



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación de Control de
Ruido y Reflexión Sonora en
Salas de concierto de la
CDMX**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

José Alberto Huertas Hernández

DIRECTOR DE TESIS

M.I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

No puedo entender porque la gente tiene miedo a las ideas nuevas. Yo tengo miedo de las antiguas.

John Cage

Lo bueno de la ciencia es que es verdad, creas o no en ella.

Neil deGrasse Tyson, *Entrevista para CNN en 2011*

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas que me han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, quisiera agradecer a mis padres y hermana que me han ayudado y apoyado en todo mi producto, a mi tutor, Rodrigo Takashi, por haberme orientado en todos los momentos que necesité sus consejos.

Así mismo, deseo expresar mi reconocimiento al Centro Cultural Ollin Yoliztli por todas las atenciones e información brindada a lo largo de esta.

A todos mis amigos y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias por toda su ayuda y buena voluntad.

A todos los mis sinodales por contribuir a lo largo de mi carrera universitaria a formarme como profesional dentro del campo de la ingeniería civil y demostrar que, sin importar el campo de desarrollo profesional, el ingeniero debe contribuir con ética y profesionalismo.

A la Facultad de Ingeniería por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

ÍNDICE

RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
1. ACÚSTICA Y ASPECTOS FÍSICOS.....	15
1.1. ONDA DE SONIDO.....	15
1.2. REFLEXIÓN, ABSORCIÓN Y ATENUACIÓN SONORA	22
1.3. RUIDO	25
1.4. RED DE PONDERACIÓN.....	29
1.5. NIVEL SONORO CONTINUO EQUIVALENTE.....	33
1.6. NIVELES PERCENTILES.....	35
1.7. CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS	37
1.7.1. Reflexiones Primarias	38
1.7.2. Parámetros de Calidad Acústica.....	39
2. METODOLOGÍA.....	41
2.1. OBJETIVO GENERAL	42
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	43
2.3. TIPO DE ESTUDIO.....	43
2.4. CATEGORÍAS DE ANÁLISIS.....	43
2.5. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	44
2.6. CRITERIOS DE EVALUACIÓN ACÚSTICA Y NORMATIVIDAD TÉCNICA APLICABLE	47
2.6.1. Ruido de Fondo	47
2.6.1.1. NOM-081-SEMARNAT-1994.....	48
2.6.1.2. NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTUDIOS, PROYECTOS, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES.	
VOLUMEN 3, HABILIDAD Y FUNCIONAMIENTO, TOMO IV, ACÚSTICA.....	48
2.6.2. Aislamiento Bruto (Sound Transmition Class).....	51
2.6.2.1. NOM-081-SEMARNAT-1994	51

2.6.2.2.	<i>NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTUDIOS, PROYECTOS, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES.</i>	
	<i>VOLUMEN 3, HABILIDAD Y FUNCIONAMIENTO, TOMO IV, ACÚSTICA.....</i>	<i>52</i>
2.6.3.	<i>Tiempo de Reverberación.....</i>	<i>55</i>
2.6.3.1.	<i>UNE EN ISO 3382-2.....</i>	<i>55</i>
2.6.3.2.	<i>NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTUDIOS, PROYECTOS, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES.</i>	
	<i>VOLUMEN 3, HABILIDAD Y FUNCIONAMIENTO, TOMO IV, ACÚSTICA.....</i>	<i>56</i>
3.	DESCRIPCIÓN DE SALAS A ESTUDIAR.....	58
3.1.	CENTRO CULTURAL OLLIN YOLIZTLI	58
3.2.	SALA HERMILO NOVELO.....	59
3.2.1.	<i>Ubicación</i>	<i>59</i>
3.2.2.	<i>Características de la sala.....</i>	<i>60</i>
3.2.3.	<i>Descripción de Ruido.....</i>	<i>65</i>
3.3.	SALA SILVESTRE REVUELTAS	66
3.3.1.	<i>Ubicación</i>	<i>66</i>
3.3.2.	<i>Características de la sala.....</i>	<i>67</i>
3.3.3.	<i>Descripción de Ruido</i>	<i>72</i>
4.	PROTOCOLO DE EXPERIMENTACIÓN.....	73
4.1.1.	<i>Preliminares</i>	<i>73</i>
4.1.2.	<i>Aislamiento Bruto (STC)</i>	<i>74</i>
4.1.3.	<i>Niveles de Ruido de Fondo.....</i>	<i>76</i>
4.1.4.	<i>Tiempo de reverberancia.....</i>	<i>77</i>
5.	DATOS OBTENIDOS.....	78
5.1.	MANEJO Y PROCESO DE DATOS	78
5.1.1.	RUIDO DE FONDO.....	78
5.1.2.	<i>Aislamiento Bruto (STC)</i>	<i>79</i>
5.1.3.	<i>Tiempo de Reverberancia.....</i>	<i>79</i>
5.2.	DATOS GENERALES.....	80

5.2.1.	SALA HERMILO NOVELO.....	80
5.2.2.	SALA SILVESTRE REVUELTAS.....	83
5.3.	RUIDO DE FONDO.....	85
5.3.1.	<i>Sala Hermilo Novelo</i>	85
5.3.2.	<i>Sala Silvestre Revueltas</i>	87
5.4.	AISLAMIENTO BRUTO (STC).....	90
5.4.1.	<i>Sala Hermilo Novelo</i>	90
5.4.2.	<i>Sala Silvestre Revueltas</i>	98
5.5.	TIEMPO DE REVERBERANCIA.....	102
5.5.1.	<i>Sala Hermilo Novelo</i>	102
5.5.2.	<i>Sala Silvestre Revueltas</i>	106
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	113
6.1.	SALA HERMILO NOVELO.....	113
6.1.1.	<i>Ruido de Fondo</i>	113
6.1.2.	<i>Aislamiento Bruto (STC)</i>	114
6.1.3.	<i>Tiempo de Reverberación</i>	115
6.2.	SALA SILVESTRE REVUELTAS.....	116
6.2.1.	<i>Ruido de Fondo</i>	116
6.2.2.	<i>Aislamiento Bruto (STC)</i>	117
6.2.3.	<i>Tiempo de Reverberancia</i>	118
7.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	120
8.	RECOMENDACIONES.....	125
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	127
10.	ANEXOS.....	129

Índice de figuras y tablas

Figura 1	Partes de una Onda
Figura 2	Sonido Periódico Simple
Figura 3	Sonido Periódico Complejo
Figura 4	Sonido Transitorio
Figura 5	Superposición de ondas algebraica
Figura 6	Superposición de Ondas Complejas
Figura 7	Comportamiento del sonido a través de un material
Figura 8	Ley Inversa del Cuadrado de la Distancia
Figura 9	Curvas de Ponderación A, B y C
Figura 10	Nivel Sonoro Continuo Equivalente
Figura 11	Niveles Percentiles
Figura 12	Curvas NC (Noise Criteria)
Figura 13	Tiempo de Reverberancia Recomendado por Actividad
Figura 14	Ubicación Sala Hermilo Novelo
Figura 15	Sala en forma de hexágono alargado
Figura 16	Plano Arquitectónico, Sala Hermilo Novelo
Figura 17	Acceso Principal, Sala Hermilo Novelo
Figura 18	Plafón Escenario, Sala Hermilo Novelo
Figura 19	Escenario, Sala Hermilo Novelo
Figura 20	Gradas, Sala Hermilo Novelo
Figura 21	Perímetro de Accesos a Sala Hermilo Novelo
Figura 22	Ubicación Sala Silvestre Revueltas
Figura 23	Sala en Forma de Abanico Invertido
Figura 24	Plano Arquitectónico Sala Silvestre Revueltas
Figura 25	Escenario, Sala Silvestre Revueltas
Figura 26	Plafón Escenario, Sala Silvestre Revueltas
Figura 27	Gradas, Sala Silvestre Revueltas
Figura 28	Muro Lateral, Sala Silvestre Revueltas
Figura 29	Puntos de Medición de Ruido de Fondo, Sala Hermilo Novelo
Figura 30	Puntos de Medición de Ruido de Fondo, Sala Silvestre Revueltas
Figura 31	Medición exterior, Sala Hermilo Novelo
Figura 32	Medición Interior, Sala Hermilo Novelo
Figura 33	Acceso Trasero, Sala Hermilo Novelo
Figura 34	Backstage, Sala Hermilo Novelo
Figura 35	Puntos de Medición de Aislamiento Bruto (STC), Sala Hermilo Novelo
Figura 36	Medición Piano-Violín, Cubículo Sala Hermilo Novelo
Figura 37	Medición Violín, Cubículo Sala Hermilo Novelo
Figura 38	Medición Dos Violines, Cubículo Sala Hermilo Novelo

Figura 39	Medición Piano, Cubículo Sala Hermilo Novelo
Figura 40	Medición Aislamiento Bruto (STC) I, Sala Silvestre Revueltas
Figura 41	Medición Aislamiento Bruto (STC) II, Sala Silvestre Revueltas
Figura 42	Puntos de Medición de Aislamiento Bruto (STC), Sala Silvestre Revueltas
Figura 43	Puntos de Medición del Tiempo de Reverberación, Sala Hermilo Novelo
Figura 44	Regresión Lineal I, Sala Hermilo Novelo
Figura 45	Regresión Lineal II, Sala Hermilo Novelo
Figura 46	Regresión Lineal III, Sala Hermilo Novelo
Figura 47	Puntos de Medición del Tiempo de Reverberación, Sala Silvestre Revueltas
Figura 48	Regresión Lineal I, Sala Silvestre Revueltas
Figura 49	Regresión Lineal II, Sala Silvestre Revueltas
Figura 50	Regresión Lineal III, Sala Silvestre Revueltas
Figura 51	Medición Punto 2 del Tiempo de Reverberación, Sala Silvestre Revueltas
Figura 52	Explosión de Globos para el Tiempo de Reverberación, Sala Silvestre Revueltas
Figura 53	Medición con Sonómetro para el Tiempo de Reverberación, Sala Silvestre Revueltas
Figura 54	Dispersión a la Deviación Estándar del Tiempo de Reverberación, Sala Hermilo Novelo
Figura 55	Dispersión a la Deviación Estándar del Tiempo de Reverberación, Sala Silvestre Revueltas

Tabla 1	Límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación "A" emitidos por fuentes fijas
Tabla 2	Bandas de Octava (1/1 y 1/3) y su Ponderación a escala A
Tabla 3	Criterios de Ruido de Fondo
Tabla 4	Ruido de Fondo para Sala de Conciertos en dB(A)
Tabla 5	Categorías Recomendables para Aislamiento Acústico Bruto entre dos Locales (STC)
Tabla 6	Aislamiento Acústico Bruto
Tabla 7	Aislamiento Acústico Bruto, Ponderación Global dB(A)
Tabla 8	Puntos de Medición Mínimos para el Tiempo de Reverberación
Tabla 9	Datos Generales Sala Hermilo Novelo
Tabla 10	Datos Generales Sala Silvestre Revueltas
Tabla 11	Medición de Ruido de Fondo, Sala Hermilo Novelo
Tabla 12	Resumen Medición de Ruido de Fondo, Sala Hermilo Novelo
Tabla 13	Medición de Ruido de Fondo I, Sala Silvestre Revueltas
Tabla 14	Medición de Ruido de Fondo II, Sala Silvestre Revueltas
Tabla 15	Resumen Medición de Ruido de Fondo, Sala Silvestre Revueltas
Tabla 16	Medición de Aislamiento Bruto ZC1, Sala Hermilo Novelo
Tabla 17	Medición de Aislamiento Bruto ZC2, Sala Hermilo Novelo

Tabla 18	Medición Adicional en Cubículos de Estudio, Sala Hermilo Novelo
Tabla 19	Medición de Aislamiento Bruto ZC1, Sala Silvestre Revueltas
Tabla 20	Medición de Aislamiento Bruto ZC2, Sala Silvestre Revueltas
Tabla 21	Medición de Aislamiento Bruto ZC3, Sala Silvestre Revueltas
Tabla 22	Regresión Lineal y T_{60} , Sala Hermilo Novelo
Tabla 23	Resumen y Tiempo de Reverberancia, Sala Hermilo Novelo
Tabla 24	Regresión Lineal y T_{60} , Sala Silvestre Revueltas
Tabla 25	Resumen y Tiempo de Reverberancia, Sala Silvestre Revueltas
Tabla 26	Ruido de Fondo Corregido, Sala Hermilo Novelo
Tabla 27	Atenuación de Ruido entre Dos locales ZC1, Sala Hermilo Novelo
Tabla 28	Atenuación de Ruido entre Dos locales ZC2, Sala Hermilo Novelo
Tabla 29	Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría I
Tabla 30	Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría II
Tabla 31	Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría III
Tabla 32	Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría IVa
Tabla 33	Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría IVb

Resumen

La presente tesis realiza la evaluación de ruido y reflexiones acústicas en recintos ubicados al sur de la Ciudad de México, a través de la medición y comparación de parámetros básicos como ruido de fondo, aislamiento bruto y tiempo de reverberación; indicando el método de medición y procesamiento de datos utilizado.

Los resultados de la medición son comparados con legislación nacional e internacional vigente disponible, para mostrar el alejamiento de las características físicas y funcionales de la sala con respecto a los datos recomendados.

En el primer capítulo da paso a una pequeña introducción de la problemática al igual que la situación actual de México en materia relacionada a la acústica. En el segundo capítulo se describen las características físicas del sonido aplicadas en la metodología utilizada. Por otra parte, se muestran los conceptos básicos para cada proceso y los criterios de evaluación acústica. El siguiente capítulo refiere a la presentación de los objetivos de esta tesis, así como la metodología a utilizar y garantizar una buena medición, manejo y procesamiento de datos, describiendo limitantes, consideraciones e instrumentación, con respecto a criterios contenidos en legislación aplicable para evaluar salas de concierto. En el tercer capítulo se exponen las características y problemáticas puntuales de cada sala a evaluar de acuerdo con información previa proporcionada o identificada in situ. En el cuarto capítulo se enuncia el protocolo experimental obtenido a partir de legislación nacional e internacional, describiendo detalladamente el proceso de toma y manejo de datos. El quinto capítulo expone las consideraciones, limitaciones y complicaciones en el

muestreo de datos para cada sala, así como los resultados obtenidos para cada una de ellas mostrando los puntos de medición. Para el sexto capítulo, se realiza la evaluación de cada sala con respecto a los parámetros recomendados de la legislación presentada en el capítulo cuatro. Finalmente se redactan las discusiones y conclusiones desde la toma de datos hasta los resultados de la evaluación.

Introducción

Este texto trata un área en que la ingeniería civil ha tenido poca participación, como lo es la acústica. Una de las principales características de un ingeniero civil es la de proporcionar infraestructura para que alguna actividad humana se realice. Para que el sonido como forma de comunicación se lleve a cabo, se requiere de una instalación funcional, donde el ingeniero civil con uso principios básicos físicos puede llegar a optimizar estos espacios.

Las actividades comunicativas son aquellas que permiten intercambiar información mediante algún sistema siendo llevada de una persona a otra a través de un mensaje, que para su recepción se requieren de habilidades fundamentales como el escuchar, hablar, escribir y leer (Dalton, G. Hoyle, & W. Watts, 2007, pág. 86) . Se debe señalar que estas actividades requieren de un medio, por lo que es necesario la infraestructura como aulas, salas de concierto, salones, salas de conferencias, teatros, entre otros.

Este estudio se enfoca en reconocer los aspectos físicos y funcionales del medio en donde se ejecutan actividades de expresión artística como lo es la música de concierto. Estos aspectos físicos se estudian dentro de la acústica, una rama de la física relacionada con la óptica debido a su estrecha relación en su comportamiento,

ya que ambas actúan por medio de ondas de propagación. Esta rama ha sido estudiada directamente con el sonido desde Pitágoras aplicando sus conocimientos matemáticos a la música, pasando a lo largo del tiempo con los nuevos descubrimientos y estudios de las ondas brindaron más información enriqueciéndola e involucrando otros factores como la estética, arquitectura y salud en temas de ruido.

El principal motivo para el desarrollo de esta tesis fue la mala calidad de la acústica percibida en diferentes recintos, el cual indicaba una tendencia de malos diseños, descuidos y poco interés de los desarrolladores de proyectos reflejándose en la mala calidad acústica de las salas. Existen diferentes formas de mejorar la calidad acústica de un recinto existente, sin embargo, la evaluación de estos es primordial para considerar propuestas de un acondicionamiento acústico, el cual es objetivo de esta tesis, desarrollar e involucrar interés en conocer el estado actual acústico de salas de concierto.

Las salas de concierto son la infraestructura actual para la ejecución de la música de concierto. Estas cuentan con parámetros sonoros que se logran tanto con un buen diseño acústico, como con una apropiada estructuración del inmueble. Este tipo de infraestructura tiene diferentes características físicas y geométricas, las cuales no están normalizadas por alguna institución pública o internacional, no se tienen regulaciones, por lo que la evaluación de este tipo de recintos es muy importante para conocer su funcionalidad, la cual será medida por medio de parámetros de recomendación de ciertas normas no oficiales en México.

México cuenta con este tipo de infraestructura, la cual es muy importante para su desarrollo cultural. A lo largo del país encontramos diversos tipos de inmuebles

desarrollados para la ejecución de diferentes actividades artísticas como el teatro, ópera, música, sin embargo, no toman en cuenta que cada actividad requiere de diferentes características, sonoras y visuales. La evaluación considerada en este documento toma en cuenta estos criterios de uso del inmueble. Con base en la búsqueda de salas de conciertos para cada escuela de música y centro cultural en la Ciudad de México, se cuenta con las siguientes salas de conciertos:

- Sala Nezahualcóyotl (Centro Cultural, Ciudad Universitaria, UNAM)
- Sala Silvestre Revueltas o Sala Ollin Yoliztli (Centro Cultural Ollin Yoliztli)
- Sala Hermilo Novelo (Centro Cultural Ollin Yoliztli)
- Xochipilli (Facultad de Música, UNAM)
- Huehucóyotl (Facultad de Música, UNAM)
- Aula 10 (Facultad de Música, UNAM)
- Audiovisuales (Facultad de Música, UNAM)
- Sala Carlos Chávez (Centro Cultural, Ciudad Universitaria, UNAM)
- Anfiteatro Simón Bolívar (Centro Histórico, UNAM)
- Auditorio Blas Galindo (CENART)
- Sala Manuel M. Ponce (Bellas Artes)
- Sala Principal del Palacio de Bellas Artes (Bellas Artes)

- Sala Silvestre Revueltas (Conservatorio Nacional de Música)

Todas ellas son importantes salas públicas de la Ciudad de México, dedicadas a la exposición de la música de concierto; de ellas se han seleccionado dos salas ubicadas en el Centro Cultural Ollin Yoliztli, a partir de mi relación personal y académica con el centro para poder obtener datos, procesarlos y concluir sobre la situación acústica actual de sus salas.

Se consideró la evaluación de la sala Nezahualcóyotl de la UNAM, sin embargo, por cuestiones de permisos y barreras impuestas por la Dirección General del Patrimonio Universitario, se complicó el proceso y se optó por no proceder con los permisos pertinentes y solo evaluar las salas del Centro Cultural Ollin Yoliztli donde se otorgaron los permisos sin ninguna complicación.

1. Acústica y Aspectos Físicos

1.1. Onda de Sonido

El sonido se produce a partir de la transmisión de ondas mecánicas a través de materia, en cualquier estado, sólido, líquido o gaseoso. Es importante remarcar que en el sonido sólo se encuentra transmisión de energía, pero no traslado de materia. La forma de transmisión natural del sonido es a través de ondas longitudinales y transversales. De manera puntual y generalizando la forma del movimiento de las ondas mecánicas es en tres dimensiones de forma esférica, por otro lado, típicamente se representa y estudia solo en dos dimensiones.

En la naturaleza existen continuamente perturbaciones del aire, las cuales se reflejan como sonido para nuestros oídos; estos sonidos no son aislados como se pudiera imaginar, sino múltiples perturbaciones sucesivas moviéndose en forma senoidal a través de ondas mecánicas en el aire alejándose de la fuente. La distancia entre una perturbación a otra es la longitud de onda λ , medida en metros (m), por otro lado, la cantidad de perturbaciones por segundo es la frecuencia, sus unidades de medición son los Hertz (Hz). Por último, el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes, se llama periodo, medido en segundos. En la figura 1 se muestran estos conceptos, los cuales son esenciales para describir el comportamiento físico de una onda mecánica (Giancoli, 2006, pág. 302).

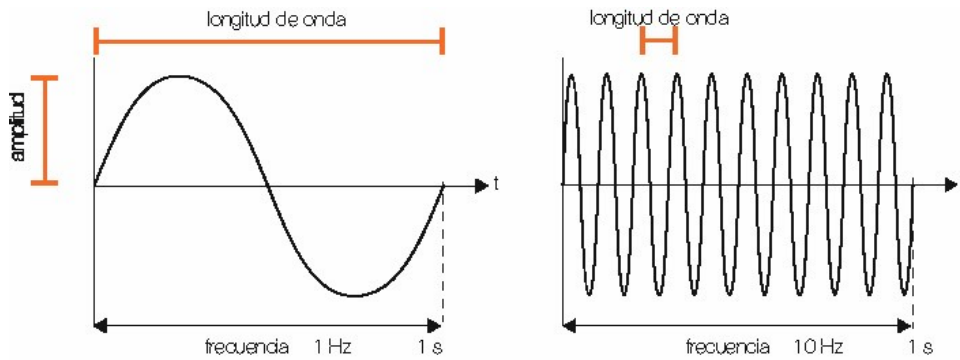


Figura 1. (Cervantes, 2019) Partes de una onda

Al hablar de la onda de sonido, se asume que su medio principal es el aire, por lo que es importante estudiar el sonido en este medio, ya que, a partir de él, se realizarán los estudios correspondientes para evaluar la acústica en un recinto.

El sonido se divide en dos grupos los deterministas y los aleatorios, los cuales consideran el comportamiento mecánico de las ondas que lo transmiten. (Isbert, 2001, pág. 30).

Los sonidos deterministas se representan a partir de modelos matemáticos, los cuales nos muestran el comportamiento de la onda en función del tiempo.

Dentro de estos encontramos:

- **Sonido Periódico Simple:** Este tipo de sonido se compone a partir de la suposición más simple de un sonido, con una sola frecuencia y constante.

Ver figura 2.

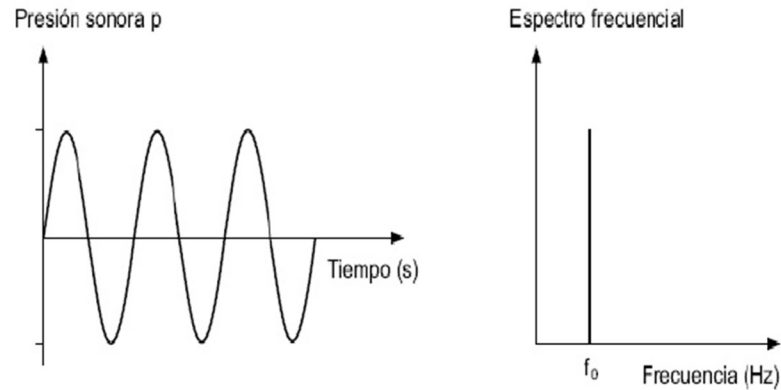


Figura 2. (Isbert, 2001, pág. 30) Sonido Periódico Simple

- **Sonido Periódico Complejo:** En este tipo de sonido se encuentra el concepto de armónico, en el cual se tiene una frecuencia base, donde a partir de ella surgen múltiplos de esta denominados como armónicos, concepto básico en la generación de sonidos, otorgando características particulares del timbre al sonido clasificando los sonidos por instrumentos, materiales, etc. Ver figura 3.

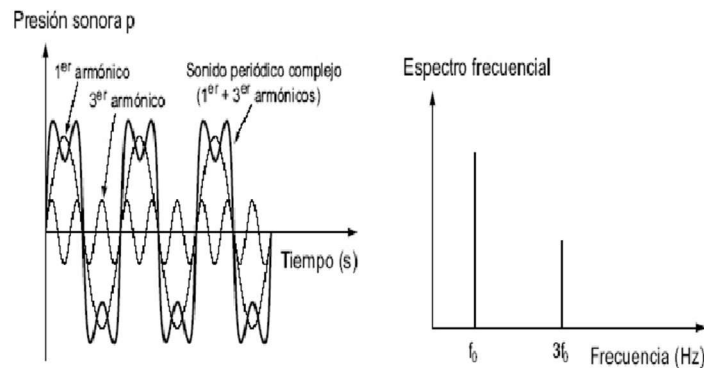


Figura 3. (Isbert, 2001, pág. 30) Sonido Periódico Complejo

- **Sonido Transitorio:** Dentro de este tipo de sonidos encontramos sonidos con corta duración, los cuales pueden ser ejecutados de forma brusca, rompiendo con el esquema de frecuencias constantes o consonantes. Ver figura 4.

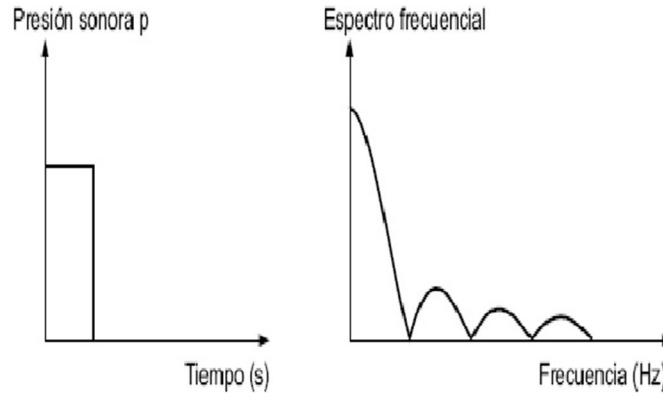


Figura 4. (Isbert, 2001, pág. 31) Sonido Transitorio

Los sonidos aleatorios se basan en principios estadísticos. Al no tener una forma característica, tienden a ser irregulares por lo que se requieren parámetros estadísticos para poder ser descritos. Éstos también pueden ser llamados “ruidos” por su variabilidad en cuanto a frecuencias. Ejemplos de estos tipos de sonidos son el ruido blanco y rosa.

Para comprender mejor los fenómenos del sonido, tenemos que conocer su comportamiento natural. El sonido más simple en la naturaleza se compone de una frecuencia constante, por lo que se describe a través de una única onda mecánica. Por otro lado, si estudiamos en conjunto dos sonidos, tendremos una superposición de ondas, cuyo comportamiento es importante conocer. Se tienen dos formas de superponer las ondas, la algebraica y la compleja.

- Superposición algebraica: la hipótesis principal de ésta es que las funciones básicas de cada onda se representarán de manera vectorial, teniendo diferentes amplitudes y fases, pero con igual frecuencia; si alguna onda varía un poco en la frecuencia este método ya no se aplica, por lo que es su gran limitante. La superposición se aplica sumando

algebraicamente los vectores que conforman las ondas senoidales teniendo como resultante una onda compleja con amplitud y fase diferentes a las básicas. Eventualmente estas ondas básicas pueden cancelarse si tienen una diferencia de fase a 180° . Ver figura 5.

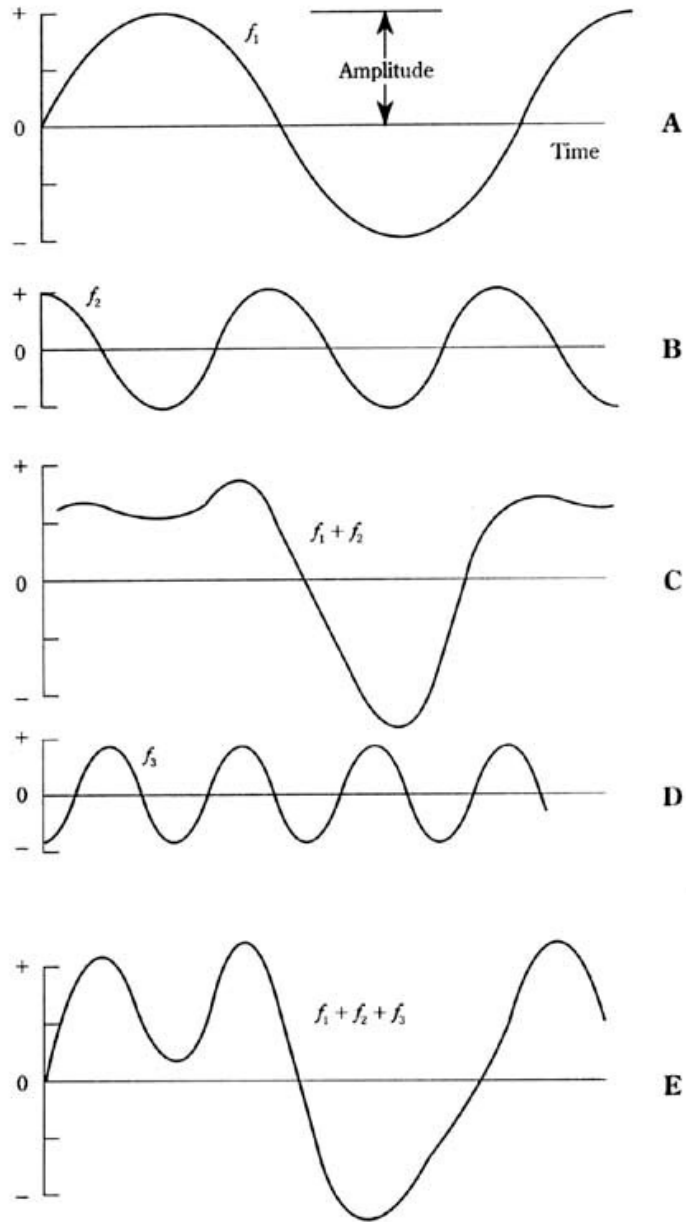


Figura 5. (Maggiolo, 2002) Superposición de Ondas Algebraica

- Superposición compleja: En la naturaleza comúnmente se encuentran este tipo de superposiciones de ondas complejas con ondas complejas. La solución a este problema se remonta a la llamada transformada de Fourier, la cual, de manera conceptual, trata de descomponer las ondas complejas en ondas básicas, como las sinusoidales, sin importar la frecuencia, la amplitud y la fase. La manera en que trabaja esta transformada es sumar N funciones simples formando una onda compleja, teniendo así un atajo matemático. De forma contraria al tener una función compleja y aplicando el inverso matemático de la transformada de Fourier obtenemos varias ondas básicas. Éste es el concepto básico de cómo trabajan los sintetizadores musicales. Ver figura 6.

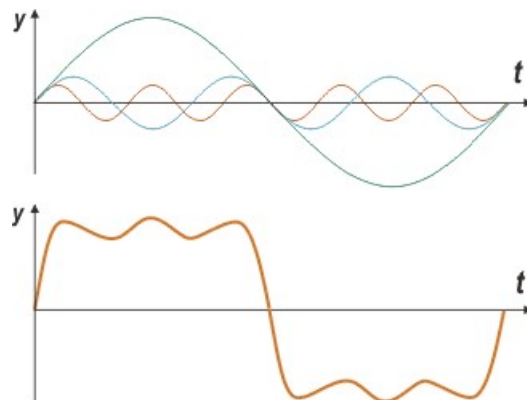


Figura 6. (Cabrera R. , 2019) Superposición de Ondas Complejas

El sonido de manera simplista es la propagación de las ondas mecánicas a través de un fluido, donde su velocidad de propagación depende de la densidad y cambios de presión. Para fines de este estudio el fluido de transmisión es el aire, considerando

20 °C, una humedad al 50% a nivel del mar, tiene una velocidad de propagación de 343 m/s.

Es importante conocer las cualidades del sonido, las cuales son la intensidad, el tono y el timbre.

La cualidad del tono en un sonido va directamente relacionada con la frecuencia de la onda, ya que, en cuanto a la percepción del ser humano, distingue de un sonido agudo y grave.

La cualidad más complicada de explicar es el timbre ya que éste dependerá de los armónicos o suma de diferentes ondas, las cuales otorgan una envolvente con un sonido característico a pesar de sonar a una cierta frecuencia, distinguiendo diferentes voces, instrumentos y materiales.

Por último, la intensidad del sonido es la cualidad más importante con respecto a esta tesis ya que todos los datos obtenidos miden este parámetro. La percepción de un sonido fuerte o débil describe esta cualidad, esto determina la distancia a la que puede oírse un sonido, siendo el flujo medio de la energía producida por la fuente siguiendo la ley de la inversa del cuadrado. Este parámetro enfocado al análisis del ruido o acústica, también se denomina nivel de presión sonora o nivel de presión acústica, teniendo como unidades el decibelio (dB) como referencia el nivel de percepción humana que va de los 0 dB a los 120 dB (Morell & Gil - Lozaga, 2018). Con base en estudios, la forma en que se describe la intensidad es por medio de funciones logarítmicas, describiendo mejor su comportamiento.

Debido al comportamiento logarítmico de los niveles sonoros, su adición no es lineal, por lo que la adición del nivel de presión sonora (NPA) de diferentes fuentes debe realizarse con base en la siguiente expresión (Benítez Aragon & Ruiz Ruiz, 2018, pág. 25).

$$NPA_{global} = 10 \log \left(\sum 10^{\frac{dB_i}{10}} \right) \text{ Ec. 1}$$

Donde:

NPA_{global} = Nivel de presión acústica total.

dB_i = Niveles de presión acústica parciales o a sumar.

Las unidades varían de acuerdo a la ponderación seleccionada estas pueden ser dB, dB(A), dB(B) o dB(C).

1.2. Reflexión, Absorción y Atenuación Sonora

Puesto que la naturaleza de la onda sonora rige los fenómenos del sonido, uno de ellos es de gran relevancia para el control de las ondas sonoras es la reflexión de acuerdo con “Cuando la onda sonora choca con una superficie lisa, sólida, plana y de dimensiones superiores a su longitud de onda, ésta es devuelta en dirección opuesta formando con la superficie el mismo ángulo de incidencia” (Jaramillo, 2007, pág. 45), ésta definición también es denominada Ley de la reflexión, la cual se puede deducir a partir del principio de Fermat, utilizado para la descripción de la trayectoria de la luz de menor tiempo descrita como una onda.

Semejante ocurre con la absorción, “ Cuando la onda sonora choca con un material poroso o fibroso, las paredes de los canales formados por sus celdas o fibras generan fricción en la onda y, de esta manera, parte de la energía sonora se transforma en energía calórica, estos se llaman absorbentes simples” (Jaramillo, 2007, pág. 46), sin embargo, no toda la energía se transforma en calorífica parte de ella incide el material propagando el sonido en diferentes medios, así mismo, el sonido es reflectado en el material y en espacios de aire coincidentes con el material, la energía de las ondas mecánicas se reduce por su transformación al pasar por el material con el cual sonido choca. Existen diferentes materiales simples y compuestos que transforman de manera más eficiente la energía mecánica en calorífica, reduciendo en gran cantidad la presión sonora del sonido. La eficiencia en que se atenúa la energía de las ondas mecánicas dependerá del tipo de material al cual el sonido es expuesto, por lo que en diferentes libros y normas proponen diferentes cocientes de absorción sonora para cierto material frecuentemente utilizado en el acondicionamiento acústico y constructivo.

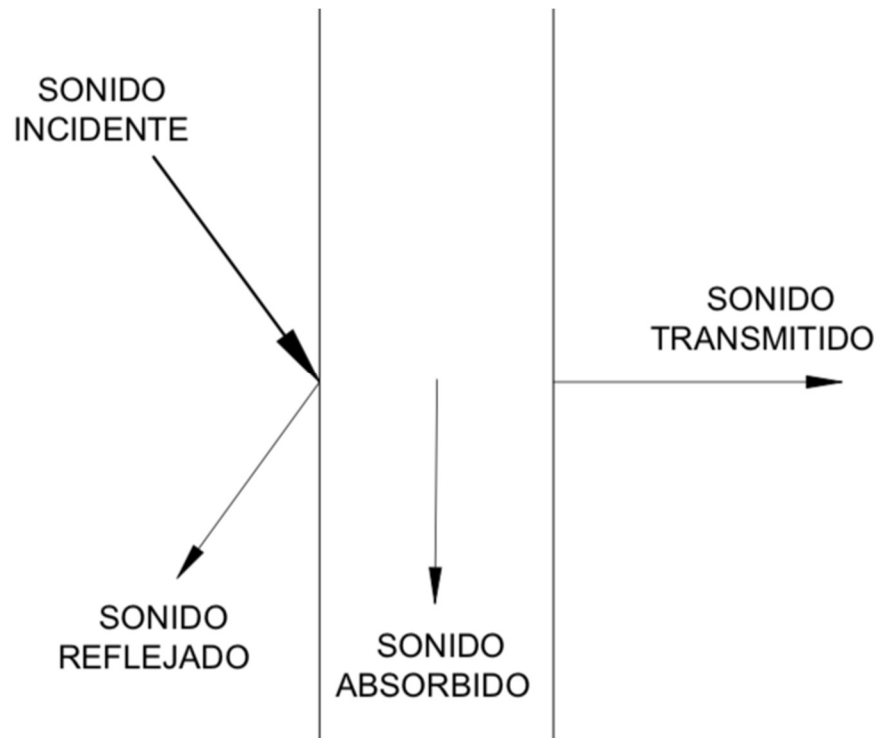


Figura 7. Comportamiento del sonido a través de un material

Por otro tanto, la atenuación del sonido no solo se presenta en la presencia del sonido en algún material, de manera natural existe una atenuación con respecto a la distancia. Es decir, el nivel de presión sonora disminuye al alejarse de la fuente. “Si una fuente sonora puntual radia en campo libre, se produce un frente de onda esférico, en el que cada vez que se duplica la distancia a la fuente, el nivel de presión sonora disminuye 6 dB.” (Riber, 2017, pág. 34) Esto corresponde a lo ya comentado en cómo se mueve el sonido con respecto a la Ley de la Inversa del Cuadrado, donde se ve afectada la energía de las ondas mecánicas y por lo tanto su Nivel de Presión Sonora.

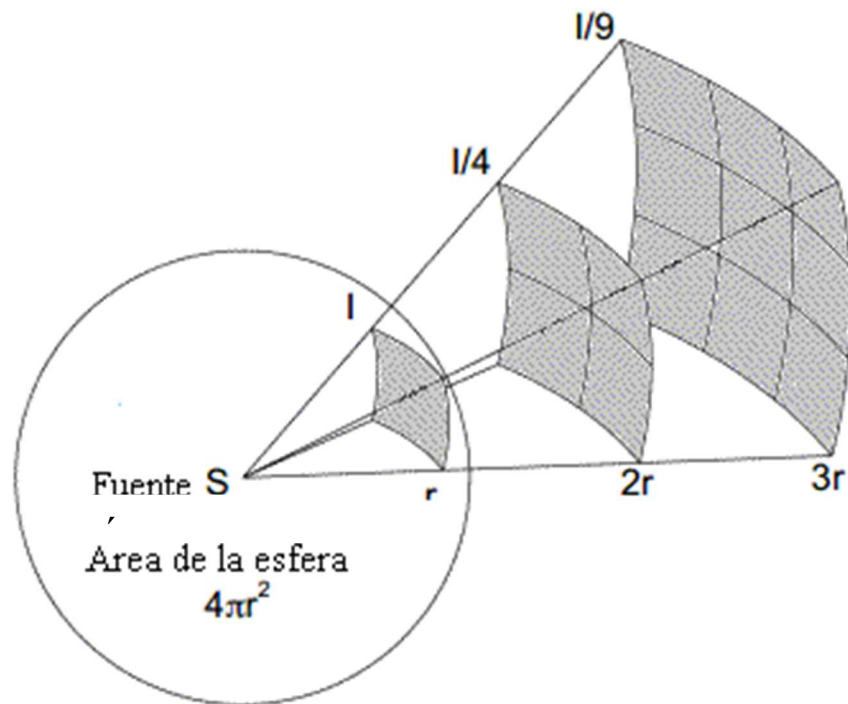


Figura 8. (Garcia, 2016) Ley Inversa del Cuadrado de la Distancia

1.3. Ruido

Todo ruido es sonido, pero no todo sonido es ruido. El ruido es relativo, sin embargo, tanto ruido como sonido tienen un emisor y un receptor. Esto tiene gran relación con los recintos a estudiar, ya que el concepto es utilizado para los instrumentos que miden la intensidad del sonido y su regulación. El ser humano tiende a percibir de diferentes maneras los sonidos ya sea por problemas auditivos degenerativos, causados por alguna otra afección o simplemente la percepción del cerebro es distinta (Cañizares, 2015, págs. 22,23), De acuerdo con (Cisneros, 2001, pág. 583) el ruido se ha generalizado con los siguientes puntos:

- Ser duradero; Un sonido puede no ser considerado molesto, sin embargo, si este es generado por largos periodos de tiempo o intermitentes, con base en la OMS 85 dB durante un máximo de 8 horas es una exposición sin riesgo (Organización Mundial de la Salud, 2015, pág. 3), las limitantes varían de acuerdo a las legislaciones nacionales, para México estas están establecidas en la NOM-011-STPS-2001.
- Fuerte en intensidad; La intensidad a la que se generen las ondas mecánicas del sonido expresadas en el Nivel de Presión Sonora por encima de los 140 dB (Marin Blandon & Pico Merchan, 2004, pág. 53), llamada también como umbral del dolor, se considera ruido.
- Alta frecuencia; el hecho de que un sonido tenga una baja intensidad no garantiza que no será considerado como un ruido. Si un sonido tiene una alta frecuencia, para el ser humano resulta ser irritante, por lo cual se considera un ruido.
- Caótico; La combinación de varios sonidos con diferentes características como las anteriores y sin organización, significativamente serán un ruido.

Según la Organización Mundial de la Salud, “Más de 43 millones de personas de entre 12 y 35 años padecen una pérdida auditiva des capacitante debida a diferentes causas” (Organización Mundial de la Salud, 2015, pág. 1). El ruido es de alta preocupación en el sector salud, ya que a largo plazo puede llevar a trastornos irreparables, inclusive a corto plazo puede llevar a la persona a tener un bajo

rendimiento y problemas de salud más severos como la pérdida de audición, estrés psicológico y ansiedad (Organización Mundial de la Salud, 2015, pág. 2). El ruido no sólo afecta negativamente al ser humano, sino que también puede influir sobre la naturaleza, por ejemplo, alterando el hábitat de animales, lo cual puede llevar a alterar los ecosistemas (García Gómez, Ivorra Catala, & Collado Martínez, 2004).

Todo ser vivo es un productor de sonido, sin embargo, en asentamientos humanos, como lo son las ciudades, pueblos, etc., el ruido se concentra dentro de ellas. En el presente trabajo se trata de abordar específicamente la problemática de la Ciudad de México y las afectaciones a los recintos acústicos. La preocupación sobre el ruido en la ciudad se extiende más allá del aire, el agua o cualquier otro tipo de contaminación; la contaminación acústica no se puede medir directamente, si no se tiene la instrumentación adecuada. Por otra parte, otro tipo de contaminación puede dar alguna medición empírica con nuestros sentidos y el sentido común. La contaminación acústica no necesariamente se puede captar con nuestros sentidos o el sentido común. El ser humano trata de no perder la comunicación, por lo cual altera su conducta, como el deterioro de ejecución de tareas en el trabajo, estudio y de lectura (Cabrera M. C., 2004, pág. 101).

Para el caso de las salas de concierto, los principales generadores de ruido dependerán de las actividades realizadas dentro y fuera del recinto, llevándonos a casos muy puntuales de análisis, al igual que el conocer la duración y el volumen en que se desarrollan los conciertos si se utilizan amplificaciones.

Existen varios reguladores que tratan de intervenir en la contaminación acústica como lo es la norma NOM-081-SEMARNAT-1994, la cual establece las condiciones

de medición y los límites máximos permisibles de emisiones sonoras, así como las responsabilidades de las fuentes de emisión sonora.

Tabla 1

Límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación "A" emitidos por fuentes fijas.

ZONA	HORARIO	LMITE MÁXIMO PERMISIBLE dB (A)
Residencial1 (exteriores)	6:00 a 22:00	55
	22:00 a 6:00	50
Industriales y comerciales	6:00 a 22:00	68
	22:00 a 6:00	65
Escuelas (áreas exteriores de juego)	Durante el juego	55
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento.	4 horas	100

Nota. Recuperado de (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1994) en su actualización del año 2013

También existen otros documentos que de manera indirecta tratan de regular la contaminación acústica como:

- Ley de Cultura Cívica del Distrito Federal
- Reglamento de Tránsito de la CDMX
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente
- Ley Ambiental del Distrito Federal

- Ley de Propiedad en Condominio de Inmuebles para el Distrito Federal
- Ley de Funcionamiento de Establecimientos Mercantiles para el Distrito Federal
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal

A pesar de todos estos elementos que tratan de regular la contaminación ambiental, la ciudad se encuentra por encima de lo que la Organización Mundial de la Salud recomienda para un ruido ambiental, lo cual afecta principalmente a las personas que habitan en ella.

Todas estas leyes vigentes en la ciudad permiten la denuncia y el monitoreo de emisores de ruido, sin embargo, pero el principal problema, es que ninguna institución al no estar tan comprometidas con esta situación, se deja en segundo plano estas acciones.

1.4. Red de Ponderación

Las cualidades del sonido, la intensidad, el tono y el timbre, son interpretadas por el oído humano con ciertas peculiaridades, “la escala humana de percepción de la frecuencia del sonido es logarítmica, percibiéndose aproximadamente la misma sensación de incremento en frecuencia al pasar de 100 a 200 Hz que al pasar de 1000 a 2000 Hz, por lo que se realiza la división del espectro de frecuencias en intervalos de amplitud creciente con la frecuencia, llamadas bandas o filtros”. (Parrondo Gayo, Velarde Suárez, González Pérez, Ballesteros Tajadura, & Santolaria Morros, 2006, pág. 25). De manera simple el rango de frecuencias de percepción del humano se

divide en pequeños rangos donde la percepción de incremento de la frecuencia no es percibida por el oído, interpretándolas como la misma frecuencia. Estos rangos podemos encontrarlos de dos formas por filtros 1/1 o 1/3 de octava, las cuales están especificadas en la norma UNE 74-002-78 que concuerda con la ISO 266.1975, referirse a la tabla 2.

Ahora, debido a que la característica principal medida es el Nivel de Presión Acústica se debe relacionar los niveles medidos con respecto a la percepción del oído, por lo que los investigadores Fletcher y Munson en los años treinta del siglo pasado realizaron estudios sobre la sensibilidad del oído a diferencias frecuencias y presiones acústicas obteniendo sus curvas isofónicas, a partir de este concepto se basan las curvas o redes de ponderación A, B y C definidas en la norma ANSI S1.4-1971. Esta red de ponderación se utiliza principalmente en sonómetros como un filtro para presentar los datos en relación al tipo de estudio a realizar, el cual determinará la escala a utilizar.

De acuerdo con “la red de ponderación A acerca más los valores medidos físicamente a los estímulos auditivos que estos producen. Los dB(A) son ampliamente utilizados para estudios de ruido y salud auditiva.” (Jaramillo, 2007, pág. 29). Esta curva corresponde con el inverso de la curva isofónica de 40 fonos. Por esta razón y su principal utilización en la normativa vigente mexicana para el estudio de ruido, la red de ponderación A es la utilizada en la muestra de los datos medidos.

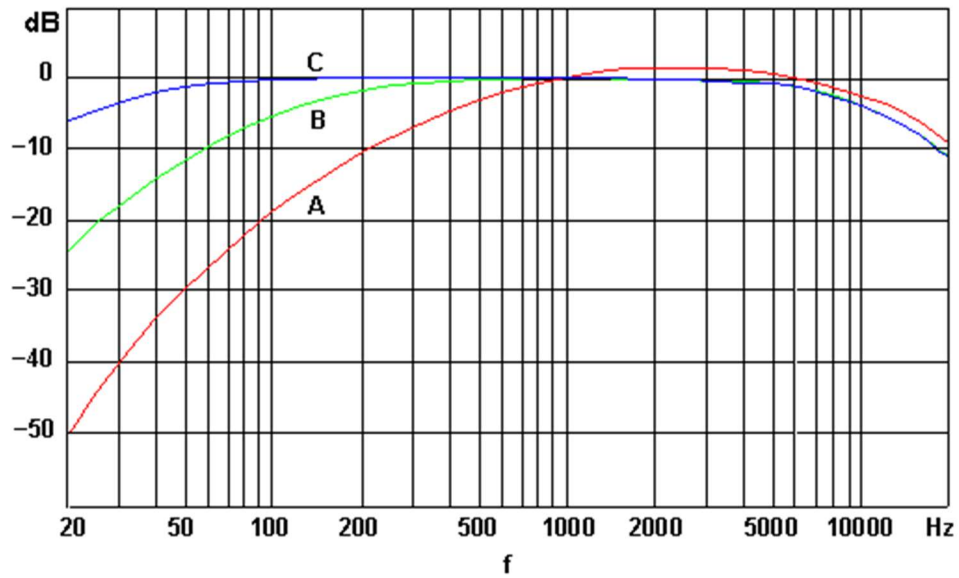


Figura 9. (Federico, 2018) Curvas de Ponderación A, B y C

En la tabla 2 se muestra la clasificación de las bandas de octavas 1/1 y 1/3 con su respectiva ponderación a la escala A.

Tabla 2

Bandas de Octava (1/1 y 1/3) y su Ponderación a escala A

Banda de octava (Hz) 1/1	Banda de octava (Hz) 1/3	Ponderación A (dB)
63	50	-30.2
	63	-26.2
	80	-22.5
125	100	-19.1
	125	-16.1
	160	-13.4
250	200	-10.9
	250	-8.6
	315	-6.6
500	400	-4.8
	500	-3.2
	630	-1.9
1000	800	-0.8
	1000	0.0
	1250	0.6
2000	1600	1.0
	2000	1.2
	2500	1.3
4000	3150	1.2
	4000	1.0
	5000	0.5
8000	6300	-0.1
	8000	-1.1
	10000	-2.5

Nota. Recuperado de (Parrondo Gayo, Velarde Suárez, González Pérez, Ballesteros Tajadura, & Santolaria Morros, 2006).

Con respecto a la ponderación “antes de proceder a sumar los niveles de cada banda para obtener el nivel total, se corrigen esos niveles parciales mediante la adición de los términos (en dB). Cuando se introduce esta ponderación, se dice que el nivel total del ruido ésta expresado es decibelios A o dB(A)” (Parrondo Gayo, Velarde Suárez, González Pérez, Ballesteros Tajadura, & Santolaria Morros, 2006, pág. 28), en donde

describen perfectamente el proceso de obtención de un nivel global ponderado. El proceso consiste en sumar o restar la ponderación de la curva seleccionada, en este caso la red A, y finalmente realizando una suma de niveles sonoros como lo dicta la teoría de suma de presiones acústicas. Dentro de los anexos se muestra un ejemplo de la ponderación a escala A partir de niveles de bandas de octavas que se presenta en la normativa posteriormente descrita.

1.5. Nivel Sonoro Continuo Equivalente

Por un lado, Paz comenta que los ruidos no impulsivos se pueden remplazar por uno ficticio con un nivel constante con la condición de mantener constante la misma energía sonora durante el lapso de estudio o toma de datos. Esta simplificación afecta las propiedades reales del ruido como su evolución temporal pero cuando se determina la agresión al sistema auditivo, esa pérdida no es importante. Este concepto lleva a simplificar los datos medidos en un determinado tiempo a un solo valor que representa la misma energía del ruido y la capacidad de dañar el sistema auditivo. Al estar analizando el nivel de ruido las unidades y datos a procesar con este concepto son con una red de ponderación en escala A (dB(A)) (Paz, 2007, pág. 53).

Esta forma de simplificación de datos es utilizada por la NOM-081-ECOL-1994, utilizada en este estudio para el análisis de datos y su posterior evaluación con respecto a los valores normalizados. De acuerdo con López esta teoría surge a partir del valor cuadrático medio de la presión sonora ponderada en A en un periodo de observación T, como se muestra en la siguiente ecuación (López, 2000, pág. 397).

$$L_{eq} = 10 * \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_A^2(t)}{P_{ref}^2} \right) * dt \right] \quad (dBA) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

P_A = Presión acústica instantánea ponderada en A.

P_o = Presión acústica de referencia.

T = Tiempo de medición.

Para el L_{eq} para un intervalo subdividido en varios intervalos de tiempo se puede calcular de la siguiente forma:

$$L_{eq} = 10 * \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \Delta t_i * 10^{\frac{N_i}{10}} \right) \quad (dbA) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

L_{eq} = Nivel sonoro continuo equivalente (dB(A)).

T = Tiempo total de medición (seg).

Δt_i = Variación del tiempo (seg).

N_i = Niveles ponderados en A, para el i-ésimo intervalo (dB(A)).

N = Número total de intervalos en los cuales se divide el tiempo.

Si todos los intervalos de tiempo son de la misma duración la ecuación se simplifica de la siguiente forma:

$$L_{eq} = 10 * \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{N_i}{10}} \right) \quad (dbA) \text{ Ec. 4}$$

Donde:

L_{eq} = Nivel sonoro continuo equivalente (Db(A)).

N_i = Niveles ponderados en A, para el i-ésimo intervalo (dB(A)).

N = Número total de intervalos en los cuales se divide el tiempo.

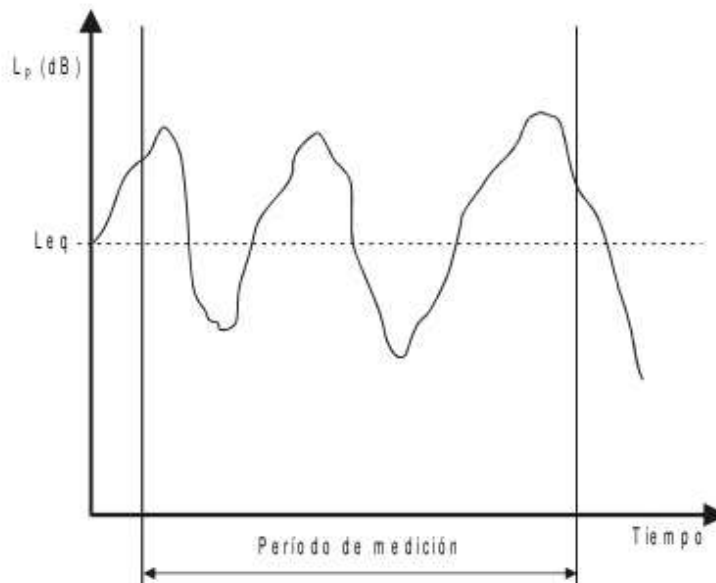


Figura 10. (Fernández, 2017) Nivel Sonoro Continuo Equivalente

1.6. Niveles Percentiles

Para un tiempo determinado de medición de ruido otorga cierto número de datos que mediante un análisis estadístico podemos obtener diferente información del recinto o lugar donde se realiza la toma de datos, así como del ruido muestreado. Con

base en lo anterior indica “el ruido en dB(A), que se ha sobrepasado durante el N% del tiempo de medida.

L_{10} : es el nivel de presión sonora en dB(A) que sobrepasa durante el 10% del tiempo de observación (se utiliza para señalar niveles pico).

L_{50} : es el nivel de presión sonora en dB(A) que sobrepasa durante el 50% del tiempo de observación.

L_{90} : es el nivel de presión sonora en dB(A) que se sobrepasa durante el 90% del tiempo de observación (se usa para señalar el ruido de fondo). “ (López, 2000, pág. 398).

Estos niveles se calculan a partir de la función de distribución acumulada de los datos observados, organizándolos de menor a mayor, asignando el tiempo de medición en forma continua. Los niveles percentiles serán calculados respecto al tiempo de la siguiente forma.

$$T_{10} = 0.9 T \quad \text{Ec. 5}$$

$$T_{50} = 0.5 T \quad \text{Ec. 6}$$

$$T_{90} = 0.1 T \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

T: Tiempo de observación.

T_i : i-ésimo percentil.

Aplicando la teoría de la estadística, si estos resultados presentan decimales se asume el valor inmediato entero superior (Ross, 2007, pág. 90).

Los niveles percentiles L_{10} , L_{50} y L_{90} son iguales al nivel de la distribución acumulada en dB(A) relacionada con el tiempo percentil calculado.

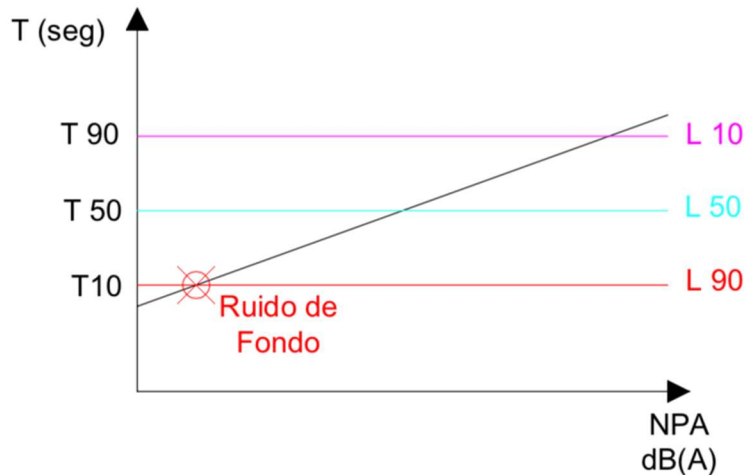


Figura 11. Niveles Percentiles

1.7. Características Acústicas

Se propone exponer las características básicas y evaluación de la acústica, sin embargo, se debe entender qué es lo que estudia y analiza. De acuerdo con su definición, la acústica es una ciencia física que estudia el sonido con respecto a su generación, transmisión y propagación en espacios abiertos y cerrados donde existen actividades humanas (Saad Eljure, 2011). Con base en Llopis (Llopis Reyna, Llinares Galiana, & Sancho Vendrell, 1991) existen varias ramas dentro de la acústica como la acústica física mostrando la naturaleza del sonido, fisiológica describiendo la percepción del oído humano a diferentes sonidos, arquitectónica proponiendo el acondicionamiento acústico, geométrica planeando la forma de reflexión del sonido, estadística quien estudia la energía emitida por la fuente del sonido hasta su pérdida y ondulatoria analizando los fenómenos físicos ondulatorios. Cada una de ellas en cierta forma se interrelacionan para llegar a un mismo objetivo, que los asistentes

tengan una buena nitidez de la palabra y la música de acuerdo a las características y usos del espacio (Weisse, 1956).

A juicio de los expertos, a lo largo de la historia el acondicionamiento acústico ha evolucionado con los descubrimientos científicos, tecnológicos y la música, sin embargo, la acústica no debe ser enfocada solamente para los asistentes de cada concierto, también es importante considerar el cómo se mueve el sonido dentro del escenario para que los ejecutantes tengan un buen manejo del sonido y una buena comunicación en ensambles musicales, es por ello que existe la figura del director; una de sus funciones es guiar el sonido de las orquestas con respecto a la acústica del recinto en el cual están interpretando.

1.7.1. Reflexiones Primarias

Por lo que se refiere a la reflexión del sonido aplicada a un recinto, su propagación dependerá de la geometría del lugar en el que se encuentre la fuente, sobre todo si se produce en un local cerrado.

La existencia de las primeras reflexiones en una sala constituye a un aumento de la claridad musical (C_{80}), de la sonoridad (G) y, en muchos casos, a una mayor intimidad acústica (t_1). Sí, además, dichas reflexiones son laterales, se produce una mejora del grado de impresión espacial en la sala (amplitud aparente de la fuente sonora mayor (Isbert, 2001, pág. 299).

Las reflexiones laterales son la existencia de una diferencia de tiempos entre la llegada de estas a cada uno de los dos oídos

Por añadidura, la forma de la sala dependerá la forma en que reflectan las ondas de sonido; por lo general la forma de las salas son figuras geométricas regulares como triángulos, rectángulos, trapecios, hexágonos, herradura y superposiciones de éstas. La sala de una sala otorga ventajas y desventajas en cuanto a la distribución del sonido y visibilidad del usuario. Las fallas de cada forma geométrica se enfrentan a soluciones puntuales propuestas por los responsables de la sala mitigando los defectos acústicos.

1.7.2. Parámetros de Calidad Acústica

Para que un recinto se considere con una buena calidad acústica de acuerdo con (INIFED, 2004, pág. 7) y (Llopis Reyna, Llinares Galiana, & Sancho Vendrell, 1991, pág. 121) se consideran los siguientes conceptos.

- La forma en que se proyectan y se dosifica la energía de las ondas de sonido para adaptarse al local y uso. Esto dependerá de las reflexiones de la sala con respecto a su geometría y la implementación de materiales para reflejar y refractar el sonido teniendo influencia en el tiempo de reverberación de la sala y con ello la forma en que los usuarios perciben la información.
- El aseguramiento y protección de la sala frente a ruidos externos. Puesto que este aislamiento está altamente relacionado con las fuentes externas del recinto, se considera la calidad del aislamiento acústico a través de los elementos, a razón de esto el ruido de fondo de la sala es afectado por estos ruidos, aumentando la probabilidad de distracción del oyente.

Estos puntos son estudiados en este estudio a través de tres parámetros, Ruido de Fondo, Tiempo de Reverberación y Aislamiento Bruto entre dos locales (STC). De acuerdo con (Isbert, 2001) existen más criterios de evaluación para salas de concierto como Sonoridad (G), Relaciones Energéticas (ELR), Claridad Musical (C_{80}), Curva de Energía Reflejada Acumulada (RECC), Textura y Espacialidad del Sonido (ASW y LEV), por la limitación de equipo y siguiendo los parámetros básicos de evaluación, solo se analiza para los criterios ya mencionados.

2. Metodología

La acústica a nivel nacional es muy poco valorada en el hecho de que no existen normas, ni muchos académicos interesados en el tema, de acuerdo con Razo en México no existe una normatividad acerca del medio, en la que se especifiquen requisitos de calidad acústica para recintos. El uso de instalaciones donde se involucre la comunicación, es de lo más común de lo que nos podamos imaginar, el uso de un simple salón de clase, anfiteatros, teatros, salas de conciertos, por mencionar algunas, requieren de algún condicionamiento acústico y que se desarrollen de manera óptima dentro de su funcionamiento (Razo, Matsumoto, & Llamas, 2016, pág. 1). Conocer la calidad actual de las características acústicas en una sala de concierto es importante para crear planes de acondicionamiento a futuro y éstas puedan desempeñarse de manera óptima de acuerdo a su funcionamiento y características.

Este estudio evalúa conforme a parámetros nacionales e internacionales, evaluando y comparando los resultados obtenidos en campo con parámetros recomendados por la legislación vigente, puntualizando el uso y características físicas de cada sala.

Se entregaron cartas con la solicitud de realizar esta evaluación en los departamentos correspondientes a cada sala, asignando fecha y horario para la toma de muestra respectivamente. Estas cartas son presentadas en los anexos de esta tesis.

Las limitaciones de estas pruebas se reflejan en el tiempo, la instrumentación y las mediciones. El tiempo de muestreo fue distinto para cada sala debido a la disposición administrativa de cada una de ellas. La instrumentación utilizada es una limitante

muy importante para la calidad de los datos, al no contar con el equipo especializado para el tiempo de reverberación, se empleó una técnica indirecta de medición.

La discusión de resultados tiene un rango de validación conforme a los criterios establecidos en la legislación utilizada, sin embargo, se emplearon criterios debido a ambigüedades de las normas utilizadas.

La metodología se realiza conforme a los siguientes puntos para garantizar el cumplimiento de los objetivos presentados.

- Utilizar la norma NOM-081-SEMARNAT-1994 como referencia para la metodología de medición y procesamiento de datos sobre ruido de fondo y aislamiento acústico.
- Utilizar la norma internacional ISO 3382-2 como metodología para la medición del tiempo de reverberación.
- Utilizar la norma mexicana Tomo IV “Acústica” de las Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalación como puntos de comparación y evaluación de datos, como referencia de comparación sobre datos recomendados vigentes en el territorio nacional.

2.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento acústico de dos salas de concierto con base en la normativa vigente.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el ruido de fondo presente en las salas.
- Evaluar el tiempo de reverberación propio de cada sala.
- Comparar con normativa aplicable.

2.3. Tipo de estudio

La evaluación acústica de recintos se trata de manera científico-experimental, es decir, se toman muestras de ciertos parámetros con procedimientos normalizados y los resultados se comparan con legislaciones vigentes para discutir e interpretar los resultados de la evaluación.

2.4. Categorías de análisis

Es complicado conocer el estado acústico de un recinto mientras desarrolla actividades, por la gran cantidad de variables involucradas dentro de los parámetros a medir, por lo que los datos obtenidos representan a las salas sin ocupar.

Cualquier tipo de ruido externo es dependiente de las actividades fuera del recinto.

Como variables se pueden analizar diferentes aspectos, como la geometría que es totalmente independiente de la cantidad de ruido de fondo que se encuentra en la sala, así como del ruido externo que pueda ingresar al recinto. Por otro lado, el aislamiento acústico también es independiente de la geometría del lugar, sin embargo, la reflexión de las ondas es dependiente del tiempo de reverberación de la sala.

La forma de evaluar las salas depende de su función y utilización, es complicado tener una sala de usos múltiples debido a sus distintos propósitos de comunicación e interpretación. La ocupación depende de las actividades que se realizan dentro del recinto, éste influye en las especificaciones de la sala para su apreciación por el espectador.

El tiempo de reverberación, es una variable que dependerá de la geometría y de los materiales por el cual está acondicionado el recinto.

El ruido de fondo es una variable que dependerá del ruido externo de la sala, así como de la calidad del aislamiento.

No existe una población para garantizar que los datos medidos representen los parámetros estudiados, por lo que utilizan recomendaciones a partir de normas para obtener una muestra representativa de cada parámetro.

2.5. Instrumentos y Equipos

Las normas alrededor del mundo establecen que el instrumento básico a utilizar para cualquier medición relacionada con el sonido sea el sonómetro, también conocido como decibelímetro o Medidor de Nivel Sonoro (MNS), con el cual se evalúa el ruido y la acústica en recintos, emisores de ruido, tránsito, por mencionar algunas. El oído humano tiene una característica típica y compleja de procesar el sonido respecto al nivel sonoro y su frecuencia, el cerebro interpreta intensidades diferentes a frecuencias emitidas al mismo nivel sonoro, sin embargo, sintetizarlo es una tarea de igual magnitud (Behar, 1994, pág. 42), de acuerdo con Isbert se utiliza este instrumento para obtener resultados objetivos y repetitivos dentro de márgenes

de tolerancia conocidos, midiendo el nivel de presión sonora de lo captado (Isbert, 2001, pág. 39).

La forma en que estos aparatos procesan la información, de acuerdo con Behar, es la siguiente: se comienza con el micrófono que es el encargado de transformar las señales acústicas en tensiones eléctricas, la señal se hace pasar por un amplificador con un atenuador calibrado en dB, más tarde por un filtro de frecuencias para llegar a una red de ponderación en escalas A B y C, y finalmente por un detector RMS donde limita la respuesta del instrumento generalmente mediante dos detectores, el “Fast” otorgando un tiempo de respuesta de 125 ms y “Slow” otorgando un tiempo de respuesta de 1s , los cuales nos dan la información con una distancia en tiempo determinado (Behar, 1994, pág. 42).

Antes de realizar alguna medición es conveniente asegurar que los datos que presenta este instrumento se encuentren dentro de los límites permisibles establecidos por normas o algún criterio por lo que se procede a la calibración del instrumento utilizando un calibrador acústico o también llamado pistófono, el cual directamente sobre el equipo emite un tono puro de frecuencia 1 kHz con un nivel de presión sonora de 94 dB. Existen sonómetros denominados integradores que arrojan después de una medición el nivel continuo equivalente.

La totalidad de los datos medidos en este estudio se obtuvieron a partir de un sonómetro, los cuales fueron procesados para su posterior análisis. En las pruebas realizadas a los diferentes recintos, se realizaron con dos modelos diferentes de sonómetros y calibrados con un pistófono descritos a continuación.

Se utilizaron tres sonómetros de la marca UEI y modelo DS100 al resguardo del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con las siguientes características:

- Rango de medición de 35 a 130 dB.
- Resolución de 0.1 dB.
- Rango dinámico 65 dB.
- Red balanceada y ponderada en escala A.
- Velocidad de respuesta del instrumento Slow y Fast.
- Micrófono de 1/2 pulgada tipo condensador eléctrico.

También se contó con un sonómetro marca CEM modelo DT-8852 al resguardo del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con las siguientes características:

- Rango de medición de 30 a 130 dB.
- Resolución de 0.1 dB.
- Rango dinámico de 50 dB.
- Red balanceada y ponderada en escala A y C.
- Velocidad de respuesta del instrumento Slow y Fast.
- Micrófono de 1/2 pulgada tipo condensador eléctrico.

Finalmente se utilizó un pistófono de la marca CEM modelo SC-05 al resguardo del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con las siguientes características:

- Calibración de 94 dB y 114 dB.
- Adaptable a micrófonos de ½ pulgada.
- Frecuencia de salida 1,000 Hz

En adición a esto, se utilizó una cámara fotográfica para poder registrar evidencia de la toma de datos, también se utilizó una computadora en la cual se procesaron los datos obtenidos a través del sonómetro.

2.6. Criterios de Evaluación Acústica y Normatividad Técnica Aplicable

2.6.1. Ruido de Fondo

El nivel de ruido de fondo de espacios requiere de ciertas especificaciones dependiendo su uso u actividad, estos niveles dependen de la calidad en que el oyente reciba perciba el ambiente respecto del grado de molestia del ruido ambiental dentro de la sala. De acuerdo con Isbert “la evaluación del grado de molestia que un determinado ruido ambiental provoca en un oyente se realiza por comparación de los niveles de ruido existentes en un recinto” (Isbert, 2001, pág. 42). Este criterio es afectado fácilmente por la eficiencia en que el recinto atenúa el ruido externo.

Particularmente en salas de concierto, se busca que el ruido ambiental sea de los más bajos con respecto a otros recintos, en la música de concierto se ha buscado

enfocar la atención del oyente a los instrumentos y lograr percibir la interpretación única de cada ejecutante “ya que intervienen juicios estéticos y emotivos. Los criterios son casi subjetivos” (Saad Eljure, 2011, pág. 55).

La forma de evaluación del ruido de fondo se comprende a partir de diferentes curvas con diferentes criterios como las PNC (Preferred Noise Criteria), las NR (Noise Rating) y NC (Noise Criteria).

2.6.1.1. NOM-081-Semarnat-1994

Existen específicamente dos normativas que nos indican como medir ruido en sitios u espacios, como lo son la NOM-011-STPS-2001 y la NOM-081-Semarnat-1994, sin embargo, una mide específicamente el ruido en centros de trabajo y la siguiente corresponde a los límites máximos permisibles de emisión de ruido en fuentes fijas, así como su medición respectivamente. Para este estudio en específico se decidió utilizar la NOM-081-Semarnat-1994, por la flexibilidad de medición en cualquier espacio, al estar desarrollada por la Secretaría del Medio Ambiente de México, su enfoque al estudio del ruido y no solo a la afectación de la salud. Esta norma comprende la forma de obtención de datos, el cual fue relevante para el protocolo experimental. Esta norma indica los requisitos mínimos para recolección de datos en cuanto al ruido de fondo y aislamiento bruto.

2.6.1.2. Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones. Volumen 3, Habilidad y Funcionamiento, Tomo IV, Acústica

Esta normatividad es un tanto complicada de encontrar, su enfoque va hacia el acondicionamiento acústico en infraestructura de educación básica y de nivel medio

superior, sin embargo, existen apartados adicionales que nos muestran condiciones óptimas para otros tipos de infraestructura, siendo la única norma mexicana que describe y delimita las cualidades acústicas de un recinto siguiendo recomendaciones internacionales como la National Acoustic Code y las normas ISO.

La normativa considera las curvas NC (Noise Criteria) para establecer los niveles máximos recomendados para ciertos recintos, como se muestra en la figura 12.

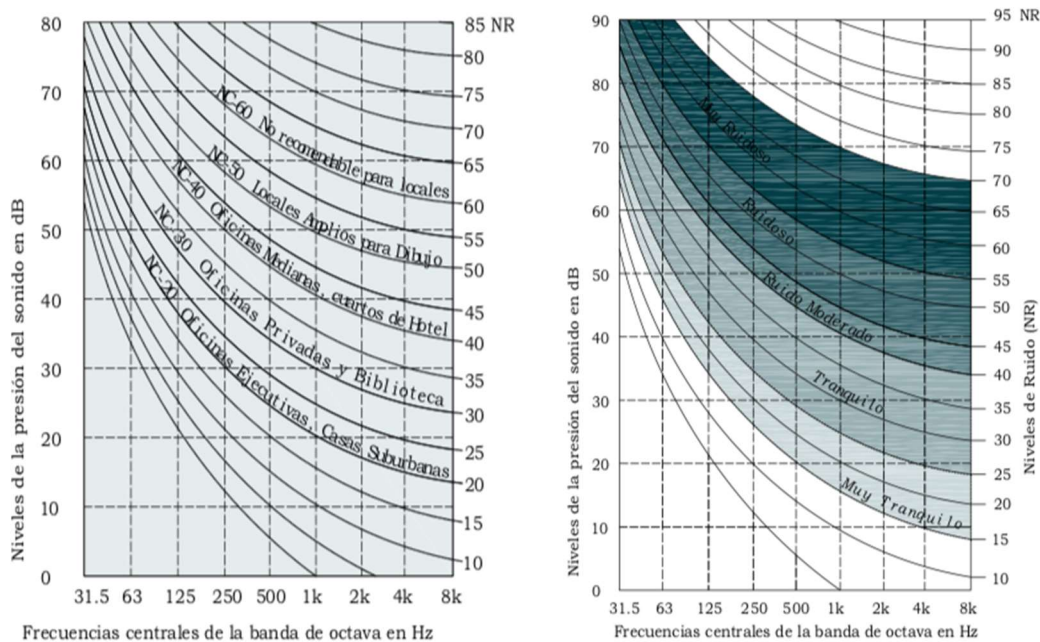


Figura 12. (INIFED, 2014, pág. 16) Curvas NC (Noise Criteria)

Si el ruido ambiental sobrepasa el nivel de presión de su curva recomendada con respecto de la frecuencia del sonido, se considera que el recinto tiene un exceso de ruido para la correcta ejecución de sus actividades. Estas curvas describen a los recintos en muy tranquilos, tranquilos, con ruido moderado, ruidoso y muy ruidoso. Cada recinto tiene una curva o un rango de curvas recomendadas respecto a su actividad o uso, ver tabla 3.

Tabla 3

Criterios de Ruido de Fondo

Criterio	Niveles (NR) recomendados (dB)
Sala de conciertos	15-25
Estudio de sonido o radiodifusora	15-25
Teatro de ópera	20-30
Estudio de televisión	15-25
Oficinas privadas ejecutivas	30-35
Estudio de filmación cinematográfica	25-30
Sala de conferencias	25-30
Iglesias y sinagogas	20-30
Juzgados o tribunales	25-30
Auditorio y salones de reunión	25-30
Hogar, recámaras	25-35
Cinematógrafo	25-30
Hospital	30-45
Restaurante	30-40
Sala de dibujo	35-45
Gimnasio	40-45
Oficina general de mecanografía y contabilidad	40-45

Nota. Recuperado de (INIFED, 2014, pág. 15)

Nuestro criterio de interés es el dirigido a las Salas de concierto, por lo que nuestras curvas recomendadas comprenden un rango de 15 a 25 dB, sin embargo, al no tener una instrumentación especializada, “la medida del nivel global LA o Leq constituye una forma indirecta y aproximada de determinar la curva NC de una sala cuando no se dispone de un sonómetro con filtros para el análisis frecuencial” (Isbert, 2001, pág. 42). Por lo que se utiliza la siguiente equivalencia a las curvas que pueden ser obtenidas con un nivel global de la ponderación en escala A. Ver tabla 4.

Tabla 4

Ruido de Fondo para Sala de Conciertos en dB(A)

Criterio	Curva NC recomendada	Equivalencia en dB(A)
Sala de conciertos	15-25	28-38

Nota. Recuperado de (Isbert, 2001, pág. 43)

2.6.2. Aislamiento Bruto (Sound Transmition Class).

Las salas de concierto requieren de un gran aislamiento contra el ruido externo, siendo uno de los mayores factores para mantener un ruido de fondo óptimo, sin embargo, el controlar el ruido dentro de dos espacios con usos diferentes, lleva a buscar y colocar barreras de abatimiento del ruido externo. Requerimos de un cierto aislamiento del recinto para poder contar con un buen control contra el ruido externo y no afecte la acústica de la sala, así como la atención de los oyentes dentro de este.

El aislamiento depende de la barrera, la cual varía con respecto al material, su colocación, diseño, instalación y sellos. Ésta no solo se comprende de un material, comúnmente encontramos barreras conformadas por varios materiales y no solo eso, podemos utilizar masas de aire como un aislante aprovechando la disipación de la energía.

2.6.2.1. NOM-081-Semarnat-1994.

Esta norma describe la medición y procesamiento de información para analizar ruido a partir de una fuente fija, ya sea que esté confinada o no y poder compararlo

contra los límites máximos permisibles. Se consideró un método bastante factible para poder comparar el aislamiento de dos espacios con una barrera entre ellas.

Esta norma analiza el ruido por zonas, debido a que existe ruido constante en ciertas zonas alrededor de la sala, se obtuvo información que permitirá conocer la diferencia de la intensidad sonora entre los dos locales adyacentes.

Debido a que la norma trata de estudiar el ruido y en esta tesis trata de conocer las características de una sala de conciertos, no se realizan correcciones al ruido medido, ya que la norma intenta aislar el ruido y aquí se busca conocer la diferencia de las presiones acústicas entre dos locales con una barrera entre ellas.

2.6.2.2. Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e

Instalaciones. Volumen 3, Habilidad y Funcionamiento, Tomo IV, Acústica.

Los niveles STC son recomendaciones de aislamiento acústico utilizados por las normas ISO, los cuales son importantes para cuantificar qué tanto el ruido se debe disminuir después de una cierta barrera. Estos niveles consideran los locales colindantes, por lo que es importante conocer el uso del espacio adyacente a la zona analizada. Cabe destacar que estas zonas analizadas son determinadas con base en el excesivo ruido generado por los locales adyacentes al recinto.

Esta norma como ya se ha mencionado, está dirigida para espacios educativos, aunque considera algunas otras recomendaciones para otro tipo de espacios, como se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Categorías Recomendables para Aislamiento Acústico Bruto entre dos Locales (STC)

	Sala de lectura, Biblioteca	Clases, Administración	Circulaciones	locales especiales dinámica limitada	Locales especiales dinámica relativamente elevada	Música	Locales especiales dinámica intensa	Sala polivalente	Restaurante
Construcciones adyacentes	II	II	III	II	III	III	III	III	III
Restaurant	III	III	IVb	III	IVb	IVb	IVb	IVb	IVb
Sala polivalente	II	III	IVb	III	III	III	III	III	III
Dinámica limitada	I	I	III o u IVb	II	II	II	II	II	II
Música	I	I	Io u II	II	II	II	II	II	II
Dinámica relativamente elevada	II	II	III	IVb	IVb	IVb	IVb	IVb	IVb
Dinámica intensa	II	II	III	IVb					
Circulaciones	II	III	--						
Clases y administración	II	III							
Lectura	III	IVa							

Nota. Recuperado de (INIFED, 2014, pág. 24)

Los números romanos son representados como la cantidad de aislamiento que debe existir entre dos locales, los cuales son expresados cuantitativamente como se observa en la tabla 6.

Tabla 6

Aislamiento Acústico Bruto

Categoría	Sonidos Graves f100 315 Hz	Sonidos Medianos f400 a 1250 Hz	Sonidos Agudos f1600 a 5000 Hz
I (Muy Fuerte)	40 a 55 dB	58 a 62 dB	64 dB
II (Fuerte)	33 a 58 dB	51 a 54 dB	57 dB
III (Mediano)	25 a 40 dB	43 a 46 dB	49 dB
IVa (Débil)	21 a 36 dB	39 a 42 dB	45 dB
IVb (Muy Débil)	16 a 31 dB	34 a 37 dB	40 dB

Nota. Recuperado de (INIFED, 2014, pág. 23)

Debido a que esta norma no muestra la ponderación en escala A, se realizó la ponderación global en esta escala, como se muestra en la tabla 7, aplicando la teoría de ponderación descrita en el apartado Red de Ponderación mostrada en las tablas 30 a 34 de los anexos, ya que las mediciones usualmente se realizan en esta escala.

Tabla 7

Aislamiento Acústico Bruto, Ponderación Global dB(A)

Categoría	Aislamiento dB(A)
I (Muy Fuerte)	72.03 - 73.09
II (Fuerte)	65.03 - 66.10
III (Mediano)	57.03 - 57.77
IVa (Débil)	53.03 - 53.77
IVb (Muy Débil)	48.03 - 48.77

Nota. Proceso de ponderación mostrado a través de tablas 30-34 de los anexos.

Por lo tanto, serán los valores por comparar con respecto a los resultados en campo. Sin embargo, por la ambigüedad de la tabla y al no tener una referencia de ella, se toma el criterio de utilizar la categoría II, Con base en que se analiza el ruido del exterior al interior y no viceversa, también la categoría II es constante para un local dedicado a la música.

2.6.3. Tiempo de Reverberación

El tiempo de reverberación es un parámetro muy importante para las salas de concierto “indica el grado de reverberación percibido en la sala. También se corresponde con la denominación coloquial de “viveza” de la sala” (Isbert, 2001, pág. 224).

Se define como el tiempo que tarda (en segundos o en fracciones de éste) en amortiguar un sonido hasta el millonésimo valor de su presión acústica, en otras palabras, se puede representar el tiempo de reverberación como el tiempo que tarda en reducirse 60 decibeles un sonido después de dejar de reproducirse.

Este parámetro depende de diversos factores como lo son el coeficiente de absorción de los materiales, el volumen y la geometría de la sala.

2.6.3.1. *UNE EN ISO 3382-2*

Por falta de información acerca de este tipo de mediciones en alguna normativa nacional, se recurrió a la internacional. Se optó por la norma española ya que describe varios métodos de medición con respecto a la instrumentación utilizada, para este

estudio solo se contó con un sonómetro con registro en tiempo real, encontrando un método para esta instrumentación.

Se utilizó específicamente el método de respuesta al impulso integrada, especificada en la norma, la cual especifica que por medio de fuentes explosivas como los globos crean una curva de decaimiento en la sala que es registrada por un sonómetro. Estas curvas son procesadas con un decaimiento de 20 decibeles del nivel más alto registrado (T_{20}), siendo utilizada para los datos obtenidos con sonómetros ya que analiza la primera impresión de reverberación, generando una buena aproximación de la regresión lineal aplicada a los datos (Martinez, Castro, & Martinez-Conesa, 2016, pág. 12) . Este procedimiento se puede encontrar de manera detallada en el apartado de Manejo y Proceso de Datos, Tiempo de Reverberación de esta tesis.

2.6.3.2. Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e

Instalaciones. Volumen 3, Habilidad y Funcionamiento, Tomo IV, Acústica

Dentro de esta norma podemos encontrar diferentes recomendaciones sobre el tiempo de reverberación, la única limitante para los datos obtenidos es que el tiempo resultante se encuentra en forma generalizada y no dividido por banda de octavas como se recomienda en diferentes criterios, sin embargo, dentro de la misma norma se encuentra una tabla estableciendo tiempos recomendados respecto al uso de la sala, no involucrando el volumen de la sala ni la frecuencia a la cual se obtuvo, por lo que se utiliza estos tiempos como criterio de comparación para este rubro. Ver figura 13.

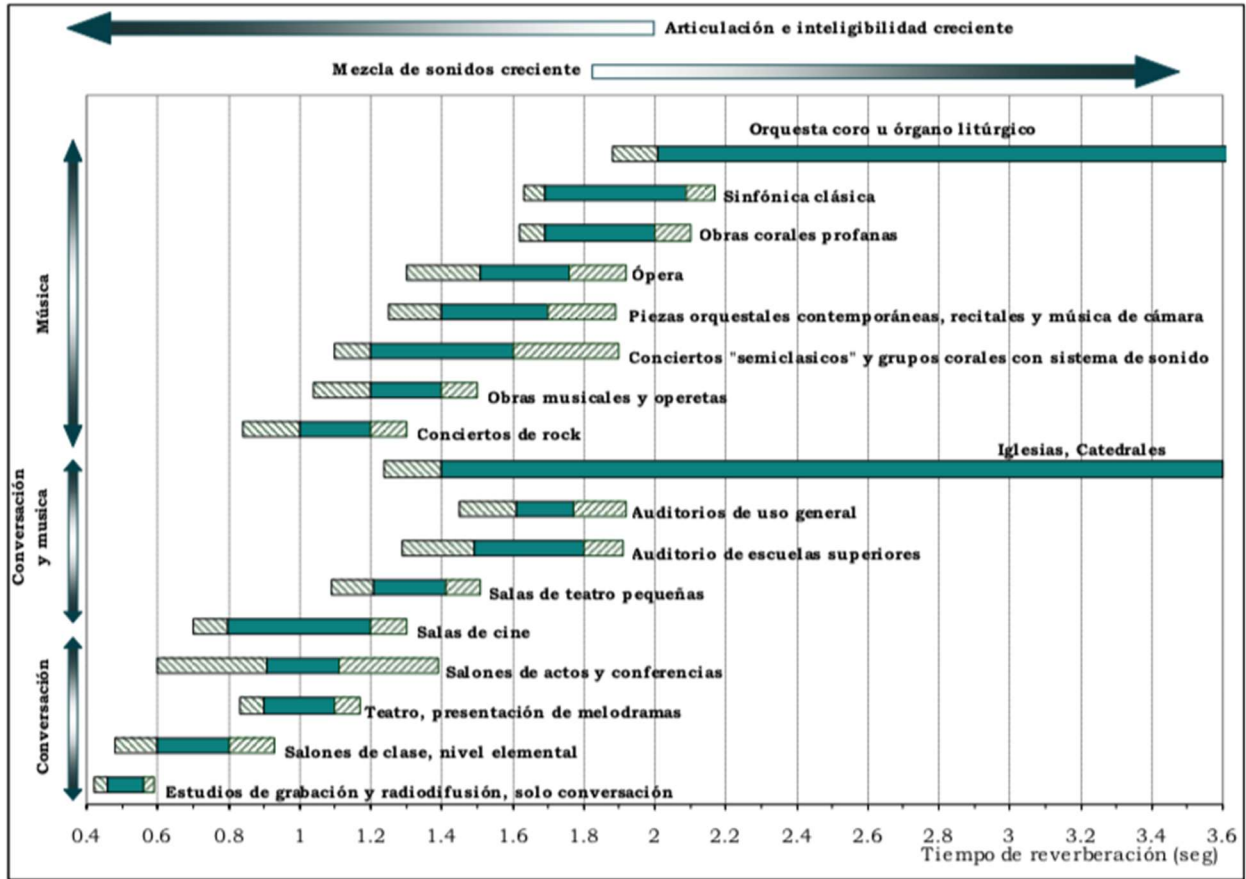


Figura 13. (INIFED, 2014) Tiempo de Reverberancia recomendado por actividad

3. Descripción de Salas a Estudiar

3.1. Centro Cultural Ollin Yoliztli

Este centro es la sede de las dos salas estudiadas, siendo inaugurada el 27 de Noviembre de 1979 por Carmen Romano López Portillo, la primera esposa del expresidente José López Portillo. Este centro de acuerdo con (Anónimo, 2019) es parte de la infraestructura de la Secretaría de Cultura de la Ciudad de México, ofreciendo talleres de iniciación artística hasta estudios de nivel superior, bibliotecas, laudería, clubes y programas artísticos de integración social.

Este centro cuenta con diferentes espacios para el desarrollo artístico público y de sus estudiantes, entre los cuales se destaca la Sala Silvestre revueltas y la Sala Hermilo Novelo, salas dedicadas a la interpretación y apreciación de la música de cámara y orquestal.

La Sala Hermilo Novelo, el Aula Magna de la Escuela de Música Vida y Movimiento, continuamente es utilizada por sus alumnos brindando recitales, exámenes profesionales, temporadas musicales y ensayos. Por otro lado, no ha recibido ningún acondicionamiento acústico o mantenimiento desde su construcción.

La Sala Silvestre Revueltas es actualmente la sede de la Orquesta Filarmónica de la Ciudad de México, dedicada especialmente a la música orquestal y eventos que requieran un número mayor de asistencia, ya que cuenta con capacidad de las de 1200 personas. De acuerdo con (Paul, 2017) la sala tuvo una remodelación que duró 9 meses, en donde se explica que la sala no contaba con los estándares de acústica óptimos para la apreciación de la música antes de su remodelación. Esta estuvo a

cargo del Arquitecto Eduardo Saad Eljure, con una inversión de 20 millones de pesos, convirtiéndola a un diseño contemporáneo y con mejoras, principalmente la reducción del tiempo de reverberación en 1.8 segundos, comparables con la Symphony Hall de Boston.

3.2. Sala Hermilo Novelo

3.2.1. Ubicación

La sala se encuentra ubicada dentro del conjunto Este del del Centro Cultural Ollin Yoliztli Periférico Sur 5141, Col. Isidro Fabela, Del. Tlalpan, Ciudad de México, con coordenadas obtenidas de Google Earth $19^{\circ}18'09.39''$ Norte, $99^{\circ}10'41.88''$ Oeste.



Figura 14. Ubicación Sala Hermilo Novelo

3.2.2. Características de la sala

La sala forma parte de la estructura de mampostería del Centro Cultural Ollin Yoliztli, con volumen no definido por falta de información detallada, dentro del procesamiento de datos se presenta una aproximación de éste. De acuerdo con Isbert cuenta con una geometría en planta definida como “Hexágono alargado”, el cual cuenta con las siguientes características básicas:

“

- Perfil obtenido como combinación de los perfiles en forma de abanico y de abanico invertido.
- Presenta las ventajas visuales y de aforo de las salas en forma de abanico.
- Presentan las ventajas acústicas del perfil en forma de abanico invertido. “

(Isbert, 2001, pág. 257)

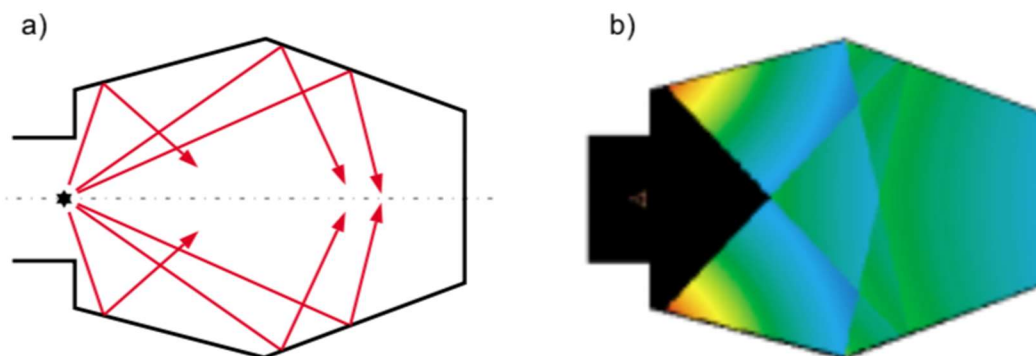


Figura 15. (Isbert, 2001, pág. 257) Sala en Forma de Hexágono Alargado

A continuación, se presenta un plano arquitectónico en planta de las características con colindancias alrededor de la Sala. Ver figura 16.

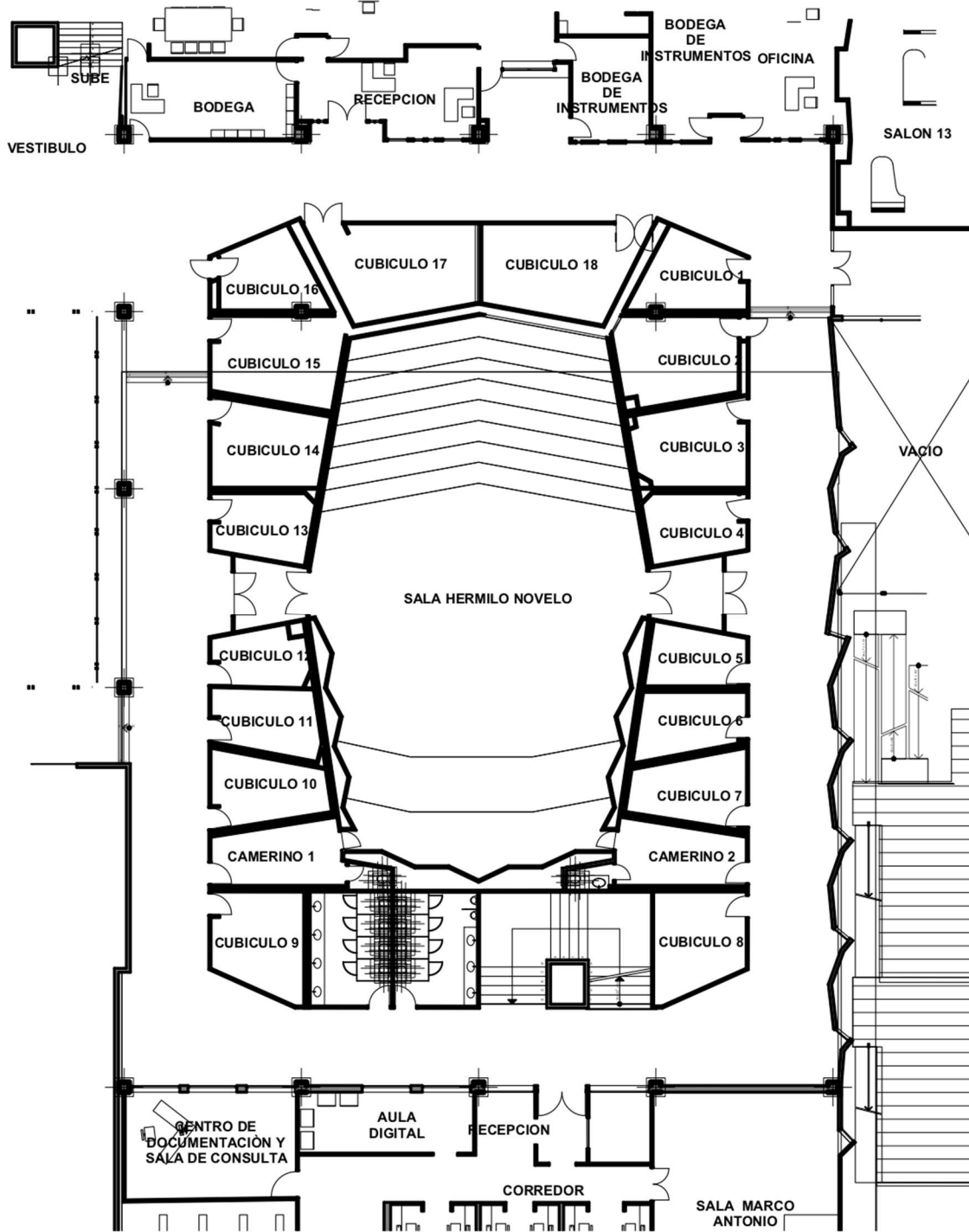


Figura 16. Plano Arquitectónico, Sala Hermilo Novelo

La sala cuenta con 4 accesos con doble puerta cada uno como se muestra en el plano (figura 16) y en la siguiente fotografía (figura 17). Dos de estos accesos son de uso general, y dos posteriores como camerinos, sin embargo, usualmente se utilizan

los dos accesos principales para realizar estas dos funciones debido a que, en su gran mayoría, la música a interpretar es de cámara y recitales.

Alrededor del recinto se encuentran 18 cubículos de estudio, donde los estudiantes de la escuela de música Vida y Movimiento realizan estas actividades en la jornada de apertura del centro cultural; después de los cubículos, encontramos instalaciones sanitarias y un cubo de escaleras justo detrás del escenario. Finalmente, se encuentra un pasillo de uso común para personal administrativo, estudiantes y público en general.

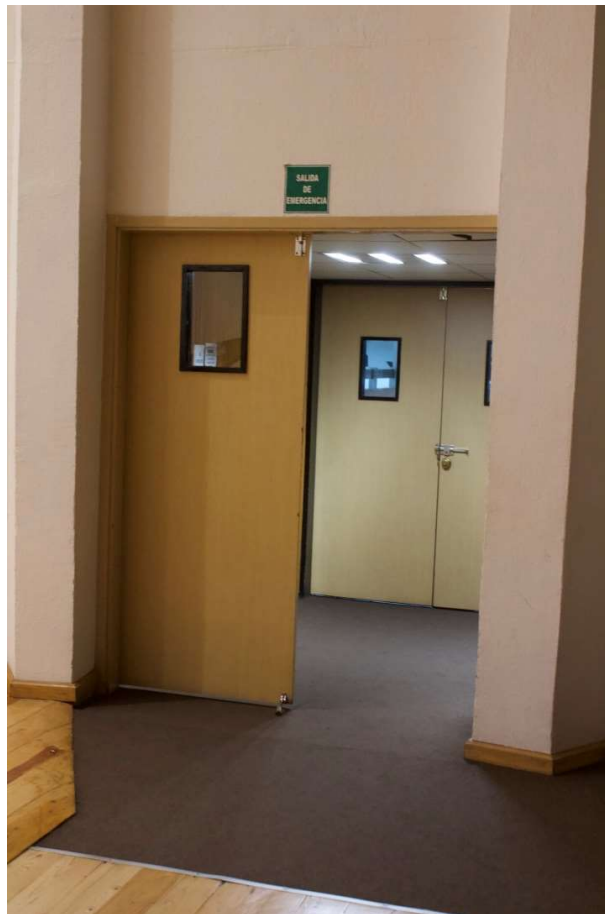


Figura 17. Acceso Principal, Sala Hermilo Novelo

Al interior de la sala se encuentra un piso de duela sólida con un acabado brillante a lo largo de todo el escenario hasta la limitante de la silletería. En las gradas encontramos 200 butacas, las cuales están distribuidas de manera uniforme, sin recubrimiento en el suelo. Las paredes no cuentan con algún acabado externo, solo un muro con pintura blanca a lo largo de todo su perímetro, donde encontramos las columnas aparentes de la estructuración. Por el lado de los techos, se cuenta con un plafón falso, luminaria, aire acondicionado y algunos acabados en madera en forma triangular del lado del escenario y de forma rectangular con pequeños espacios del lado de la silletería como se muestra en las siguientes fotografías. Ver figuras 18,19 y 20.



Figura 18. Plafón Escenario, Sala Hermilo Novelo



Figura 19. Escenario, Sala Hermilo Novelo



Figura 20. Gradas, Sala Hermilo Novelo

3.2.3. Descripción de Ruido.

De acuerdo al recorrido y cuestionamiento a alumnos que utilizan continuamente la sala, existen diferentes generadores de ruido alrededor de la sala, los cuales se describen a continuación:

- Pasillos: La sala cuenta con cuatro accesos a partir de los pasillos, utilizados como áreas comunes donde los alumnos conviven y existe un tránsito de personas periódicamente, los accesos de la sala cuentan con doble puerta, las cuales no cuentan con algún tipo de sello en su perímetro. Ver figura 21.

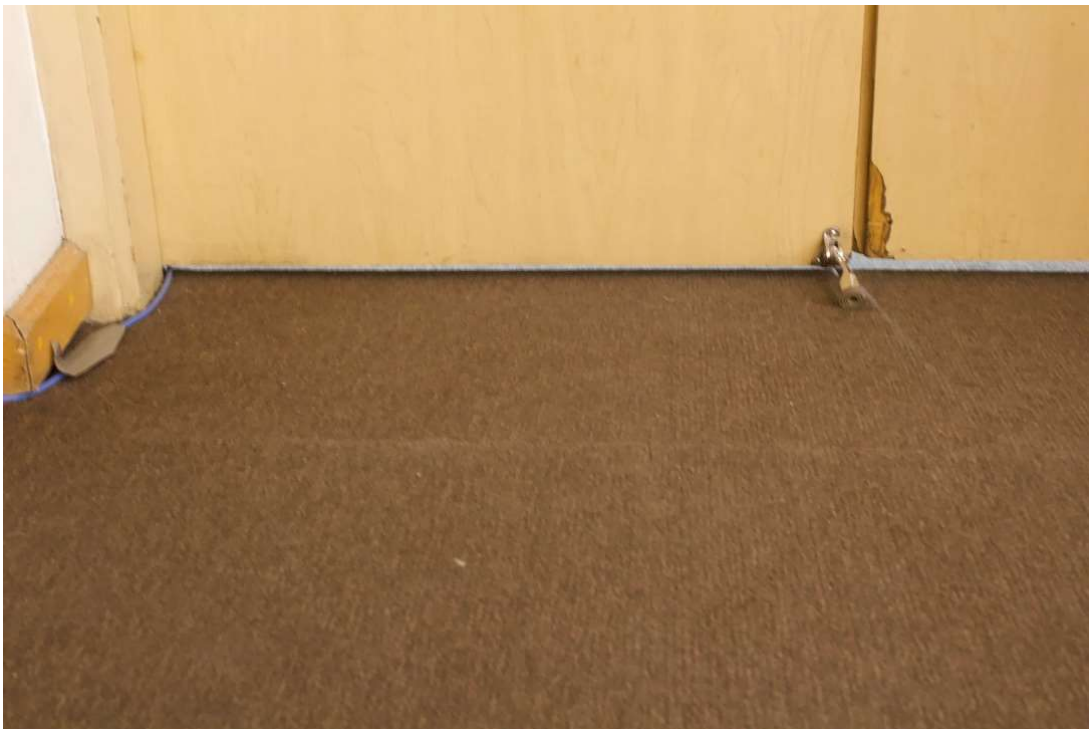


Figura 21. Perímetro de Accesos a Sala Hermilo Novelo

- Cubículos de estudio: alrededor de la sala como se observa en el plano (figura 16), existen cubículos los cuales se prestan a alumnos diariamente durante todo el día en los cuales se ejecutan diferentes instrumentos a diferentes alturas sonoras.
- Lluvia: cuando se genera este fenómeno atmosférico se percibe ruido molesto para los ejecutantes e intérpretes.

3.3. Sala Silvestre Revueltas

3.3.1. Ubicación

La sala se encuentra ubicada dentro del conjunto Oeste del del Centro Cultural Ollin Yoliztli Periférico Sur 5141, Col. Isidro Fabela, Del. Tlalpan, Ciudad de México, con coordenadas obtenidas de Google Earth 19°18'07.72'' Norte, 99°10'42.88'' Oeste.



Figura 22. Ubicación Sala Silvestre Revueltas

3.3.2. Características de la sala.

En contraste con la Sala Hermilo Novelo, ésta sala se encuentra fuera de la estructura de mampostería del centro cultural, ya que está formada a partir de una nave industrial para poder conseguir el tamaño de ésta y su gran claro. De acuerdo con Isbert la sala cuenta con una geometría de abanico invertido (“reverse-splay halls”) la cual cuenta con las siguientes características:

“

- Existencia de una gran cantidad de primeras reflexiones laterales
- Impresión espacial elevada
- Falta de visibilidad desde una buena parte de sus localidades”

(Isbert, 2001, pág. 256)

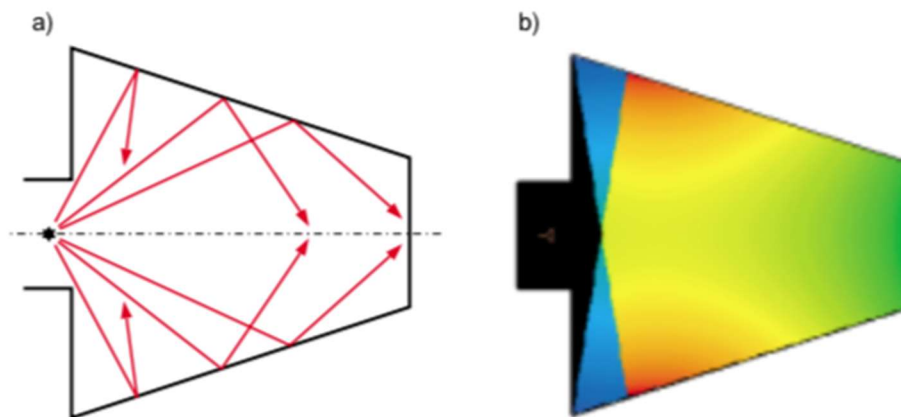


Figura 23. (Isbert, 2001) Sala en Forma de Abanico Invertido

A continuación, se presenta un plano arquitectónico en planta describiendo la sala y sus alrededores definiendo el uso de cada espacio. Ver figura 24.

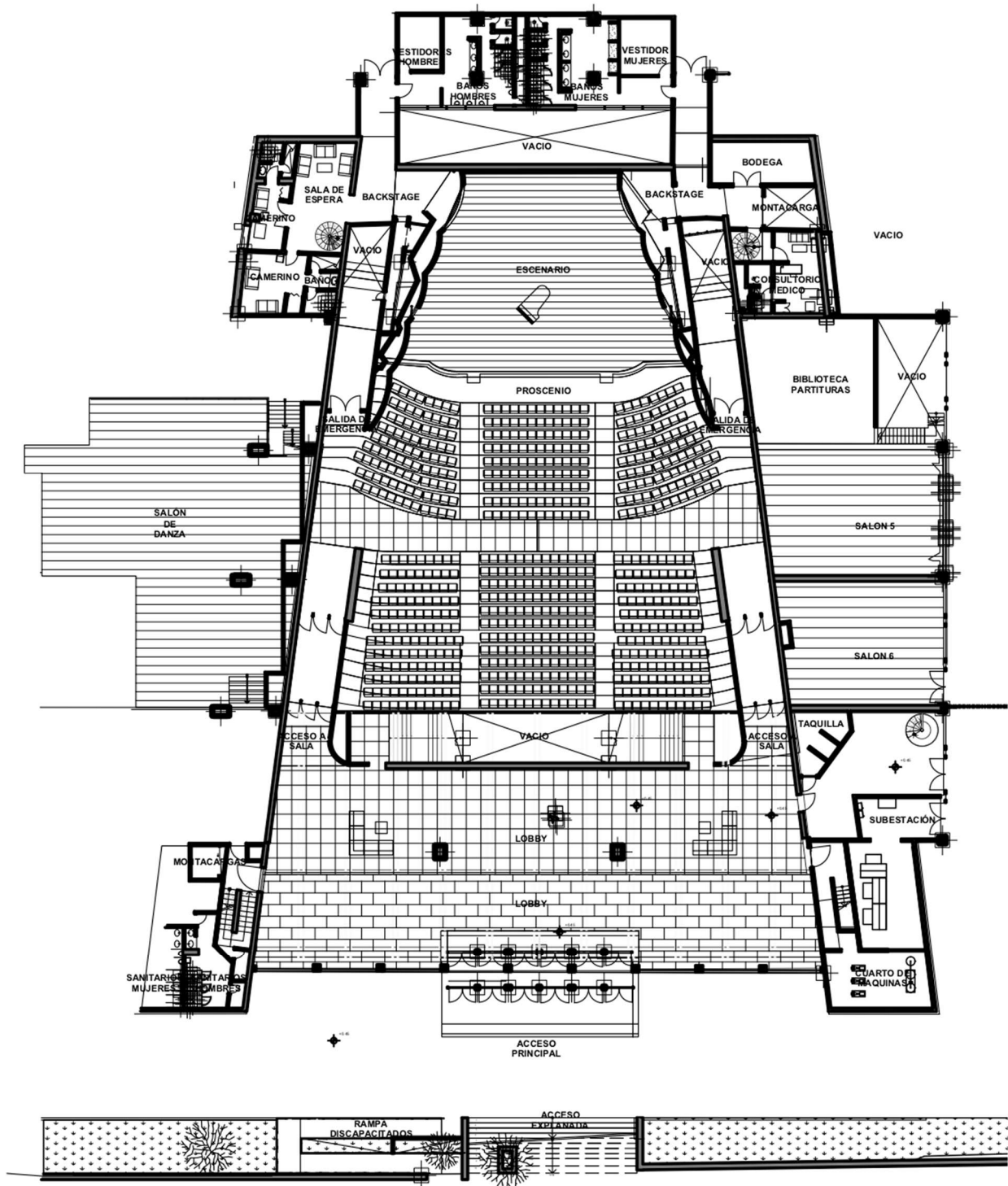


Figura 24. Plano Arquitectónico Sala Silvestre Revueltas

Mientras que la Sala Hermilo Novelo cuenta con más espacios comunes en funcionamiento, esta sala cuenta con infraestructura para ejercer grandes eventos

como su principal objetivo, esta sala cuenta con salas de espera, lobby, taquilla, cuartos de máquinas, sanitarios, biblioteca, camerinos, vestidores, bodegas entre otros espacios como salones donde son utilizados por el centro cultural con otros fines. La sala cuenta con 6 accesos, 2 principales, 2 de artistas y otros 2 de emergencia. Del acceso principal al acceso de la sala se cuenta con un lobby, el cual se puede considerar como doble puerta o doble barrera para el ingreso a la sala.

Al interior de la sala, todo el escenario se encuentra recubierto en su totalidad de acabado en madera, el techo del escenario es un plafón de madera con algunos espacios entre placas, luminaria y micrófonos instalados en él. Del lado de la silletería, se cuentan con 1200 butacas y en sus pasillos cuentan con un recubrimiento de alfombra, sus paredes están recubiertas con un acabado en madera con cierta geometría continua desde el escenario como se muestra en el plano (figura 24), exceptuando la parte posterior, donde solo una pequeña parte esta recubierta de alfombra y el resto con un acabado en pintura blanca. El techo cuenta con una geometría cóncava con un acabado en pintura blanca y luminaria instalada en él. En adición, la silletería cuenta con una inclinación para la mejora en la visualización de la sala, siendo distribuida de manera uniforme. Todas estas descripciones pueden ser visualizadas en las siguientes fotografías. Ver figuras 25, 26, 27 y 28.



Figura 25. Escenario, Sala Silvestre Revueltas



Figura 26. Plafón Escenario, Sala Silvestre Revueltas



Figura 27. Gradas, Sala Silvestre Revueltas

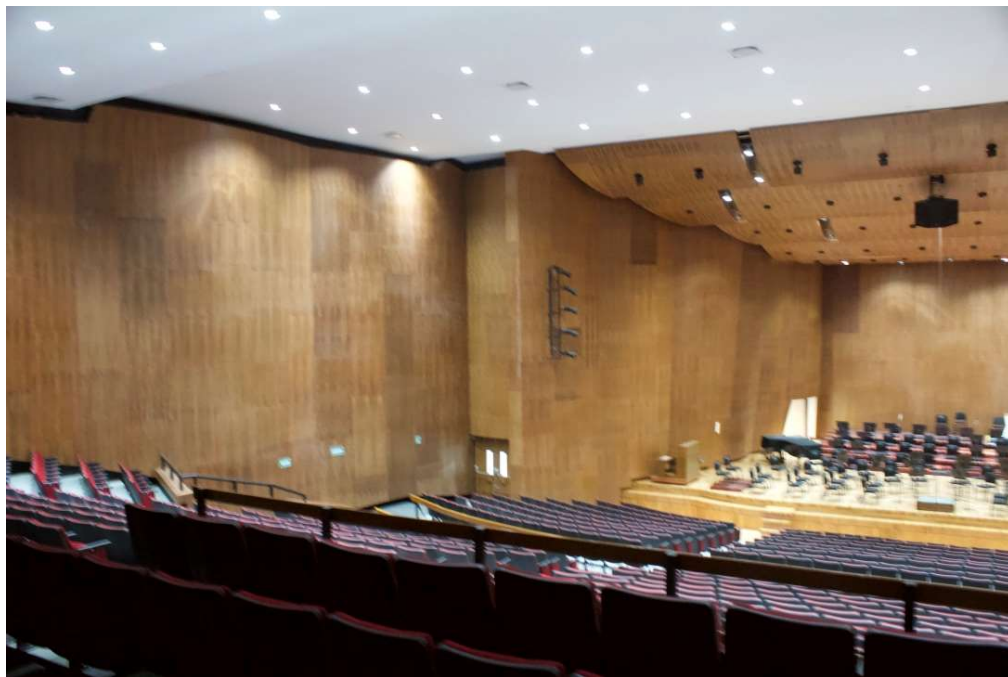


Figura 28. Muro Lateral, Sala Silvestre Revueltas

3.3.3. Descripción de Ruido

Los encargados del mantenimiento de la sala nos proporcionaron las siguientes fuentes de ruido de la sala y sus características:

- Lluvia: al igual que la Sala Hermilo Novelo, este fenómeno atmosférico genera ruido a partir del cambio el plafón falso y su geometría en su remodelación, el cual produce molestia a los asistentes y ejecutantes cuando se presenta.
- Salones adyacentes: como se muestra en el plano (figura 24), existen diferentes salones dedicados a la danza generando ruido por los impactos al suelo, sin embargo, los horarios de funcionamiento de la sala no convergen durante la utilización de estos salones.
- Camerinos en conciertos: Durante los conciertos existen artistas ensayando, estudiando o repasando obras a interpretar antes de su actuación, esta acción realizada durante algún concierto se llega a percibir por los asistentes y músicos.
- Tránsito vehicular: El tránsito específicamente del Anillo Periférico Boulevard Adolfo López Mateos momentáneamente y en horas determinadas genera ruidos que se llegan a percibir dentro de la sala.

4. Protocolo de Experimentación

La importancia de la evaluación acústica en los diferentes recintos para sus diferentes usos requiere de una evaluación de calidad, lo cual nos lleva a referirnos a normas nacionales e internacionales para la medición de los parámetros descritos y su debido procesamiento. Las características recomendadas de los recintos varían de acuerdo con su uso, diseño y estado actual. A continuación, se describe el procedimiento utilizado para los fines ya descritos.

4.1. Procedimiento de Experimentación

4.1.1. Preliminares

La metodología de medición para los Niveles STC y Ruido de Fondo se obtuvo con base en la norma NOM-081-SEMARNAT-1994,1994 la cual fue adaptada para la presente tesis, para mayor información consultar la norma especificada.

Estos puntos son descritos en el apartado de descripción de salas a estudiar.

4.1.1.1. Se deberá utilizar un sonómetro cumpliendo con las características descritas dentro de la NOM-AA-59-1978 y será calibrado por medio de un pistófono o calibrador a una señal conocida de 94 dB.

4.1.1.2. El reconocimiento inicial debe realizarse en forma previa a la aplicación de la medición del nivel sonoro emitido por una fuente fija, con el propósito de recabar la información técnica (volumen del recinto y área) administrativa y para localizar las Zonas Críticas en áreas colindantes a la sala o predio referirse al punto 4.1.2.3 y 4.1.2.4.

4.1.1.3. Obtención de información sobre la geometría del recinto, así como la estructuración y materiales.

4.1.2. Aislamiento Bruto (STC)

4.1.2.1. Croquis que muestre la ubicación del predio donde se encuentre la fuente fija y la descripción de los predios con quien colinde.

4.1.2.2. Descripción de las actividades potencialmente ruidosas

4.1.2.3. Con el sonómetro funcionando, realizar un recorrido por la parte externa de las colindancias de la fuente fija con el objeto de localizar la Zona Crítica o zonas críticas de medición.

4.1.2.4. Dentro de cada Zona Crítica (ZCi) se ubicarán 5 puntos distribuidos vertical y/u horizontalmente en forma aleatoria a 0.30 m de distancia del límite de la fuente y a no menos de 1.2 m del nivel del piso.

4.1.2.5. Si se realiza con medición continua

4.1.2.5.1. Se elige la zona y el horario crítico donde la fuente fija produzca los niveles máximos de emisión. Durante el lapso de emisión máxima se elige un periodo no inferior a 15 minutos para la medición.

4.1.2.5.2. En la zona de emisión máxima se ubicarán aleatoriamente no menos de 5 puntos conforme al procedimiento descrito en el punto 4.1.2.4. Se aconseja describir los puntos con las letras (A, B, C, D y E) para su identificación. La zona de emisión máxima se identificará con las siglas ZC y se agregará un número progresivo en el caso de encontrar más zonas de emisión máxima (ZC1, ZC2, etc.)

4.1.2.5.3. Se ajusta el sonómetro con el selector de la escala A y con el selector de integración lenta. En caso de que el efecto del viento sobre la membrana del micrófono sea notorio se debe cubrir esta con una pantalla contra el viento.

4.1.2.5.4. Debe colocarse el sonómetro en cada punto de medición apuntando hacia la fuente y mantenerlo fijo un lapso no menor de 3 minutos, durante el cual se registra ininterrumpidamente la señal. Al cabo de dicho periodo de tiempo se mueve el sonómetro al siguiente punto y se repite la operación. Durante el cambio se detiene la grabación o almacenamiento de la señal, dejando un margen en la misma para indicar el cambio del punto.

4.1.2.6. Se realiza con Medición Semicontinua

4.1.2.6.1. Debe de seguirse los puntos 4.1.2.5.1 al 4.1.2.5.4 y colocarse el sonómetro o el micrófono del sonómetro en cada punto de medición apuntando hacia la fuente y efectuar en cada punto no menos de 35 lecturas, procurando obtener cada 5 segundos el valor máximo observado.

4.1.2.7. Ubicación de Puntos de Medición

4.1.2.7.1. Si la fuente fija se halla limitada por confinamientos constructivos (baldas, muros, etc.), los puntos de medición deben situarse lo más cerca posible a estos elementos (a una distancia de 0.30 m), al exterior del predio, a una altura del piso no inferior a 1.20 m. Deben observarse las condiciones del elemento que produzcan los niveles máximos de emisión (ventanas, ventilas, respiraderos, puertas abiertas) si es que estas son las condiciones normales en que opera la fuente fija.

4.1.2.7.2. Si el elemento constructivo a que se refiere el punto anterior no divide totalmente la fuente de su alrededor, el elemento es considerado como parcial, por lo que debe buscarse la zona de menor sombra o dispersión acústica. Si el elemento divide totalmente la fuente de su alrededor deberá seguirse lo establecido

4.1.2.7.3. Si la fuente fija no se halla limitada por confinamientos, pero se encuentran claramente establecidos los límites del predio (cercas, mojoneras, registros, etc.), los puntos de medición deben situarse lo más cerca posible a los límites exteriores del predio, a una altura del piso no inferior a 1.20 m.

4.1.2.7.4. Si la fuente fija no se halla limitada por confinamientos y no existe forma de determinar los límites del predio (maquinaria en la vía pública, por ejemplo), los puntos de medición deben situarse a un 1 m de distancia de esta, a una altura del piso no inferior a 1.20 m.

4.1.3. Niveles de Ruido de Fondo

4.1.3.1.1. Deben elegirse por lo menos 5 puntos aleatorios alrededor de la fuente y a una distancia no menor de 3.5 m, apuntando en dirección contraria a dicha fuente. Se aconseja describir los puntos con los números romanos (I, II, III, IV y V) para su identificación.

4.1.3.1.2. Debe medirse el nivel sonoro de fondo en cada uno de los puntos determinados conforme a los procedimientos señalados en los puntos 4.1.2.5 o 4.1.2.6 del presente documento exceptuando la posición del sonómetro.

(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1994)

4.1.4. Tiempo de reverberancia

La metodología de medición para el tiempo de reverberación se obtuvo con base en la norma UNE EN ISO 3382-2, 2008 la cual fue adaptada para la presente tesis, para mayor información consultar la norma especificada.

4.1.4.1. El número de puntos de medición dependerá del tamaño de la sala, deben distribuirse en una línea uniformemente espaciada sobre la silletería, el número mínimo de posiciones del sonómetro estará en función del aforo de la sala como lo muestra la tabla 8. Si el número de puntos mínimos de medición es mayor o igual a 18, se realizará una sola medición por punto, de lo contrario se tendrá que realizar 3 mediciones por punto.

Tabla 8

Puntos de medición mínimos para el tiempo de reverberación

Número de Sillas	Número mínimo de posiciones del sonómetro
500	6
1000	8
2000	10

Nota. Recuperado de (UNE Normalización Española, 2008)

La distancia mínima de la fuente al primer punto de medición será con base en la siguiente ecuación:

$$d_{min} = 2 \sqrt{\frac{V}{cT}} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

V: volumen del recinto en m³.

C: velocidad del sonido en m/s.

T: estimación del tiempo de reverberación esperado en segundos (referirse al manejo y proceso de datos, punto 5.1.3.1).

d: distancia mínima en metros.

4.1.4.2. Se estalla un globo en el escenario simulando la fuente principal de sonido mientras se registra con un sonómetro con el selector en escala A, respuesta rápida y muestreo de datos con el menor disponible por el instrumento, hasta que se deje de percibir sonido en el recinto, se para la grabación.

(UNE Normalización Española, 2008)

5. Datos Obtenidos

5.1. Manejo y Proceso de datos

5.1.1. Ruido de Fondo

5.1.1.1. Conforme a los datos obtenidos, se ordenan los datos de menor a mayor, obteniendo los L50, L90 y L10; donde el dato de presión del L90, representa el ruido de fondo de ese punto, se realiza este proceso para cada uno.

5.1.1.2. Se obtiene la desviación estándar como lo establece la norma NOM -081-ECOL-1994,1994 de acuerdo al método de obtención los datos, de forma continua o semicontinua, siguiendo las siguientes ecuaciones.

Si se realizó de forma continua:

$$\sigma = \frac{L_{10}-L_{50}}{1.2817} \text{ Ec. 9}$$

Si se realizó de forma semicontinua:

$$\sigma = \frac{\sqrt{L_{10}-L_{50}}}{N-1} \text{ Ec. 10}$$

Donde:

N = es la cantidad de datos medidos.

5.1.1.3. Se obtiene el promedio de los valores a cada punto, obteniendo el ruido de fondo de la sala.

5.1.2. Aislamiento Bruto (STC)

5.1.2.1. Se recaban los datos obtenidos a partir del punto 4.1.2 del Procedimiento de Experimentación, para cada punto de obtendrán los L10, L50 y L90; se obtiene la presión sonora equivalente para los datos superiores al L90. La desviación estándar para cada medición se obtendrá conforme lo establecido en el manejo de datos de ruido de fondo.

5.1.2.2. Se obtiene solo el promedio de las presiones equivalentes por Zonas Críticas, excluyendo el punto medido al exterior de la sala.

5.1.3. Tiempo de Reverberancia

5.1.3.1. Se recabará la información básica del recinto del punto 4.1.1.2 del Procedimiento de Experimentación y obtener el tiempo de reverberación esperado con medio de la ecuación de W. C. Sabine:

$$TR_{esp} = 0.161 \frac{V}{Abs} \text{ Ec. 11}$$

Donde:

TR: Es el tiempo de reverberación esperado en segundos

V: Es el volumen del local en m³

Abs: es la absorción del local en m²

5.1.3.2. Con los datos obtenidos del punto 4.1.4 del Procedimiento de Experimentación, en cada curva se realizará un ajuste por mínimos cuadrados solo a los datos que se contienen en una caída de 20 dB(A) del valor máximo, obteniendo la pendiente de la recta.

5.1.3.3. Con la pendiente se calcula cuánto tiempo tarda en disminuir 60 dB (T_{60}) el nivel de presión acústica del valor máximo, ubicando en tiempo 0 el mayor valor registrado por medición.

5.1.3.4. Obtener la media para cada punto o en su defecto el valor del tiempo de reverberancia de cada punto y promediar todos estos puntos para obtener el tiempo de reverberación de la sala.

5.2. Datos Generales

Antes de realizar alguna medición en cualquier sala, se completó un formato verificando datos básicos y relevantes para conocer las características de la sala, instrumentación, participantes y horarios de medición.

5.2.1. Sala Hermilo Novelo

Tabla 9

Datos Generales, Sala Hermilo Novelo

Nombre de la Sala				
Hermilo Novelo				
Verificación de calibración en terreno	Sí	X	Volumen del recinto (m³)	2358.72
	No		Área del recinto (m²)	1275.84
Instrumental de Medición				
Sonómetro	Marca	Modelo	No. Serie	Error

1	CEM	DT-8852	12120885	0
2	UEI	DS100	96075657	0.2
3	UEI	DS101	96075624	0
4	UEI	DS102	96075656	0.1
Calibrador	CEM	SC-05	130315002	--

Condiciones de Medición					
Fecha de medición	8 DE FEBRERO DE 2019				
Hora de inicio	6:00				
Hora de termino	8:00				
Periodo de medición	7:00 -21:00 H	X	21:00-7:00 H		
Lugar de medición	INTERNA	X	EXTERNA		
Descripción del lugar de medición	ESCUELA DE MÚSICA				
Condiciones de ventana	ABIERTA	CERRADA		X	
Temperatura (°C)	21	Humedad %	44	V. del viento (m/s)	18 (KM/H)

Nombre de Participantes					
Hernández Guerrero Abelete Ameyali					
Huertas Hernández Jose Alberto					
Peñaloza Clemente Juan Carlos					
Vidal García José Antonio					

- El día viernes 8 de febrero de 2019, se realizó la obtención de datos para la evaluación acústica de la Sala Hermilo Novelo, este proceso se realizó en los tiempos establecidos en la tabla anterior. Ver tabla 9.
- Se verificó la calibración de los instrumentos por medio de un pistófono, registrando la variación de decibeles en escala A, mientras se reproducen los 94 dB, encontrando a los sonómetros dentro de las tolerancias de calibración.

- Se realizó una medición muy rápida considerando la sala como un cubo, obteniendo los valores de X, Y y Z, para obtener un aproximado del volumen y área de la sala, siendo requisitos para calcular el número de muestras para el tiempo de reberverancia.
- Se calculó el número de puntos requeridos para el tiempo de reverberación, de acuerdo al conteo de la silletería, el volumen y el área de la sala establecido en el protocolo de experimentación.
- Las mediciones tuvieron una duración de dos horas, en donde, hora y media fue dentro de la sala, se esperaba por lo menos tener dos horas de medición interna, pero una interrupción de alumnos de la escuela “Vida y Movimiento”, redujo el tiempo a lo ya mencionado.
- Todos los lugares en donde se colocaron los sonómetros fueron dentro de alguna instalación, ya sea en el recinto, pasillo o cubículos, especificando que no había la existencia de alguna ventana, o en su debido caso que estuviera cerrada.
- Se colocaron datos climatológicos extraídos de Google a partir de la ubicación del dispositivo móvil, para dar una idea de las condiciones en ese momento.

5.2.2. Sala Silvestre Revueltas

Tabla 10

Datos Generales, Sala Silvestre Revueltas

Nombre de la Sala					
Silvestre Revueltas					
Verificación de calibración en terreno		Sí	x	Volumen del recinto (m ³)	9000
		No		Área del recinto (m ²)	17090
Instrumental de Medición					
Sonómetro	Marca	Modelo	No. Serie	Error	
1	CEM	DT-8852	12120885	0	
2	UEI	DS100	96075657	0.2	
3	UEI	DS101	96075624	0	
4	UEI	DS102	96075656	0.1	
Calibrador	CEM	SC-05	130315002	--	
Condiciones de Medición					
Fecha de medición		11 DE FEBRERO DE 2019			
Hora de inicio		12:00			
Hora de termino		02:30			
Periodo de medición		7:00 -21:00 H		21:00-7:00 H	X
Lugar de medición		INTERNA	X	EXTERNA	X
Descripción del lugar de medición		SALA DE CONCIERTO RECIEN REMODELADA			
Condiciones de ventana		ABIERTA		CERRADA	X
Temperatura (°C)		22	Humedad %	45	V. del viento (Km/H) 20
Nombre de Participantes					
Huertas Hernández Jose Alberto					
Vidal García José Antonio					
Peñaloza Clemente Juan Carlos					
Hernández Guerrero Abelete Ameyali					
Martínez Rivera Magnolia Guillermina					
Ángeles Salto Pablo de Jesús					

- El día lunes 11 de febrero de 2019, se realizó la obtención de datos para la evaluación acústica de la Sala Silvestre Revueltas, este proceso se realizó en los tiempos establecidos en la tabla anterior. Ver tabla 10.
- Se verificó la calibración de los instrumentos por medio de un pistófono con las características descritas en la tabla anterior (Tabla 10), registrando la variación de decibeles en escala A mientras se reproducen los 94 dB, encontrando a los sonómetros con las mismas características que en la prueba anterior y dentro de las tolerancias de calibración.
- El Arquitecto Edgar Josué Álvarez Chávez obtuvo una aproximación a partir de planos el volumen y área de la sala, datos necesarios para el muestreo del tiempo de reberverancia.
- Se calculó el número de puntos requeridos para el cálculo del tiempo de reverberación, de acuerdo al conteo de la silletería, el volumen y el área de la sala de acuerdo a la aproximación establecida.
- Las mediciones tuvieron una duración de dos horas y media, contemplando cada punto de muestreo con las características establecidas por el protocolo experimental, sin tener ningún percance, contando con el apoyo del personal de las instalaciones de la sala.
- Para este caso en particular, se realizaron mediciones dentro y fuera de las instalaciones por lo que tenemos mediciones con diferentes condiciones.
- Se colocaron datos climatológicos extraídos de Google a partir de la ubicación del dispositivo móvil, sin embargo, esta sala trabaja a una

temperatura controlada de 22°C, teniendo este dato como constante para las condiciones del recinto.

5.3. Ruido de Fondo

5.3.1. Sala Hermilo Novelo

En relación a la interrupción en la toma de datos, solo se midieron tres puntos para caracterizar el ruido de fondo del recinto, siendo 5 las mínimas requeridas por la norma NOM-081-ECOL-1994, éstas fueron obtenidas a partir de lo descrito en el protocolo experimental. Los resultados y ubicación por punto de esta sala se presentan a continuación. Ver tabla 11.

Tabla 11

Medición de Ruido de Fondo, Sala Hermilo Novelo

Punto I		Punto II		Punto III	
L10	39.2 dB(A)	L10	41.5 dB(A)	L10	40.6 dB(A)
L90	37.4 dB(A)	L90	31.5 dB(A)	L90	34.5 dB(A)
L50	37.4 dB(A)	L50	35.1 dB(A)	L50	35.8 dB(A)
Σ	1.40	σ	4.97	σ	3.73
Min	35.8 dB(A)	Min	31.2 dB(A)	Min	34.3 dB(A)
Max	41.7 dB(A)	Max	49.5 dB(A)	Max	49.9 dB(A)
Sonómetro	1	Sonómetro	1	Sonómetro	1

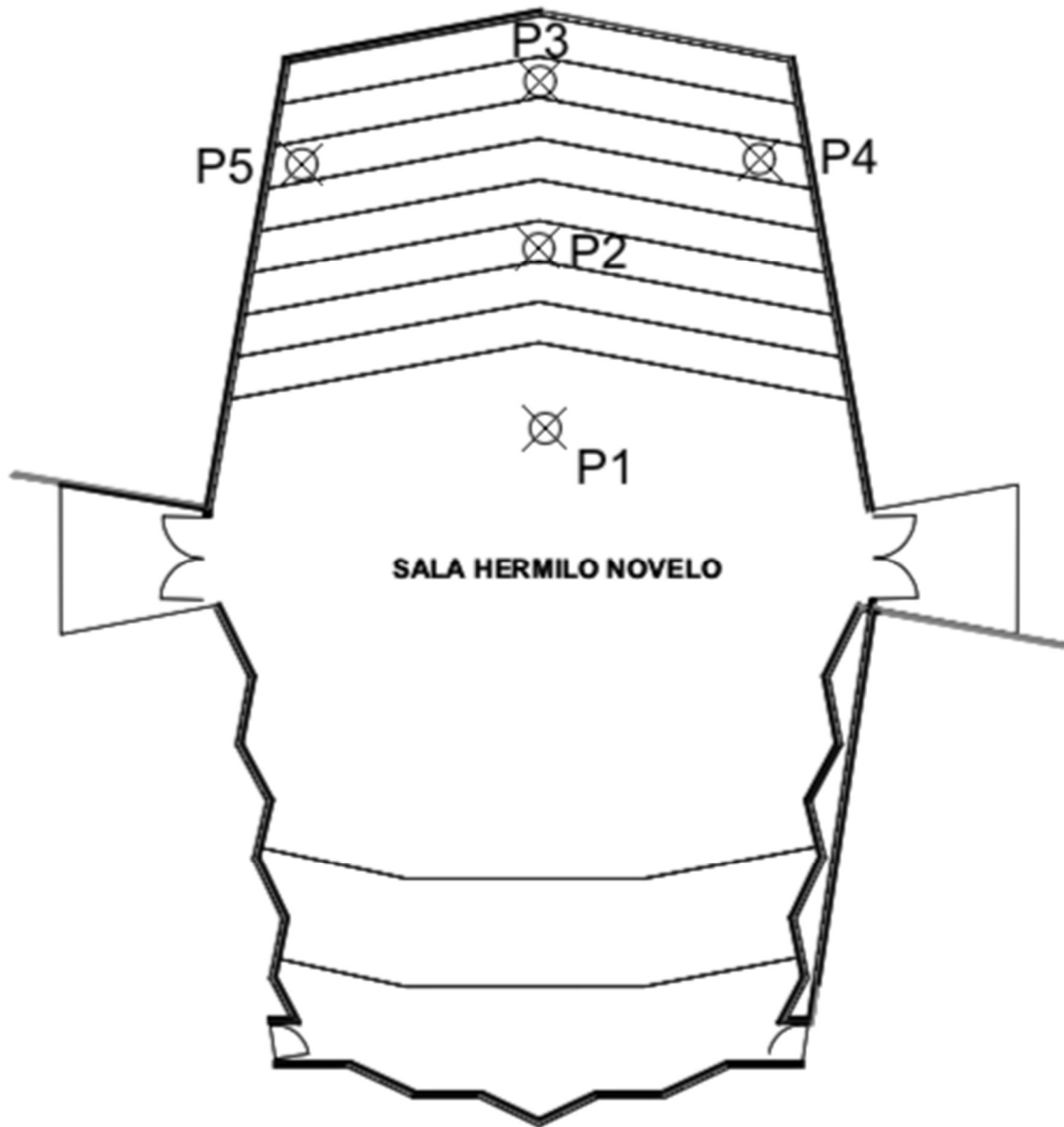


Figura 29. Puntos de Medición de Ruido de Fondo, Sala Hermilo Novelo

Finalmente tenemos el Ruido de Fondo promedio para la sala Hermilo Novelo de acuerdo con los resultados de cada punto. Ver tabla 12.

Tabla 12

Resumen Medición de Ruido de Fondo, Sala Hermilo Novelo

Ruido de Fondo		
Punto I	37.40	dB(A)
Punto II	31.50	dB(A)
Punto III	34.50	dB(A)
Promedio	34.47	dB(A)

5.3.2. Sala Silvestre Revueltas

La toma de datos se llevó sin ninguna complicación, obteniendo los 5 puntos establecidos por la NOM-081-ECOL-1994, teniendo la ubicación y resultados por punto mostrados en las tablas 13 y 14.

El ruido de fondo promedio con respecto a los datos medidos se muestra en la tabla 15.

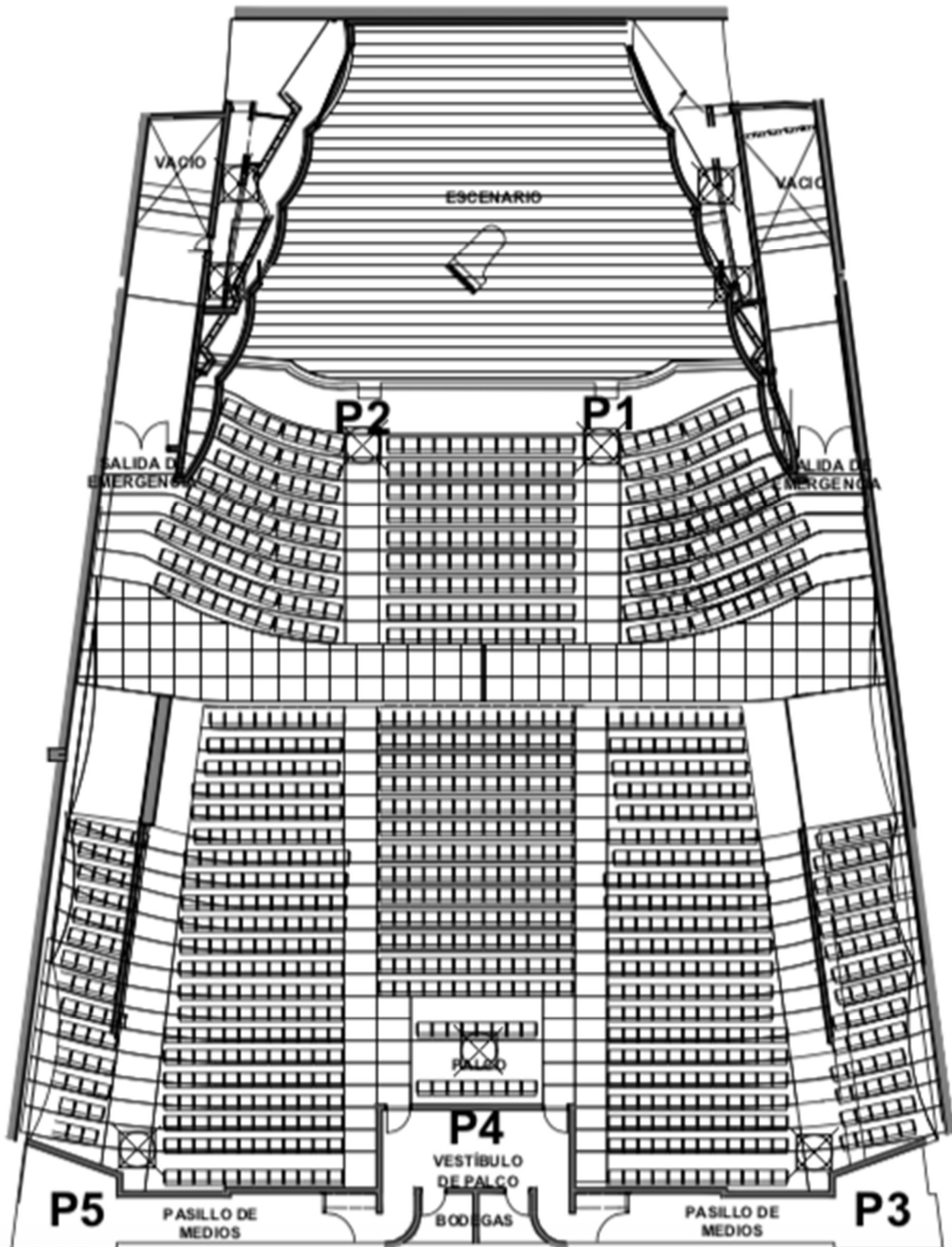


Figura 30. Puntos de Medición de Ruido de Fondo, Sala Silvestre Revueltas

Tabla 13

Medición de Ruido de Fondo I, Sala Silvestre Revueltas

Punto I			Punto II			Punto III		
L10	40.9	dB(A)	L10	45.1	dB(A)	L10	42.1	dB(A)
L90	35.4	dB(A)	L90	37.1	dB(A)	L90	36.6	dB(A)
L50	38.6	dB(A)	L50	39.9	dB(A)	L50	38.9	dB(A)
σ	1.79		σ	4.04		σ	2.49	
Mín	34.50	dB(A)	Mín	36.70	dB(A)	Mín	36.10	dB(A)
Máx	42.10	dB(A)	Máx	48.70	dB(A)	Máx	48.40	dB(A)
Sonómetro	1		Sonómetro	1		Sonómetro	1	

Tabla 14

Medición de Ruido de Fondo II, Sala Silvestre Revueltas

Punto IV			Punto V		
L10	43.5	dB(A)	L10	43.9	dB(A)
L90	39.8	dB(A)	L90	36	dB(A)
L50	41.9	dB(A)	L50	39	dB(A)
Σ	1.24		Σ	3.81	
Mín	38.80	dB(A)	Mín	35.50	dB(A)
Máx	48.20	dB(A)	Máx	53.80	dB(A)
Sonómetro	1		Sonómetro	1	

Tabla 15

Resumen Medición de Ruido de Fondo, Sala Silvestre Revueltas

Ruido de Fondo		
Punto I	35.4	dB(A)
Punto II	37.1	dB(A)
Punto III	36.6	dB(A)
Punto IV	39.8	dB(A)
Punto V	36	dB(A)
Promedio	36.98	dB(A)

5.4. Aislamiento Bruto (STC)

5.4.1. Sala Hermilo Novelo

Las características de ruido externo a la sala se presentaron todo el tiempo esta sala en especial a su alrededor está expuesta a un ruido constante por la presencia de cubículos de estudio y pasillos.

Debido a la situación ya descrita, solo se lograron realizar muestras para 2 zonas críticas y una muestra externa para la zona 3 (cubículos) sin ninguna toma de datos dentro de ella. Para el muestreo interno de la sala solo se logró obtener tres mediciones por zona. Ver tabla 16, 17 y 18. Los puntos de medición se muestran en la figura 35.

Tabla 16

Medición de Aislamiento Bruto ZC1, Sala Hermilo Novelo

ZC1	Exterior	A	B	C
L ₁₀	63.8	37.1	40.1	31.5
L ₉₀	58.1	31.2	34.5	37.6
L ₅₀	60.9	31.5	35.8	31.3
L _{eq}	61.72	35.50	38.80	41.09
Σ	2.25	4.35	3.34	0.16
Mín	52.4	30.6	34.3	34.2
Máx	68.7	52.1	49.9	58.7
Sonómetro	1	1	1	1

Nota. Dentro del croquis, en rojo se muestran los puntos respectivos a la zona crítica 1.



Figura 31. Medición exterior, Sala Hermilo Novelo



Figura 32 Medición Interior, Sala Hermilo Novelo

Tabla 17

Medición de Aislamiento Bruto ZC2, Sala Hermilo Novelo

ZC2	Exterior	A	B	C
L ₁₀	44.2	35.7	36.8	34.9
L ₉₀	40.1	34.1	34.4	33.9
L ₅₀	41.70	34.4	35	34.2
L _{eq}	42.30	34.32	35.03	33.80
Σ	0.33	0.27	0.30	0.04
Mín	39.7	33.9	33.9	33.8
Máx	48.9	37.7	37.8	35
Sonómetro	3	3	2	4

Nota. Dentro del croquis, en rosa se muestran los puntos respectivos a la zona crítica 2.



Figura 33. Acceso Trasero, Sala Hermilo Novelo



Figura 34. Backstage, Sala Hermilo Novelo

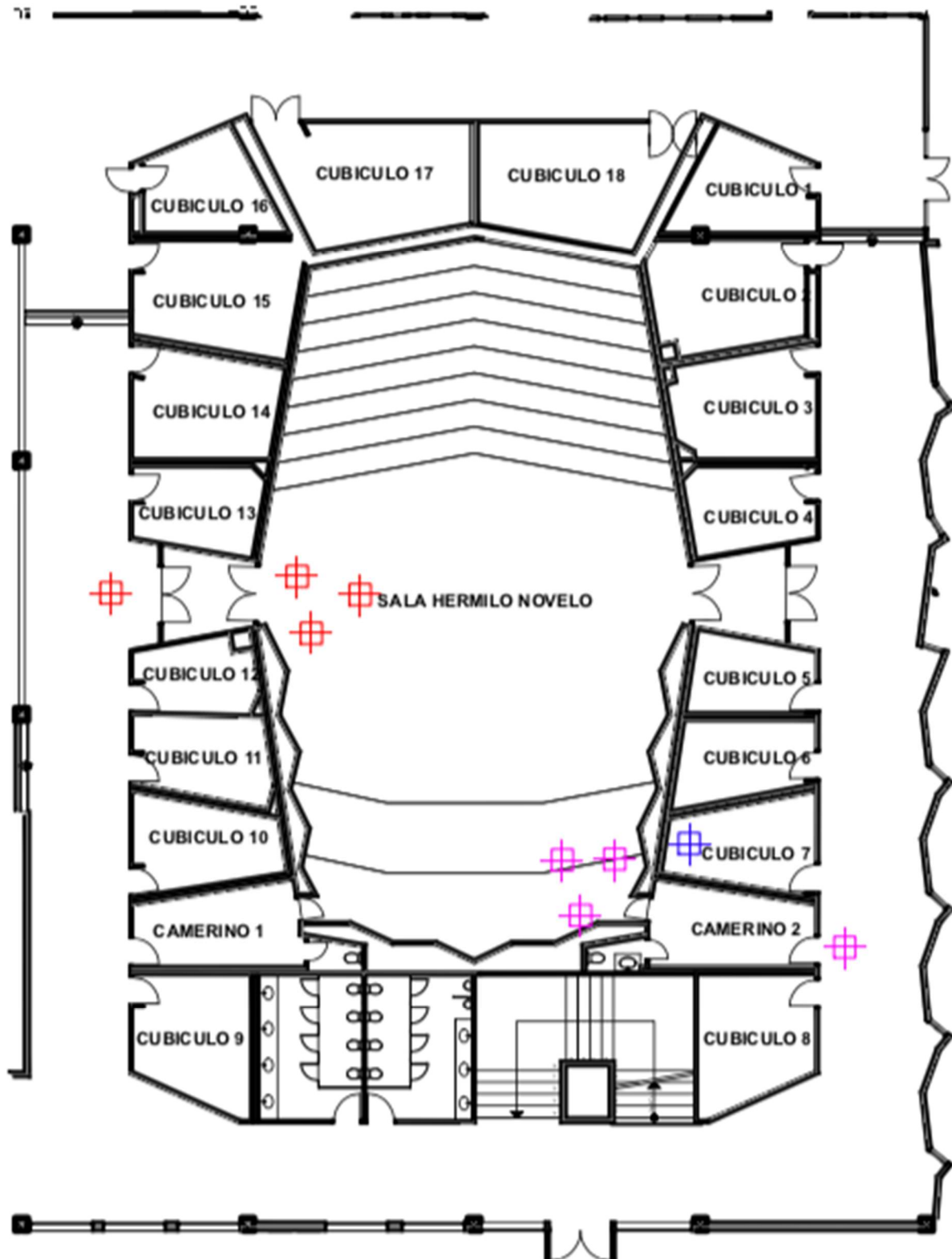


Figura 35. Puntos de Medición de Aislamiento Bruto (STC), Sala Hermilo Novelo

Para la medición realizada dentro del cubículo 7, se interpretaron por los estudiantes Atl Villamil Castañeda y Sara Michaelian Martínez diferentes obras al piano, violín y ambos simultáneamente, obteniendo valores de presión acústica en el cubículo, sin embargo, no fue posible realizar las mediciones dentro de la sala Hermilo Novelo para su posterior análisis por aislamiento de ruido, por lo que a continuación, se muestran los resultados de estas mediciones como datos adicionales. Ver tabla 18.

Tabla 18

Medición Adicional en Cubículos de Estudio, Sala Hermilo Novelo

	Dos violines	Piano	Piano	Piano y Violín	Piano	Piano y Violín	Violín
L ₁₀	85.80	88.90	91.30	84.30	88.20	84.30	83.90
L ₉₀	76.20	76.50	74.90	73.60	69.60	73.60	71.20
L ₅₀	81.20	82.70	81.90	79.20	79.20	79.20	77.30
L _{eq}	83.11	85.70	87.56	81.87	83.54	81.87	81.01
Σ	3.57	4.82	7.30	3.96	6.99	3.96	5.13
Mín	45.40	63.50	42.10	42.30	37.70	42.30	61.80
Máx	92.70	95.60	101.10	95.50	94.50	95.50	94.10
Sonómetro	1	1	1	1	1	1	1

Nota. Dentro del croquis, en morado se muestran los puntos respectivos a esta muestra.



Figura 36. Medición Piano-Violín, Cubículo Sala Hermilo Novelo



Figura 37. Medición Violín, Cubículo Sala Hermilo Novelo



Figura 38. Medición Dos Violines, Cubículo Sala Hermilo Novelo



Figura 39. Medición Piano, Cubículo Sala Hermilo Novelo

5.4.2. Sala Silvestre Revueltas

Debido a que la sala en ese momento no tenía todas las diferentes fuentes de ruido externas, solo se contempló el ruido generado por el Anillo Periférico.

Se dividió la sala en 3 zonas críticas, tomando en cuenta que los elementos a considerar la transmisión de ruido son las puertas y los muros próximos al Anillo Periférico, realizando una medición externa con 5 internas dentro de estas zonas, exceptuando la Zona 1 en donde solo se obtuvo 4 puntos internos. Los puntos externos se midieron a 2 metros de distancia de la fachada exterior de la sala. Ver tablas 19, 20 y 21. Los puntos medidos se muestran en la figura 42.

Tabla 19

Medición de Aislamiento Bruto ZC1, Sala Silvestre Revueltas

ZC1	Exterior	A	B	C	D
L ₁₀	74.8	48.1	39.6	42	43.6
L ₉₀	69.8	38.4	37.1	37.3	37.3
L ₅₀	71	41.6	38.00	38.50	39.8
L _{eq}	79.50	45.07	37.84	38.79	40.99
Σ	1.42	4.53	0.84	0.74	3.68
Mín	69	37	36.7	37	36.7
Máx	92	53.7	40.4	42.5	48.2
Sonómetro	2	2	2	3	3

Nota. Dentro del croquis, en Rojo se muestran los puntos respectivos a la zona crítica 1.

Tabla 20

Medición de Aislamiento Bruto ZC2, Sala Silvestre Revueltas

ZC2	Exterior	A	B	C	D	E
L ₁₀	73.7	36.2	36.2	37.2	55.5	42.1
L ₉₀	70.2	34.2	34.9	36.1	42.2	37.4
L ₅₀	71.2	34.6	35.40	36.40	48.2	38.4
L _{eq}	71.43	34.48	35.07	36.17	51.36	44.92
Σ	0.31	0.13	0.06	0.13	12.31	3.23
Mín	68.2	30.5	30.2	35.5	41	36.8
Máx	74.9	36.6	36.9	39	60.2	59.2
Sonómetro	2	2	2	2	2	2

Nota. Dentro del croquis, en Cian se muestran los puntos respectivos a la zona crítica 2.

Tabla 21

Medición de Aislamiento Bruto ZC3, Sala Silvestre Revueltas

ZC3	Exterior	A	B	C	D	E
L ₁₀	72.6	40.1	42.5	43.4	39.2	45.3
L ₉₀	70.3	36.3	36.4	36.5	35	39
L ₅₀	70.80	38.2	38.9	39.5	36.60	41.4
L _{eq}	71.01	38.32	39.52	40.16	36.85	41.70
Σ	0.41	0.05	0.02	0.07	0.18	4.99
Mín	70	35.6	35.5	36	33.9	40.9
Máx	75.9	43	45.5	45	41.5	45.6
Sonómetro	4	4	4	2	2	3

Nota. Dentro del croquis, en Magenta se muestran los puntos respectivos a la zona crítica 3.



Figura 40. Medición Aislamiento Bruto (STC) I, Sala Silvestre Revueltas



Figura 41. Medición Aislamiento Bruto (STC) II, Sala Silvestre Revueltas

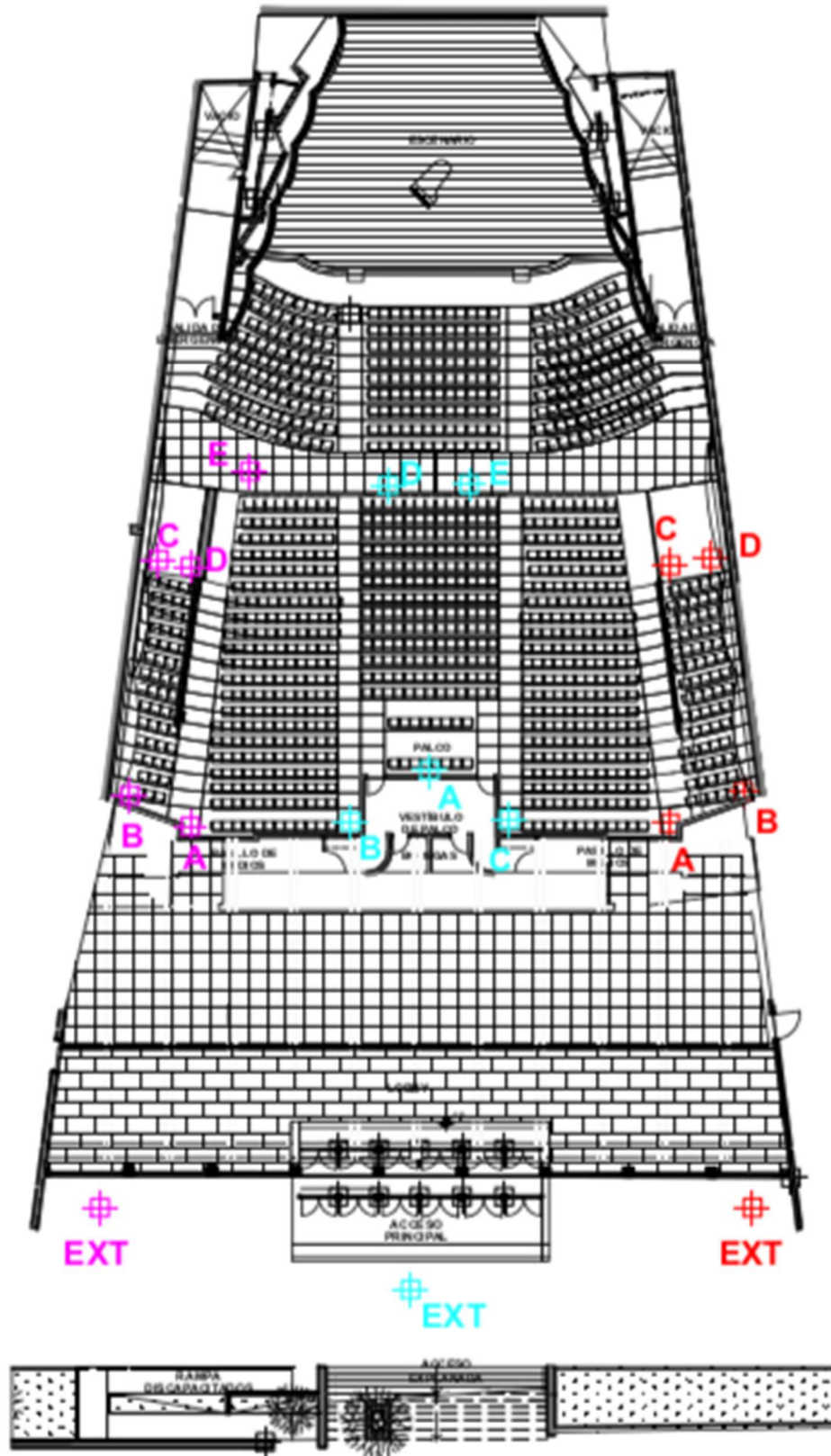


Figura 42. Puntos de Medición de Aislamiento Bruto (STC), Sala Silvestre Revueltas

5.5. Tiempo de Reverberancia

5.5.1. Sala Hermilo Novelo

Para la aplicación de la ecuación de W.C. Sabine se utilizaron las siguientes consideraciones:

- La geometría de la sala es cúbica.
- El coeficiente de absorción de los materiales será considerado igual a 1, utilizando el área total del cubo por todas sus caras.

Estas suposiciones no comprometen algún cálculo ni experimento, se utilizó de esta manera para tener una aproximación de los datos requeridos, debido a la poca información de los materiales absorbentes, el tiempo limitado de experimentación y la nula existencia de información escrita.

De acuerdo a la medición in situ, se obtuvieron los siguientes valores:

- Volumen de la sala: 2358.72 m³
- Área de Absorción: 1275.84 m²

Aplicando la ecuación de W.C. Sabines se obtiene un tiempo de reverberación esperado de 0.397 seg.

$$\mathbf{TR = 0.397 \text{ seg}}$$

Para la estimación de la distancia de la fuente al primer punto de medición se tomaron los siguientes datos.

- Velocidad del sonido: 343.2 m/s
- Volumen de la sala: 2358.72 m³
- TR = 0.397 seg.

Aplicando la ecuación descrita en el protocolo experimental obtenemos

$$D \text{ mín} = 9.61 \text{ m}$$

De acuerdo a la tabla propuesta por la UNE EN ISO 3382-2 y con un número de 200 sillas, se aplicó una interpolación lineal obteniendo así el número mínimo de puntos para medir este parámetro.

Número mínimo de puntos a medir = 3.04

Utilizando el redondeo a un número entero se obtuvo que el número de puntos a medir sea 3, distribuyéndose de la manera mostrada en la figura 43.

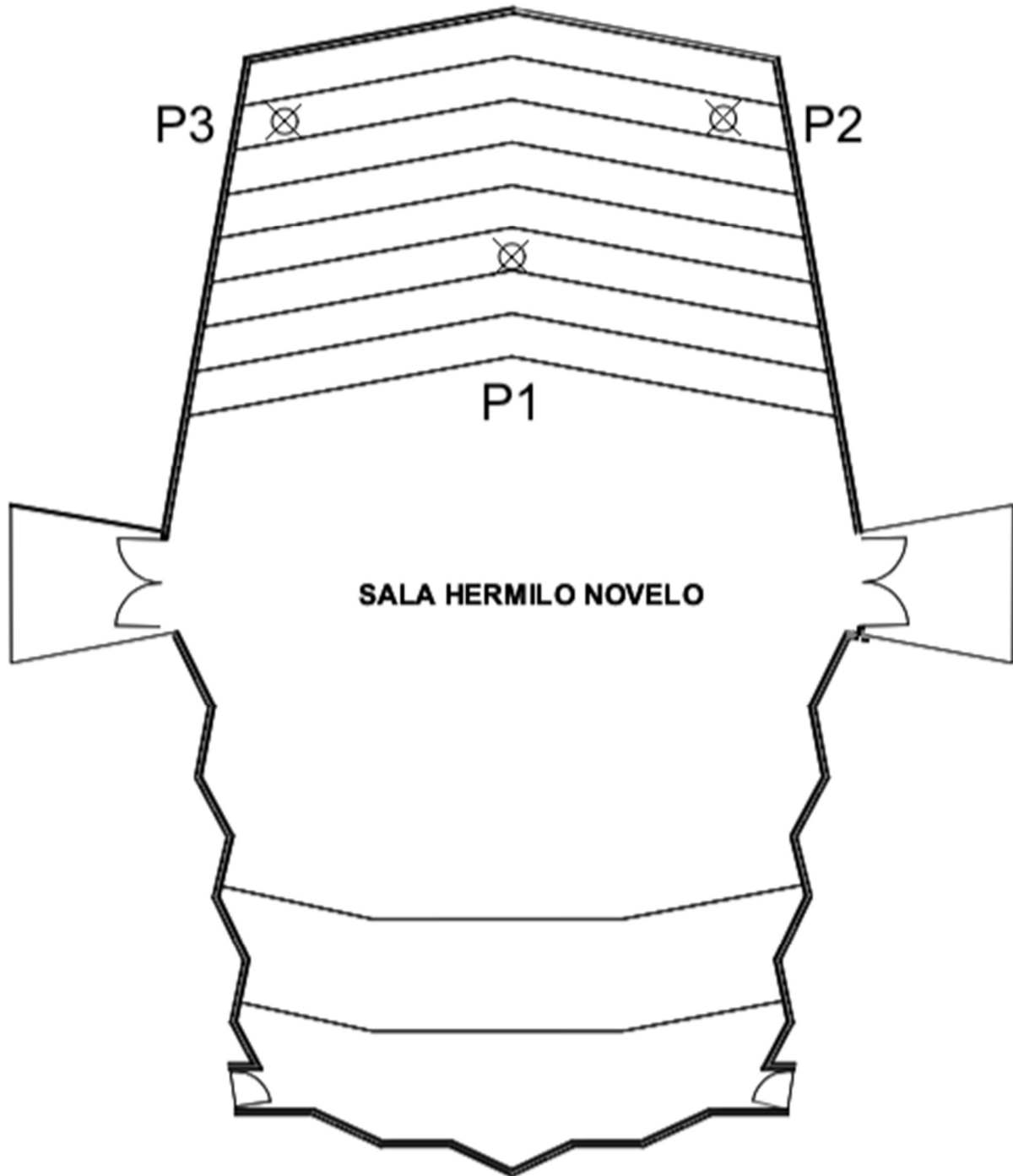


Figura 43. Puntos de Medición del Tiempo de Reverberación, Sala Hermilo Novelo

Las condiciones en las que se tomaron las muestras fueron muy variables en cuanto a las áreas absorbentes, ya que entre punto y punto personas ajenas a la toma de medición, entraban, salían de la sala, movían instrumentos e introducían más.

De acuerdo con las mediciones realizadas, se capturó las curvas de decaimiento pasándolas por un filtro para solo analizar la caída de los primeros 20 dB(A), con el objetivo de realizar una regresión lineal y conocer el tiempo en el que el ruido generado se reduce en unos 60 dB(A) del nivel más alto registrado, como lo ejemplifica el punto 3. Ver figuras 44, 45 y 46.

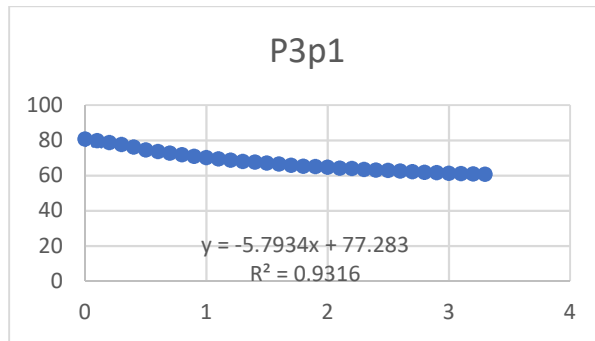


Figura 44. Regresión Lineal I, Sala Hermilo Novelo

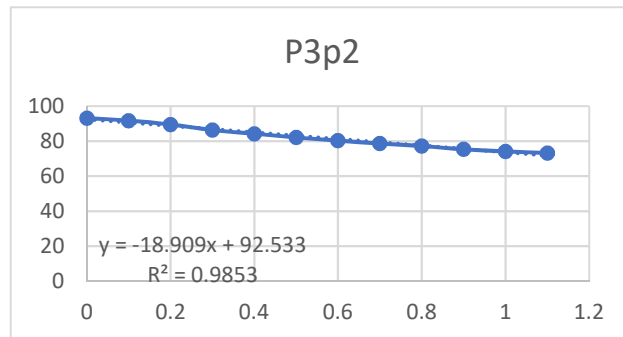


Figura 45. Regresión Lineal II, Sala Hermilo Novelo

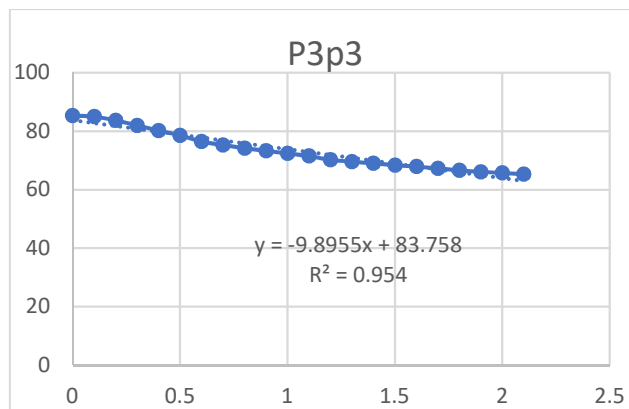


Figura 46. Regresión Lineal III, Sala Hermilo Novelo

Obteniendo los siguientes datos reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 22

Regresión Lineal y T_{60} , Sala Hermilo Novelo

	Regresión Prueba 3			R ²	Level T60	T60
Ec1 y=	-5.7934x	+	77.283	0.9316	20.7	9.77
Ec2 y=	-18.909x	+	92.533	0.9853	33.1	3.14
Ec3 y=	-9.8955x	+	83.758	0.954	25.3	5.91

Realizando este procedimiento para cada punto, obtenemos los siguientes valores mostrando el T60 con respecto al coeficiente de determinación.

Tabla 23

Resumen y Tiempo de Reverberancia, Sala Hermilo Novelo

Sonómetro		T60 (seg)				R ²			
1	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio	
PUNTO 1	3.03	5.86	5.92	4.94	0.9849	0.9397	0.9341	0.9529	
PUNTO 2	5.82	4.19	5.90	5.30	0.9495	0.9643	0.9627	0.9588	
PUNTO 3	9.77	3.14	5.91	6.27	0.9316	0.9853	0.9540	0.9570	
Promedio T60		5.50		Σ	2.01		Promedio R²	0.9562	

Por medio de este análisis obtenemos que la Sala Hermilo Novelo cuenta con un tiempo de reverberación de 5.5 segundos.

5.5.2. Sala Silvestre Revueltas.

Para los datos requeridos para su previo análisis, se contó con el Arq. Edgar Josué Álvarez Chávez, quien proporcionó el volumen, área y número de sillas de la sala de acuerdo con su registro personal. Para los datos mostrados a continuación se realizó las mismas consideraciones que en la Sala Hermilo Novelo.

Para la aplicación de la ecuación de W.C. Sabine se utilizan los siguientes datos:

- Volumen de la sala: 9000 m³
- Área de Absorción: 17090 m²

Aplicándolo en la ecuación de Sabine

$$\mathbf{TR = 0.085 \text{ seg}}$$

Para la estimación de la distancia mínima de la fuente al primer punto de medición se consideraron los siguientes datos.

- Velocidad del sonido: 343.2 m/s
- Volumen de la sala: 9000 m³
- TR = 0.085 seg

Aplicando la ecuación descrita en el protocolo experimental obtenemos

$$D \text{ min} = 35.17 \text{ m}$$

El cual no se respetó por la exageración del resultado y se realizó las mediciones en los puntos posteriormente presentados.

De acuerdo a la tabla propuesta por la UNE EN ISO 3382-2 y con un número de 1310 sillas, incluyendo músicos, se aplicó una interpolación lineal obteniendo así el número mínimo de puntos para medir este parámetro.

$$\mathbf{\text{Número mínimo de puntos a medir} = 8.33}$$

Utilizando el redondeo a un número entero se obtuvo que el número de puntos a medir es 8, distribuyéndose de la siguiente manera. (Ver figura 47.)

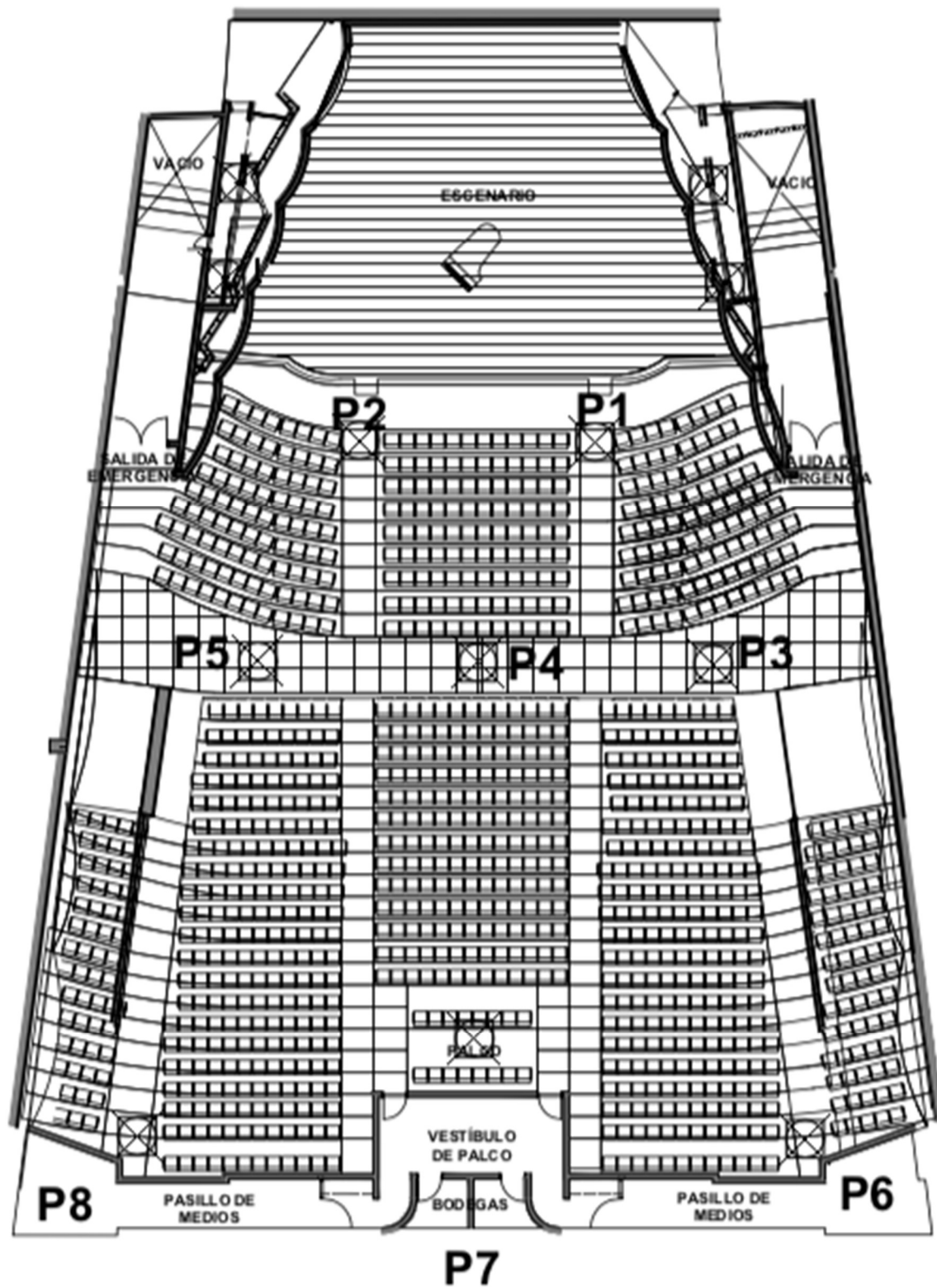


Figura 47. Puntos de Medición del Tiempo de Reverberación, Sala Silvestre Revueltas

Al igual que en el análisis de la sala anterior se filtraron los datos obtenidos para conocer el tiempo de decaimiento de los 60 dB(A) a partir del punto más alto registrado, aplicando una regresión lineal para conocer el T_{60} . A continuación se muestra el procesamiento de datos para el punto 2.

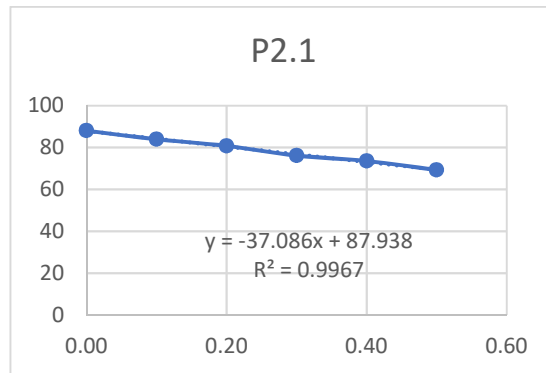


Figura 48. Regresión Lineal I, Sala Silvestre Revueltas

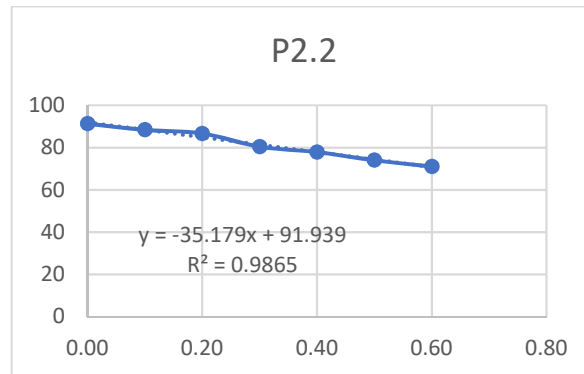


Figura 49. Regresión Lineal II, Sala Silvestre Revueltas

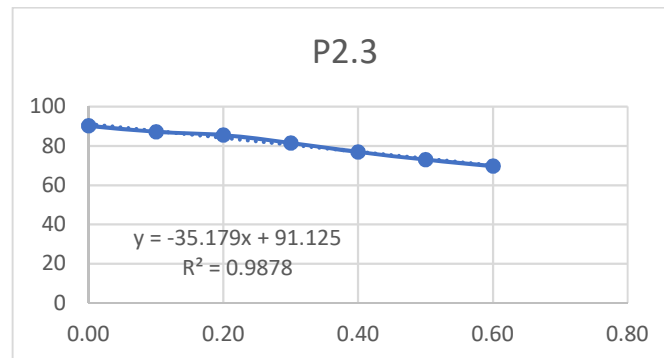


Figura 50. Regresión Lineal III, Sala Silvestre Revueltas

Vaciando los datos en la tabla 24.

Tabla 24

Regresión Lineal y T_{60} , Sala Silvestre Revueltas

	Regresión Prueba 2			R ²	Level T60	T60
Ec1 y=	-37.086x	+	87.938	0.9967	13.60	2.00
Ec2 y=	-35.179x	+	91.939	0.9865	17.9	2.10
Ec3 y=	-35.179x	+	91.125	0.9878	16.9	2.11

Los datos más importantes para este criterio es el T_{60} por lo que se vacía en la siguiente tabla (tabla 25) para todos los puntos medidos con respecto a su coeficiente de determinación, para conocer su aproximación a los puntos obtenidos.

Tabla 25

Resumen y Tiempo de Reverberancia, Sala Silvestre Revueltas

Sonómetro	T60				R ²				
	1	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Punto 1		2.49	2.19	2.01	2.23	0.986	0.987	0.995	0.989
Punto 2		2.00	2.10	2.11	2.07	0.997	0.987	0.988	0.990
Punto 3		2.02	2.19	2.19	2.13	0.985	0.990	0.997	0.991
Punto 4		2.19	2.17	2.20	2.19	0.997	0.992	0.988	0.993
Punto 5		2.05	2.45	2.30	2.27	0.986	0.997	0.992	0.991
Punto 6		2.17	2.29	2.34	2.27	0.975	0.996	0.979	0.983
Punto 7		2.03	2.58	2.29	2.30	0.981	0.997	0.974	0.984
Punto 8		2.46	2.35	2.08	2.30	0.994	0.959	0.976	0.976
Promedio T60		2.22		σ		0.16	Promedio R²		0.987

Conforme a estos datos se concluye que la sala cuenta con un tiempo de reverberancia igual a 2.2 segundos.



Figura 51. Medición Punto 2 del tiempo de reverberación, Sala Silvestre Revueltas



Figura 52. Explosión de globos para el tiempo de reverberación, Sala Silvestre Revueltas



Figura 53. Medición con sonómetro para el tiempo de reverberación, Sala Silvestre Revueltas

6. Análisis de Resultados

6.1. Sala Hermilo Novelo

6.1.1. Ruido de Fondo

De acuerdo con los valores obtenidos a partir del procesamiento ya descrito se obtienen los siguientes resultados, mostrados en la tabla 12.

Tabla 12

Resumen medición de ruido de fondo, Sala Hermilo Novelo

Ruido de Fondo		
Punto I	37.40	dB(A)
Punto II	31.50	dB(A)
Punto III	34.50	dB(A)
Promedio	34.47	dB(A)

Nota. Tabla ya descrita anteriormente

Para el rango establecido por la normatividad “Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones. Volumen 3, Habilidad y Funcionamiento, Tomo IV”, *Acústica* que va de los 28 dB(A) a los 38 dB(A). La sala se encuentra dentro de los límites permisibles recomendados, sin embargo, al no cumplir con los puntos mínimos establecidos por la NOM-081-SEMARNAT-1994, se anexó un punto de cada zona crítica para las mediciones de Sound Transmission Class para así obtener los puntos mínimos solicitados, utilizando los que tengan una menor desviación estándar. Se utilizaron los valores L_{90} y se promediaron con respecto a la información anterior. Ver tabla 26.

Tabla 26

Ruido de fondo corregido, Sala Hermilo Novelo

Ruido de Fondo		
Punto 1	37.40	dB(A)
Punto 2	31.50	dB(A)
Punto 3	34.50	dB(A)
Punto C Zc 1	37.6	dB(A)
Punto C Zc 2	33.9	dB(A)
Promedio	34.98	dB(A)

Con los datos mínimos para poder tener un dato certero, el ruido de fondo no tiene un gran cambio con respecto a los 3 puntos medidos, encontrándose dentro de los límites, sin embargo, existen valores en el límite superior del rango recomendado.

6.1.2. Aislamiento Bruto (STC)

Los datos obtenidos por zonas deben de cumplir con lo establecido con las normas “Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones. Volumen 3, Habilidad y Funcionamiento, Tomo IV, Acústica” y su criterio de evaluación como lo son los niveles STC, el nivel equivalente externo, el promedio interno y sus diferencias por zonas se muestran a continuación.

Tabla 27

Atenuación de ruido entre dos locales ZC1, Sala Hermilo Novelo

Zona 1			
	Ruido Ext		Ruido Int.
	61.72	dB(A)	38.47 dB(A)
Diferencia		23.25	dB(A)

Tabla 28

Atenuación de ruido entre dos locales ZC2, Sala Hermilo Novelo

Zona 2			
Ruido Ext		Ruido Int	
42.30	dB(A)	34.38	dB(A)
Diferencia		7.92	dB(A)

Como se mencionó en la normativa, la categoría a evaluar es la II desde 65.03 dB(A) hasta los 66.10 dB(A) de aislamiento bruto, tomando en cuenta las diferencias obtenidas en campo, no alcanzan la categoría IVb; por otro lado, el ruido emitido en los pasillos es muy débil debido a que no existe una fuente fija de ruido. De acuerdo con los resultados obtenidos en el ruido de fondo de la sala, su aislamiento bruto es suficiente para mantener el ruido de fondo recomendado, aunque no cumpla con lo establecido en la norma sus condiciones de aislamiento son aceptadas.

6.1.3. Tiempo de Reverberación

De acuerdo con el resultado obtenido para esta sala, el tiempo de reverberación oscila entre los 5.5 segundos, yendo de un valor mínimo de 3.03s hasta un 9.77 segundos. Estos valores resultan demasiado alejados, cabe considerar las variables de estas pruebas como en ingreso y egreso de personal, instrumentos, entre otros materiales reflectantes y absorbentes.

En la siguiente gráfica se muestra la relación del tiempo de reverberancia (T_{60}) con respecto a su nivel sonoro, representando con dos líneas verticales el alejamiento a una desviación estándar por encima y debajo de la media. Se puede observar una

tendencia aproximada de datos a los 6.4s, aunque existe alta variación de resultados. Ver figura 54.

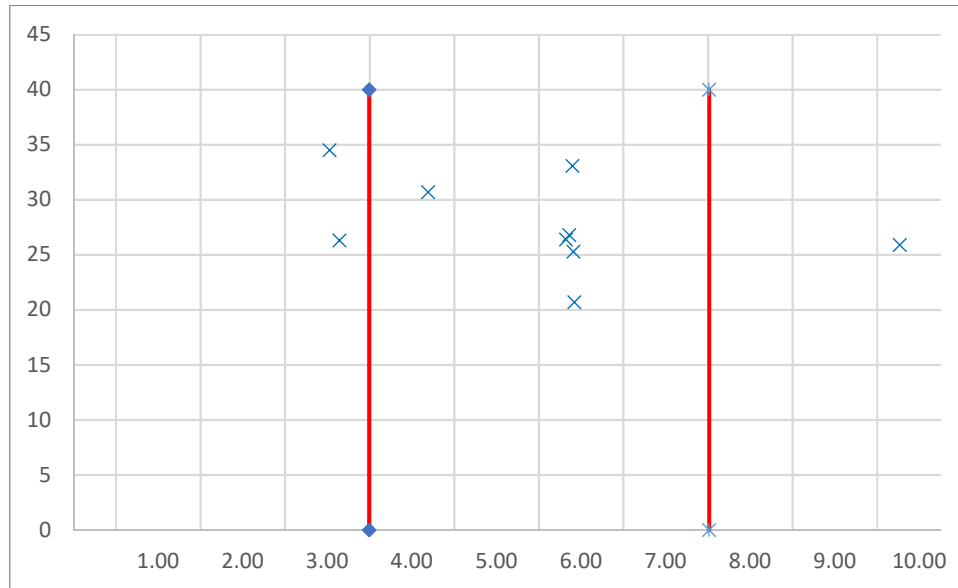


Figura 54. Dispersión a la desviación estándar del Tiempo de Reverberación, Sala Hermilo Novelo

Teniendo en cuenta que el uso de éste es principalmente para música de cámara y recitales, la norma considerada recomienda un rango que va de 1.25 a 1.9 segundos, la sala no cumple con este parámetro, ni siquiera el valor más bajo entra dentro de lo recomendado, sin embargo, conforme a la figura 54, los datos obtenidos tienen una gran dispersión, se recomienda realizar de nuevo las mediciones por todas las variables que pudieron haber generado una alteración en los resultados.

6.2. Sala Silvestre Revueltas

6.2.1. Ruido de Fondo

La toma de muestras para este recinto fueron las mínimas solicitadas por la norma, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 15.

Tabla 15

Resumen medición de ruido de fondo, Sala Silvestre Revueltas

Ruido de Fondo		
Punto 1	35.4	dB(A)
Punto 2	37.1	dB(A)
Punto 3	36.6	dB(A)
Punto 4	39.8	dB(A)
Punto 5	36	dB(A)
Promedio	36.98	dB(A)

Nota. Tabla descrita en apartado previo.

De acuerdo con las normas “Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones. Volumen 3, Habilidad y Funcionamiento, Tomo IV, Acústica”, la sala se encuentra dentro de los parámetros recomendados, con resultados no tan alejados entre sí, por lo que este resultado nos da una buena aproximación al tiempo de reverberación de la sala.

A pesar de que este resultado es aprobatorio, se debe tener en cuenta que el límite superior recomendado es de 38 dB(A), teniendo muy pocos decibeles de holgura con respecto al aumento de algún ruido externo que altere el ruido de fondo, dejando que la sala llegue estar fuera del rango en horas críticas.

6.2.2. Aislamiento Bruto (STC)

De acuerdo a la información que se muestra a continuación se verifica si los resultados obtenidos cumplen con los criterios recomendados en las normas “Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones. Volumen 3, Habilidad y Funcionamiento, Tomo IV, Acústica”. Ver tabla 29.

Tabla 29

Atenuación de Ruido entre Dos locales, Sala Silvestre Revueltas

	Leq Ext dB(A)	Leq Int prom dB(A)	Diferencia dB(A)
ZC1	79.50	40.67	38.83
ZC2	71.43	40.40	31.04
ZC3	71.01	39.31	31.70

Como ya se describió, la categoría de aislamiento de un ruido externo a un recinto dedicado a la música será la II, desde 65.03 dB(A) hasta 66.10 dB(A) de aislamiento bruto, por lo que en las tres zonas medidas con respecto al ruido equivalente, no cumple con lo establecido en la norma. Sin embargo, el ruido generado por el tránsito en periférico no es tan elevado estando por debajo de los 80 dB(A) y tomando en cuenta que el ruido de fondo de la sala está dentro de los parámetros recomendados se tomaría como válida y suficiente el aislamiento actual para esas condiciones.

6.2.3. Tiempo de Reverberancia

El tiempo de reverberación de esta sala se encuentra alrededor de los 2.2 segundos, el cual se compara con el valor recomendado por la norma cumpliendo con holgura.

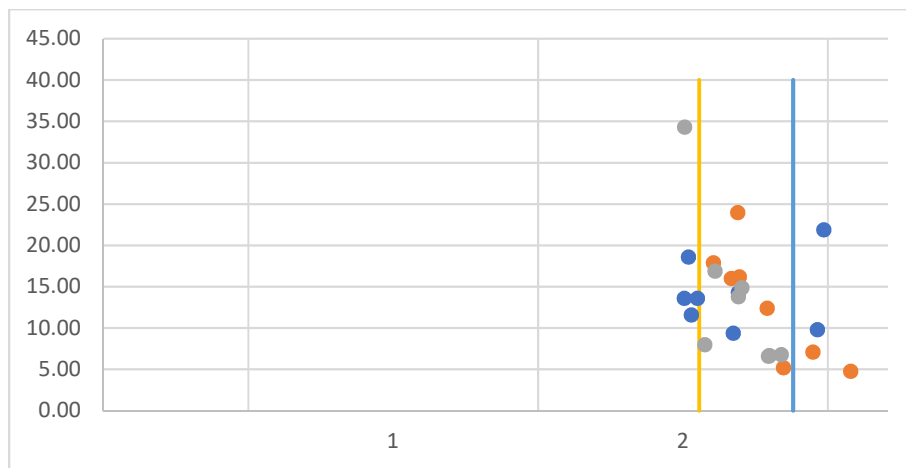


Figura 55. Dispersión a la desviación estándar del tiempo de reverberación, Sala Silvestre Revueltas

Como se observa en la gráfica anterior (figura 55), los datos no son tan dispersos, por lo que el tiempo de reverberancia se encuentra alrededor de ese valor y no requiere de alguna otra corrección ni medición. Con respecto al coeficiente de determinación, nos indica que su aproximación es muy buena, reforzando la idea de que los datos obtenidos son certeros a lo medido.

Debido a que esta sala ésta dirigida para música sinfónica y orquestas, se encuentra en un buen tiempo de reverberación, proyectando las ondas acústicas conforme a lo recomendado por las normas “Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones. Volumen 3, Habilidad y Funcionamiento, Tomo IV, Acústica”.

Como se describe en el análisis de la sala anterior, el tiempo de reverberación teórico mostrado en el contenido de esta tesis por medio de la ecuación de W.C. Sabine, no tiene ninguna validez ni punto de comparación con este resultado, el dato experimental obtenido asigna el valor del tiempo de reverberación.

7. Discusión y conclusiones

La evaluación acústica de recintos como lo son las salas de concierto lleva a un análisis muy complejo con diferentes criterios a evaluar, sin embargo, la acústica es muy subjetiva, incluso si se está evaluando el mismo tipo de inmuebles. Las salas de concierto tendrán diferentes características de acuerdo con el tipo de música, geometría, material de acabados, ruido externo e interno y volumen del recinto, por mencionar aquellas variables que influyeron en el análisis de esta tesis.

De acuerdo con la instrumentación utilizada en la medición de los parámetros mostrados se obtuvieron valores cuantificables para realizar las comparaciones conforme a las Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones. Volumen 3, Habilidad y Funcionamiento, Tomo IV Acústica, que establece valores para el buen diseño y funcionamiento de una sala de acuerdo con su función específica remarcando tres variables principales como lo es el ruido de fondo, aislamiento bruto y el tiempo de reverberación.

La metodología utilizada para la obtención de datos fue bastante acertada, respaldándose con normas vigentes nacionales e internacionales, por lo que son un buen punto de partida para garantizar la validez de estos, donde el uso del sonómetro es el instrumento básico para el muestreo y procesamiento de datos.

La sala Hermilo Novelo de acuerdo con (Isbert, 2001, pág. 257) tiene forma de hexágono alargado, las salas con esta geometría no utilizan más allá de una pequeña parte como escenario o van fuera del hexágono, para este caso la sala desaprovecha ciertas reflexiones que bien podrían mejorar la percepción del sonido a los asistentes. Con respecto al aislamiento, la sala no logra reducir significativamente el ruido

externo, sin embargo, se encuentra en parámetros normales por el poco ruido externo, por otro lado, este aislamiento afecta al ruido de fondo de la sala, la cual se encuentra dentro de los parámetros recomendados, pero en límites superiores con respecto al rango establecido para su uso. El tiempo de reverberación se encuentra muy lejano al valor recomendado por lo que no cumple con la normativa, en adición, este parámetro cuenta con mucha incertidumbre de acuerdo con las variables externas en la toma de datos. Para concluir con el estudio, la sala cuenta con buenos parámetros de aislamiento y ruido de fondo, sin embargo, existe cierta incertidumbre en cuanto al tiempo de reverberación.

Para el arquitecto Eduardo Saad ‘la prueba de fuego’ para una sala es la de un experto músico que con su criterio detecte defectos de la acústica (Saad Eljure, 2011, pág. 57), por lo que Atl Villamil, estudiante de Violín en la EMVM del Centro Cultural Ollín Yoliztli, comenta:

“Tocar en esa sala es extraño con respecto al ejecutante durante los recitales, existe una demora muy alta del sonido, en la música de cámara los ejecutantes llegan a confundirse con los sonidos debido a la reverberación de la sala, inclusive no puedes escuchar a tus compañeros por la reflexión del sonido dando la sensación de que el sonido se va hacia atrás. También es un poco incómodo escuchar el sonido de los cubículos que hay a un lado, incluyendo el sonido de la lluvia. Como espectador es mejor la experiencia, suena algo embarrado el sonido, pero no tanto como en el escenario, es curioso que el sonido se proyecte de esa forma para los espectadores y los ejecutantes lo percibamos de manera distinta.”

Con base en lo anterior se confirman los resultados obtenidos, los criterios evaluados coinciden con los fenómenos percibidos por el músico en condiciones normales. En resumen, tiene buenos parámetros a excepción del tiempo de reverberación, el cual a pesar del inconveniente puede expresar una buena aproximación a su comportamiento real, representando un parámetro crítico que atender en la sala.

La Sala Silvestre Revueltas muestra buenas condiciones acústicas para los parámetros evaluados, aprovechando de manera efectiva su geometría y los materiales impuestos en ella para la buena percepción del sonido reproducido dentro de ella, sin embargo, el ruido del tránsito en el Anillo Periférico es muy variable estando por encima de los 70 dB(A) con picos muy altos, llegando a ser un distractor de los ejecutantes y espectadores, si este se presenta de manera constante representaría un ruido potencial de la sala. Así pues, Atl Villamil nos comenta:

“Esta sala es muy reconfortante, parece que todo el sonido recorre muy bien y todo suena muy claro, pero no seco. Hay sentimiento que algunos instrumentos suenan más fuertes que otros, pero se entiende ya que la sala es muy grande, además de que se puede lidiar si se pone atención. Puede notarse como la madera vibra y te ayuda a proyectar mejor. Casi no se escucha sonido externo y si se escucha no son muy molestos ya que son mínimos. Del lado de las butacas todo suena claro y con buen volumen, incluso con mucha atención puede distinguirse el sonido de cada violinista si la orquesta no es muy grande.”

En conclusión, la Sala Silvestre Revueltas actualmente se encuentra con buenas condiciones acústicas cumpliendo con las condiciones que recomienda la normativa

a pesar del ruido de tránsito externo percibido, el cual no significa que la sala tenga una mala calidad en aislamiento, sino un ruido en específico que combatir.

Para fines de este estudio cabe mencionar que, debido a las limitantes del equipo empleado para obtener mediciones, los resultados deben ser tomados con reservas, como una aproximación a lo que se podría obtener a partir de una medición con el equipo adecuado.

La evaluación acústica es muy importante para conocer la calidad en que el recinto está desempeñando su función conforme a su uso y parámetros básicos acústicos, en esta se logra identificar las deficiencias de la sala para considerar un acondicionamiento acústico, como el realizado en la sala Silvestre Revueltas, mejorando la calidad en que el sonido se proyecta y es percibido por los asistentes.

Para el campo de la ingeniería civil, el estudio del ruido es básico para conocer las condiciones ambientales a las cuales una persona se expone y considerar su plan de mitigación, no volviendo importante el cómo se hace, sino la calidad. La acústica es un campo explorado por arquitectos, la cual va muy ligado a procesos constructivos, materiales, análisis matemáticos y temas aplicados a la ingeniería civil, esta rama puede llegar a complicarse e irse por el lado del diseño y análisis numérico más que la estética. La inclusión de ingenieros a la acústica es muy importante a nivel nacional ya que existen pocos estudios enfocados al ruido y por ende existen menos dedicados a la acústica aplicada a cualquier recinto, no solo a salas de concierto, volviendo preocupante que el uso de este tipo de recintos para la exposición y comunicación de cualquier tipo no sea evaluada y diseñada correctamente. Asimismo, es importante plantear la exigencia de normas regulando la acústica en recintos con diferentes usos,

ya que no solo se integran recintos enfocados al entretenimiento, también se involucran aulas, auditorios, donde la recepción de información es relevante para el estudio y recreación.

8. Recomendaciones

La toma de datos para las salas estudiadas solo resultan indicativas para el lapso de tiempo de muestreo y como se ha comentado en la descripción de estas, existen diferentes fuentes de ruido las cuales pueden afectar en una mala calidad acústica, aumentando la probabilidad de que los resultados mostrados en esta tesis difieran con exposiciones de ruido ajenas a las que se consideraron en este trabajo, por lo que aconseja realizar pruebas con estas condiciones para evaluar, mapear y proponer alternativas contra el ruido que pueda alterar las condiciones favorables con las que las salas cuentan.

Los resultados presentados para la Sala Hermilo Novelo se muestran poco confiables por lo que se recomienda volver a realizar las pruebas descritas si se desea tener un mejor criterio de evaluación de la sala. Se sugiere realizar un estudio enfocado al tiempo de reverberación de la sala desde el punto de vista de los ejecutantes y espectadores realizando pruebas analíticas y experimentales adicionando material absorbente en sus paredes que pudieran ser propicias para un buen mejoramiento de este parámetro sin modificar las características geométricas actuales de la sala.

En adición a lo anterior, es conveniente que se realicen estudios completos del ruido emitido de los cubículos de estudio anexos a la sala, revisando su influencia y aislamiento; dentro de esta tesis se muestran algunas mediciones dentro de cubículos que bien pudieran utilizarse para realizar un análisis de este tipo.

El ruido del tránsito percibido en la sala Silvestre Revueltas puede variar con respecto a diferentes frecuencias, características de los vehículos y a la demanda

horaria, por lo que resulta necesario hacer un mayor análisis con equipo adecuado, que relacione frecuencias con su nivel de presión acústica y considere el aislamiento bruto con esos resultados, obteniendo datos estadísticos horarios de emisión de ruido. Otra forma de estudio sobre el ruido emitido en el Anillo Periférico es evaluar las condiciones en que los automóviles cumplen con la normativa establecida por el Reglamento de Tránsito de la CDMX, en caso de que existan irregularidades proponer alternativas para su cumplimiento y por ende la reducción del ruido en esa zona en particular. Para la reducción de este ruido sin ningún tipo de inversión económica, se sugiere en dado caso de que existan horas de menor demanda vial, realizar los eventos durante este periodo de tiempo otorgando mejoras significativas ante este ruido externo.

9. Bibliografía

- Anónimo. (-- de 2019). *Secretaría de Cultura*. Obtenido de Recintos : www.cultura.cdmx.gob.mx/recintos/archivo-historico/centros-culturales/ccoy
- Behar, A. (1994). El ruido y su control. En A. Behar, *El ruido y su control* (págs. 41-42). Distrito federal: Trillas.
- Benítez Aragon, D., & Ruiz Ruiz, D. (2018). *Técnico Superior de Sonido Primer Curso*. Málaga.
- Cabrera, M. C. (2004). *Aproximaciones de las neurociencias a la conducta*. México: El Manual Moderno.
- Cabrera, R. (Marzo de 2019). *Lula Livre*. Obtenido de Superposición de Ondas I Ley de Fourier: https://ricuti.com.ar/no_me_salén/ondas/Ap_ond_13.html
- Cañizares, G. (2015). *Alumnos con Déficit Auditivo*. Madrid: NARCEA, S.A. Ediciones.
- Cervantes, P. A. (2019). *Mex.tl*. Obtenido de Pedro Alberto Cervantes: http://pedroalberto.mex.tl/1474913_NATURALEZA-DEL-SONIDO.html
- Cisneros, B. E. (2001). *La Contaminación Ambiental en México Causas, Efectos y Tecnología Apropiaada*. México: LIMUSA Noriega Editores.
- Dalton, M., G. Hoyle, D., & W. Watts, M. (2007). *Relaciones Humanas*. D.F.: Thomson.
- Federico, M. (2018). *Niveles Sonoros*. Obtenido de Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/comite/niveles.htm>
- Fernández, J. (08 de Marzo de 2017). *Megafonía y Sonorización*. Obtenido de Google Sites: <https://sites.google.com/site/megafoniaysonorizacionjorge/10-megafonia-y-sonorizacion/01-principios-basicos-sonido/1-4-niveles-acusticos/1-4-6-nivel-sonoro-continuo-equivalente>
- García Gomez, J., Ivorra Catala, E., & Collado Martínez, J. M. (2004). *No me Grites que es peor*. Valencia: Universidad de Valencia.
- García, A. F. (2016). *Movimiento Ondulatorio*. Obtenido de Energía Transportada por un Movimiento Ondulatorio Armónico: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/ondas/tipos_ondas/energia.html
- Giancoli, D. C. (2006). *Física Principios con Aplicaciones*. México : Pearson Educación.
- INIFED. (2004). *Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Contrucción e Instalaciones , Vol. 2 Tomo II, Estudios Preliminares*. México: Secretaria de Educación Pública.
- INIFED. (2014). *Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones Vol. 3 Tomo IV. Acondicionamiento Acústico*. México: Secretaria de Educación Pública.
- Isbert, A. C. (2001). *Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos*. México D.F., México: Alfaomega.
- Jaramillo, A. M. (2007). *Acústica: La Ciencia del Sonido*. Medellín : Fondo Editorial ITM.
- Llopis Reyna, A., Llinares Galiana, J., & Sancho Vendrell, F. J. (1991). *Acústica Aquitectónica y Urbanística* . Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- López, M. R. (2000). *Ingeniería Acústica*. México: Ediciones Paraninfo.
- Maggiolo, D. (Marzo de 2002). *Eumus*. Obtenido de Apuntes de Acústica Musical: <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/sup.html>
- Marin Blandon, M. A., & Pico Merchan, M. E. (2004). *Fundamentos de Salud Ocupacional*. Manizales: Universidad de Caldas .

- Martinez, A., Castro, E., & Martinez-Conesa, E. (2016). Evaluación de la Calidad Acústica de un Aula Problemática en la Universidad Politécnica de Cartagena. *Anuario de Jóvenes Investigadores*, 10-13.
- Morell, M., & Gil - Loyzaga, P. (06 de Junio de 2018). *Viaje al Mundo de la Audición*. Obtenido de Campo Auditivo Humano: <http://www.cochlea.org/es/sonidos/campo-auditivo-humano>
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Escuchar sin riesgos*. Geneva: Organización Mundial de la Salud.
- Parrondo Gayo, J. L., Velarde Suárez, S., González Pérez, J., Ballesteros Tajadura, R., & Santolaria Morros, C. (2006). *Acústica Ambiental*. Oviedo: Ediciones de la Universidad de Oviedo.
- Paul, C. (19 de Noviembre de 2017). *La Sala Silvestre Revueltas estrena "arquitectura sonora"*. Obtenido de La Jornada: www.jornada.com.mx/2017/11/19/cultura/a06n1cul
- Paz, J. C. (2007). *Ruido: para los Posgrados en Higiene y Seguridad Industrial*. Buenos Aires: Nobuko.
- Razo, R. J., Matsumoto, A. P., & Llamas, O. L. (2016). Actualización de la Norma NOM-081-SEMARNAT- Discusión de los Límites Máximos Permisibles y Método de Medición. *Simposio de Metrología* , 1-2.
- Riber, A. G. (2017). *Técnicas de Control de Sonido en Directo*. Madrid: Fundación SGAE.
- Ross, S. M. (2007). *Introducción a la Estadística*. Barcelona: Reverté.
- Saad Eljure, E. (2011). *Acústica Arquitectónica*. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1994). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-081-SEMARNAT-1994 QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE RUIDO DE LAS FUENTES FIJAS Y SU MÉTODO DE MEDICIÓN*. México: Diario Oficial de la Federación.
- UNE Normalización Española. (30 de 12 de 2008). Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios . *ISO 3382-2:2008*. España.
- Uribe, B. H. (4 de Noviembre de 2009). *Blogspot*. Obtenido de Entrenamiento Auditivo USB: <http://entrenamientoauditivosb.blogspot.com/2009/11/unidad-iv-conceptos-basicos-de-acustica.html>
- Weisse, K. (1956). *Acústica de los locales*. Barcelona : Gustavo Gili.

10. Anexos

Tabla 30

Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría I

		I (Muy Fuerte)							
		Límite Inferior				Límite Superior			
Frecuencia f (Hz)	Ponderación A	dB	10^{^(dB/10)}	dB(A)	10^{^(dB(A)/10)}	dB	10^{^(dB/10)}	dB(A)	10^{^(dB(A)/10)}
100	-19.1	40	10000.00	20.9	123.03	55	316227.77	35.9	3890.45
125	-16.1	40	10000.00	23.9	245.47	55	316227.77	38.9	7762.47
160	-13.4	40	10000.00	26.6	457.09	55	316227.77	41.6	14454.40
200	-10.9	40	10000.00	29.1	812.83	55	316227.77	44.1	25703.96
250	-8.6	40	10000.00	31.4	1380.38	55	316227.77	46.4	43651.58
315	-6.6	40	10000.00	33.4	2187.76	55	316227.77	48.4	69183.10
400	-4.8	58	630957.34	53.2	208929.61	62	1584893.19	57.2	524807.46
500	-3.2	58	630957.34	54.8	301995.17	62	1584893.19	58.8	758577.58
630	-1.9	58	630957.34	56.1	407380.28	62	1584893.19	60.1	1023292.99
800	-0.8	58	630957.34	57.2	524807.46	62	1584893.19	61.2	1318256.74
1000	0.0	58	630957.34	58.0	630957.34	62	1584893.19	62.0	1584893.19
1250	0.6	58	630957.34	58.6	724435.96	62	1584893.19	62.6	1819700.86
1600	1.0	64	2511886.43	65.0	3162277.66	64	2511886.43	65.0	3162277.66
2000	1.2	64	2511886.43	65.2	3311311.21	64	2511886.43	65.2	3311311.21
2500	1.3	64	2511886.43	65.3	3388441.56	64	2511886.43	65.3	3388441.56
3150	1.2	64	2511886.43	65.2	3311311.21	64	2511886.43	65.2	3311311.21
Nivel Global			71.43		72.03		73.32		73.09

Tabla 31

Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría II

		II (Fuerte)							
		Límite Inferior				Límite Superior			
Frecuencia f (Hz)	Ponderación A	dB	10^(dB/10)	dB(A)	10^(dB(A)/10)	dB	10^(dB/10)	dB(A)	10^(dB(A)/10)
100	-19.1	33	1995.26	13.9	24.55	58	630957.34	38.9	7762.47
125	-16.1	33	1995.26	16.9	48.98	58	630957.34	41.9	15488.17
160	-13.4	33	1995.26	19.6	91.20	58	630957.34	44.6	28840.32
200	-10.9	33	1995.26	22.1	162.18	58	630957.34	47.1	51286.14
250	-8.6	33	1995.26	24.4	275.42	58	630957.34	49.4	87096.36
315	-6.6	33	1995.26	26.4	436.52	58	630957.34	51.4	138038.43
400	-4.8	51	125892.54	46.2	41686.94	54	251188.64	49.2	83176.38
500	-3.2	51	125892.54	47.8	60255.96	54	251188.64	50.8	120226.44
630	-1.9	51	125892.54	49.1	81283.05	54	251188.64	52.1	162181.01
800	-0.8	51	125892.54	50.2	104712.85	54	251188.64	53.2	208929.61
1000	0.0	51	125892.54	51.0	125892.54	54	251188.64	54.0	251188.64
1250	0.6	51	125892.54	51.6	144543.98	54	251188.64	54.6	288403.15
1600	1.0	57	501187.23	58.0	630957.34	57	501187.23	58.0	630957.34
2000	1.2	57	501187.23	58.2	660693.45	57	501187.23	58.2	660693.45
2500	1.3	57	501187.23	58.3	676082.98	57	501187.23	58.3	676082.98
3150	1.2	57	501187.23	58.2	660693.45	57	501187.23	58.2	660693.45
Nivel Global			64.43		65.03		68.63		66.10

Tabla 32

Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría III

Frecuencia f (Hz)	Ponderación A	dB	III (Mediano)						
			Límite Inferior			Limite Superior			
			10^(dB/10)	dB(A)	10^(dB(A)/10)	dB	10^(dB/10)	dB(A)	10^(dB(A)/10)
100	-19.1	25	316.23	5.9	3.89	40	10000.00	20.9	123.03
125	-16.1	25	316.23	8.9	7.76	40	10000.00	23.9	245.47
160	-13.4	25	316.23	11.6	14.45	40	10000.00	26.6	457.09
200	-10.9	25	316.23	14.1	25.70	40	10000.00	29.1	812.83
250	-8.6	25	316.23	16.4	43.65	40	10000.00	31.4	1380.38
315	-6.6	25	316.23	18.4	69.18	40	10000.00	33.4	2187.76
400	-4.8	43	19952.62	38.2	6606.93	46	39810.72	41.2	13182.57
500	-3.2	43	19952.62	39.8	9549.93	46	39810.72	42.8	19054.61
630	-1.9	43	19952.62	41.1	12882.50	46	39810.72	44.1	25703.96
800	-0.8	43	19952.62	42.2	16595.87	46	39810.72	45.2	33113.11
1000	0.0	43	19952.62	43.0	19952.62	46	39810.72	46.0	39810.72
1250	0.6	43	19952.62	43.6	22908.68	46	39810.72	46.6	45708.82
1600	1.0	49	79432.82	50.0	100000.00	49	79432.82	50.0	100000.00
2000	1.2	49	79432.82	50.2	104712.85	49	79432.82	50.2	104712.85
2500	1.3	49	79432.82	50.3	107151.93	49	79432.82	50.3	107151.93
3150	1.2	49	79432.82	50.2	104712.85	49	79432.82	50.2	104712.85
Nivel Global			56.43		57.03		57.90		57.77

Tabla 33

Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría IVa

Frecuencia f (Hz)	Ponderación A	dB	IVa (Débil)						
			Límite Inferior			Límite Superior			
			10 ^{^(dB/10)}	dB(A)	10 ^{^(dB(A)/10)}	dB	10 ^{^(dB/10)}	dB(A)	10 ^{^(dB(A)/10)}
100	-19.1	21	125.89	1.9	1.55	36	3981.07	16.9	48.98
125	-16.1	21	125.89	4.9	3.09	36	3981.07	19.9	97.72
160	-13.4	21	125.89	7.6	5.75	36	3981.07	22.6	181.97
200	-10.9	21	125.89	10.1	10.23	36	3981.07	25.1	323.59
250	-8.6	21	125.89	12.4	17.38	36	3981.07	27.4	549.54
315	-6.6	21	125.89	14.4	27.54	36	3981.07	29.4	870.96
400	-4.8	39	7943.28	34.2	2630.27	42	15848.93	37.2	5248.07
500	-3.2	39	7943.28	35.8	3801.89	42	15848.93	38.8	7585.78
630	-1.9	39	7943.28	37.1	5128.61	42	15848.93	40.1	10232.93
800	-0.8	39	7943.28	38.2	6606.93	42	15848.93	41.2	13182.57
1000	0.0	39	7943.28	39.0	7943.28	42	15848.93	42.0	15848.93
1250	0.6	39	7943.28	39.6	9120.11	42	15848.93	42.6	18197.01
1600	1.0	45	31622.78	46.0	39810.72	45	31622.78	46.0	39810.72
2000	1.2	45	31622.78	46.2	41686.94	45	31622.78	46.2	41686.94
2500	1.3	45	31622.78	46.3	42657.95	45	31622.78	46.3	42657.95
3150	1.2	45	31622.78	46.2	41686.94	45	31622.78	46.2	41686.94
Nivel Global			52.43		53.03		53.90		53.77

Tabla 34

Nivel global a la ponderación en escala A de los niveles STC, Categoría IVb

		IVb (Muy Débil)							
		Límite Inferior				Limite Superior			
Frecuencia f (Hz)	Ponderación A	dB	10 ^{^(dB/10)}	dB(A)	10 ^{^(dB(A)/10)}	dB	10 ^{^(dB/10)}	dB(A)	10 ^{^(dB(A)/10)}
100	-19.1	16	39.81	-3.1	0.49	31	1258.93	11.9	15.49
125	-16.1	16	39.81	-0.1	0.98	31	1258.93	14.9	30.90
160	-13.4	16	39.81	2.6	1.82	31	1258.93	17.6	57.54
200	-10.9	16	39.81	5.1	3.24	31	1258.93	20.1	102.33
250	-8.6	16	39.81	7.4	5.50	31	1258.93	22.4	173.78
315	-6.6	16	39.81	9.4	8.71	31	1258.93	24.4	275.42
400	-4.8	34	2511.89	29.2	831.76	37	5011.87	32.2	1659.59
500	-3.2	34	2511.89	30.8	1202.26	37	5011.87	33.8	2398.83
630	-1.9	34	2511.89	32.1	1621.81	37	5011.87	35.1	3235.94
800	-0.8	34	2511.89	33.2	2089.30	37	5011.87	36.2	4168.69
1000	0.0	34	2511.89	34.0	2511.89	37	5011.87	37.0	5011.87
1250	0.6	34	2511.89	34.6	2884.03	37	5011.87	37.6	5754.40
1600	1.0	40	10000.00	41.0	12589.25	40	10000.00	41.0	12589.25
2000	1.2	40	10000.00	41.2	13182.57	40	10000.00	41.2	13182.57
2500	1.3	40	10000.00	41.3	13489.63	40	10000.00	41.3	13489.63
3150	1.2	40	10000.00	41.2	13182.57	40	10000.00	41.2	13182.57
Nivel Global			47.43		48.03		48.90		48.77

Cartas de Solicitud para Evaluación Acústica

Ciudad de México, 16 de enero de 2019

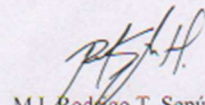
A quien corresponda:

Me dirijo a usted para solicitarle la oportunidad de aceptar a el alumno **José Alberto Huertas Hernández** con número de cuenta **312006279**, estudiante de la **Universidad Nacional Autónoma de México** en la carrera de **Ingeniería Civil**, para realizar estudios sobre la acústica en la **Sala Silvestre Revueltas**, adaptándose en los días y horarios que usted considere para realizarlo, esto con el fin de obtener datos para su investigación y desarrollar su proyecto de tesis para su titulación.

El alumno se encuentra bajo la tutela de quien suscribe, quien le apoyará a desarrollar esta investigación para realizar su tesis titulada **Evaluación Acústica y Recomendaciones de Mejoramiento Acústico para Salas de Concierto en la Ciudad de México**, así como las actividades que ésta conlleve. Cualquier aclaración, no dude en contactarme.

Esperando recibir una respuesta pronta y positiva, quedo de usted.

Atentamente,



M.I. Rodrigo T. Sepúlveda Hirose
Profesor de carrera
Cubículo R2-15
Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
División de Ingenierías Civil y Geomática
Facultad de Ingeniería, UNAM
Tel. 5622-8010 ext 1225
Correo: rtsh@unam.mx



Ciudad de México, 16 de enero de 2019

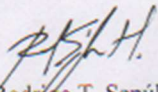
A quien corresponda:

Me dirijo a usted para solicitarle la oportunidad de aceptar a el alumno **José Alberto Huertas Hernández** con número de cuenta **312006279**, estudiante de la **Universidad Nacional Autónoma de México** en la carrera de **Ingeniería Civil**, para realizar estudios sobre la acústica en la **Sala Ermilio Novelo**, adaptándose en los días y horarios que usted considere para realizarlo, esto con el fin de obtener datos para su investigación y desarrollar su proyecto de tesis para su titulación.

El alumno se encuentra bajo la tutela de quien suscribe, quien le apoyará a desarrollar esta investigación para realizar su tesis titulada **Evaluación Acústica y Recomendaciones de Mejoramiento Acústico para Salas de Concierto en la Ciudad de México**, así como las actividades que ésta conlleve. Cualquier aclaración, no dude en contactarme.

Esperando recibir una respuesta pronta y positiva, quedo de usted.

Atentamente,



M.I. Rodrigo T. Sepúlveda Hirose
Profesor de carrera
Cubículo R2-15
Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
División de Ingenierías Civil y Geomática
Facultad de Ingeniería, UNAM
Tel. 5622-8010 ext 1225
Correo: rtsh@unam.mx

Recibí
Francisco Becerra
17-01-19
17:24