacio, se puede interpretar con mucha más claridad la situación del polígono.

#### **3.1.5.1 Tiempo de Reverberación**

El tiempo de reverberación es bastante alto como se indica en la tabla 3.13, debido principalmente a la gran cantidad de superficies reflectantes como la trampa de balas, el piso y el techo. Si se compara el tiempo de reverberación del polígono con el tiempo recomendado para otros multideportivos para tomar como referencia, se verá que un proyecto de acondicionamiento es totalmente justificable debido a la importancia que significa proporcionar un confort acústico al interior del recinto para las personas que lo frecuentan.

#### **3.1.5.2 Análisis del Recinto a través de Acústica Geométrica**

Como ya se mencionó anteriormente el análisis por trazado de rayos es una técnica que se utiliza en el diseño de recintos y espacios tales como salas de conciertos, teatros, entre otros. Este considera que el sonido viaja como un rayo, es decir, en línea recta y que las reflexiones del mismo sobre cualquier superficie siempre son especulares.

Si se reemplazan los datos con los del polígono en la ecuación 2.7, se obtiene el valor de la frecuencia límite inferior de la sala que corresponde a 148 [Hz].

#### **3.1.5.3 Análisis del Aislamiento Acústico Actual**

La Ley de Masa estipula que mientras más rígida y gruesa sea una partición, mayor será el aislamiento acústico que ésta proporcione.

Los materiales que conforman las particiones del polígono son de bloque de hormigón con enlucido de cemento, las cuales poseen una densidad de 1000 Kg/m<sup>3</sup>, reemplazando los valores en la ecuación 2.13, se obtienen los resultados del aislamiento acústico teórico que son capaces de proporcionar

las particiones del recinto para cada frecuencia desde 125 [Hz] hasta 4[KHz], los mismos que se muestran a continuación en la siguiente tabla:

**T** **Tabla 3.16.** Valores obtenidos del aislamiento acústico de las particiones.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]
Aislamiento [dB]	50.8	56.9	62.9	68.9	74.9	80.9

La tabla muestra el aislamiento acústico en teoría de las paredes del polígono, pero se debe recordar que no en todo el rango de frecuencias de la partición se debe tomar en cuenta solo a la Ley de la Masa, sino también que existe frecuencia de coincidencia, frecuencia de resonancia y la rigidez del material de la partición.

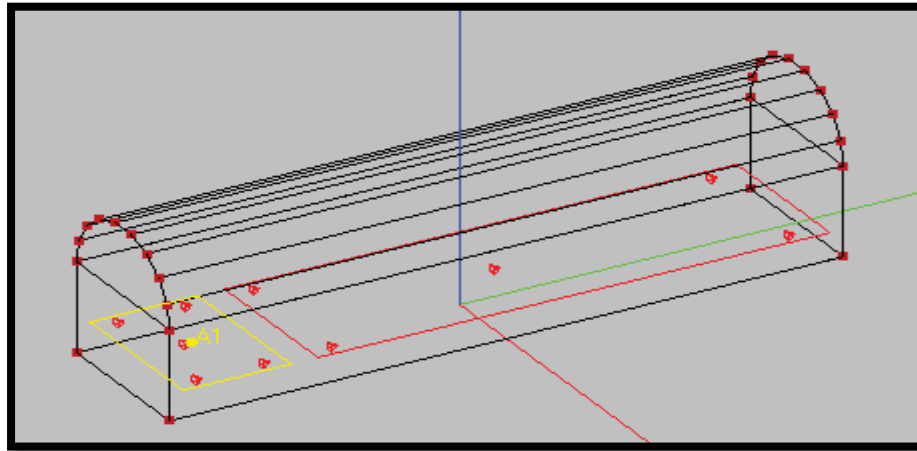
En la etapa de diseño se definirá una solución para mejorar el aislamiento de estos muros.

### 3.1.6 Simulación de la Situación Actual del Polígono

Una simulación es de gran ayuda ya que brinda una idea muy clara y cercana a la realidad de qué es lo que está ocurriendo en el recinto y luego poder comparar los datos obtenidos de las mediciones reales con los datos de la simulación. En este caso al polígono se lo dividió en dos áreas de audiencia para emular el comportamiento: la primera en donde se ubican las cabinas de tiro y la segunda en la pista de tiro.

A continuación se exponen los resultados del AREA MAPPING del polígono obtenidos a través del simulador acústico EASE 4.1, el cual se encarga tanto de modelar y simular el comportamiento del lugar a partir del ingreso de datos del recinto así como de calcular los parámetros acústicos como el NPS Directo, C50, C80, Articulation Loss, RaSTI:

**Figura 3.3.** Vista del Polígono de tiro con las 2 áreas de audiencia y los altavoces simulado en EASE 4.1.

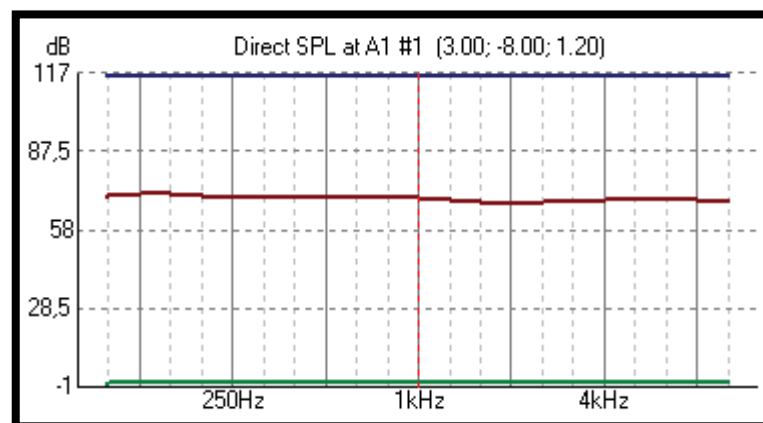


*Fuente: Autor.*

En la figura 3.3, se ve el modelo del polígono de tiro con las dos áreas de audiencia y cinco altavoces tipo esfera en cada una de ellas para excitar el lugar. Se colocaron dos áreas de audiencia para estudiar el comportamiento de la sala tanto en el área de las cabinas de tiro (A1) como en el resto del recinto (A2).

### NPS DIRECTO

**Figura 3.4.** Gráfica de NPS Directo simulado en EASE 4.1.



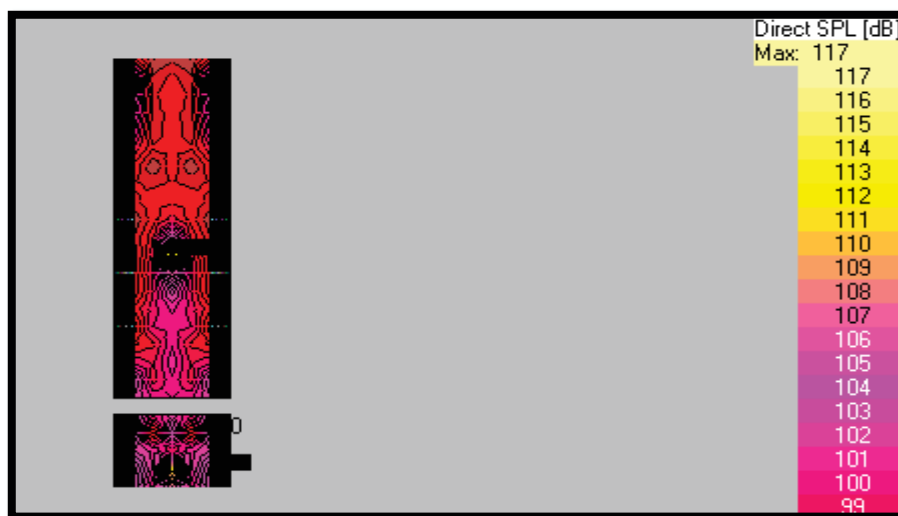
*Fuente: Autor.*

Es el Nivel de Presión Sonora directo generado al interior del recinto, es decir, que no se contemplan las reflexiones producidas por las paredes, techo, piso, puerta y ventanas de la sala, en este tipo de gráfica la línea de color azul



representa al valor máximo que podría alcanzar el parámetro que se está analizando, la línea de color verde representa al valor mínimo al que podría llegar y la línea de color rojo refleja el valor promedio, éste parámetro solamente muestra el NPS irradiado por las distintas fuentes y cómo éste es percibido. En el gráfico de la figura 3.4, se ve que el valor promedio NPS es de 70 [dB], teniendo un valor máximo de 117 [dB].

**Figura 3.5.** Mapa de NPS Directo simulado en EASE 4.1.

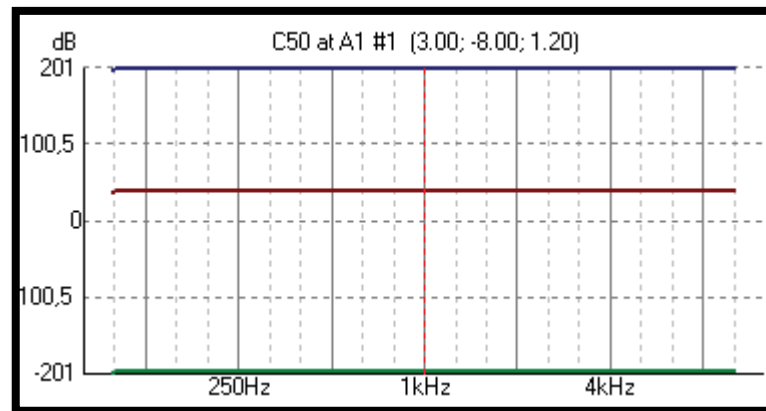


*Fuente: Autor.*

En la figura 3.5, se aprecian las áreas de audiencia del polígono de tiro, y se muestra a través de isocóntas el mapa del NPS directo en cada una de ellas acompañado de una tabla que indica los valores de NPS en [dB], como se observa en el mapa el NPS irradiado por las fuentes es percibido en toda la sala con distinto nivel de NPS dependiendo de la ubicación del receptor.

### C50

**Figura 3.6.** Gráfica de C50 simulado en EASE 4.1.



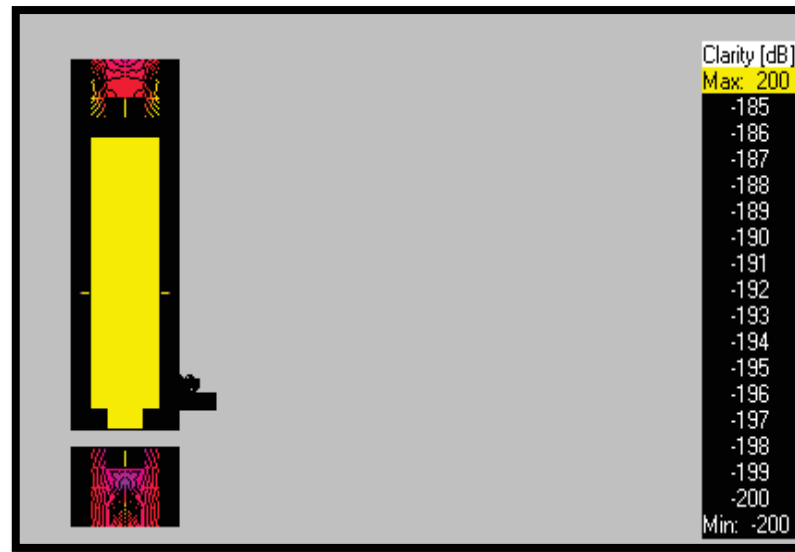
*Fuente: Autor.*

El Índice de Claridad de la Voz (C50), es un parámetro que representa la claridad tonal durante un tiempo de 50 [ms] y es la relación logarítmica entre la energía que llega a un oyente durante los primeros 50 [ms] de haberse generado el sonido, respecto a la energía que le llega posteriormente. Un valor elevado es positivo para la claridad del discurso, se recomienda que C50 sea mayor a 2 [dB].

Se puede deducir que debido a las superficies reflectantes del polígono y a las dimensiones del mismo existen reflexiones que lejos de colaborar y formar parte del sonido directo y aportar a la inteligibilidad de la palabra, resultan molestas y esto se traduce en un bajo índice de claridad de la voz.

En el gráfico de la figura 3.6, se aprecia un valor anormal que se presume sería un error de la simulación del software, debido a la gran cantidad de reflexiones en el lugar.

**Figura 3.7.** Mapa de C50 simulado en EASE 4.1.

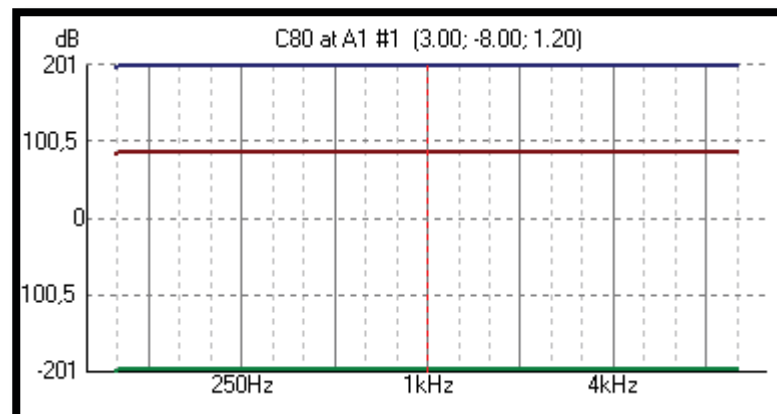


*Fuente: Autor.*

En el mapa de la figura 3.7, se puede observar que debido al campo difuso existente en el área de audiencia A2, producto de las múltiples reflexiones causadas por las superficies reflectantes se presentan resultados erróneos en la simulación del software.

### C80

**Figura 3.8.** Gráfica de C80 simulado en EASE 4.1.

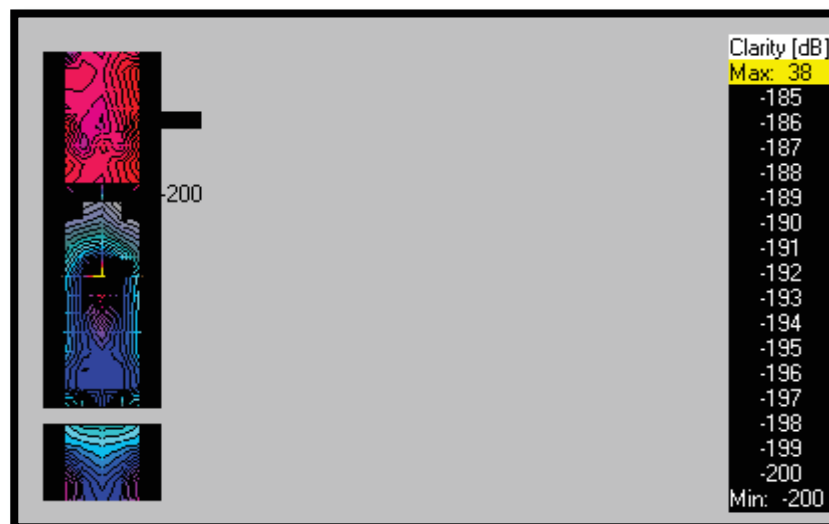


*Fuente: Autor.*

El Índice de Claridad Musical (C80), es un parámetro que explica que un sonido reflejado que llegue a un oyente durante los primeros 80 [ms], tiende a enriquecer y reforzar el sonido original. El índice de claridad musical C80, es la relación entre la energía del sonido que llegue dentro de ese período de tiempo respecto a la energía sonora que llegue después de él.

Se observa en la gráfica de la figura 3.8, que el valor del resultado es muy inferior a los 8 [dB] que se recomienda como valor tope para una correcta claridad musical general, por la misma razón que en el apartado anterior, es decir, limitaciones del software para simular correctamente esta parte.

**Figura 3.9.** Mapa de C80 simulado en EASE 4.1.

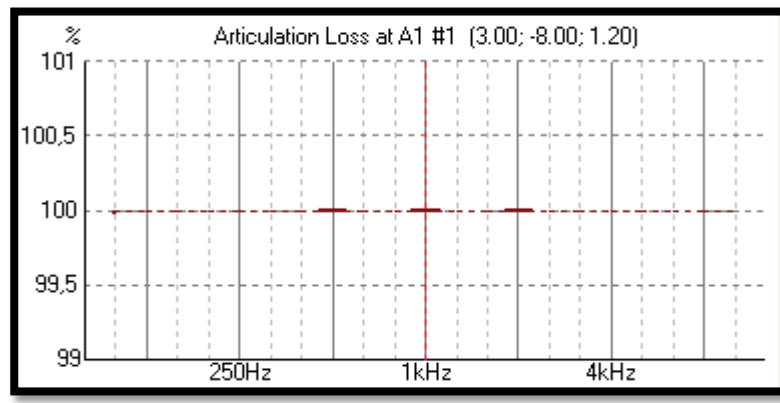


*Fuente: Autor.*

En la figura 3.9, se puede observar que el recinto presenta deficiencias en cuanto a este parámetro de claridad musical, la respuesta no es uniforme en toda la sala, existen zonas de mayor concentración energética como en la parte posterior de la misma, lo que hace que la sala no sea apta para ninguna actividad relacionada a la música en sus actuales condiciones si ese fuere el propósito del lugar.

## ARTICULATION LOSS

**Figura 3.10.** Gráfica de Articulation Loss simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

Este parámetro % ALcons expresa la pérdida de la definición de las consonantes, los valores más bajos se asocian con una mayor inteligibilidad. Las consonantes juegan un papel mucho más significativo en la inteligibilidad del habla que las vocales, si las consonantes se escuchan con claridad, el discurso puede ser entendido más fácilmente. En general se supone que el valor máximo permitido para las aplicaciones de localización típica es de 10%, suponiendo que el ambiente está relativamente libre de ruido enmascarante. Para ambientes de aprendizaje y los sistemas de voz de alerta, el valor deseado es de 5% o menos.

El % Alcons mide el porcentaje de la pérdida de articulación de las consonantes por un oyente. % Alcons de 0 indica perfecta claridad e inteligibilidad, sin pérdida de conocimiento consonante, mientras que el 10% ya presenta una mala inteligibilidad, y el 15% por lo general es la pérdida máxima aceptable.

En la figura 3.10, se observa un valor nulo de este parámetro, es decir, una pérdida total de las consonantes, lo que se puede estar relacionado a la falta de superficies absorbentes que disminuyan el número de reflexiones y así poder lograr un resultado aceptable y favorable para la inteligibilidad del mensaje.

**Figura 3.11.** Mapa de Articulation Loss simulado en EASE 4.1.

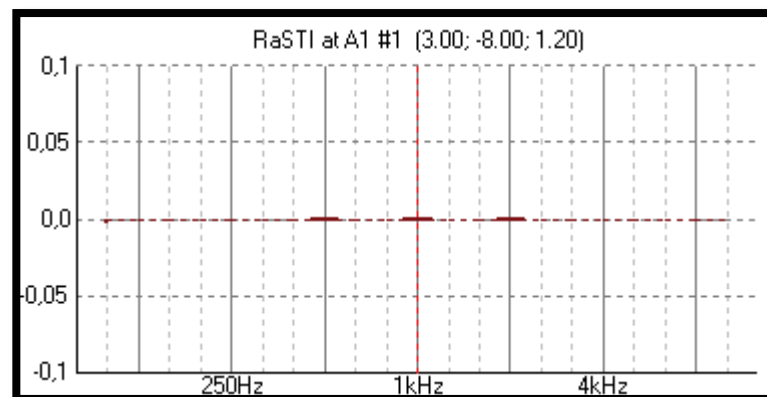


*Fuente: Autor.*

Como se ve en la figura 3.11, el software no consigue simular el mapa debido al resultado alcanzado (pérdida total de las consonantes).

### RaSTI

**Figura 3.12.** Gráfica de RaSTI simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

Es preciso indicar que existe otro parámetro alternativo a más del % ALCons, que permite cuantificar el grado de inteligibilidad de la palabra. Dicho parámetro, conceptualmente más complejo, se denomina STI (“Speech Transmission Index”) y su valor oscila entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad total). Existe una versión simplificada del STI denominada RASTI

("Rapid Speech Transmission Index"). Habitualmente, el RASTI es el parámetro medido en recintos, debido a su rapidez de cálculo en relación con el STI. Por lo tanto, existe una analogía en cuanto al cálculo de ambos parámetros. La simplificación consiste en reducir el número de frecuencias de modulación así como las bandas de octava a tener en cuenta.

Se ve en la gráfica de la figura 3.12, el valor 0, lo cual indica inteligibilidad nula de la palabra, como se menciono antes se debe a que todas las superficies reflectantes del lugar crean un campo difuso, en el cual se mezcla y se distorsiona el sonido directo con las múltiples reflexiones llegan con intervalos de tiempo superiores a los recomendados e imposibilita el entendimiento del mensaje hablado.

**Figura 3.13.** Mapa de RaSTI simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

Como se ve en la figura 3.13, en el software no se consigue simular el mapa debido al resultado alcanzado (inteligibilidad nula).

Cabe resaltar que los parámetros C50, C80, %Alcons, RaSTI son especialmente tomados en cuenta para salas enfocadas a otros usos como salas de conferencias, auditorios, teatros o salas de música, lo que

efectivamente no tiene relación alguna con un polígono de tiro, pero se los consideró en el análisis de este estudio para conocer a fondo el comportamiento y la versatilidad de la sala.

## **4. Capítulo IV**

---

### **4.1 Propuesta de Diseño**



#### **4.1.1 Objetivos Acústicos**

En vista de los distintos aspectos arquitectónicos y acústicos, se han planteado los siguientes objetivos:

- a) El polígono debe permitir la práctica de tiro sin que ésta sea una molestia para quienes la practican por el excesivo nivel de presión sonora en su interior, por tal motivo debe ser acondicionado de forma que brinde el confort acústico necesario para quienes lo visitan.
- b) El valor de tiempo de reverberación medio que debe proporcionar el polígono debe ser 40% menor que el valor que presenta en sus actuales condiciones, por lo que en la fase de diseño se tiene que alcanzar el valor recomendado para esta clase de espacios.
- c) El polígono también debe cumplir con la Ordenanza Metropolitana 213 en no rebasar los límites permitidos según el uso de suelo del sector, que para este caso se trata de una zona residencial mixta que permite 55 [dBA] de 06H00 a 20H00 y 45 [dBA] de 20H00 a 06H00, por lo que se definirá una solución en el aspecto relacionado al aislamiento acústico para lograr este objetivo.

Para cumplir con los objetivos acústicos presentados anteriormente se deben contemplar en la etapa de propuesta de diseño los siguientes aspectos:

- Soluciones concernientes a la geometría del recinto.
- Soluciones concernientes al tiempo de reverberación del recinto.
- Soluciones concernientes con el aislamiento acústico del recinto.

#### **4.1.2 Solución de Eco Flotante debido a Geometría del Recinto**

En la figura 3.3, se muestra la forma rectangular que posee el recinto, por lo general este tipo de geometría causa problemas de eco flotante, especialmente entre las murallas laterales, para controlar este fenómeno existen soluciones, que van desde aplicar material absorbente en las particiones ó también es

recomendable romper con el paralelismo de los muros, esto se lo puede conseguir inclinando una de las paredes laterales. Para este caso se solucionará aplicando en la partición lateral izquierda un material que cumple con la función de absorber la energía sonora incidente. Este material se denomina “Conformado Professional”, propiedad de la empresa argentina FONAC.

Entre las paredes frontal y posterior no es necesario aplicar ningún tratamiento debido a que la distancia es lo adecuadamente grande para hacer que la energía sonora reflejada disminuya y así evitar el problema de eco flotante y también debido a la forma de la trampa de balas, ubicada en la pared posterior que posee compartimientos lo cual hace que sea más difícil que se produzca este fenómeno.

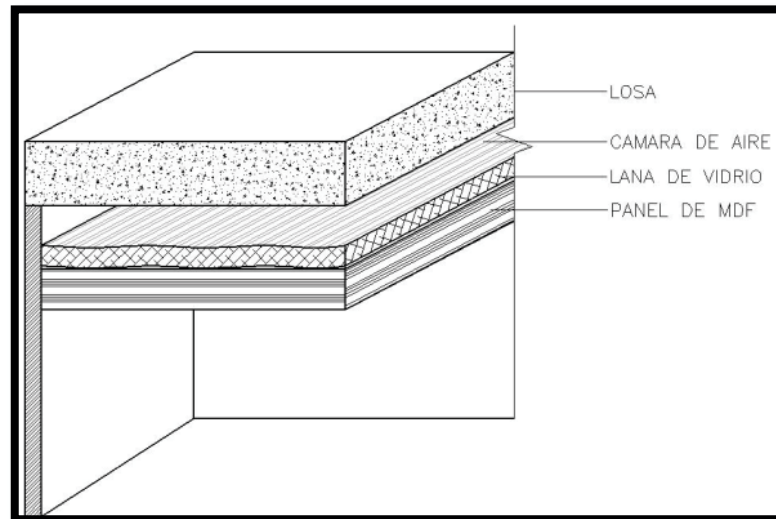
#### **4.1.3 Soluciones para disminuir el Tiempo de Reverberación**

Para conseguir que el polígono brinde el confort acústico deseado se tiene que trabajar de manera especial en el acondicionamiento interior del mismo, lo que implica tratamientos en: techo, piso, paredes laterales, pared frontal y puerta de acceso.

##### **4.1.3.1 Tratamiento en Techo:**

Debido a que el techo por lo general es una de las áreas de mayor superficie de los recintos, es adecuado aplicar un tratamiento en el mismo. Para el techo del polígono entonces se contará con un cielo raso hecho de 20 planchas de MDF de 2.5 [m] de ancho, 3 [m] de largo, 4.8 [cm] de espesor, lana de vidrio por encima de las planchas con un espesor de 2.5 [cm], y cámara de aire de 5 [cm] entre la lana de vidrio y la losa de hormigón del tumbado, esto para mejorar el aislamiento acústico que se verá más adelante.

**Figura 4.1.** Corte transversal del Sistema de Techo del Polígono



Fuente: Autor.

En la tabla se muestra el coeficiente de absorción estimado del sistema que conforma el techo (mdf, lana de vidrio, cámara de aire).

**Tabla 4.1.** Coeficientes de absorción sonora estimada del sistema del Techo.

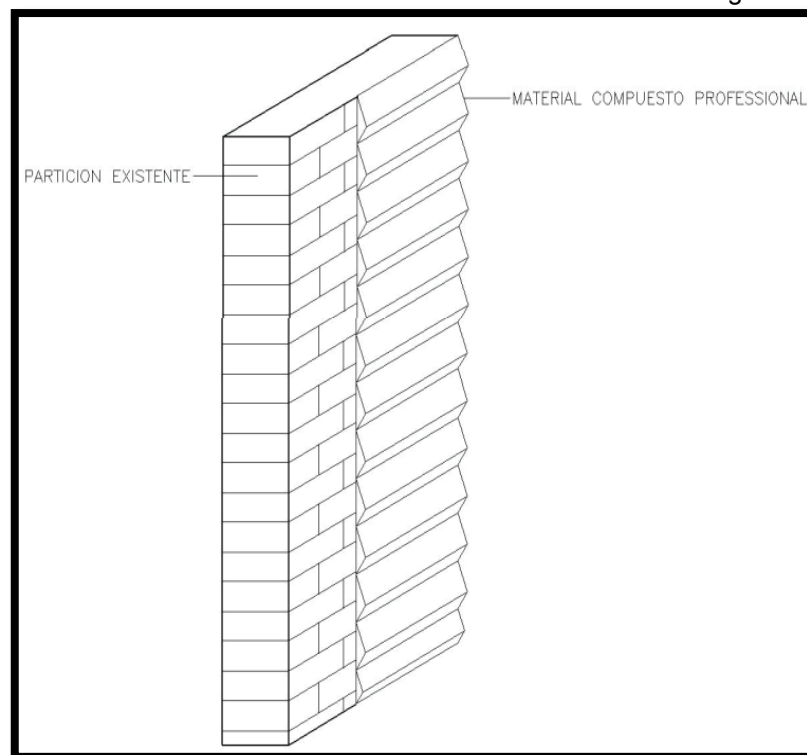
Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]
<b>Coeficiente de Absorción</b>	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10

#### 4.1.3.2 Tratamiento en Pared Lateral Izquierda

La pared lateral izquierda será recubierta por una capa de material de 5 [cm] de espesor llamado “Conformado Professional” de la empresa argentina FONAC, que está hecho por placas fonoabsorbentes fabricadas en espuma flexible con terminación en cuñas anecoicas que funcionan como trampas muy efectivas de sonido siendo excelentes para la absorción acústica.

**Figura 4.2.** Vista de la Pared Lateral Izquierda

del Polígono.



Fuente: Autor.

En la tabla se muestra el coeficiente de absorción del material según el fabricante:

**Tabla 4.2.** Coeficientes de absorción sonora estimada de la Pared Lateral Izquierda.

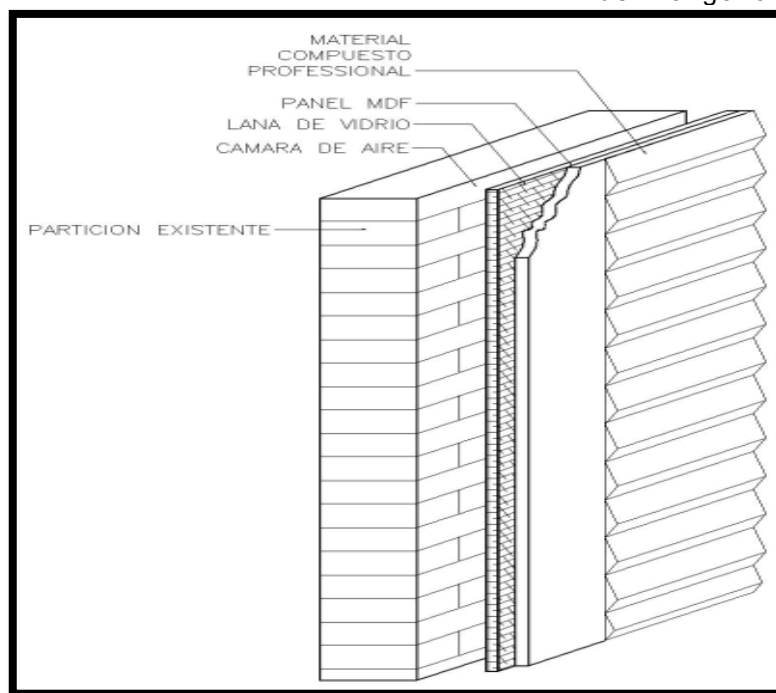
Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]
<b>Coeficiente de Absorción</b>	0.15	0.36	0.78	0.84	0.80	0.80

#### 4.1.3.3 Tratamiento en Pared Lateral Derecha:

En la pared lateral derecha en el comienzo de la pista de tiro, será construida una partición con planchas de MDF de 2.50 [m] de ancho, 3 [m] de largo, 1.8 [cm] de espesor que serán empotradas en un armazón de madera maciza de 6 [cm] anclado al piso por medio de tirabuzones y tacos, las planchas serán recubiertas por el frente con material absorbente "Conformado Professional" de 5 [cm] de espesor al igual que en la pared lateral izquierda, esta partición estará separada del muro de bloque por 5 [cm], detrás de esta nueva pared

habrá una capa de lana mineral de 2.5 [cm] y una cámara de aire de 2.5 [cm] para mejorar el aislamiento acústico que se verá más adelante.

**Figura 4.3.** Vista de la Pared Lateral derecha del Polígono.



*Fuente: Autor.*

En la tabla se muestra el coeficiente de absorción estimado del sistema que conforma la pared lateral derecha (Conformado Profesional, mdf, lana de vidrio, cámara de aire):

**Tabla 4.3.** Coeficientes de absorción sonora estimada de la Pared Lateral Derecha.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]
Coeficiente de Absorción	0.15	0.36	0.78	0.84	0.80	0.80

#### 4.1.3.4 Tratamiento en Pared Posterior:

La pared posterior posee una superficie de 22.56 [m<sup>2</sup>] y se encuentra conformada por ventanas que ocupan una superficie de 5.52 [m<sup>2</sup>] y por la puerta que ocupa una superficie de 1.40 [m<sup>2</sup>], por lo cual la superficie de la pared que queda disponible para tratar si se resta las ventanas y la puerta es

de 15.64 [m<sup>2</sup>], aquí se colocará material “Conformado Professional” de 5 [cm] de espesor, las ventanas y la puerta también serán reemplazadas por una mejor alternativa para un mayor aislamiento acústico, lo cual se verá más adelante.

En la tabla se muestra el coeficiente de absorción del material según el fabricante:

**Tabla 4.4.** Coeficientes de absorción sonora estimada de la Pared Posterior.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]
Coeficiente de Absorción	0.15	0.36	0.78	0.84	0.80	0.80

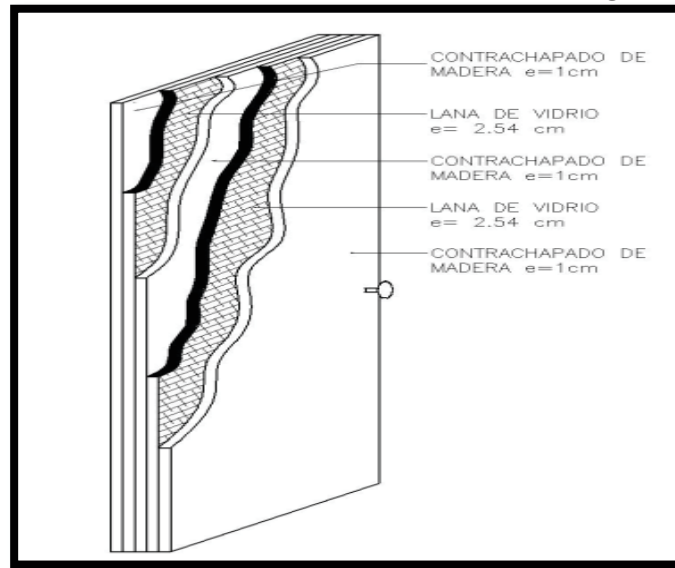
En la pared frontal no es posible aplicar ningún tipo de tratamiento por motivos de seguridad del personal que se encuentra disparando, esto se debe a la ubicación de la trampa de balas al final de la pista de tiro.

#### **4.1.3.5 Tratamiento en Puerta de Acceso:**

La puerta de acceso al polígono constará de 3 capas de contrachapado de madera de 1 [cm] separadas por lana de vidrio de 2.5 [cm]. Por motivos de desacoplamiento mecánico se procederá a colocar una capa de caucho de 4 [mm] entre el marco de la puerta y el muro, esto es para desolidarizar la estructura y así evitar transmisión sonora a través del marco de la puerta.

También se debe considerar sellar todas las juntas tanto laterales como la superior y la inferior con burlete de caucho para evitar fugas sonoras.

**Figura 4.4.** Corte transversal del sistema de la Puerta del Polígono.



*Fuente: Autor.*

En la tabla se muestra el coeficiente de absorción estimado del sistema que conforma la puerta de acceso del polígono (contrachapado de madera, lana de vidrio):

**Tabla 4.5.** Coeficientes de absorción sonora estimada de la Puerta.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]
<b>Coeficiente de Absorción</b>	0.15	0.11	0.1	0.07	0.06	0.05

#### 4.1.4 Resultados del Tiempo de Reverberación

A continuación se muestra la tabla para el cálculo del Tiempo de Reverberación teórico del recinto con las soluciones y los materiales propuestos:

Tabla 4.6. Tabla para el cálculo del Tiempo de Reverberación.

Superficie	Material	S [m <sup>2</sup> ]	.Absorción [m <sup>2</sup> Sabine]					
			125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]
Pared Lateral Izquierda	Conformado Professional	96.93	14.54	34.9	75.6	81.42	77.54	77.54
Pared Lateral Derecha	Conformado, MDF, lana de vidrio	96.93	14.54	34.9	75.6	81.42	77.54	77.54
Pared Posterior	Conformado Professional	15.64	2.35	5.63	12.20	13.14	12.5	12.5
Techo	MDF, lana de vidrio	150	45	37.5	30	25.5	22.5	15
Ventanas	Vidrio	5.52	0.17	0.11	0.11	0.0552	0.39	0.22
Puerta	Contrachapado de madera, lana de vidrio	1.40	0.21	0.15	0.14	0.098	0.084	0.07
Piso	Hormigón enlucido alisado	150	1.5	1.5	3.0	3.0	3.0	6.0
Trampa de balas	Acero	23.22	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.2322	0.4644

A continuación se muestra la tabla de las absorciones totales por cada banda de octava, que no es más que la sumatoria de todas las absorciones parciales de cada banda:

Tabla 4.7. Tabla de Absorción Total por banda de octava.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]
<b>Absorción Total [m<sup>2</sup> Sabine]</b>	78.54	114.92	196.88	204.87	193.79	189.33

A partir de los estos valores de absorción total, se pueden calcular los valores de tiempo de reverberación para cada banda de octava mediante la ecuación de Sabine:



$$RT = 0.161 * \left( \frac{V}{A} \right) \quad [s] \quad (4.1)$$

Donde:

V = Volumen total del recinto en [m<sup>3</sup>].

A= Absorción total en [m<sup>2</sup> Sabine].

A continuación entonces se muestra la tabla de los resultados de Tiempo de Reverberación y Tiempo de Reverberación Medio a partir de las absorciones totales de cada banda de octava:

**Tabla 4.8.** Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid).

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]	RTmid
RT60 [s]	1.16	0.79	0.46	0.44	0.47	0.48	0.45

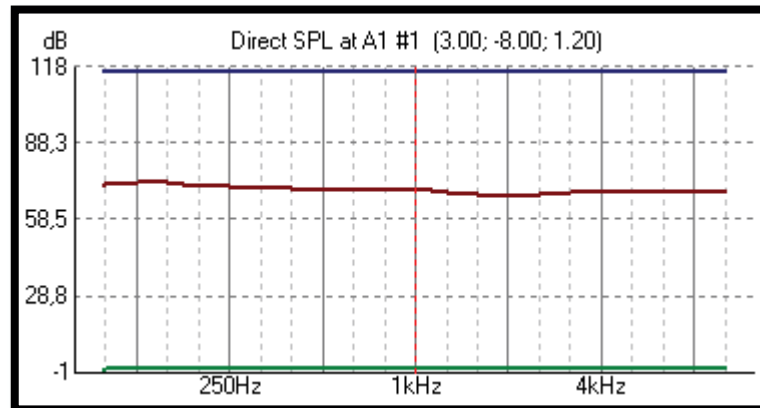
Como se puede apreciar los resultados de Tiempo de Reverberación con las soluciones y los materiales propuestos quedaron muy por encima de lo que se estimaba en el objetivo acústico de tan solo reducir un 40% a los valores obtenidos en la medición, el RTmid se redujo en un 84.21% lo cual es significativamente superior a lo que se esperaba conseguir.

#### 4.1.5 Simulación del Polígono con las Soluciones Propuestas

Con las soluciones proporcionadas se procederá a realizar nuevamente una simulación en el software EASE 4.1 para ver cómo varían estos resultados con los obtenidos anteriormente:

## NPS DIRECTO

**Figura 4.5.** Gráfica de NPS Directo simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

Como se explicó en la simulación de la situación actual, el NPS directo es aquel que irradian las fuentes, es decir, los altavoces que se seleccionaron para excitar a la sala, en la figura 4.5 se puede ver que como se utilizó el mismo tipo y el mismo número de fuentes, es de esperar que el resultado del NPS directo sea el mismo que el de la simulación anterior, puesto que no se contemplan las superficies absorbentes colocadas.

**Figura 4.6.** Mapa de NPS Directo simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

En la figura 4.6, se aprecian nuevamente las áreas de audiencia del polígono de tiro, y se muestra a través de isolíneas el mapa del NPS directo en cada una de ellas acompañado de una tabla que indica los valores de NPS en [dB], como se observa en el mapa el NPS irradiado por las fuentes es percibido en toda la sala con distinto nivel de NPS dependiendo de la ubicación del receptor.

### C50

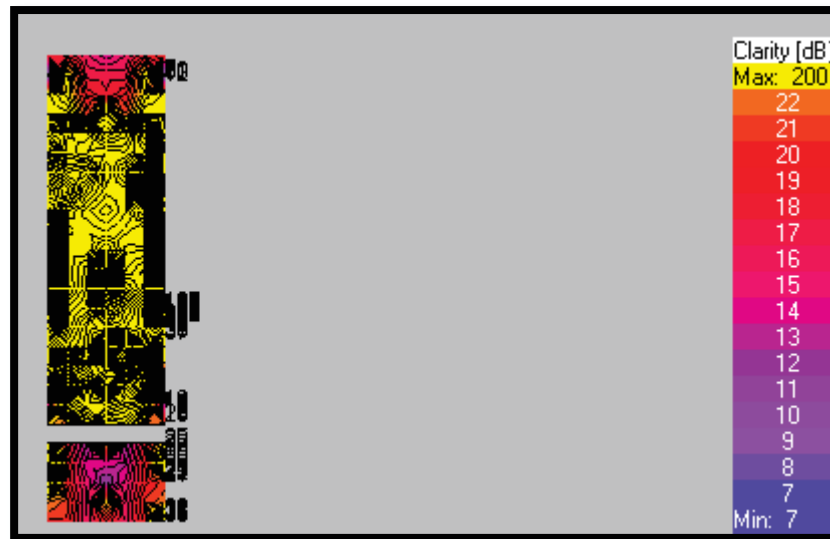
**Figura 4.7.** Gráfica de C50 simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

En la figura 4.7, se aprecia un resultado más acorde a la realidad ya que se ve el efecto de las adecuaciones con las superficies absorbentes en el comportamiento del recinto, se tiene un valor de C50 mayor a 2 [dB] como se ve en la curva de color verde, valor que es el recomendado para una buena claridad del discurso

**Figura 4.8.** Mapa de C50 simulado en EASE 4.1.

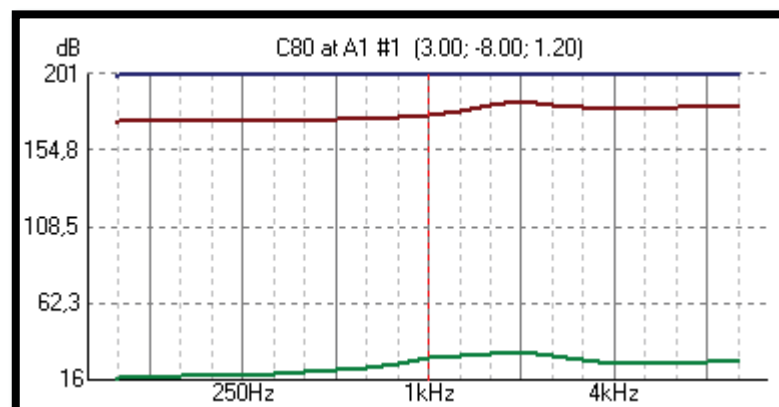


*Fuente: Autor.*

En la figura 4.8, se observa el mapa del recinto que muestra un comportamiento diferente del mismo con respecto al mapa de la simulación anterior, fruto de un ambiente más controlado sin un campo difuso que complique la claridad de la voz.

### C80

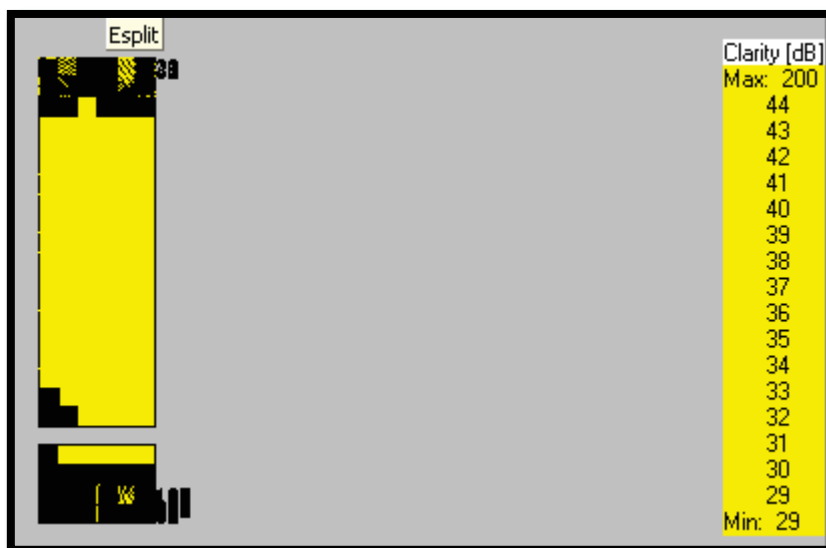
**Figura 4.9.** Gráfica de C80 simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

Se observa en la gráfica de la figura 4.9, que el valor del resultado es superior a los 8 [dB] que se recomienda como valor tope para una correcta claridad musical general, pero es un resultado mucho mejor que el que se obtuvo en la simulación anterior, si bien no está en el rango de valores recomendados tampoco se encuentra alejado de los mismos, y se debe recordar que el propósito del presente estudio de acondicionamiento del polígono no se centra en que el recinto posea cualidades musicales, de todas maneras se observa que las soluciones propuestas de acondicionamiento en el lugar colaboraron en el mejoramiento de la condición de este parámetro.

**Figura 4.10.** Mapa de C80 simulado en EASE 4.1.

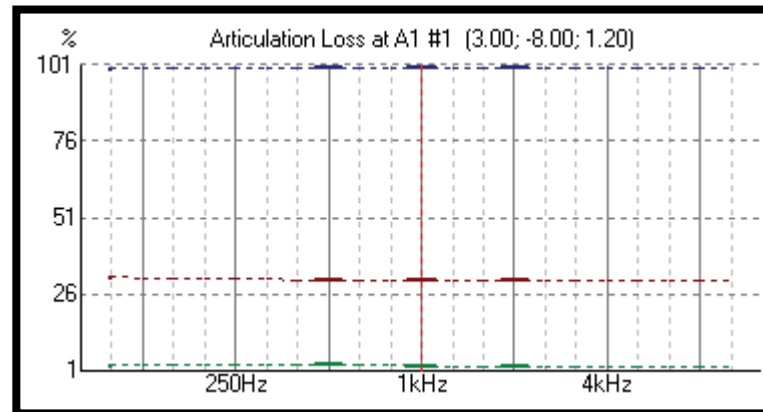


*Fuente: Autor.*

En la figura 4.10, se puede observar que el recinto continúa presentando deficiencias en cuanto a este parámetro de claridad musical, la respuesta sigue siendo no uniforme en la sala y pese a las superficies absorbentes colocadas en las paredes y el techo, aún existen zonas de mayor concentración energética, lo que hace que la sala no sea idónea para una actividad relacionada a la música, pero como ya se comentó en el apartado anterior no es ese el propósito de este lugar.

## ARTICULATION LOSS

**Figura 4.11.** Gráfica de Articulation Loss simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

En la figura 4.11, se observa un valor de este parámetro de 4 % que asegura poder lograr un resultado aceptable y favorable para la inteligibilidad del mensaje.

**Figura 4.12.** Mapa de Articulation Loss simulado en EASE 4.1.

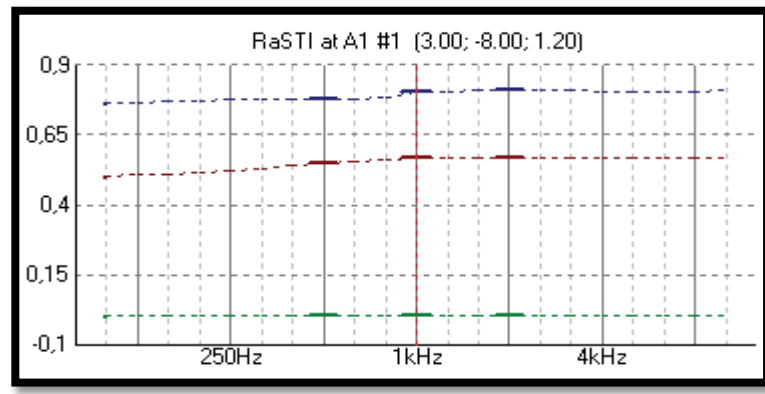


*Fuente: Autor.*

Como se ve en la figura 4.12, el software simula en el mapa el muy buen resultado alcanzado de la sala para la inteligibilidad de la palabra logrando que no se pierdan las consonantes.

## RaSTI

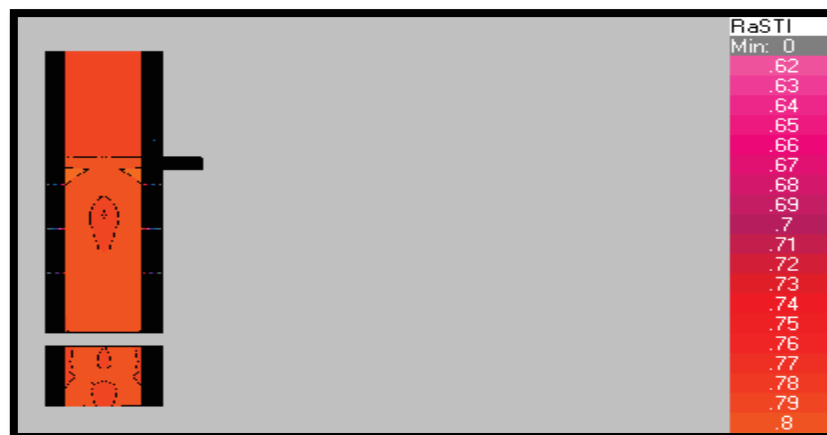
**Figura 4.13.** Gráfica de RaSTI simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

Se ve en la gráfica de la figura 4.13, el valor 0.8 lo cual indica una buena inteligibilidad de la palabra, con lo cual se demuestra que sí influyeron en la sala las soluciones de acondicionamiento propuestas.

**Figura 4.14.** Mapa de RaSTI simulado en EASE 4.1.



*Fuente: Autor.*

Como se ve en la figura 4.14, el software consigue simular el mapa del resultado alcanzado (una buena inteligibilidad).

Como se mencionó los parámetros C50, C80, %Alcons, RaSTI son especialmente tomados en cuenta para salas enfocadas a otros usos como salas de conferencias, auditorios, teatros o salas de música, y en este caso sólo sirven de referencia para ver cómo influyeron las soluciones en el

comportamiento de la sala, ya que el objetivo principal es brindar confort auditivo disminuyendo el NPS con un buen acondicionamiento.

#### 4.1.6 Soluciones para el Aislamiento Acústico del Recinto

Como se mencionó en los objetivos acústicos, es de gran importancia que el polígono no transmita energía sonora hacia el exterior del mismo, es decir, hacia el resto de instalaciones del Club y también hacia el exterior, por lo que se debe realizar un adecuado aislamiento acústico.

##### 4.1.6.1 Aislamiento hacia el exterior:

Para cumplir con el objetivo acústico de no sobrepasar los límites permisibles que la Ordenanza Metropolitana 213 establece según uso de suelo, que para el caso del Club Rancho San Francisco se trata de una zona residencial mixta que permite 55 [dBA] de 06H00 a 20H00 y 45 [dBA] de 20H00 a 06H00, se tomarán los valores de la medición del NPS medido en el exterior donde se ubica el lindero del polígono como lo dictamina la Ordenanza Metropolitana 213, y de esta manera saber con exactitud cuánto se requiere aislar y así cumplir con la normativa.

A continuación se muestra en la siguiente tabla la diferencia existente entre el nivel de ruido que el polígono emite hacia el exterior según la medición que se llevó a cabo y el nivel máximo permisible que establece la normativa según el uso de suelo donde se encuentra ubicado el predio:

**Tabla 4.9.** Tabla de la Diferencia de Niveles.

Posición	LEQ[dB(A)] Corregido	NPS [dB(A)] Permitido Zona Residencial Mixta	Diferencia de Nivel [dB(A)]
(1)	65.9	55	10.9
(2)	69.2	55	14.2
(3)	68.6	55	13.6
(4)	70.9	55	15.9

Puesto que el polígono no cumple con la norma como se concluyó anteriormente, se diseñarán soluciones en el aspecto del aislamiento acústico

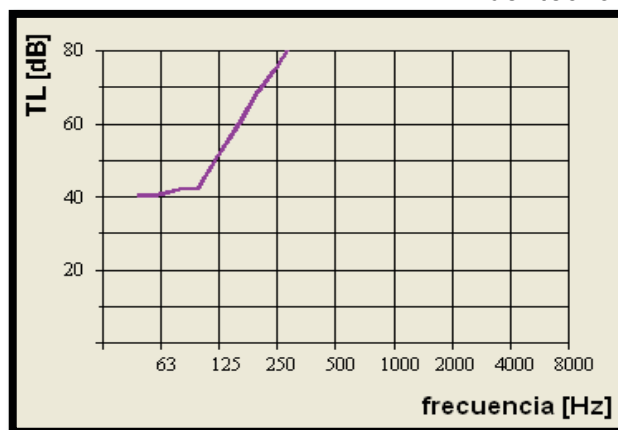


del recinto para poder reducir estos valores y de esta manera lograr un medioambiente saludable y cumplir con los niveles que exige la Ordenanza Metropolitana 213.

#### 4.1.6.2 Aislación del Techo:

El sistema que conforma el techo se conforma de un cielo raso hecho de 20 planchas de MDF de 2.5 [m] de ancho, 3 [m] de largo, 4.8 [cm] de espesor, lana de vidrio por encima de las planchas con un espesor de 2.5 [cm], y cámara de aire de 5 [cm] entre la lana de vidrio y la losa de hormigón del tumbado, con ayuda del software PETRAS, que fue escogido para esta parte del presente estudio por ser un software sencillo, de fácil manejo y muy útil ya que grafica curvas de TL de una partición, permitiendo especificar el tipo de material que se va a utilizar, su espesor, la densidad y el módulo de Young del mismo, así como también si es que la partición que se requiere es simple o doble. A continuación se verá la gráfica del TL que proporciona el sistema planteado:

**Figura 4.15.** Gráfica de la curva de TL del techo.



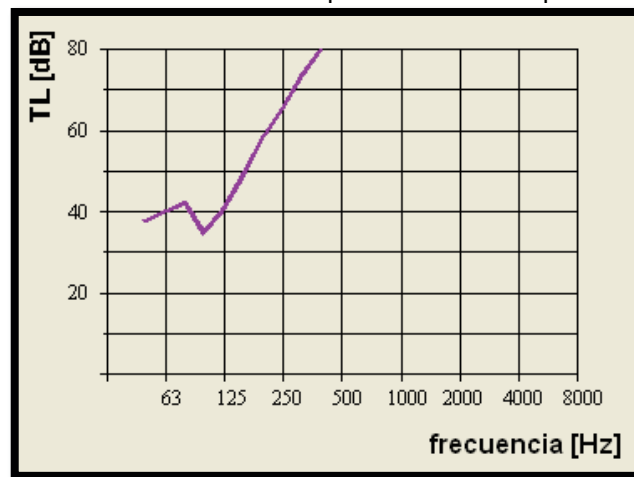
*Fuente: Autor.*

#### 4.1.6.3 Aislación de la Pared Lateral Izquierda:

Esta partición es de bloque de hormigón que si bien aporta a la aislación por su densidad, no es suficiente para garantizar un aislamiento adecuado, en la

propuesta se dijo que esta pared sería recubierta por una capa de material absorbente, pero antes de esa capa se colocará primero una capa de un material denominado “Barrier” de la empresa FONAC que está fabricado en vinilo de alta densidad, lo cual le proporciona un elevado índice de aislación acústica en un amplio rango de frecuencias por ser un material compacto y de gran masa. Posee un espesor de 3 [mm], con ayuda del software PETRAS, se verá la gráfica del TL que proporciona el sistema planteado:

**Figura 4.16.** Gráfica de curva de TL de la pared lateral izquierda.



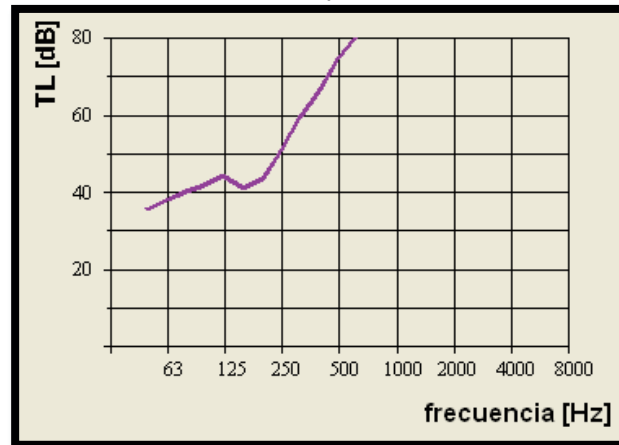
*Fuente: Autor.*

#### 4.1.6.4 Aislación de la Pared Lateral Derecha:

Esta partición se conforma de una partición con planchas de MDF de 2.50 [m] de ancho, 3 [m] de largo, 1.8 [cm] de espesor que serán empotradas en un armazón de madera maciza, las planchas serán recubiertas por el frente con material absorbente “Conformado Professional” de 5 [cm] de espesor al igual que en la pared lateral izquierda, esta partición estará separada del muro de bloque por 5 [cm], detrás de esta nueva pared habrá una capa de lana mineral de 2.5 [cm] y una cámara de aire de 2.5 [cm], para mejorar aún más el aislamiento de esta muralla se puede colocar una capa de “Barrier” sobre el

muro de hormigón, con ayuda del software PETRAS, se verá la gráfica del TL que proporciona el sistema planteado:

**Figura 4.17.** Gráfica de curva de TL de la pared lateral derecha.

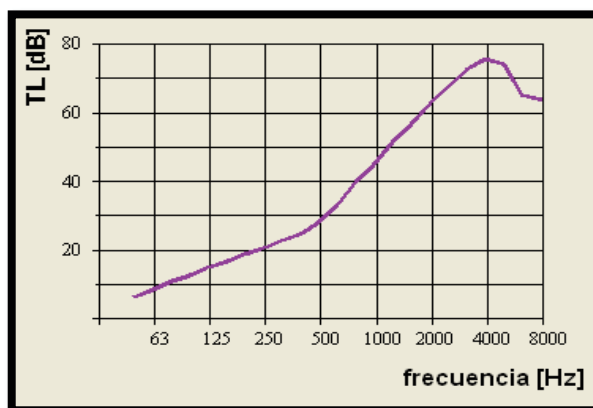


*Fuente: Autor.*

#### 4.1.6.5 Aislación de las ventanas:

Las ventanas estarán compuestas por dos vidrios de 4 mm de espesor, separados entre sí por una cámara de aire seco y quieto, este sistema es denominado Doble Vidriado Hermético, y a más de aportar con el aislamiento acústico es un gran aislante térmico, lo cual es de mucha importancia al interior del polígono para mantener una temperatura agradable en el ambiente, con ayuda del software PETRAS, se verá la gráfica del TL que proporciona el sistema planteado

**Figura 4.18.** Gráfica de curva de TL de las ventanas.

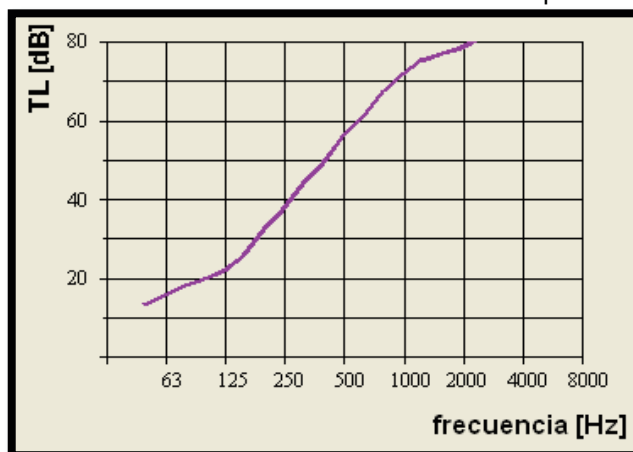


Fuente: Autor.

#### 4.1.6.6 Aislación de la Puerta:

La puerta de acceso al polígono está conformada por 3 capas de contrachapado de madera de 1 [cm] separadas por lana de vidrio de 2.5 [cm], además de un burlete de caucho entre el marco de la puerta y la pared para evitar transmisión estructural, con ayuda del software PETRAS, se verá la gráfica del TL que proporciona el sistema planteado:

Figura 4.19. Gráfica de curva de TL de la puerta.



Fuente: Autor.

El software Petras muestra el aislamiento teórico de las particiones, techo, ventanas y puerta del polígono, se puede esperar que el cálculo de la curva de TL no sea tan exacto, puesto que en la base de datos del programa no existen todos los materiales que se presentaron en las soluciones ni la posición en la que se requería que estuviesen, de todos modos es una buena herramienta

para tener una idea del aislamiento que proporcionan las particiones, techo, ventanas y puerta del polígono, las cuales por lo visto en las curvas de TL sí cumplen con la aislación requerida.

A continuación se tomará como referencia para el análisis del TL a la partición lateral derecha para constatar cuanto ruido es capaz de aislar y comprobar con los resultados obtenidos a través del software Petras, y de esta manera verificar cuanto varían los resultados:

La pared lateral derecha está conformada por un muro hecho de paneles de MDF de 2.50 [m] de ancho, 3 [m] de largo, 1.8 [cm] de espesor que serán empotradas en un armazón de madera maciza, la masa por unidad de superficie aproximada de este conjunto es de  $350 \left[ \frac{Kg}{m^2} \right]$ , la masa por unidad de superficie aproximada del muro de hormigón es de  $2300 \left[ \frac{Kg}{m^2} \right]$  y la masa por unidad de superficie aproximada del Barrier es de  $2000 \left[ \frac{Kg}{m^2} \right]$ .

Reemplazando los datos en la ecuación 2.12, tendremos el TL de cada material del sistema que conforma la pared lateral derecha:

**Tabla 4.10.** TL del muro de paneles de MDF.

Frecuencia	31.5[Hz]	63[Hz]	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]	8[KHz]
TL [dB]	32.9	38.9	44.8	50.8	56.9	62.9	68.9	74.9	80.9

**Tabla 4.11.** TL de la capa de Barrier.

Frecuencia	31.5[Hz]	63[Hz]	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]	8[KHz]
TL [dB]	48.0	54.0	60.0	66.0	72.0	78.0	84.0	90.1	96.1

**Tabla 4.12.** TL del muro de hormigón.

Frecuencia	31.5[Hz]	63[Hz]	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]	8[KHz]
TL [dB]	49.2	55.2	61.2	67.2	73.2	79.23	85.3	91.3	97.3

Se puede constatar como estipula la ley de la masa que al aumentar aparentemente al doble la masa de la partición, se aprecia un aumento de 6

[dB] en el aislamiento que brinda, si se observan los datos se verá que sumando los 6 [dB] a los valores obtenidos del muro de hormigón, los resultados se asemejan a los obtenidos mediante el software Petras.

## **5. Capítulo V**

---

## 5.1 Propuesta Económica

Como en todo proyecto de diseño se debe llevar a cabo un análisis de los costos de los materiales que van a ser utilizados para saber si su implementación es viable. A continuación se muestra en la tabla el costo del presente diseño:

**Tabla 5.1.** Tabla de Costos para el Proyecto.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Paneles de MDF	u	35	66.00	2310.00
Material "Conformado Professional"	m <sup>2</sup>	210	11.80	2478.00
Material "Barrier"	m <sup>2</sup>	193.5	21.90	4237.65
Puerta	u	1	600.00	600.00
Vidrios VDH	m <sup>2</sup>	5.52	30.00	165.60
Lana de vidrio	m <sup>2</sup>	246.75	2.77	683.50
Tiras de madera	u	40	4.50	180.00
<b>TOTAL</b>				<b>10654.75</b>

En la tabla se detallan los precios de los materiales que se requieren para este proyecto, es decir, lo que se necesita invertir para su construcción y realización. Se consideran también gastos imprevistos que serán el 10% del total del presupuesto para cualquier inconveniente que se presente durante la ejecución de la obra.

Como se puede observar el monto de la inversión no es tan elevado si se consideran los beneficios que la implementación de estas mejoras traerán para el Club, como un mayor número de personas interesadas en practicar este deporte, la salud del personal que se desempeña en el polígono de tiro, cumplir con la normativa vigente, entre otras. En la sección de anexos se puede ver a detalle el desglose del presupuesto en costos unitarios de todo lo que requiere la realización de este proyecto.

## 6. Capítulo VI

---

## 6.1 Conclusiones

- Definitivamente a través de este estudio, se pudieron aplicar muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo del proceso de formación académica, para poder llevarlos a la práctica con el desarrollo de este proyecto.
- Se cumplieron los objetivos acústicos trazados para brindar el confort acústico deseado y un medioambiente saludable tanto al interior como al exterior del polígono.
- El uso de software especializado es de gran ayuda en estos casos para ahorrar tiempo, esfuerzo y dinero y permite tener una idea muy cercana a la realidad de la situación actual de los recintos y de cuál será el resultado alcanzado al acondicionarlos.
- Los resultados de todos los cálculos y las simulaciones que fueron llevadas a cabo en los distintos software, presentan algunas diferencias respecto a los cálculos realizados matemáticamente y los resultados de las mediciones, esto se debe en gran parte a que en el software no se encontraron disponibles todos los elementos utilizados como materiales y la manera de ensamblar los mismos.
- Con las mejoras en el aislamiento del recinto en la parte de diseño, se lograría dar cumplimiento con la Ordenanza Metropolitana 213, lo cual es de gran importancia para que el Club pueda seguir funcionando y garantice un medioambiente saludable sin contaminación acústica hacia el exterior.



- Se pudo comprobar mediante la simulación en el software EASE 4.1 de las soluciones propuestas de acondicionamiento acústico, los cambios en el comportamiento del recinto con respecto a los descriptores como C50, C80, % ALCons y RaSTI, los cuales adquirieron valores muy aceptables para tratarse de una sala que no está pensada por el momento para llevar a cabo charlas, conferencias o eventos musicales, pero que de todas maneras con el transcurrir del tiempo y principalmente a las necesidades del Club puede verse modificada su funcionalidad.
- El siguiente proyecto es viable para su implementación, las modificaciones arquitectónicas propuestas no son complicadas de realizar y los costos están dentro del presupuesto de la Gerencia del Club Rancho San Francisco para mejorar las condiciones del Polígono de Tiro.

## 6.2 Recomendaciones

- Se recomienda que cuando se escoja el material para el acondicionamiento de un recinto se verifique que el mismo cumpla con las diversas normas de calidad y de seguridad, especialmente el índice de inflamabilidad del material para una mayor protección contra incendios.
- En el aspecto acústico de debe procurar que en el montaje de los sistemas donde intervienen los paneles de MDF y en la puerta sobre todo no se dejen juntas sin sellar, esto con el fin de evitar cualquier fuga sonora que iría en desmedro del aislamiento acústico de recinto.
- Se recomienda utilizar una mano de obra eficiente en cuanto a conocer del tema y poseer experiencia y que esté en condiciones de poner en ejecución la obra para no tener inconvenientes con el tiempo de entrega de la misma.
- Se recomienda el uso obligatorio de protección auditiva tanto para las personas que practican este deporte en el polígono como para el personal de instructores que laboran en este lugar, se recomienda utilizar orejeras más tapones para una mayor protección contra el ruido.

## Bibliografía

---

BOLAÑOS, Guillermo, “Diseño Acústico en Proyecto de Rehabilitación Integral del Teatro Capitol”, Tesis, Universidad de las Américas, Quito-Ecuador, 2009.

CARRIÓN, Antoni, “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”, Primera Edición, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1998

HARRIS, Cyril, “Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido”, Volumen II, 1995.

MIYARA, Federico, “Acústica y Sistemas de Sonido”, Cuarta Edición, UNR Editora (Universidad Nacional de Rosario) 2006.

NORMA UNE-EN ISO 3382-1, “Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos”, 2010.

NORMA UNE-EN ISO 17201-1, “Ruido en Galerías de tiro. Parte 1: Determinación de la energía de una fuente acústica en la salida de la boca del arma”, 2006.

Nueva Enciclopedia Larousse, “Tomo Primero”, Editorial Planeta, Barcelona, 1984.

RECUERO, Manuel, “Ingeniería Acústica”.

## **Anexos**

---

## Anexo 1

### Fotografías del Polígono de Tiro

*Fotografía de la pista desde las cabinas de tiro.*



*Fuente: Autor.*

*Fotografía de las cabinas de tiro.*



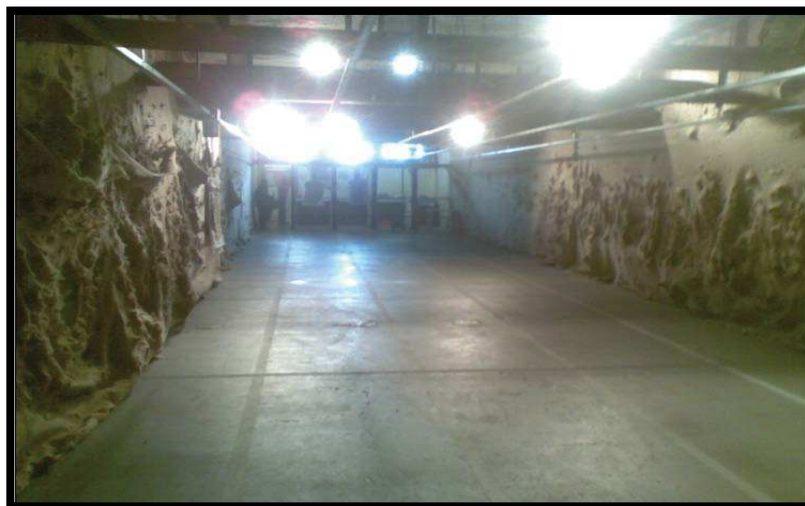
*Fuente: Autor.*

*Fotografía de la parte inferior de la trampa de balas*



*Fuente: Autor.*

*Fotografía de la pista de tiro desde la trampa de balas.*



*Fuente: Autor.*

*Fotografía de las paredes del polígono cubiertas por esponja.*



*Fuente: Autor.*

*Fotografía de las ventanas de la pared posterior del polígono*



*Fuente: Autor.*

## Anexo 2

### Costos Unitarios del Proyecto

*Costos unitarios del artículo "Paneles de MDF".*

<b>Artículo</b>	<b>Cantidad/Hora</b>	<b>Precio</b>
Paneles de MDF	35	2310.00
Clavos 3" para armar	1	1.70
Pega de madera	2	20.00
<b>Subtotal</b>		<b>2331.70</b>
Ing. En Sonido y Acústica	1	6.25
Trabajador	1	1.80
<b>Total</b>		<b>2339.75</b>

*Fuente: Autor.*

*Costos unitarios del artículo "Conformado Profesional".*

<b>Artículo</b>	<b>Cantidad/Hora</b>	<b>Precio</b>
Conformado Profesional	210	2478.00
Adhesivo de contacto	5	65.00
<b>Subtotal</b>		<b>2543.00</b>
Ing. En Sonido y Acústica	1	6.25
Trabajador	1	1.80
<b>Total</b>		<b>2551.05</b>

*Fuente: Autor.*



Costos unitarios del artículo "Barrier".

Artículo	Cantidad/Hora	Precio
Barrier	193.5	4237.65
Adhesivo de contacto	5	65.00
<b>Subtotal</b>		4302.65
Ing. En Sonido y Acústica	1	6.25
Trabajador	1	1.80
<b>Total</b>		<b>4310.70</b>

Fuente: Autor.

Costos unitarios del artículo "Puerta".

Artículo	Cantidad/Hora	Precio
Puerta	1	600.00
Tornillos para sujeción	9	1.35
<b>Subtotal</b>		601.35
Ing. En Sonido y Acústica	1	6.25
Trabajador	1	1.80
<b>Total</b>		<b>609.40</b>

Fuente: Autor.

Costos unitarios del artículo "Vidrios VDH".

Artículo	Cantidad/Hora	Precio
Vidrio VDH	5.52	165.60
<b>Subtotal</b>		165.60
Ing. En Sonido y Acústica	1	6.25
Instalador de vidrios	1	2.50
<b>Total</b>		<b>174.35</b>

Fuente: Autor.

Costos unitarios del artículo "Lana de vidrio".

Artículo	Cantidad/Hora	Precio
Lana de vidrio	246.75	683.50
Clavos 3 ½"	1.5	3.00
<b>Subtotal</b>		686.50
Ing. En Sonido y Acústica	1	6.25
Trabajador	1	1.8
<b>Total</b>		<b>694.55</b>

Fuente: Autor.

*Costos unitarios del artículo "Tiras de madera".*

<b>Artículo</b>	<b>Cantidad/Hora</b>	<b>Precio</b>
Tiras de madera	40	180.00
Tirabuzones y tacos	60	18.00
<b>Subtotal</b>		198.00
Ing. En Sonido y Acústica	1	6.25
Trabajador	1	1.8
<b>Total</b>		<b>206.05</b>

*Fuente: Autor.*

### Anexo 3

#### Tablas de la Medición de la detonación de los cartuchos

*Datos de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición del revólver calibre 38 [mm].*

Ángulo grados	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]	8000 [Hz]
0	89.8	94.6	97.5	104.6	108.3	107.9	109.1	107.4	101.7
0	88.2	94.2	96.8	103.1	109.7	105.3	110.8	108.3	99.4
0	90.1	92.5	97.0	103.1	107.9	104.7	108.6	107.2	100.7
0	87.5	93.2	98.7	102.4	107.2	106.0	109.6	105.1	102.6
0	88.4	93.8	97.3	105.1	108.5	104.2	110.4	108.9	99.9
15	87.8	94.4	103.6	101.7	104.3	110.8	106.1	105.2	103.4
15	86.4	94.2	101.8	101.2	104.9	110.5	107.2	105.1	102.5
15	87.3	93.8	103.4	101.2	104.2	110.5	106.4	104.8	103.1
15	87.2	93.7	102.9	102.1	103.6	111.2	105.9	105.2	104.6
15	87.5	94.3	103.0	101.4	104.2	110.9	107.1	105.4	104.0
30	84.4	94.3	102.5	101.7	107.6	108.1	103.5	99.2	97.6
30	84.6	94.7	102.2	101.5	107.2	108.2	103.4	99.5	98.2
30	84.1	95.1	101.9	101.5	106.9	108.1	104.1	98.9	97.5
30	85.0	95.1	102.6	102.2	107.8	107.8	103.9	99.1	97.6
30	84.6	94.4	102.7	101.8	107.5	108.3	103.5	99.1	97.2
60	77.8	88.6	97.6	96.9	98.5	101.2	99.4	98.3	94.1
60	77.6	87.7	97.3	96.6	98.2	101.6	99.4	98.7	94.3
60	76.8	88.3	97.5	96.6	98.7	101.3	98.5	98.5	94.1
60	77.1	87.9	98.3	97.2	99.3	101.3	98.3	98.2	93.7
60	76.9	88.2	98.1	97.0	99.1	101.4	99.2	98.5	94.2
90	72.2	81.4	88.7	87.8	96.3	95.9	95.1	93.2	90.2
90	72.1	81.2	88.5	87.9	96.6	95.6	95.8	93.1	90.0
90	71.9	81.4	87.9	87.5	97.0	94.9	94.6	94.5	91.1
90	72.0	82.3	88.3	87.4	96.7	95.3	94.5	93.6	90.4
90	72.3	81.5	88.4	87.6	96.4	95.1	94.6	93.8	90.2

*Fuente: Autor.*

*Datos de los Niveles de Presión Sonora obtenidos en la medición de la pistola calibre 9 [mm].*

<b>Ángulo grados</b>	<b>31.5 [Hz]</b>	<b>63 [Hz]</b>	<b>125 [Hz]</b>	<b>250 [Hz]</b>	<b>500 [Hz]</b>	<b>1000 [Hz]</b>	<b>2000 [Hz]</b>	<b>4000 [Hz]</b>	<b>8000 [Hz]</b>
0	86.5	93.8	98.6	103.9	108.7	106.2	109.9	108.1	102.0
0	87.7	95.3	97.1	102.4	110.1	105.1	108.3	107.6	99.0
0	90.3	91.5	99.1	103.7	106.8	105.2	107.8	105.4	101.2
0	87.3	93.7	98.5	102.4	107.2	106.0	109.9	104.9	102.6
0	89.1	94.3	97.6	105.1	108.5	104.2	109.3	109.0	99.9
15	87.8	95.1	103.5	101.7	104.7	109.7	107.2	104.8	103.0
15	86.4	93.7	102.4	102.0	105.2	110.7	106.5	105.1	104.2
15	87.7	94.6	101.9	101.7	104.4	109.9	105.9	104.1	103.7
15	87.1	92.2	102.5	102.1	103.6	111.2	105.4	105.2	103.9
15	86.2	95.0	103.4	101.4	104.0	109.9	106.6	105.4	104.1
30	85.7	94.3	102.5	101.9	106.4	107.7	102.5	99.7	98.1
30	85.1	93.9	102.2	102.1	107.2	108.7	102.9	99.5	97.9
30	84.9	95.2	101.9	102.3	107.3	107.4	104.1	98.9	97.2
30	85.2	94.7	102.6	102.2	108.1	107.2	103.9	99.1	97.9
30	84.0	94.7	102.7	101.9	107.3	108.8	103.5	99.1	97.2
60	76.9	87.7	97.6	97.5	98.7	100.9	98.5	98.3	93.4
60	77.5	86.9	97.3	96.7	99.0	101.5	99.0	98.7	93.7
60	77.4	88.5	97.5	96.1	98.3	100.8	98.2	98.5	94.5
60	76.6	88.1	98.3	97.7	98.4	101.0	98.2	98.2	93.6
60	76.1	87.8	98.1	97.7	99.6	101.7	98.7	98.5	94.4
90	73.2	80.9	88.7	86.9	95.3	95.0	95.7	93.2	90.7
90	72.7	81.0	88.5	87.3	96.1	95.6	95.1	93.1	90.8
90	72.6	80.2	87.3	86.7	97.1	95.8	94.2	94.9	90.0
90	72.5	81.3	87.9	88.8	96.2	94.2	95.0	92.5	89.3
90	71.2	80.0	88.2	85.8	94.1	96.7	92.9	94.0	91.6

*Fuente: Autor.*

## Anexo 4

### Formulario

**(2.1) Velocidad de propagación del sonido:**

$$C = (331.5 + 0.6 \cdot \vartheta) \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Donde:

$\vartheta$  = Temperatura en grados Centígrados [°C].

**(2.2) Longitud de onda:**

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m]$$

Donde:

$c$  = Velocidad de propagación del sonido  $\left[ \frac{m}{s} \right]$ .

$f$  = Frecuencia [Hz].

**(2.3) Nivel de Presión Sonora (LP):**

$$L_p = 20 * \log \frac{P}{P_{ref}} \quad [dB]$$

Donde:

$P_{ref}$  = Mínimo nivel que una persona puede escuchar a una frecuencia de 1000 [Hz]  $2 \cdot 10^{-5}$  [Pa].

**(2.4) Nivel de Potencia Sonora ( $L_w$ ):**

$$L_w = 10 * \log \frac{W}{W_{ref}} \quad [dB]$$

Donde:

$$W_{ref} = 10^{-12} [W].$$

**(2.5) Nivel de Intensidad Sonora ( $L_i$ ):**

$$L_i = 10 * \log \frac{I}{I_{ref}} \quad [dB]$$

Donde:

$$I_{ref} = 10^{-12} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

**(2.6) Absorción Sonora:**

$$A = S * \alpha \quad [m^2 \text{ Sabine}].$$

Donde:

$S$  = Superficie del material [ $m^2$ ].

$\alpha$  = Coeficiente de absorción del material.

**(2.7) Frecuencia Límite Inferior de Schröder:**

$$F = 2000 * \sqrt{\frac{T}{V}} \quad [\text{Hz}]$$

Donde:

$T$  = Tiempo de Reverberación de la Sala [s].

$V$  = Volumen total del recinto [ $\text{m}^3$ ].

**(2.8) Acústica Estadística:**

$$D = \frac{\langle P \rangle^2}{\rho c}$$

Donde:

$D$  = Densidad de Energía.

$P$  = Magnitud de la presión sonora promediada en el tiempo y espacio.

$\rho$  = Densidad del aire  $1,18 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$

$c$  = Velocidad del sonido en el aire  $344 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

**(2.9) Distancia Crítica:**

$$D_c = 0,14 \sqrt{QR}$$

Donde:

$Q$  = factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada.

$R$  = constante de la sala.



**(2.10) Modos Normales de Vibración:**

$$F_{k,m,n} = 172.5 \sqrt{\left(\frac{k}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{m}{Ly}\right)^2 + \left(\frac{n}{Lz}\right)^2}$$

Donde:

$Lx, Ly, Lz$  = Dimensiones de la sala [m].

$K, m, n$  = Cualquier valor entero (0, 1, 2, 3, ...).

**(2.11) Pérdida por Transmisión (TL):**

$$TL = 10 \log \frac{Li}{Lt}$$

Donde:

$li$  = Intensidad de Energía incidente  $\left[\frac{w}{m^2}\right]$

$lt$  = Intensidad de Energía transmitida  $\left[\frac{w}{m^2}\right]$

**(2.12) Pérdida por Transmisión (TL):**

$$TL = 20 \log (mf) - 48 \quad [dB]$$

Donde:

$TL$  = Pérdida por Transmisión [dB].

$m$  = Masa por unidad de superficie de la partición  $\left[\frac{Kg}{m^2}\right]$ .

$f$  = Frecuencia [Hz].

**(2.13) Aislamiento de una partición:**

$$R = 10 \log \left\{ \frac{m \cdot \omega \cdot \cos \theta \cdot f}{2 \cdot d \cdot v} \right\}^2 \quad [dB]$$

Donde:

$$m = \text{Densidad del material} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\omega = \text{Pulsación de onda} [2 \cdot \pi].$$

$$\theta = \text{Ángulo de incidencia del sonido en el cerramiento} [0^\circ].$$

$$d = \text{Densidad del aire } 1,18 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$v = \text{Velocidad del sonido } 344 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$f = \text{Frecuencia del sonido} [Hz].$$

**(2.14) Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq):**

$$L_{eq} = 10 * \log \frac{\frac{1}{T} \int_0^T P_A^2 dt}{P_{ref}^2} \quad [dB]$$

**(4.1) Tiempo de Reverberación (Fórmula de Sabine):**

$$RT = 0.161 * \left( \frac{V}{A} \right) \quad [s]$$

Donde:

$$V = \text{Volumen total del recinto} [m^3].$$

$$A = \text{Absorción total} [m^2 \text{ Sabine}].$$