



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DISEÑO DEL AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL
AUDITORIO DEL HOSPITAL SAN BARTOLO**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos

Para optar por el título de
Ingeniero de Sonido y Acústica.

Profesor guía:

Ing. Yolanda Carreño Pozo

Autor:

Pablo David Aguilar Ortega

AÑO

2011

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

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

Ing. Yolanda Carreño Pozo
CI. 172169464- 2

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE:

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

Pablo David Aguilar Ortega
CI. 171277179-7

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser siempre el motor que impulsa a mi vida para recorrer el camino sin temor alguno, siendo el creador de todo y permitiendo que esta etapa de mi vida haya culminado lo más pronto posible.

A mis padres, Mary y César, ángeles enviados por una Sabiduría Infinita, quienes han conformado la combinación perfecta, para que mi desarrollo personal no se conforme con el simple hecho de poder obtener una jerarquía y siempre pensar mucho más allá, sin límites.

A mi tía, Nancy, porque sería tan fácil agradecerle por este medio, pero el haber convivido juntos en mi niñez, hizo que mi vida comprenda el valor de la familia.

A mis abuelos, Rosa y Eduardo, por su apoyo incondicional que toda nuestra familia puede encontrar en ellos, y por saber que gracias a ellos, tres familias pudieron ver su crecimiento juntas.

Al Dr. Luis López, quien prestó sus manos abiertas para poder acceder a las instalaciones del Hospital San Bartolo facilitando así la realización del proyecto de tesis en curso.

A Yolanda Carreño, por haber aceptado guiar el último paso, por tener la paciencia y comprender cualquier error que se pudo cometer durante el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A ti, porque después de tu partida pude comprender que en mi vivir siempre tendré protección infinita y me engaño teniendo la satisfacción de que me estás cuidando, donde sea que habites hoy, cuando vaya te buscaré.

Estefy, mi amor, porque los esfuerzos que realizamos a diario marcan nuestro camino, y siempre que lo hago pienso en Nosotros.

RESUMEN

El Hospital San Bartolo, ubicado el sur de la ciudad de Quito (Av. General Urbaneta y Mira), en búsqueda de contar con Calidad Total llega a considerar a la parte Acústica como un factor imprescindible. Al ser un Hospital docente, constantemente se realizan reuniones, debates, conferencias, capacitaciones, entre otros; esto hizo que el Hospital se vea en la necesidad de adecuar un espacio, en el cual se desarrollen dichas actividades. La problemática surge ya que en la etapa de diseño y construcción, no se tomó en cuenta un recinto que cumpla características propicias para la inteligibilidad del mensaje oral, y designaron un espacio ubicado en el quinto piso del edificio para ubicar el Auditorio del Hospital. Al no haber sido concebido desde el principio como un Auditorio, no cuenta con las características antes expuestas.

En el presente trabajo, se abordará el diseño del Aislamiento y Acondicionamiento Acústico del Auditorio. Dentro del diseño del aislamiento se realizaron mediciones de Ruido de Fondo de la sala, determinando así el nivel de ruido externo que afecta al Auditorio, permitiendo de este modo atenuar de acuerdo a la posibilidad de espacio disponible. En cuanto al acondicionamiento, se tomaron medidas del Tiempo de Reverberación T60 y Respuesta de Frecuencia, piezas fundamentales que ayudan a determinar parámetros asociados a la inteligibilidad de la palabra, posibilitando adecuar, utilizando los materiales necesarios.

Como resultado, se han planteado las soluciones técnicas, que especifican los elementos y materiales que se deben utilizar. Se ha realizado también un estudio económico, presentando un presupuesto que detalla mano de obra y materiales en caso de que se vaya a realizar el proyecto. Al ser una tesis teórica, cuya implementación se estudiará a futuro, los resultados no pueden ser evaluados en la práctica, pero se lo hizo teóricamente.

ABSTRACT

San Bartolo Hospital, searching total quality consider the acoustics as an essential factor. It's a teaching hospital, where debates, conferences, trainings, among others, therefore the Hospital has adequate space where to develop such activities. The problem is the design stage and construction was not taken into account the intelligibility of the spoken message, and designated an area located on the fifth floor of the building to adequate the Hospital Auditorium.

In this paper, the insulation and acoustic conditioning has been developed. In isolation design, the background noise has been evaluated, to know the affectation for oral message. In acoustic conditioning, the Reverb Time and frequency response were measured and are important factors to determinate parameters about intelligibility, for choose the correct materials.

Technical solutions specified elements and materials to use. An economic study was realized to present the construction price. It's a theorist work, and the result had been evaluated with theorist models.

ÍNDICE

1. REFERENTE AL HOSPITAL SAN BARTOLO.....	1
1.1INTRODUCCIÓN.....	1
1.2ANTECEDENTES.....	1
1.3HIPÓTESIS	1
1.4MARCO REFERENCIAL	2
1.5JUSTIFICACIÓN.....	2
1.6ALCANCE.....	2
1.7OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
1.7.1OBJETIVO GENERAL	3
1.7.2OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.8METODOLOGÍA A UTILIZAR.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 CONCEPTOS GENERALES.....	4
2.1.1 FRECUENCIA.....	4
2.1.2 NIVEL DE PRESIÓN SONORA (NPS).....	4
2.1.2.1 NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE (LAQ)	5
2.1.3EL RUIDO	5
2.1.3.1RUIDO ESTABLE	5

2.1.3.2	RUIDO FLUCTUANTE	5
2.1.3.3	RUIDO IMPULSIVO.....	5
2.1.3.4	RUIDO BLANCO	5
2.1.3.5	RUIDO ROSA.....	6
2.1.4	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	7
2.1.4.1	EL SONÓMETRO.....	7
2.1.4.2	PARTES DE UN SONÓMETRO.....	8
2.1.4.3	MICRÓFONO DE MEDICIÓN.....	8
2.1.4.4	BANCO DE FILTROS.....	10
2.1.4.5	LA RED DE PONDERACIÓN EN FRECUENCIA.	10
2.1.4.6	PONDERACIÓN A.....	12
2.1.4.7	DETECTOR RMS	14
2.1.4.8	CALIBRACIÓN	15
2.1.5	LA VOZ HUMANA.....	15
2.1.5.1	CARACTERÍSTICAS DEL MENSAJE ORAL.....	15
2.1.5.2	DIRECTIVIDAD DE LA VOZ HUMANA	16
2.1.6	CONCEPTOS ASOCIADOS AL AISLAMIENTO ACÚSTICO	17
2.1.6.1	LEY DE MASA.....	17
2.1.6.2	FRECUENCIA DE COINCIDENCIA	18
2.1.6.3	PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN (TL).....	19
2.1.6.4	CURVAS NC (NOISE CRITERIA)	20

2.1.7	CONCEPTOS ASOCIADOS AL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO	23
2.1.7.1	PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIO ABIERTO	23
2.1.7.2	PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN UN RECINTO CERRADO	24
2.1.7.3	SONIDO REFLEJADO (REFLEXIÓN DEL SONIDO)	26
2.1.7.4	TIEMPO DE REVERBERACIÓN (T ₆₀)	27
2.1.7.5	TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIO (RT _{MID})..	28
2.1.7.6	CAMPO REVERBERANTE	28
2.1.7.7	NIVEL DE CAMPO REVERBERANTE L _R	28
2.1.7.8	ECOS	28
2.1.7.9	ECOS FLOTANTES	29
2.1.7.10	FOCALIZACIÓN DEL SONIDO	29
2.1.7.11	MODOS NORMALES DE VIBRACIÓN.....	29
2.1.7.12	INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA	30
2.1.8	MATERIALES UTILIZADOS EN AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO	30
2.1.8.1	MATERIALES ABSORBENTES	30
2.1.8.2	RESISTIVIDAD AL FLUJO DE AIRE.....	31
2.1.8.3	POROSIDAD (H)	32
2.1.8.4	FACTOR ESTRUCTURAL (S).....	33

3. DESARROLLO	34
3.1 SITUACIÓN ACTUAL	34
3.2 METODOLOGÍA UTILIZADA.....	39
3.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN.....	40
3.4 DATOS OBTENIDOS	45
3.4.1 MEDICIÓN DE RUIDO DE FONDO	45
3.4.2 MEDICIÓN DE RESPUESTA DE FRECUENCIA.....	46
3.4.3MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN.....	47
3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS REALIZADOS.....	48
3.6 EQUIPAMIENTO NECESARIO PARA LAS MEDICIONES	49
3.7 DIAGRAMAS DE BLOQUES DE CONEXIONES.....	50
4. ANÁLISIS DE DATOS Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	51
4.1 GEOMETRÍA DEL AUDITORIO	51
4.1.1 RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DEL AUDITORIO	51
4.2 DISEÑO DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO	52
4.2.1 TL DE LA PARTICIÓN	52
4.2.2 COMPARACIÓN ENTRE RUIDO DE FONDO Y CURVAS NC	53
4.2.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	54

4.2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO	54
4.2.3.2 TL DE LA FIBRA DE VIDRIO	55
4.2.3.3 TL DE LA VENTANA ADICIONAL	56
4.2.3.4 DIFERENCIA ENTRE TL ACTUAL, Y TL CON FIBRA DE VIDRIO DE LA PARTICIÓN	56
4.3 DISEÑO DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO	57
4.3.1 CÁLCULO TEÓRICO DEL T60	57
4.3.1.1 CÁLCULO DEL RTMID DEL RECINTO.....	58
4.3.1.2 CÁLCULO DE LA INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA	60
4.4 PRESUPUESTO.....	63
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1 CONCLUSIONES	63
5.2 RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	68

CAPÍTULO I

1.- Referente al Hospital San Bartolo

1.1.- Introducción

A lo largo de la historia, se ha prestado gran importancia a lugares destinados al desarrollo de reuniones, es así que se puede observar en varias culturas, como por ejemplo la Griega, donde se evolucionó en la construcción de teatros debido al aumento de la popularidad de festividades y reuniones.

En la actualidad, el confort acústico ha ganado fuerza. En edificios de centros educativos, teatros, etc., han sido diseñados tomando en cuenta normativas que consideran el aspecto acústico. Por otro lado, aquellas estructuras que no concibieron desde el comienzo del diseño la acústica, buscan lograr las condiciones acústicas óptimas posteriormente, mediante un diseño que busca acondicionarse a condiciones ya establecidas como es el caso de este estudio.

El Hospital San Bartolo, en busca de Calidad Total, ha considerado a la acústica como un factor de gran importancia, y siendo este estudio la primera aplicación que involucra a la profesión, muestra interés en el estudio del Aislamiento y Acondicionamiento Acústico de su Auditorio.

1.2.- Antecedentes

El Hospital San Bartolo cuenta con un local llamado "Auditorio", donde actividades que involucran la Inteligibilidad la palabra, hacen necesario un estudio que optimice a dicho local para la ejecución de las actividades que se llevan a cabo. Este local se encuentra situado en el quinto piso del edificio, donde se realizan las actividades administrativas.

La problemática radica en que el edificio se encuentra ya construido, y no se realizó un estudio previo que involucre al Aislamiento y Acondicionamiento Acústico, ya que no se tenía pensado poseer un Auditorio.

1.3.- Hipótesis

Mediante el Diseño del Aislamiento y Acondicionamiento Acústico del local destinado a ser el Auditorio del Hospital San Bartolo, se logrará un espacio propicio para las actividades a desarrollarse, dentro del mismo y sus locales vecinos.

1.4.- Marco referencial

Actualmente en el auditorio del Hospital San Bartola, se realizan reuniones, conferencias, capacitaciones, por lo cual se necesita que este cumpla con características que favorezcan a la comprensión del Mensaje Hablado. El presente trabajo establecerá un diseño de Aislamiento y Acondicionamiento Acústico, con el cual se conseguirá un Auditorio que preste el Confort Acústico necesario.

1.5.- Justificación

El presente trabajo de investigación busca solucionar la problemática acústica presente en el Auditorio del Hospital San Bartolo, ya que es un local que no muestra estudios en cuanto a la comprensión del mensaje oral y donde se llevan a cabo, todo tipo de actividades asociadas a la inteligibilidad de la palabra.

La propuesta se basa en presentar el Diseño de Aislamiento y Acondicionamiento Acústico de dicho local, permitiendo que los niveles de ruido externo al local no dificulten el desarrollo de reuniones, y que internamente el local presente condiciones acústicas favorables.

1.6.- Alcance

Mediante este proyecto se busca evaluar el local, realizando mediciones que permitan determinar la afección que sufre el recinto en niveles de ruido, ya sea por el entorno laboral o por fuentes que se encuentren a su alrededor.

La medición de los Modos Normales de la sala, el Tiempo de Reverberación T60, Respuesta de Frecuencia de la sala harán posible un Diseño que logre optimizar a la sala para brindar un apropiado nivel de confort acústico al interior de ella.

No se considerará la aplicación e implementación del Diseño desarrollado, la evaluación se realizará por medio de modelos teóricos.

1.7 Objetivos del proyecto

1.7.1.- Objetivo General

Diseñar el Aislamiento y Acondicionamiento Acústico para el “Auditorio” del Hospital San Bartolo situado al sur de la ciudad de Quito.

1.7.2.- Objetivos Específicos

- Llevar a cabo mediciones, para determinar el estado sonoro actual del recinto.
- En base a los resultados obtenidos, determinar la mejor opción para el aislamiento y el acondicionamiento del recinto.
- Proponer, mediante criterios basados en normativa nacional e internacional, los elementos que conformarán el sistema de aislamiento y de acondicionamiento interno de la sala.
- Realizar el análisis de costos y presentar resultados.

1.8.- Metodología a utilizar

Para el desarrollo de este trabajo de tesis, utilizará Metodología Deductiva, ya que se tomarán los conocimientos adquiridos en materias como Acústica Arquitectónica, Aislamiento y Acondicionamiento Acústico como las bases necesarias. Es un método directo ya que se comenzará por cuestiones generales y durante cada paso la investigación atacará a puntos más específicos los cuales serán sometidos a comprobaciones y análisis.

En primer lugar, se diseñará el Aislamiento Acústico, puesto que se realiza en obra gruesa, atacando al ruido que generan fuentes externas al recinto; para esto, se tomaron mediciones de Ruido de Fondo. Una vez terminado este diseño, se requiere realizar el diseño del Acondicionamiento, pensado en los revestimientos internos, es decir, que materiales ayudarán a mejorar la Inteligibilidad de la Palabra, esto gracias a los datos obtenidos en mediciones de Modos Normales, Respuesta de Frecuencia, Tiempo de Reverberación.

CAPÍTULO II

2.- Marco Teórico

2.1.- Conceptos generales

2.1.1.- Frecuencia (Hz)

Las repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico a través del tiempo son medidas mediante la frecuencia.

Se mide la frecuencia en el Sistema Internacional por medio del “Hercio”, el cual indica la cantidad de repeticiones del fenómeno en cuestión, medido en un intervalo de un segundo, es decir, “3 Hz” representan tres ciclos por segundo por ejemplo.

2.1.2.- Nivel de Presión Sonora (NPS)

Su unidad es el decibel (dB). Es una magnitud logarítmica que sirve para cuantificar a un campo sonoro.

Está definida por:

$$NPS = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \text{ (dB)} \quad \text{(Ec. 2.1)}$$

Con:

P= Presión Sonora Instantánea (N/m²)

P₀= Presión de Referencia (20x10⁻⁶)

Se debe tener claro que e se está tratando con una magnitud logarítmica, por esto, para sumar varios NPS de varias fuentes se utiliza la siguiente expresión:

$$NPS_{TOTAL} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{\frac{NPS_i}{10}} \right) \quad \text{(Ec. 2.2)}$$

Donde N es el número total de fuentes.

2.1.2.1.- Nivel de Presión Sonora Equivalente (Leq)

Es aquel nivel de presión sonora que en el mismo intervalo de tiempo contiene igual cantidad de energía total que el nivel instantáneo.

2.1.3.- El Ruido

2.1.3.1.- Ruido Estable

Se habla de ruido estable cuando la diferencia entre el nivel de presión sonora máximo y mínimo es menor o igual a 5 dB(A), evaluado en un período de medición de 1 minuto. Es importante especificar que la respuesta del instrumento de medición debe ser calibrada en "Slow".

2.1.3.2.- Ruido Fluctuante

Se puede partir de la definición de Ruido Estable para definirlo, ya que, por el contrario cuando existen variaciones que superen los 5 dBA evaluados con una respuesta lenta durante 1 minuto de evaluación.

2.1.3.3.- Ruido Impulsivo

Posee gran intensidad, este tipo de ruido presenta un nivel de presión sonora de amplitud considerable y duración en el eje del tiempo muy corta, comparable con pulsaciones.

2.1.3.4.- Ruido Blanco

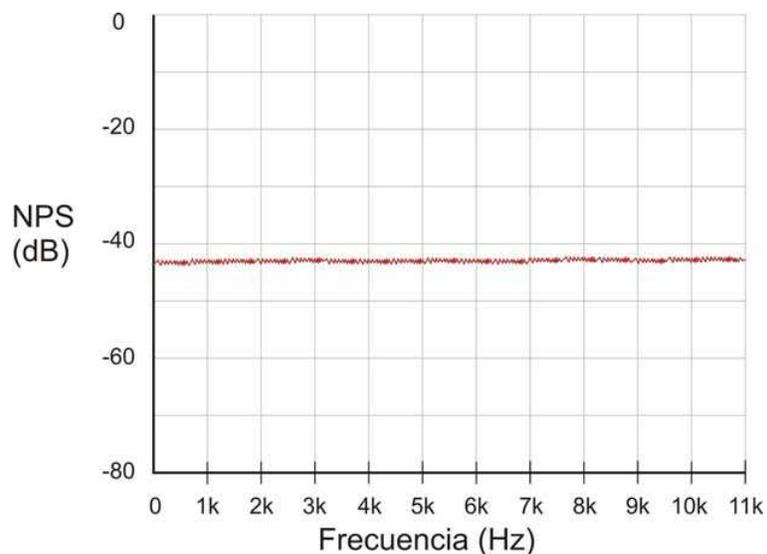
La definición de ruido blanco parte del concepto de luz blanca. Todas las frecuencias que se encuentran conformando al espectro visible son contenidas en este tipo de luz, así, se puede definir a ruido blanco como aquella señal aleatoria que contiene a todas las frecuencias del espectro audible, manteniendo la misma densidad espectral a lo largo de este. Sin embargo, se trata de una señal aleatoria en el tiempo, no correlativa,

es decir, que a lo largo del eje del tiempo la señal no guarda relación en sus valores unos con otros.

Tras haber realizado una transformación FFT, en una gráfica, se puede observar que en el dominio de la frecuencia las componentes poseen la misma amplitud, teóricamente manteniendo una línea horizontal paralela al eje en cuestión. Por el contrario, cuando se trabaja con una escala logarítmica, se puede apreciar una línea ascendente en el gráfico que crece a 3 dB por octava.

En muchas ocasiones se ocupa al ruido blanco como señal de pruebas, sin embargo, se prefiere trabajar con ruido rosa gracias a la semejanza que guarda con la respuesta del oído humano.

FIGURA 2.1.- Ruido Blanco



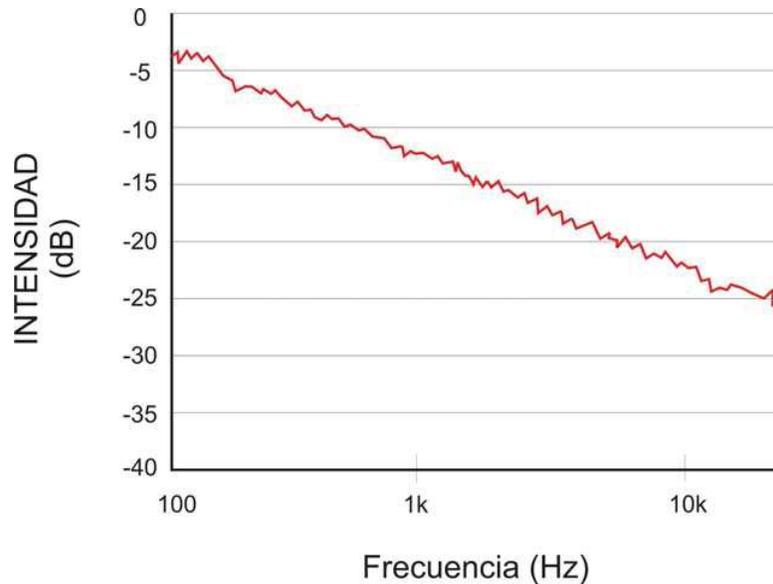
FUENTE: *Elaboración propia*

2.1.3.5.- Ruido Rosa

Es un tipo de ruido aleatorio cuya potencia de densidad espectral se ve relacionada con la frecuencia de manera inversa, es decir, a medida que aumenta la frecuencia, el nivel del espectro disminuye. El decrecimiento que sufre con respecto a la frecuencia

es de 3 dB por octava. Muchos autores especifican que su nombre se debe a que se encuentra entre el ruido blanco y el ruido rojo o marrón, ya que como se vio, el primero no presenta decaimiento alguno, y el rojo decae 6 dB por octava.

FIGURA 2.2.- Ruido Rosa



FUENTE: *Elaboración propia*

2.1.4.- Instrumentos de Medición

2.1.4.1.- El Sonómetro

Instrumento de medición utilizado para la evaluación objetiva de niveles de presión sonora que expresa los datos obtenidos en decibelios. En todos los países, normas nacionales e internacionales clasifican los sonómetros en función de su grado de precisión. Se establecen 4 tipos en función de su grado de precisión.

Sonómetro de clase 0: utilizado en laboratorios para obtener niveles de referencia.

Sonómetro de clase 1: para trabajo de campo con precisión.

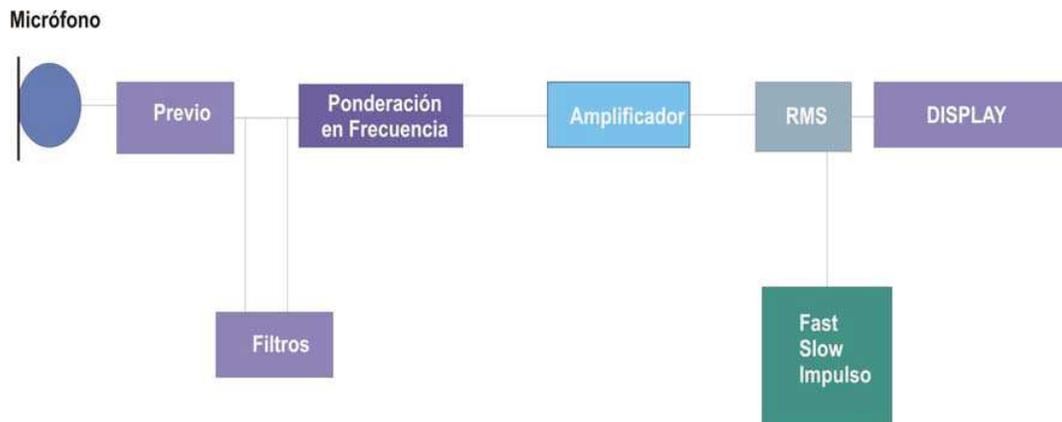
Sonómetro de clase 2: permite realizar mediciones generales en los trabajos de campo.

Sonómetro de clase 3: es el menos preciso y sólo permite realizar mediciones aproximadas, por lo que sólo se utiliza para realizar reconocimientos.

2.1.4.2.- Partes de un sonómetro

Las etapas que presenta un sonómetro van de la mano con el tipo del sonómetro, el precio, la marca y otros factores que determinan la calidad de un equipo, sin embargo, generalmente un sonómetro genérico presenta las siguientes partes detalladas a continuación en el diagrama de bloques.

FIGURA 2.3.- Diagrama de bloques de la estructura de un sonómetro genérico



FUENTE: *Elaboración propia*

2.1.4.3.- Micrófono de medición

Presentan diferencias en distintos aspectos con los micrófonos comunes, son elaborados con altos estándares de ingeniería.

En muchos tipos de sonómetro se presenta acoplado al mismo, en otros consta como una pieza removible. Un micrófono de medición debe disponer como característica fundamental una respuesta de frecuencia plana, que abarque todo el rango audible (20 a 20 kHz). Un micrófono de medición es de condensador o capacitor, compuesto por dos placas paralelas (un diafragma de metal y una placa posterior), la placa posterior

es polarizada por medio de una carga fija, así cuando una onda sonora incide sobre la cápsula del micrófono el diafragma vibra, haciendo que se genere una variación en la capacitancia provocando una tensión eléctrica directamente proporcional al sonido percibido. El micrófono es alimentado por el propio equipo de medida, sin embargo, existen micrófonos prepolarizados que no requieren tensión de alimentación. Presentan una gran impedancia de salida, lo cual hace necesaria la presencia de un preamplificador, el mismo que se encarga de adaptar las impedancias del micrófono con la de entrada del equipo de audio (100 a 150 ohms generalmente).

Siempre que un micrófono de medición trabaja en un campo acústico, se presentan alteraciones de las características del campo en cuestión gracias a la difracción producida sobre el micrófono cuando la longitud de onda se compara al tamaño del mismo, este efecto es evidente en frecuencias superiores a 1 kHz. Es caracterizado generalmente por tres tipos: de campo libre o incidencia normal, de presión y de incidencia aleatoria.

El micrófono de medida para *Incidencia Normal*, posee una respuesta de frecuencia teóricamente uniforme cuando la cápsula apunta directamente hacia la fuente sonora en campo libre, de esta forma, compensa las perturbaciones que se producen en el campo sonoro.

Micrófono de *Presión*, no muestra compensaciones al efecto de perturbación que se produce y responde de manera uniforme a las presión que le llega.

El de *Incidencia Aleatoria* es aquel cuya respuesta de frecuencia es uniforme cuando el sonido llega al mismo tiempo de todos los ángulos posibles (campos reverberantes).

Como se pudo observar, las características de respuesta en presión e incidencia aleatoria coinciden para la mayor parte de micrófonos de medición. Si se está trabajando en campo libre con un micrófono de incidencia aleatoria se obtendrá un nivel de presión sonora muy elevado en caso contrario, si se utilizara uno de campo libre en campo difuso, no se obtendría una medida precisa ya que el nivel de presión se presentaría con un valor energético muy bajo.

En muchos sonómetros, se extiende la capacidad para poder corregir la variación de respuesta del micrófono variando el tipo de incidencia (random / Campo Libre)

2.1.4.4.- Banco de filtros

En el sonómetro, es indispensable contar con filtros normalizados a elección del usuario, como por ejemplo de octava o de tercio de octava. En aislamiento acústico, el filtraje más utilizado es el de tercio de octava, sin embargo, en casos que se requiera una mejor resolución existen instrumentos que permiten filtrajes de 1/12, 1/16 de octava. Las frecuencias centrales de los filtros de octava y tercio de octava se encuentran especificadas en la norma ISO 266.1975

En la siguiente tabla se pueden apreciar las frecuencias centrales preferentes para filtros de octava resaltadas en negrilla, pudiéndose apreciar que cada fila se puede obtener con una multiplicación por diez.

TABLA 2.1- Frecuencias centrales preferentes para filtros de 1/3 de octava

31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
31500	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000	25000

2.1.4.5.- La Red de Ponderación en Frecuencia

Una vez que la señal acústica ha sido transformada en eléctrica, pasa por un detector de sobrecarga, el cual es el encargado de generar mensajes de error dependiendo del margen dinámico de la señal. Cuando la señal ha pasado este detector, entra en una etapa de filtraje que varía a nivel frecuencial de forma análoga a la sensibilidad del oído humano, conforme a las curvas de igual sonoridad.

Una vez convertida la señal acústica en señal eléctrica, un detector de sobrecarga se ocupa de generar el correspondiente mensaje de error en caso de que el margen dinámico de la señal captada exceda en margen de funcionamiento de alguna de las etapas posteriores, con lo que la medida resultante no sería correcta. Esta etapa permite decidir la curva de ponderación que va a ser utilizada. Para tener un acercamiento más certero en cuanto a la característica sonora que poseen los fenómenos acústicos, se debe tomar en cuenta la respuesta que presenta el oído

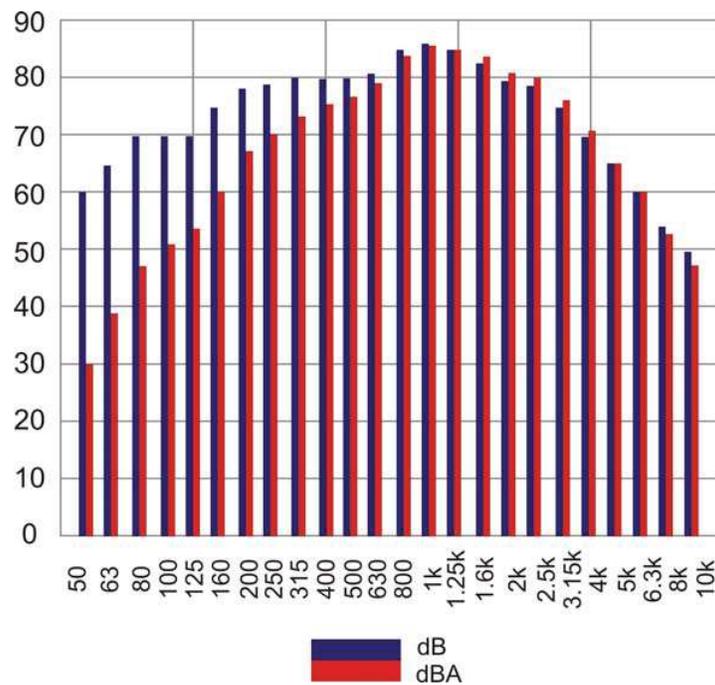
humano, es por esa razón que existen ciertos tipos de ponderación con las cuales un sonómetro puede ser calibrado, estas son las ponderaciones A, B, C, D

Generalmente, los sonómetros incluyen a la respuesta lineal, la cual no presenta ninguna modificación en esta etapa.

En caso de que la medición se trate de ruidos con una intensidad demasiado elevada, se debe trabajar con la curva D, es decir, se utilizará el dBD como unidad de medida.

La siguiente gráfica muestra una comparación entre dB y dBA, permitiendo analizar el efecto que tiene la ponderación A.

FIGURA 2.4.- Comparación entre dB y dBA



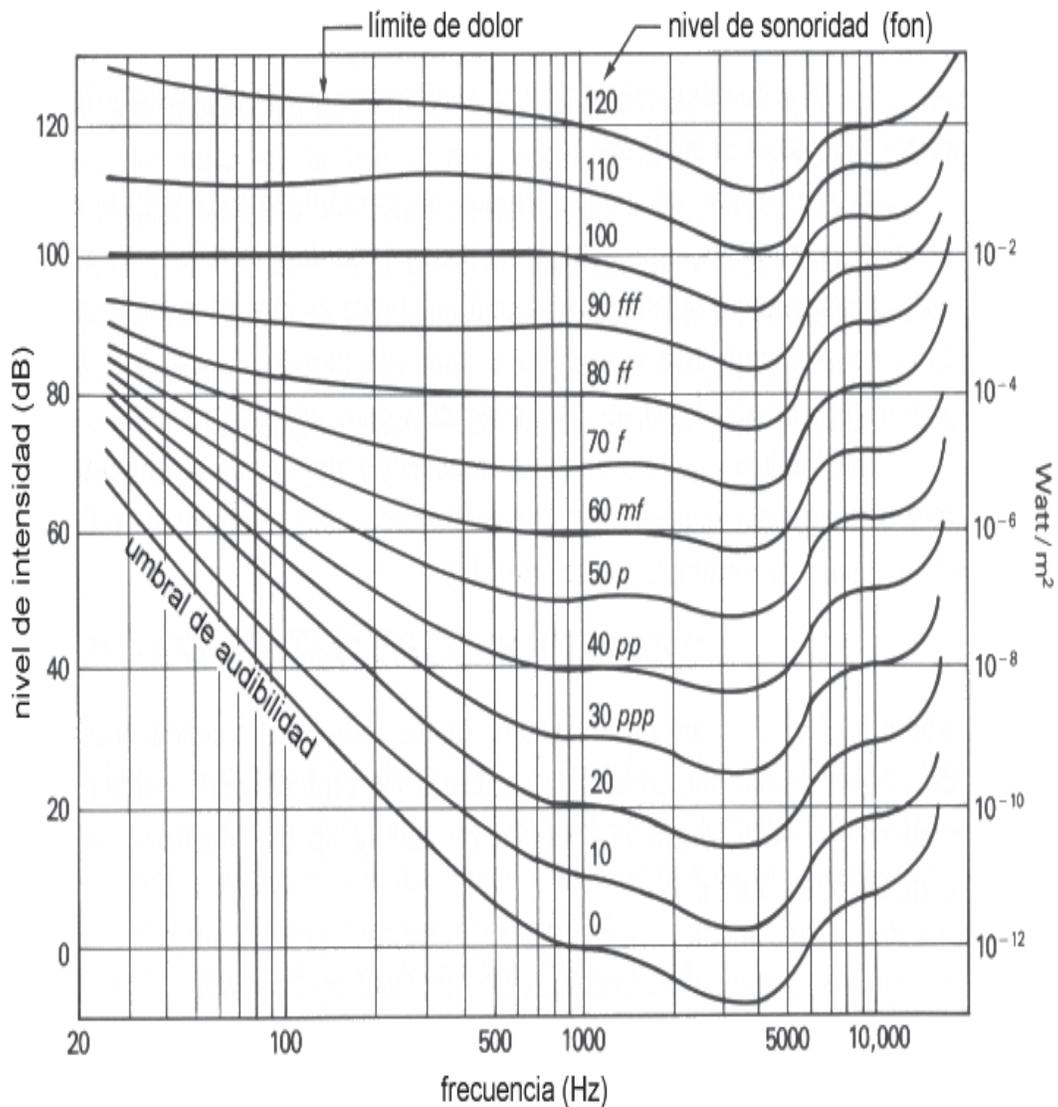
FUENTE: *Elaboración propia*

El oído humano para estos niveles de ruido se comporta de forma análoga, atenuando (debido a su menor sensibilidad) las bajas frecuencias. Las frecuencias medias permanecen inalteradas prácticamente.

2.1.4.6.- Ponderación A

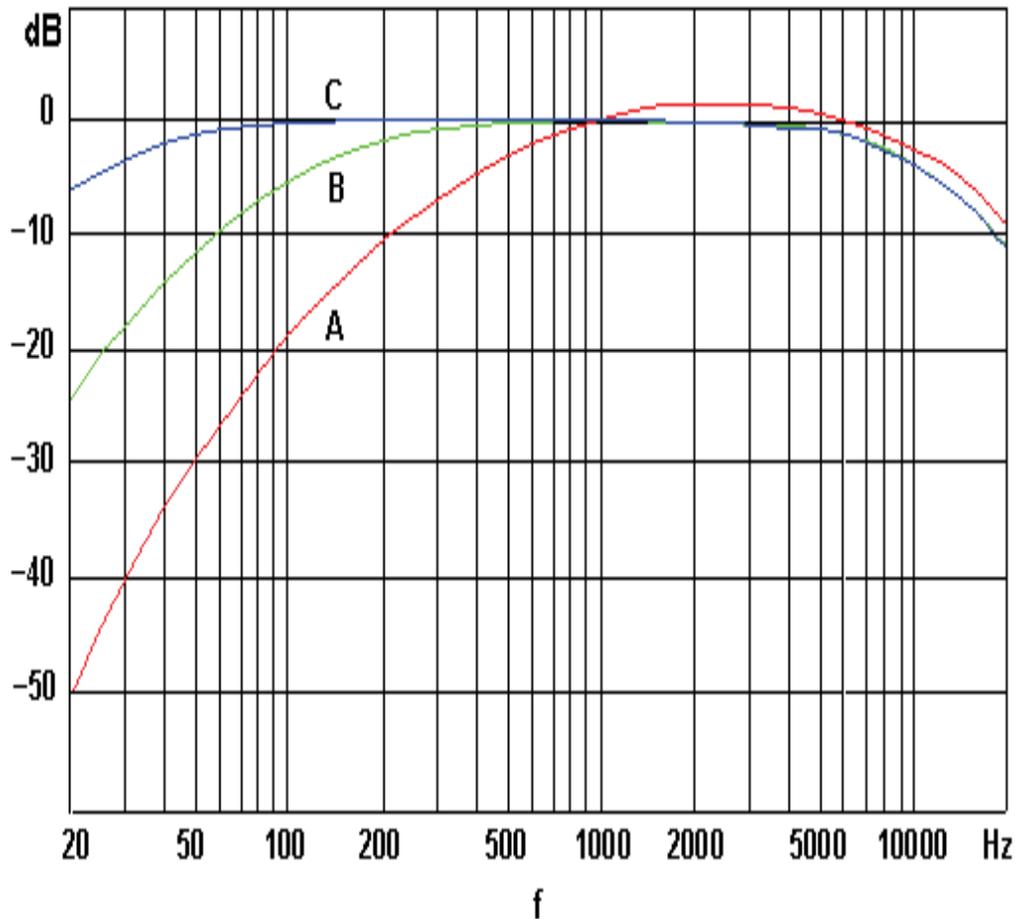
Fletcher y Munson en 1930, desarrollaron un conjunto de curvas, llamadas isofónicas, ya que determinaban el nivel necesario de las frecuencias para que el oído humano las perciba de igual manera. De aquí surge la ponderación A, correspondiente a la curva de sonoridad de 40 fones.

FIGURA 2.5.- Curvas isofónicas Fletcher y Munson



FUENTE: Elaboración propia

FIGURA 2.6.- Curvas de Ponderación A, B, C



FUENTE: *Elaboración propia*

La ponderación A es la más utilizada, ya que es la curva que mejor representa a la forma en que los seres humanos escuchamos cuando la intensidad del sonido es baja, necesitando mayor nivel en frecuencias bajas y altas, y respondiendo con mayor sensibilidad en las frecuencias centrales. Siendo nuestro rango de audición el ancho de banda correspondiente entre 20 y 20 kHz, se puede observar en la figura, que el oído humano presenta su pico de sensibilidad en los 4 kHz aproximadamente.

La tabla 2.2 indica los valores en decibelios de cada frecuencia bajo la curva de ponderación A.

TABLA 2.2.- Valores en decibelios por frecuencia de la curva de Ponderación A

Frecuencia (Hz)	Ponderación A (dB)
100	-19.1
125	-16.1
160	-13.4
200	-10.9
250	-8.6
315	-6.6
400	-4.8
500	-3.2
630	-1.0
800	-0.8
1k	0
1.25k	0.6
1.6k	1.0
2k	1.2
2.5k	1.3
3.15k	1.2
4k	1.0
5k	0.5

2.1.4.7.- Detector RMS

Todo detector RMS tiene una respuesta temporal determinada. Para equipos de medidas acústicas, están normalizadas tres tipos de respuestas:

Respuesta Rápida o Fast. Para realizar mediciones que involucran ruidos fluctuantes, la respuesta "Fast" o "Rápida" debe ser tomada en cuenta para la calibración del equipo de medición a ser utilizado. Se trata de un valor promedio eficaz que toma intervalos de 125 milisegundos para la evaluación e integración.

Respuesta Lenta o Slow. Es un tipo de calibración presente en los sonómetros, el cual evalúa la energía sonora medida por intervalos de 1 segundo. Cuando se utiliza la respuesta lenta, el nivel de presión sonora medido se denomina NPS Lento. Su aplicabilidad se encuentra para la medición de ruidos estables, ya que en el caso de que se presente un ruido imprevisto no será integrado por el sonómetro.

Impulso. Respuesta Impulsiva. Se utiliza únicamente para medir ruidos impulsivos, con una constante de tiempo de 35 ms.

2.1.4.8.- Calibración

Para asegurarse de que los niveles de presión medidos son correctos se utiliza un calibrador acústico o pistófono, el cual es aplicado sobre el micrófono de medición. El pistófono genera una señal de tono puro, emitiendo 1 kHz con 94 dB de presión sonora (1 Pa).

2.1.5.- La voz humana

2.1.5.1.- Características del mensaje oral

El estudio del habla humana ha determinado que cuando un mensaje oral es emitido, se toma mayor tiempo para la emisión de las vocales con respecto al de las consonantes. Así por ejemplo, un valor promediado del tiempo que se demora una persona en pronunciar las vocales es de 90 ms, mientras que para las consonantes se reduce a 20 ms, por ende, se puede estimar fácilmente que el nivel de presión sonora que presentan las vocales será mayor (12 dB) que el de las consonantes. La distribución frecuencial en el mensaje oral se divide presentando un contenido de frecuencias medias y bajas en las vocales, y un aporte de altas frecuencias por parte de las consonantes, así se puede determinar que la comprensión del mensaje oral va a estar ligada en mayor medida a la comprensión de las consonantes, ya que son quienes separan a la información redundante que aportan las vocales.

2.1.5.2.- Directividad de la voz humana

Todas las fuentes sonoras existentes poseen un parámetro acústico denominado directividad, la cual determina información acerca del comportamiento de la radiación de las ondas sonoras en función de la dirección dependiendo directamente de la frecuencia. La frecuencia y la directividad son directamente proporcionales. Se expresa por medio del factor “Q”.

Matemáticamente el factor Q en la directividad (θ, ϕ) de una fuente sonora es definido como la relación entre el nivel de presión sonora evaluado en una dirección y la intensidad de una fuente que radia por igual en todas direcciones (fuente isótropa) con igual potencia.

$$D(\theta, \phi) = \frac{I_{(\theta, \phi)}}{I_{ISO}} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$Q(\theta, \phi) = 10 \log D(\theta, \phi) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Con:

$D(\theta, \phi)$: Directividad de una fuente

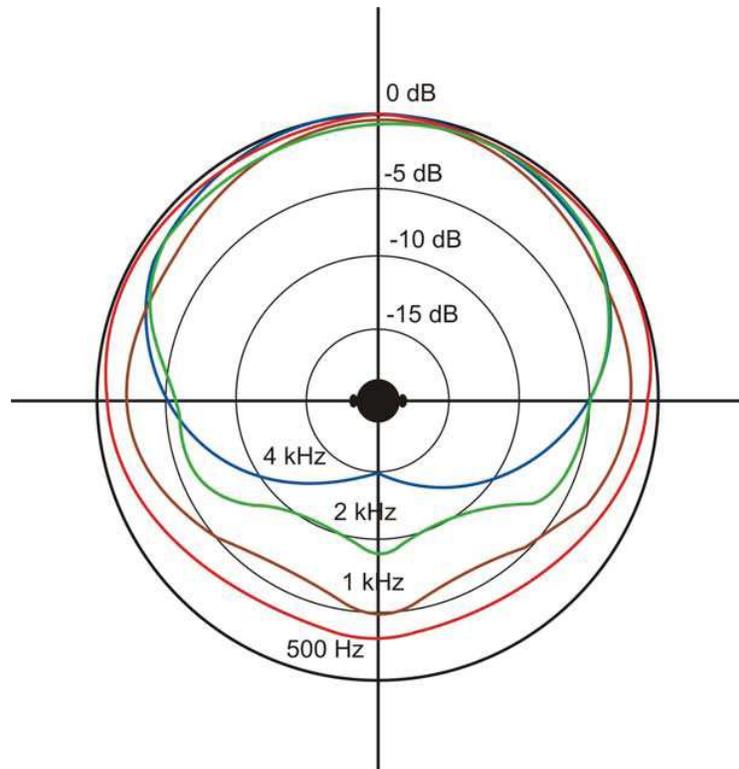
$I(\theta, \phi)$: Nivel de presión sonora en una dirección

I_{ISO} : Nivel de presión sonora de fuente isotrópica

$Q(\theta, \phi)$: Factor de Directividad

En la voz humana, el factor de directividad depende básicamente del sistema de fonación y la forma de la cabeza humana. La zona en la cual se presenta mayor directividad es en la dirección frontal. En la práctica en la voz humana se considera un factor de directividad igual a 2 ($Q=2$). Según Moreno y Pfretzschner, la voz humana evaluada en las bandas de octava comprendidas entre 500 Hz y 4 kHz, posee el siguiente diagrama polar de la figura 2.7.

FIGURA 2.7.- Diagrama Polar de la Directividad de la Voz Humana



FUENTE: *Elaboración propia*

2.1.6.- Conceptos asociados al Aislamiento Acústico

2.1.6.1.- Ley de Masa

La diferencia que existe entre los niveles medios de presión sonora de dos recintos separados por una partición delgada, homogénea y simple puede ser evaluada por una expresión matemática semiempírica llamada Ley de Masa. Se expresa como se indica en la Ecuación 2.5.

$$TL = 20 \log(m \cdot f) - 48 \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Con:

TL:	Pérdida por transmisión	(dB)
m:	masa de la superficie	(kg/m ²)
f:	frecuencia	(Hz)

La masa influye en el aumento de la pérdida por transmisión, mientras más peso adquiera una superficie, menor será la influencia de las ondas sonoras sobre ella, y así la estructura tenderá a presentar dependiendo de la frecuencia un menor grado de vibración, por tanto, la energía sonora irradiada hacia el otro lado de la partición disminuirá. Se debe considerar a la frecuencia de coincidencia, ya que la Ley de Masa es aplicada para las frecuencias por debajo de ella. Por cada duplicación de la masa de la superficie o de la frecuencia, según esta ley se obtendrá una disminución de 6 dB. Un material puede ganar masa aumentando el grosor de material o adhiriendo materiales más densos.

2.1.6.2.- Frecuencia de Coincidencia

En la práctica, es difícil encontrar masas independientes, más aún en recintos en los cuales las estructuras limitantes (paredes) presentan parámetros independientes a considerar. Existe una zona de frecuencias donde la energía acústica incidente se transmite a través de los paramentos en forma de ondas de flexión, que se acoplan con las ondas del campo acústico produciéndose una notable disminución del aislamiento, esta zona fluctúa alrededor de una frecuencia de coincidencia (f_c).

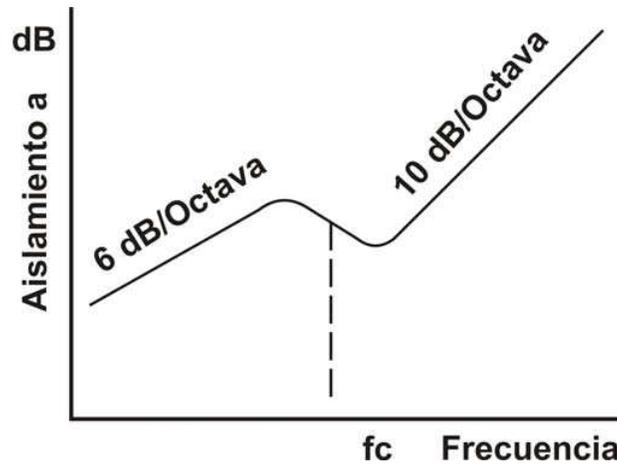
Se define a la f_c como:

$$f_c = \frac{6.4 \cdot 10^4}{d} \sqrt{\frac{\rho(1 - \sigma^2)}{E}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Con:

- d: es el espesor del paramento, en m
- ρ : es la densidad del material del paramento en kg/m³
- σ : es el coeficiente elástico del Poisson del material
- E: es el módulo de elasticidad de Young del material, en N/m²

FIGURA 2.8.- Frecuencia de Coincidencia



FUENTE: Elaboración propia

2.1.6.3.- Pérdida por Transmisión (TL)

Es un descriptor utilizado dentro del aislamiento acústico que sirve para cuantificar la capacidad de una partición para aislar el sonido transmitido por vía aérea. Se define como la relación logarítmica entre la energía incidente y la energía transmitida a través de la partición, en [dB].

$$TL = 10 \log \left(\frac{I_I}{I_T} \right) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Con:

TL: Transmission Loss, (dB)

I_I : Intensidad de energía incidente (W_{AC}/m^2)

I_T : Intensidad de energía transmitida (W_{AC}/m^2)

El coeficiente de transmisión es definido como:

$$\tau = \frac{I_T}{I_I} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Para bajas frecuencias se cumple la relación:

$$\tau = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\rho_s c \omega}{2 \rho_0 c} \right)^2 \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Con:

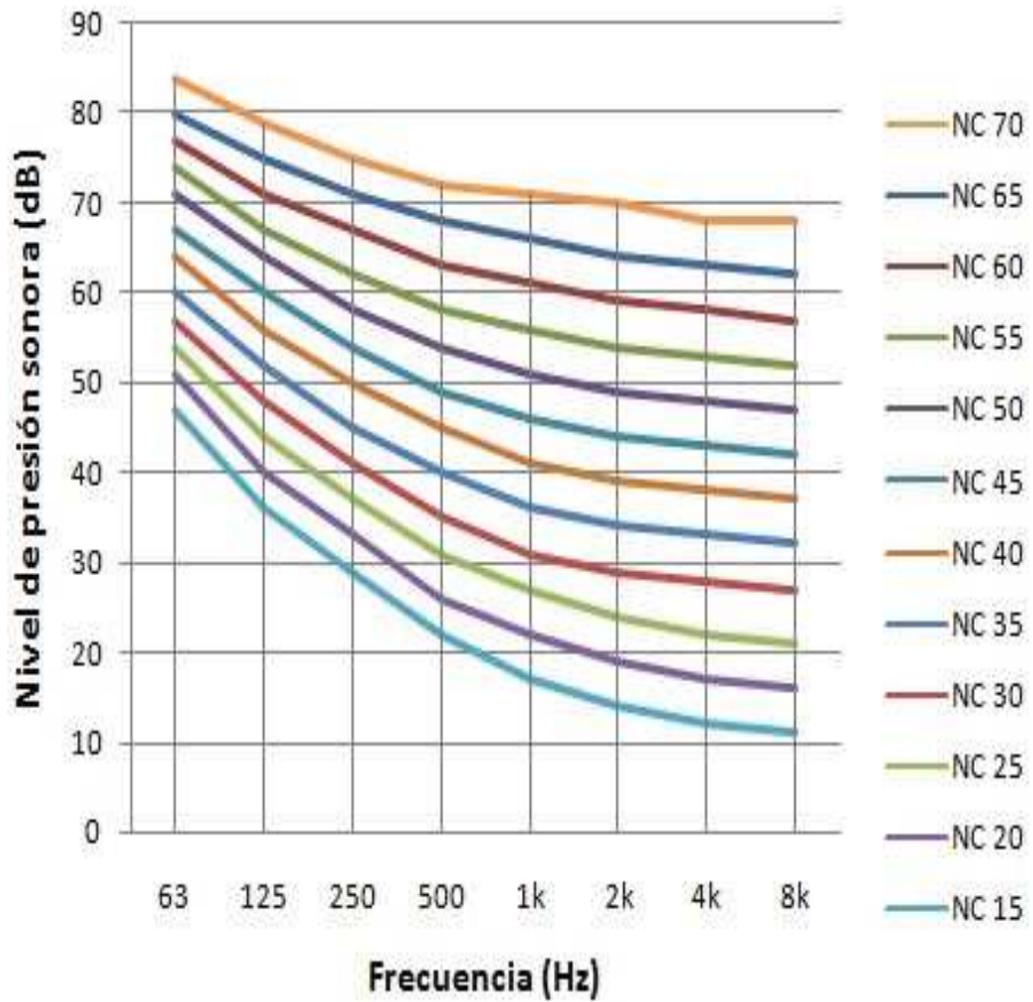
- ρ_s : Densidad superficie de la partición [Kg/m^2]
- $\rho_0 c$: Impedancia característica del aire = 406 (rayls)
- c: velocidad del sonido [m/s]
- ω : Frecuencia angular del sonido incidente [rad/s]

2.1.6.5.- Curvas NC (NoiseCriteria)

El ruido de fondo puede ser definido como el nivel de presión sonora que se mantiene en una sala cuando no se están realizando actividades en ella. En muchas ocasiones se debe considerar a fuentes internas como es el caso de sistemas eléctricos y de climatización, así como las provenientes del exterior del recinto como por ejemplo el ruido de tráfico.

Las Curvas NC sirven para evaluar el ruido de fondo presente en un recinto desarrolladas por Leo Beranek en 1957, con el fin de conocer el grado de molestia de este con el mensaje hablado. La evaluación se da en la comparación del espectro por banda de octava (entre 63 Hz y 8 kHz) del nivel de presión sonora medido en un recinto con el nivel máximo que debe poseer según el uso del mismo de acuerdo a la gráfica. Con esto, la curva superior a la generada por el espectro medido definirá el valor NC correspondiente.

FIGURA 2.9.- Curvas NoiseCriteria (NC)



FUENTE: *Elaboración propia*

La siguiente tabla muestra los valores que las curvas describen:

TABLA2.3- Valores en decibelios de las Curvas NC

Valores NC								
	Frecuencia (Hz)							
NC	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
15	47	36	29	22	17	14	12	11
20	51	40	33	25	22	19	17	16
25	54	44	37	31	27	24	22	21
30	57	48	41	35	31	29	28	27
35	60	52	45	40	36	34	33	32
40	64	57	50	45	41	39	38	37
45	67	60	54	49	46	44	43	42
50	71	64	58	54	51	49	48	47
55	74	67	62	58	56	54	53	52
60	77	71	67	63	61	59	58	57
65	80	75	71	68	66	64	63	62
70	83	79	75	72	71	70	69	68

TABLA 2.4- Curvas NC recomendadas para varios recintos

TIPOS DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA	EQUIVALENCIA EN dBA
Estudios de Grabación	15	28
Salas de conciertos y teatros	15-25	28-38
Hoteles (Habitaciones Individuales)	20-30	33-42
Salas de Conferencias / Aulas	20-30	33-42
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35	42-46
Hoteles (Vestíbulos y Pasillos)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de Ordenadores	35-45	46-55
Cafeterías	40-45	50-55
Polideportivos	40-50	50-60
Talleres (Maquinaria Ligera)	45-55	55-65
Talleres (Maquinaria Pesada)	50-65	60-75

2.1.7.- Conceptos asociados al Acondicionamiento Acústico

2.1.7.1.- Propagación del sonido en espacio abierto

La expresión general del nivel de presión sonora a una distancia r de la fuente, viene dada por la ecuación 2.10.

$$L_P = L_W + 10 \log \frac{\phi}{4\pi r^2} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Con:

L_p : Nivel de Presión Sonora a distancia de la fuente (dB)

L_w : Nivel de Presión Sonora de la fuente (dB)

r : Distancia de la fuente (m)

Q : Directividad de la fuente sonora

Dado que en acústica arquitectónica se considera a las fuentes omnidireccionales, la directividad de la fuente sonora (Q) es 1, entonces:

$$L_p = L_w - 10 \log 4\pi r^2 \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Considerando a una fuente omnidireccional, si está situada en espacio libre, se aplica la ley cuadrática inversa, es decir, a medida que la distancia con respecto a la fuente es duplicada, el nivel de presión sonora sufre un decaimiento de 6 dB en cada punto. La voz humana es una fuente directiva, sin embargo, se puede analizar su comportamiento asemejándola al caso de una fuente omnidireccional. Según Antoni Carrión, como resultado de una serie de experimentos se ha podido determinar que el mensaje oral en una zona silenciosa puede ser percibido óptimamente a una distancia de 42 metros hacia el frente del orador, 30 metros lateralmente y 17 metros en la parte posterior. Si se superan las distancias mencionadas, el mensaje oral pierde inteligibilidad debido a que el nivel ruido de fondo se equipara con el nivel emitido por el orador.

2.1.7.2.- Propagación del sonido en un recinto cerrado

En un recinto cerrado, la forma de percepción del sonido por el oído humano tiene que ver básicamente con dos aspectos determinantes. El primer aspecto a considerar es que una parte del sonido llega al oyente como si se tratara en condiciones de aire libre, en tal virtud, el nivel con que el sonido va a ser escuchado depende únicamente de la distancia que existe entre la fuente sonora y el receptor. Por otro lado, cuando un frente de onda incide sobre una superficie se generarán ondas reflejadas, las cuales

para llegar al receptor dependerán de la distancia de la fuente a las superficies límites del recinto, al tipo de material que se esté utilizando como revestimiento interno en el local, por consiguiente, mientras más largo sea el camino que deba recorrer el rayo sonoro para impactar con las superficies y mayor coeficiente de absorción sonora posean los materiales de revestimiento, menor será la energía del sonido directo, como el de las reflexiones asociadas.

Considerando una fuente omnidireccional, el nivel de presión sonora en un punto viene dado por la ecuación 2.12.

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right) \quad (\text{Ec. 2.12})$$

donde:

$$A = \frac{S_T \cdot \alpha_m}{1 - \alpha_m} \quad , \quad (\text{Ec. 2.13})$$

$$\alpha_m = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Con:

- L_p : Nivel de presión en el punto considerado (dB)
- L_w : Nivel de potencia acústica de la fuente (dB)
- r : Distancia del punto considerado a la fuente (m)
- A : Área absorbente del local (m^2)
- S_T : Suma de las superficies que limitan el local (m^2)
- α_m : Coeficientes de absorción medio, de las superficies que limitan el local.
- S_n : Áreas de las diferentes superficies que limitan el local (m^2).
- α_n : Coeficiente de absorción de dichas superficies que limitan el local.

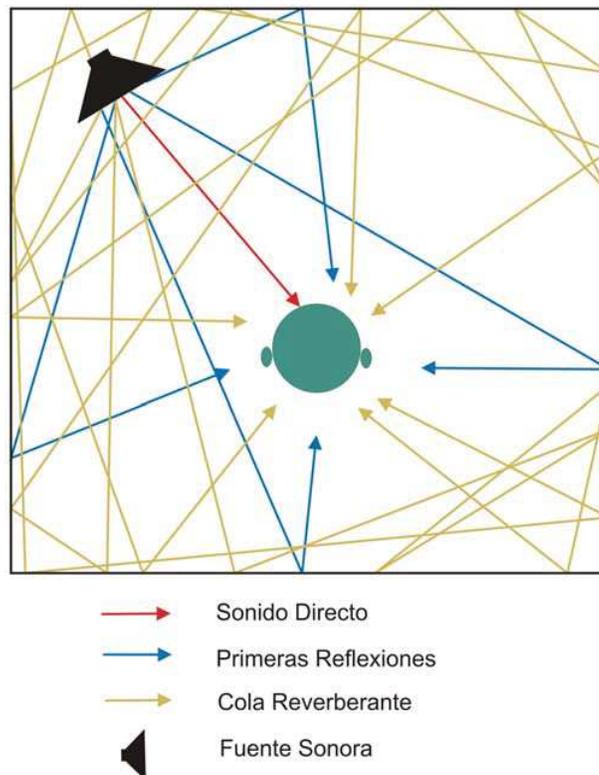
El término $4/A$ define la reducción del nivel de presión acústica, en el campo reverberante y que lógicamente será función del área absorbente del local.

2.1.7.3.- Sonido Reflejado (Reflexión del sonido)

Se considera que existe reflexión del sonido, cuando una onda incide sobre una superficie y toma otra dirección después del choque. Las reflexiones generadas toman distintas direcciones. Las primeras reflexiones y la cola reverberante constituirán el sonido reflejado.

Todas las reflexiones llegan a un punto dentro del recinto de forma continua, pero se debe considerar que las primeras reflexiones llegan discretizadas en mayor medida comparadas con las tardías, esto, como consecuencia de que se trata de reflexiones de orden bajo, por lo general menores a 3. El volumen y la geometría de un recinto influyen directamente en el tiempo que tardan las primeras reflexiones en generarse. A pesar de ello en la práctica un valor de 100 ms puede ser tomado como límite para primeras reflexiones.

FIGURA 2.10.- Comportamiento del sonido en un recinto cerrado



FUENTE: Elaboración propia

En la actualidad existen equipos de medida que basan sus características en técnicas que permiten generar una curva llamada ETC (Energy Time Curve) como las TDS (Time Delay Spectrometry) y MLS (Maximum Length Sequence). La curva ETC sirve para extraer y determinar gran cantidad de información acerca de las características acústicas de un recinto.

2.1.7.4.- Tiempo de Reverberación (T60)

Es el tiempo que demora una frecuencia determinada en decaer 60 dB de NPS con respecto a su valor inicial una vez que la fuente emisora se detiene. Esta medida sirve para cuantificar la reverberación de un recinto y es medida en segundos. Con esto se pueden determinar dos tipos de recintos, vivos y apagados; esto depende de acuerdo al valor de su Tiempo de Reverberación, así, cuando el T60 de un recinto es grande se lo denomina vivo, por el contrario, si el T60 es pequeño se lo llamará apagado. Generalmente el tiempo de reverberación varía de acuerdo a la frecuencia, siendo inversamente proporcional, esto debido a que en muchos de los materiales utilizados como revestimiento en recintos se presenta gran absorción en altas frecuencias.

La fórmula para calcular el T60 de un recinto está dada por la ecuación 2.15.

$$T_{60} = 0.161 * \frac{V}{A_T} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

$$\text{con } A_T = \sum_{i=1}^n S_i * \alpha_i \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Con:

- V:** volumen del recinto (m³)
- A_T:** absorción total del recinto (m²Sabine)
- S_i:** superficies individuales de la sala (m²)
- α:** coeficiente de absorción del material

La claridad de la recepción del mensaje hablado depende del tamaño del T60, pero, a su vez el T60 se ve afectado por la absorción que presente el recinto, de esta forma se

puede jugar con la aparición de reflexiones ya que los materiales utilizados como revestimiento pueden ser cambiados, este criterio posee gran aplicación en el diseño acústico de recintos.

2.1.7.5.- Tiempo de Reverberación Medio (RT_{mid})

Se lo puede definir como el tiempo de reverberación óptimo de una sala, depende del uso que se le vaya a dar a un recinto y de su volumen. Para su obtención es necesario conocer el tiempo de reverberación del lugar en 500 Hz y 1 kHz como lo indica la siguiente expresión:

$$RT_{mid} = \frac{RT(500\text{ Hz}) + RT(1\text{ kHz})}{2} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

2.1.7.6.- Campo Reverberante

Es el campo acústico en el cual existe un gran número de ondas reflejadas que provienen de todas direcciones y se combinan de manera que el nivel de presión sonora se mantiene constante o uniforme en cualquier punto de dicho campo.

2.1.7.7.- Nivel de Campo Reverberante L_R

Definido como el nivel de presión sonora presente en el campo reverberante. Este nivel se mantiene constante debido a las ondas reflejadas que se encuentran dentro del campo.

2.1.7.8.- Ecos

El eco es una reflexión que posee un nivel de presión sonora lo suficientemente grande como para ser percibido por el oído humano como una repetición del sonido directo, esto se debe a que la onda reflejada posee un retardo de más de 50 ms.

2.1.7.9.- Ecos flotantes

Consiste en una repetición múltiple del sonido generado por una fuente que se da en intervalos de tiempo pequeños (10 ms por ejemplo). Este efecto es producido cuando las superficies dentro de las cuales se encuentra una fuente son paralelas.

2.1.7.10.- Focalización del sonido

Es un fenómeno acústico que se da por la presencia de superficies cóncavas, las cuales, concentran al sonido reflejado y presenta por lo general mayor nivel que el sonido directo.

2.1.7.11.- Modos Normales de Vibración

En los recintos, gracias a la interacción entre ondas incidentes y reflejadas que se efectúa en las paredes limitantes se producen los llamados modos normales de vibración. Dependiendo de la ubicación del punto que se esté estudiando en una sala, el nivel de presión sonora de cada modo normal asociado a una frecuencia específica va a ir variando.

La geometría de una sala es un factor que incide en el comportamiento de los modos normales de vibración, y determinar el valor de cada uno resulta complejo. Sin embargo, si el recinto tiene la forma de un paralelepípedo, el cálculo de los modos normales viene dado por la fórmula (2.18) desarrollada por Rayleigh.

$$f_{k,m,n} = 172.5 \sqrt{\left(\frac{k}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2} \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Con:

L_x, L_y, L_z : Dimensiones de la sala

k, m, n : Combinación entre números enteros (0,1,2,3,...)

Cada combinación entre los enteros k , m , n da lugar a una frecuencia asociada a un modo propio particular. Como ejemplo, en el caso de una combinación (2, 1, 3), se generaría en el cálculo el modo propio (2, 1, 3).

Alrededor de las diferentes frecuencias de los modos normales, se provoca una concentración de energía, la cual produce un sonido característico para cada recinto que recibe el nombre de “coloración”, y auditivamente su notoriedad se da principalmente en recintos de dimensiones pequeñas.

2.1.7.12.- Inteligibilidad de la Palabra

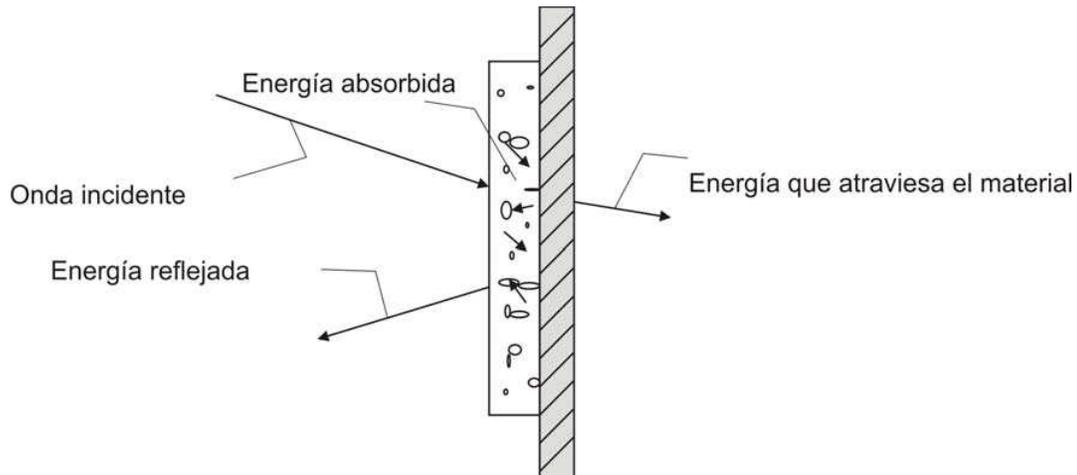
La inteligibilidad de la palabra en un recinto es la correcta comprensión del mensaje oral. Peutz, un investigador holandés, realizó esta evaluación por medio de la utilización de logatomos, es decir, palabras conformadas por una vocal entre dos consonantes. Se realizó estas pruebas con un grupo de personas y en varios locales, si por ejemplo el resultado de aciertos cumplía el 85 %, significaba que existía una pérdida de información del 15 %. El porcentaje que se obtenía en la pérdida de información se denomina %AICons (ArticulationLoss of Consonants).

2.1.8.- Materiales utilizados en Aislamiento y Acondicionamiento Acústico

2.1.8.1.- Materiales Absorbentes

Cuando una onda sonora impacta sobre una superficie o un elemento absorbente, parte de la energía es reflejada, otra es absorbida (transformada en calor) y una tercera parte atraviesa el material o la estructura, dependiendo obviamente de la frecuencia de la onda sonora, del espesor y densidad del material.

FIGURA 2.11.- Comportamiento de la transmisión de una onda incidente



FUENTE: *Elaboración propia*

En un recinto, los materiales que se usan como revestimientos en las superficies límites provocan según la naturaleza del material absorción o reflexión del sonido. La absorción que estos materiales provocan sobre las ondas sonoras dependen de la frecuencia y varían de un material a otro.

Dentro de los materiales que producen absorción se pueden encontrar a los llamados materiales absorbentes y los materiales absorbentes selectivos o resonadores.

Generalmente son utilizados para obtener el tiempo de reverberación óptimo para un recinto de acuerdo a las actividades que se vayan a desarrollar en él, eliminación de ecos, reducción del nivel de campo reverberante, entre otros.

Los materiales absorbentes presentan la particularidad de transformar la energía acústica en calor, gracias a los canales que presentan, la disipación de energía se da cuando la onda sonora interactúa con las paredes de los poros del material. La lana de vidrio o la lana mineral son comúnmente utilizadas para este fin.

2.1.8.2.- Resistividad al flujo de aire

Los modelos analíticos que sirven para describir el comportamiento acústico de los materiales absorbentes fibrosos se rigen gracias a la resistividad al flujo de aire, ya

que este parámetro permite conocer la forma en que se dio la propagación de la onda sonora a través del material. Así la fórmula para el cálculo de este parámetro está dada por:

$$R_s = \frac{\Delta P}{\mu} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Con:

ΔP : Diferencia de la presión del aire medida a ambos lados de una muestra, por la cual se fuerza el paso del aire (N/m^2)

μ : Velocidad del aire normal a la superficie del material

De aquí, se puede obtener la resistividad específica por unidad de espesor del material, que generalmente presenta un valor aproximado de 10^4 (Rayl/m)

$$R = \frac{R_s}{d} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

Con:

d : espesor de la muestra del material

2.1.8.3.- Porosidad (H)

La porosidad puede ser definida matemáticamente como la relación entre el volumen del vacío que presentan los poros de un material con el volumen total de la muestra. Se puede considerar que un material presenta un buen nivel de absorción, si la porosidad de este se encuentra variando entre 85 y 95 %.

$$h = \frac{V_v}{V_t} \quad (\text{Ec. 2.21})$$

Con:

V_v : Volumen de los poros del material

V_t : Volumen total

2.1.8.4.- Factor Estructural (S)

Se trata de un parámetro teóricamente difícil de estimar, ya que las formas que puedan adoptar los materiales absorbentes son variadas. Sirve para describir la influencia de la geometría del material con respecto a la densidad efectiva del mismo y la comprensibilidad del flujo.

CAPITULO III

3.- Desarrollo

3.1.- Situación Actual

El Hospital de Especialidades San Bartolo está ubicado en el sur del Distrito Metropolitano de Quito, en la avenida General Urdaneta S15-332 y Mira, Barrio San Bartolo, a una cuadra del Cuartel Epicachima. La cuadra en la cual se sitúa el Hospital está paralela a un tramo de la avenida Pedro Vicente Maldonado que presenta gran actividad comercial, y por ende la circulación vehicular es de gran magnitud, además a una cuadra del Hospital se encuentra un Plantel Educativo (Escuela 5 de junio, ubicada en la avenida General Urdaneta). En la parte trasera del Hospital se pueden observar dos parques recreativos.

ESQUEMA 3.1.- Croquis de la ubicación del Hospital San Bartolo



FUENTE: Elaboración propia

que en sus inicios, el hospital no realizaba las actividades antes mencionadas, lo cual permite que este trabajo se enfoque en plantear las soluciones técnicas, estudiando el diseño del aislamiento y acondicionamiento acústico.

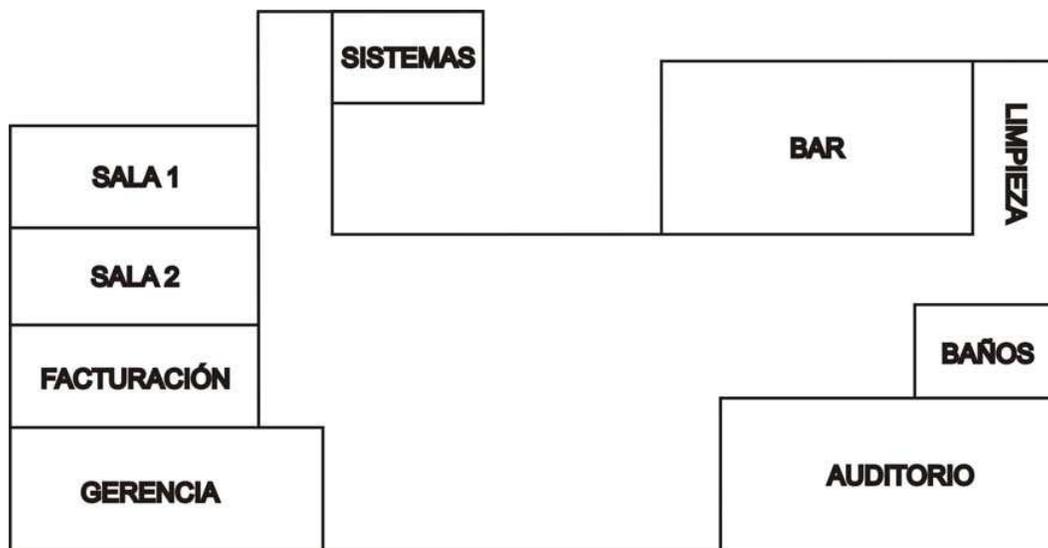
FOTOGRAFÍA 3.1.- Ubicación del Auditorio en la planta del Hospital San Bartolo



FUENTE: Elaboración propia

El local no es completamente rectangular, ya que posee paredes que sobresalen en varios puntos. Además se tiene una abertura en uno de los lados que posteriormente servirá como puerta hacia los baños, la cual al momento de la medición estaba cubierta por láminas de gypsum unidas. En el frente del recinto se posee un pizarrón de tinta líquida, y la mayor parte del lado derecho está cubierto por ventanas. La puerta de ingreso al recinto es de madera de 7 cm de espesor. El techo posee dos paneles convexos de cartón yeso de 1m x 0.78 cm cada uno. El auditorio se encuentra limitado por el bar y oficinas administrativas en sus lados. Se debe considerar que el recinto se encuentra en el penúltimo piso del edificio, lo cual es un factor importante ya que en la terraza se encuentra ubicada la maquinaria encargada de abastecer de energía al Hospital, además de los tanques de oxígeno y un cuarto con lavadoras de ropa, y, esto de seguro contribuirá como una fuente de ruido que afecte directamente al recinto.

ESQUEMA 3.3.- Croquis del quinto piso del Hospital San Bartolo



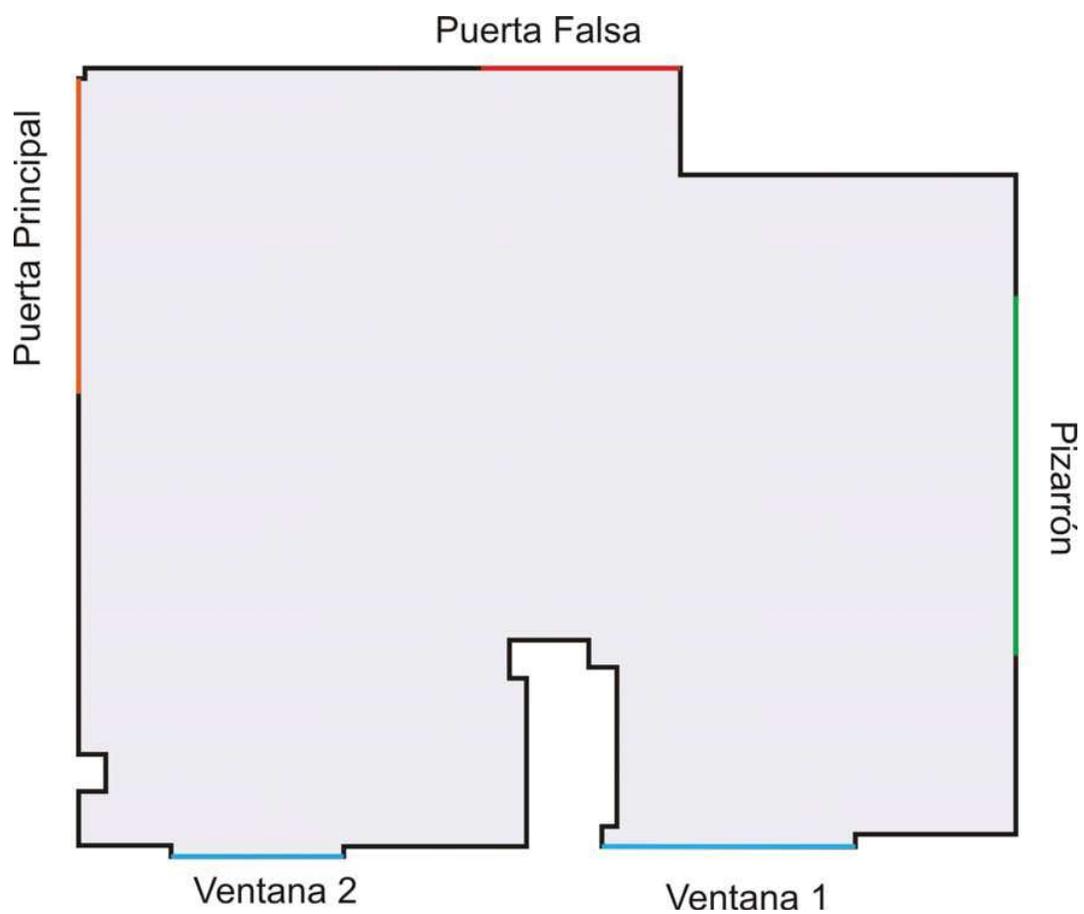
FUENTE: *Elaboración propia*

La mampostería del edificio se encuentra constituida por bloques de hormigón vibro prensados de 20 x 20 x 40 centímetros, utilizado en todas las paredes del edificio, tanto internas como externas y no presentan relleno alguno (como arena comprimida por ejemplo).

Las paredes se encuentran recubiertas por un enlucido de 2 centímetros de espesor, cubiertas en el acabado por pintura color verde manzana.

En el momento de efectuar la medición, por razones del hospital no se pudieron retirar los muebles que se encontraron al interior, pero, esto no constituiría un problema porque los mismos serán parte del auditorio, y se debe considerar la absorción que brinden cuando se calculen parámetros como el Tiempo de Reverberación.

ESQUEMA 3.4.- Vista superior del Auditorio del Hospital San Bartolo



FUENTE: *Elaboración propia*

3.2.- Metodología utilizada

La metodología que se siguió para el desarrollo de este trabajo de investigación, se realizó tratando de poseer una cantidad de mediciones expuestas en las normativas de una manera meticulosa, sin embargo, como se verá posteriormente, es imposible generar una investigación que se lleve a cabo rigurosamente como expresa una normativa.

La parte experimental del presente trabajo consistió en realizar mediciones acústicas, las cuales se basaron en las normativas y métodos expuestos para cada uno de los casos, así, se realizaron mediciones de ruido de fondo, respuesta de frecuencia, modos normales de vibración, y tiempo de reverberación. Estas mediciones servirán para conocer las características acústicas del recinto, ya que permitirán obtener los parámetros necesarios y así poder proponer las soluciones que requieran en el diseño del aislamiento y acondicionamiento acústico.

En el apartado 3.1, se describió la situación actual del recinto, esta evaluación visual permitió determinar previamente la factibilidad de la aplicación de las normativas, y sirvió para determinar las mediciones que se llevarán a cabo, así como la ubicación de los puntos de medición para cada toma de datos.

En cada punto de medición se realizaron al menos tres mediciones, reduciendo así el grado de incertidumbre de los resultados, ya que el coeficiente de correlación aumenta a medida que el número de mediciones se incrementa.

Para la toma de mediciones de Ruido de Fondo, se siguió la metodología expuesta en el apartado "4.1.2" del Anexo 5 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS).

La medición del ruido de fondo del recinto se ve justificada con el hecho de ser información irrelevante dentro del área de aislamiento acústico, ya que el ruido de fondo se considera como el sonido que se percibe cuando dentro de la sala no se está llevando a cabo ninguna actividad, permitiendo plantear dentro del diseño del aislamiento medidas óptimas para lograr que el ruido de fondo no afecte en gran medida a la inteligibilidad de la palabra dentro del auditorio, obteniendo un nivel

adecuado de confort acústico que se evaluará por medio de las curvas NC en la etapa de diseño.

En cuanto al área de acondicionamiento, la Norma ISO 3382 fue la base para la medición del tiempo de Reverberación(T60). Dentro de la etapa de acondicionamiento acústico se tomaron también mediciones de Respuesta de Frecuencia del recinto, utilizando una fuente emitiendo ruido rosa a 94 dB y, finalmente los Modos Normales de Vibración mediante un barrido de frecuencia durante 5 minutos.

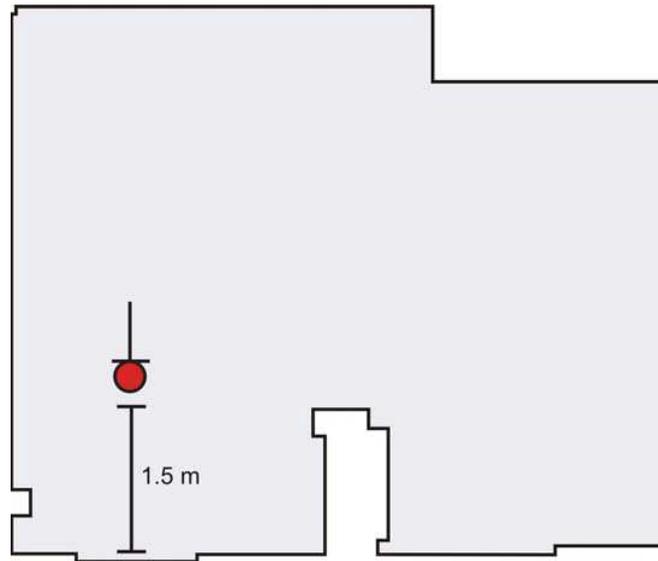
3.3.- Ubicación de los puntos de medición

Todos los lugares que se tomaron para la ubicación del equipo utilizado para las mediciones buscaron básicamente los puntos más críticos del recinto, identificados visualmente, tanto en asilamiento como en acondicionamiento. Dado que la geometría de la sala no es por completo rectangular y presenta estructuras sobresalientes en sus lados (columnas), se decidió atender a la posición que tomará el conferencista y a la de los oyentes. Cabe aclarar que las sillas no serán fijas, e incluso podrían incrementar su número dependiendo de la cantidad de público.

No se dependió de la cercanía de fuentes eléctricas ni del largo de las extensiones, ya que las dimensiones del recinto permitieron escoger a los puntos de medición sin problema alguno, disponiendo en las 4 paredes del recinto tomas eléctricas, lo cual facilitó el trabajo en gran medida.

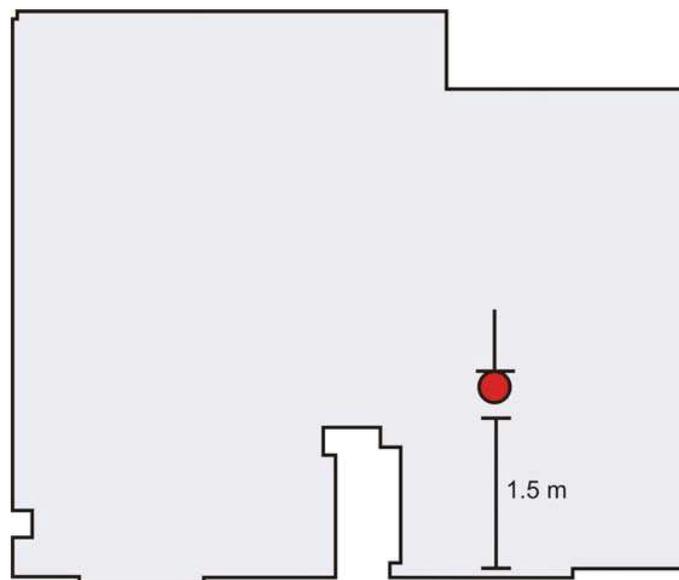
Se realizó la medición ubicando el equipo de medición conforme al apartado 4.1.2 del Anexo 5, Libro VI del TULAS. Se describe que el sonómetro debe estar ubicado entre 1 o 1.5 metros de altura, sin exponerse a vibraciones y conservando una distancia con respecto a las paredes de 3 metros. Al tratarse de un local de dimensiones no tan grandes 8.73 x 7.255 metros, no se cumplió con la distancia estipulada por la normativa en uso (3 metros) con respecto a la fuente, pero el criterio básico referencia a las partes del recinto que no prestaban mayor aislamiento, como ejemplo las ventanas, puertas y una pared falsa, ubicando el sonómetro a 1.5 metros con relación a dichas estructuras.

ESQUEMA 3.5.- Primer punto de medición para la obtención de Ruido de Fondo



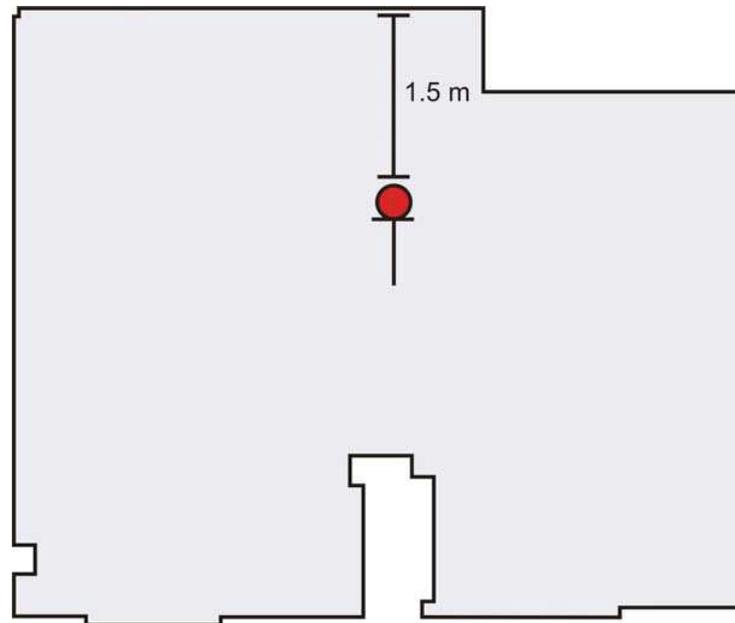
FUENTE: *Elaboración propia*

ESQUEMA 3.6.- Segundo punto de medición para la obtención de Ruido de Fondo



FUENTE: *Elaboración propia*

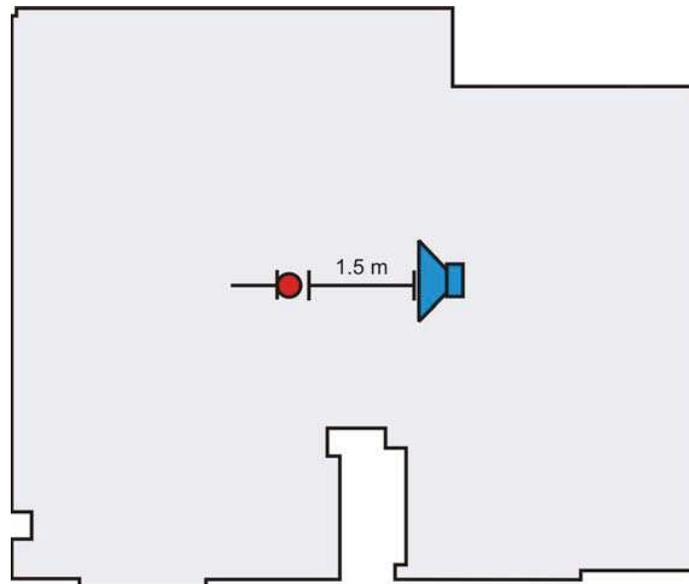
ESQUEMA 3.7.- Tercer punto de medición para la obtención de Ruido de Fondo



FUENTE: *Elaboración propia*

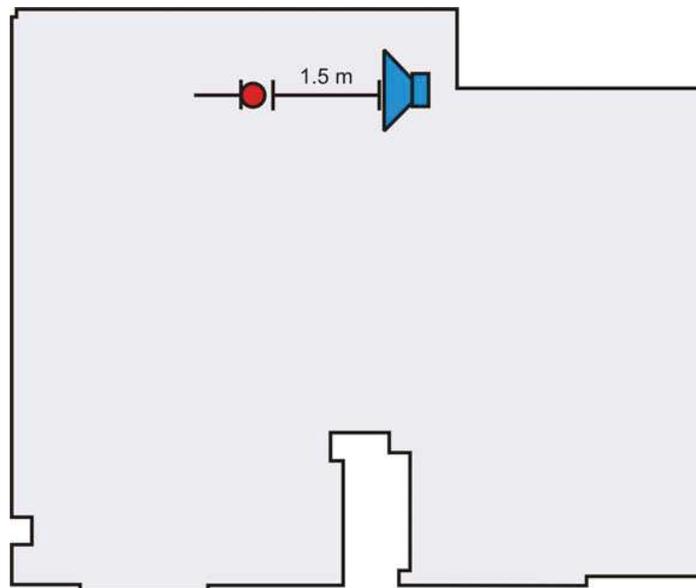
De igual manera se hizo con la ubicación del equipo para las mediciones de parámetros como el T60, pero conservando una distancia de 1.5 metros con respecto a la fuente y manteniendo la altura que la normativa impone. Las tres posiciones escogidas, se basaron en los lugares donde el campo difuso se presente en mayor medida debido a las paredes sobresalientes que presenta el local, ya que en las esquinas se produce mayor concentración de energía acústica provocando dicho aumento de nivel en el campo difuso a excepción de la primera medición, que buscaba conocer el comportamiento del tiempo de reverberación en el centro de la sala.

ESQUEMA 3.8.- Primer punto de medición para la obtención de T60



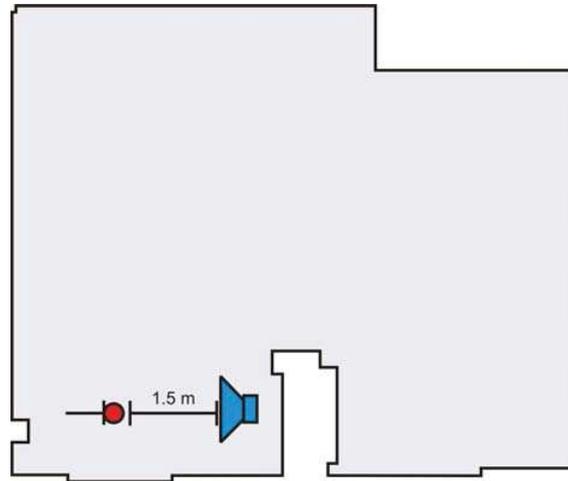
FUENTE: *Elaboración propia*

ESQUEMA 3.9.- Segundo punto de medición para la obtención de T60



FUENTE: *Elaboración propia*

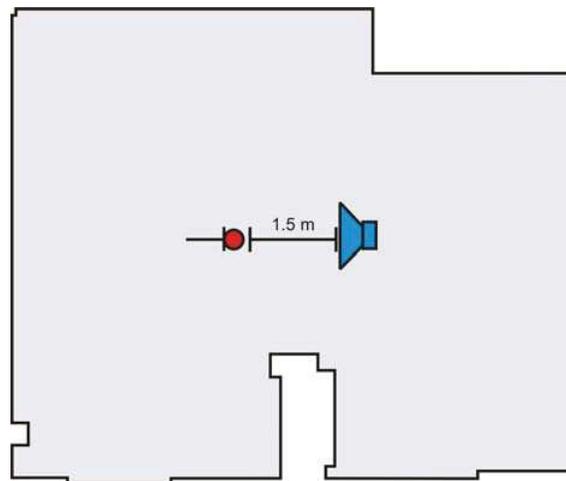
ESQUEMA 3.10.- *Tercer punto de medición para la obtención de T60*



FUENTE: *Elaboración propia*

La medición de la Respuesta de Frecuencia del recinto, así como de los Modos Normales de Vibración, fue realizada con la misma ubicación, en el centro de la sala como indica la figura 3.12.

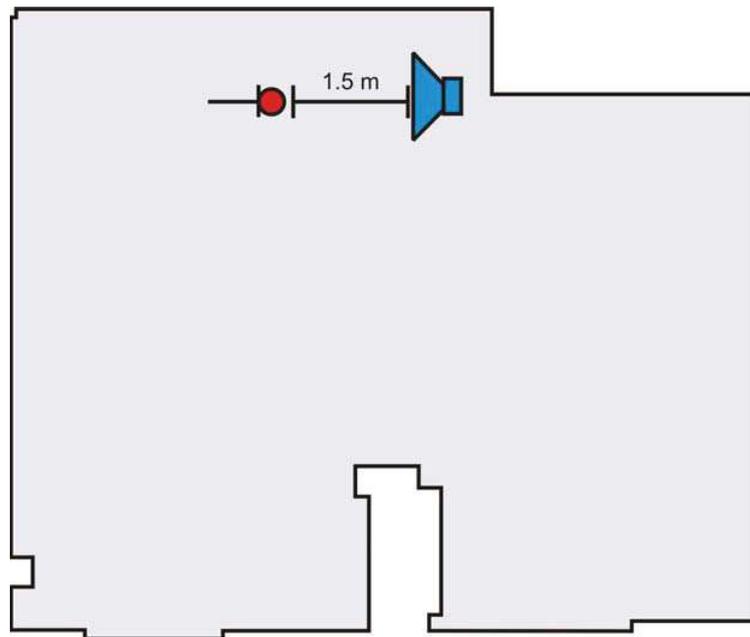
ESQUEMA 3.11.- *Primer punto de medición para la obtención de Respuesta de Frecuencia y Modos Normales de Vibración*



FUENTE: *Elaboración propia*

Para la medición de los Modos Normales de Vibración, se agregó una posición más, se eligió la pared que contiene la puerta falsa.

ESQUEMA 3.12.- Segundo punto de medición para la obtención de Respuesta de Frecuencia y Modos Normales de Vibración



FUENTE: *Elaboración propia*

3.4.- Datos obtenidos

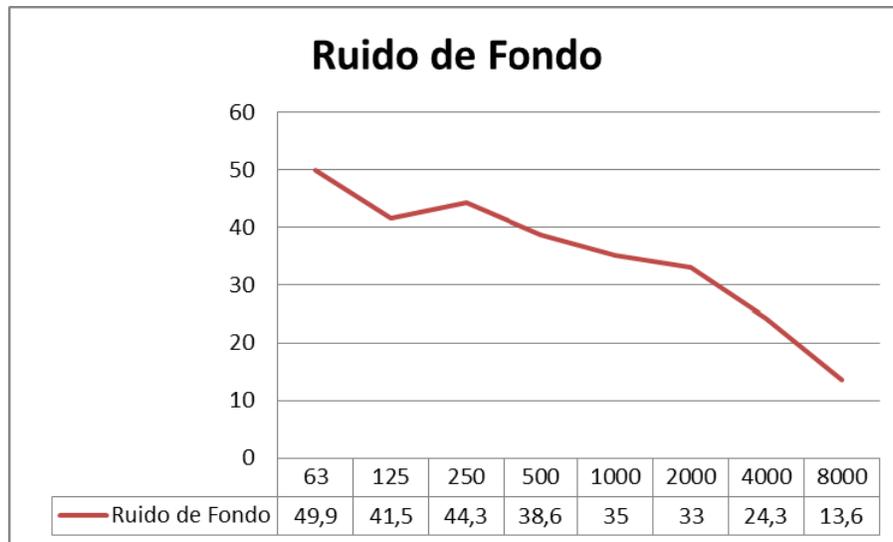
3.4.1.- Medición de Ruido de Fondo

Los datos obtenidos en este punto fueron capturados por un sonómetro marca 01 dB, modelo Solo 40207 y de clase 2.

Se ubicó el sonómetro a 1.5 metros de altura con respecto al suelo, y a 1.5 metros de distancia de las particiones que presentaban menor aislamiento como se indicó en el apartado 3.3, en el cual las gráficas (3.6-3.7-3.8) describen las ubicaciones del sonómetro.

Se presentaron los siguientes resultados de la figura 3.1.

FIGURA 3.1.- Resultados de la medición de Ruido de Fondo



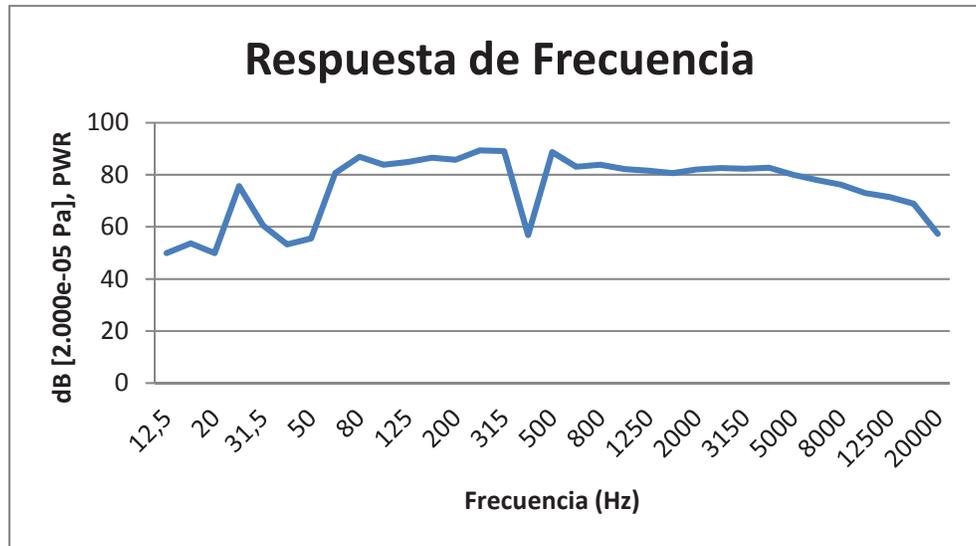
FUENTE: *Elaboración propia*

La toma de mediciones fue realizada en horario de visitas del hospital, la misma que es a partir de las 9 am hasta las 5 pm, en el cual el ruido de fondo se puede considerar como “Estable”; las mediciones fueron realizadas a las 3 pm, donde el ruido de fondo sube de nivel, debido al nivel aportado por el tráfico que circula en la Avenida Maldonado y a la circulación del personal del Hospital (Docentes, Visitantes). Por otro lado, se evaluaron auditivamente otros horarios en la mañana y en la noche, pero, se resolvió únicamente trabajar con el horario escogido pues coincide con el de las reuniones que se realizan en el auditorio y además por el horario de préstamo del equipo por parte de la universidad. Los resultados obtenidos se compararán con la curva NC-30.

3.4.2.- Medición de Respuesta de Frecuencia

La respuesta de frecuencia del recinto fue realizada tomando en cuenta una fuente que emita Ruido Rosa, a 94 dB, se midió durante 10 minutos mediante sonómetro, obteniendo los siguientes datos:

FIGURA 3.2.- Resultados de la medición de Respuesta de Frecuencia



FUENTE: Elaboración propia

Como se puede observar, la respuesta de frecuencia del recinto se comporta aproximadamente estable a partir de los 800 Hz en adelante, dicha estabilidad puede ser comparada a partir de los 80 hasta los 315 Hz. Se tiene además una caída de aproximadamente 20 dB por los 50 Hz, y otra caída similar por los 400 Hz.

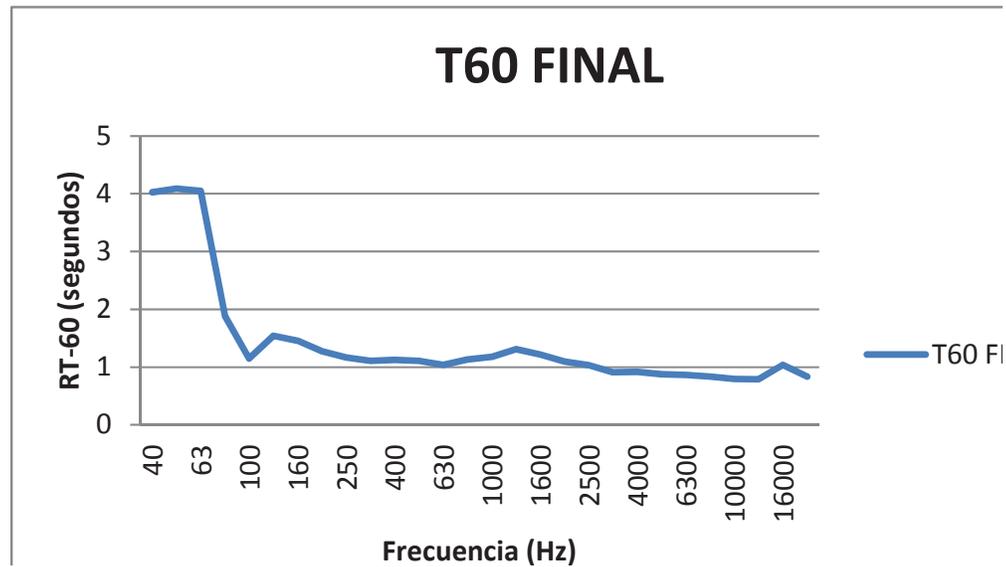
3.4.3.- Medición de Tiempo de Reverberación

La normativa en la cual se basó la medición del T60 es la ISO 3382. Para la toma de datos del T60 se utilizó SpectraPlus 5.0. Es necesario aclarar que este programa no es normado, sin embargo, se lo tomó como referencia, debido a que contiene una utilidad que permite evaluar por medio de ruido rosa, y entrega los resultados con un ancho de banda que abarca 80 a 20k por tercio de octava.

Se eligieron tres puntos de medición, en cada uno se realizaron tres mediciones. Se hizo esto en busca de obtener la media aritmética, así se pudo lograr una medida más

certera de lo que está pasando en el recinto. De esta forma se han obtenido los siguientes resultados:

FIGURA 3.3.- Resultados de la medición de Tiempo de Reverberación



FUENTE: Elaboración propia

Según Antoni Carrión, para salas de conferencia y aulas, el RTmid recomendado se encuentra dentro de un rango de 0.7 a 1 segundos.

3.5.- Descripción de los procedimientos realizados

Todas las mediciones realizadas se sujetaron a los horarios en que la administración del hospital veía conveniente. Es delicado realizar mediciones en lugares que requieren de descanso para personas como es el caso de un hospital, sin embargo, la administración prestó gran ayuda para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Como primer paso se tuvo que presentar una solicitud, que explique claramente todos los procesos que se llevarían a cabo en el recinto, presentando además una carta de la Universidad de las Américas al hospital. Como respuesta la administración entregó una autorización escrita, sin horarios planificados, que se debía presentar cada vez que se requería de acceso al lugar. Las mediciones debían ser coordinadas con la

persona encargada por lo menos dos días antes de realizar la medición, este punto dependió de la disponibilidad del préstamo de los equipos por parte de la universidad.

Se realizó en primer lugar una inspección visual, que permitió determinar los puntos en los cuales se realizarían las mediciones dependiendo de la geometría del recinto y las estructuras que presentarían menor grado de aislamiento. Además se inspeccionaron los alrededores del recinto en busca de fuentes que afecten al recinto incrementando el ruido de fondo, en este punto, se encontró a la maquinaria presente en la terraza del edificio. La inspección visual permitió además determinar la cantidad de extensiones eléctricas necesarias y el cableado para la microfonía.

Siguiendo este procedimiento se logró recolectar los datos en 3 días, los cuales no fueron seguidos, se tuvo que saltar entre semanas para realizar las mediciones.

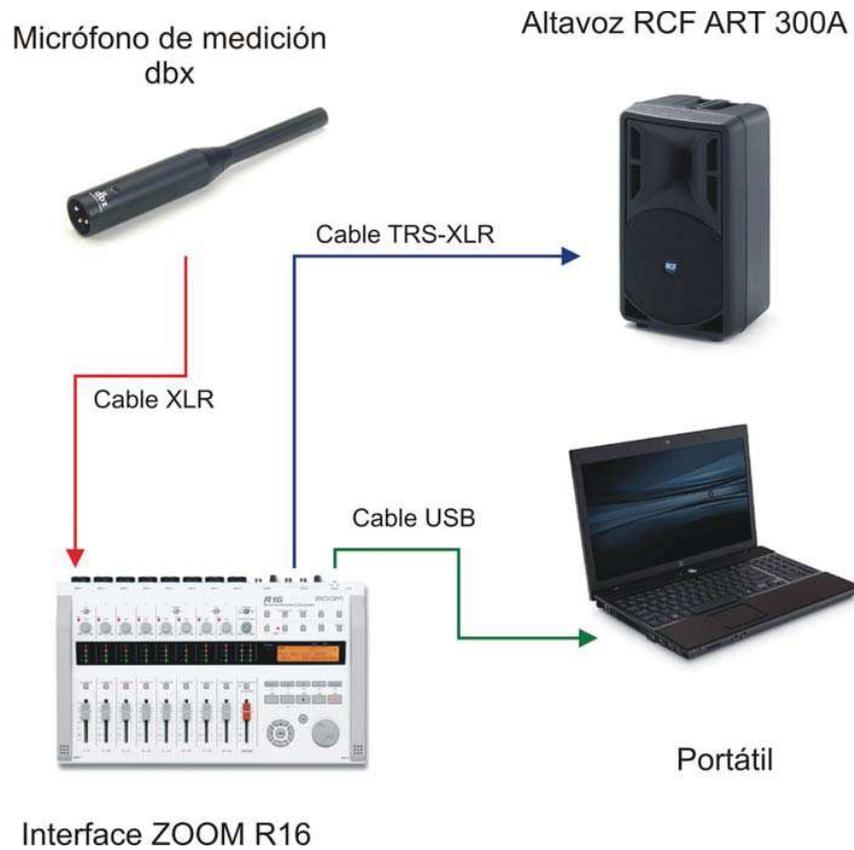
3.6.- Equipamiento necesario para las mediciones

- Altavoz RCF Art 300 A
- Altavoz Mackie SRM 450
- Micrófono de medición dBx RTA-M
- Sonómetro 01 dB modelo Solo 40207 clase 2
- Interface Zoom R16
- Cable USB 2.0
- 2 cables XLR (8 metros cada uno)
- 4 extensiones eléctricas
- Stand para altavoz
- Stand para micrófono
- Stand para sonómetro

3.7.- Diagramas de bloques de conexiones

Para todas las mediciones se siguió el mismo esquema, sin embargo las posiciones en las cuales fueron ubicados los altavoces, micrófono y sonómetro se encuentran detallados en el apartado 3.3.

ESQUEMA 3.13.- Esquema de Conexiones del equipo de medición



FUENTE: Elaboración propia

CAPITULO IV

4.- Análisis de datos y propuestas de solución

4.1.- Geometría del Auditorio

El cálculo de dimensiones, superficies, volúmenes se encuentran detallados en el Anexo "Cálculo de Superficies", donde se pueden ver todos los pasos que se siguieron. Además se pueden encontrar gráficos descriptivos.

4.1.1.- Resumen de las dimensiones del Auditorio

TABLA 4.1- Geometría del Auditorio del Hospital San Bartolo

CARACTERÍSTICAS DE LA GEOMETRÍA DEL AUDITORIO	
Largo	8.73 m
Ancho	7.25 m
Alto	2.55 m
Superficie Techo/Suelo	63.29 m ²
Superficie Ventanas	5.69 m ²
Superficie Puertas	2.40 m ²
Superficie Paredes	71.63 m ²
Superficie Total del Recinto	208.07 m ²
Volumen Total del Recinto	148.82 m ³

4.2.- Diseño del Aislamiento Acústico

En el campo del Aislamiento Acústico, se busca lograr atenuar el sonido externo, de manera que no interfiera con el mensaje hablado (Inteligibilidad de la palabra). Se debe tomar en cuenta que las particiones que presenta la estructura en estudio contienen ventanas y puertas, por ello el cálculo de parámetros como el TL deben considerar la atenuación proporcionada por cada tipo de estructura (pared, puerta o ventana), obteniendo así la atenuación total brindada por cada partición.

El ruido de fondo que presentaba el local, consistía el ruido aportado por el tráfico urbano, mas no por fuentes que se encuentren dentro del hospital, es así que se tomó para tratamiento a la partición que da hacia la calle, ya que se la puede considerar como la partición que presenta menos pérdida de transmisión al poseer dos ventanas.

4.2.1.- TL de la partición

TABLA 4.2- TL de la partición actual

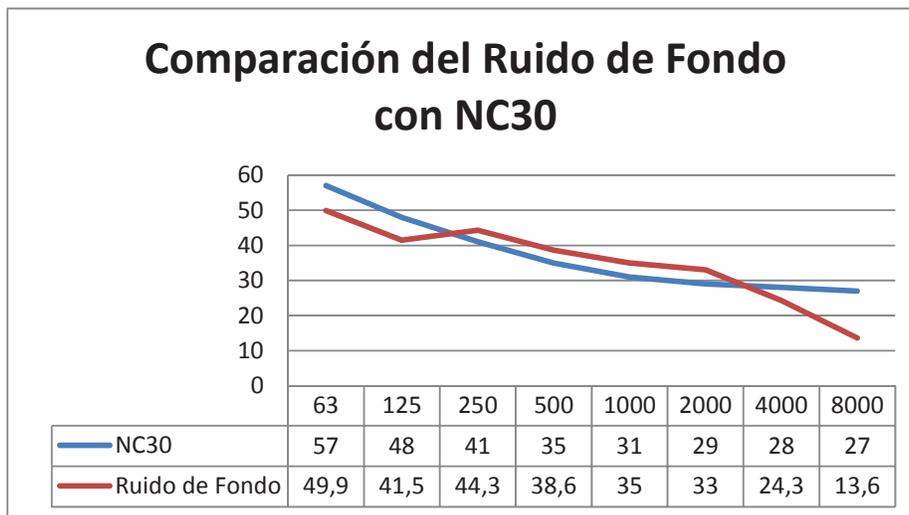
Partición Completa Actual			
Frecuencia	TL efectivo	Coficiente de transmisión efectivo	Superficie
125	30,19178719	0,0009568	22,2615
250	33,72844764	0,000423794	
500	36,541806	0,000221727	
1000	39,79974493	0,000104719	
2000	35,90852737	0,000256535	
4000	42,86148786	5,1743E-05	

La partición que se estudiará presenta los datos que se encuentran en la Tabla 4.2, no poseen tratamiento acústico alguno, y se consideró el TL que brindan las ventanas de vidrio y el bloque de hormigón.

4.2.2.- Comparación entre Ruido de Fondo y Curvas NC

En el diseño del aislamiento acústico se considerará la medición realizada de Ruido de Fondo (datos en el apartado 3.4.1) del recinto, comparándolas con las curvas NC. Según Leo Beranek, en el diseño de salas de conferencia, la curva NC recomendada puede variar entre la NC20 o NC30.

FIGURA 4.1.- Comparación del Ruido de Fondo con Curvas NC



FUENTE: *Elaboración propia*

Como se puede apreciar en la gráfica, los problemas dentro del aislamiento acústico se encuentran situados en la banda comprendida entre los 250 Hz hasta los 2 kHz aproximadamente. En cierto punto se puede considerar como ventajosa la situación actual del auditorio, ya que el aislamiento en bajas frecuencias resulta más problemático que para las altas. Por otro lado se debe tener en cuenta que la mayor afección por parte del ruido de fondo coincide con la banda de frecuencias en las cuales se centra la inteligibilidad de la palabra (1 kHz a 4 kHz).

Así, la diferencia de Nivel de Presión Sonora que existe en las bandas de frecuencias donde la curva del Ruido de Fondo actual del recinto supera a la curva NC30, se describen en la tabla 4.3.

TABLA 4.3- Diferencia de NPS entre el Ruido de Fondo y Curva NC

Frecuencia (Hz)	ΔNPS (dB)
250	3.3
500	3.6
1000	4
2000	4

Otro punto positivo es que la diferencia que existe entre las dos curvas es de máximo 5.6 dB, con lo cual se pueden optar por medidas de solución económicas, y, que no ocupen tanto espacio dentro del local.

4.2.3.- Propuesta de solución

4.2.3.1.- Descripción del material utilizado

Para la selección del material que va a ser utilizado para aislamiento acústico, se tomó en cuenta los niveles de presión sonora en la banda de octava correspondiente en los cuales el Ruido de Fondo sobre pasa la Curva NC-30, estos valores requeridos se encuentran detallados en la tabla 4.3.

Para lograr dicha atenuación, hay que considerar que se de realizar una suma logarítmica de la pérdida de transmisión de los materiales, es así por ejemplo, que al momento de realizar el diseño de revestimiento de la superficie de bloque de hormigón con fibra de vidrio, los TL de ambos materiales tuvieron que ser sumados logarítmicamente, al igual que las ventanas, y posteriormente obtener el TL efectivo que brinda la partición completa. Todos los cálculos realizados para la obtención del TL efectivo están detallados en el anexo "TL y Coeficientes de Transmisión de las particiones del recinto".

Los materiales que se tomaron en cuenta para revestir el recinto, son la Fibra de Vidrio para el caso de la mampostería, sin embargo, como la partición se encuentra compuesta por dos ventanas, se propone usar otro vidrio adicional.

Sin lugar a duda, se puede suponer que esta medida no sería factible, ya que las ventanas se usan como ventilación, y surge la necesidad de abrirlas, pero en este caso las ventanas únicamente presentan una abertura de 20 cm a lo ancho.

En ambos casos, tanto como para la mampostería y las ventanas, se duplicó el material escogido, obteniendo así un incremento de la pérdida por transmisión, permitiendo alcanzar el nivel de aislamiento requerido para cumplir con la Curva NC 30.

4.2.3.2.- TL de la Fibra de Vidrio

TABLA 4.4- TL de la Fibra de Vidrio

Fibra de Vidrio			
Frecuencia	TL	Coefficiente de transmisión	Superficie
125	52	6,30957E-06	16,5715
250	57	1,99526E-06	
500	61	7,94328E-07	
1000	70	0,0000001	
2000	78	1,58489E-08	
4000	82	6,30957E-09	

4.2.3.3.- TL de la Ventana adicional

TABLA 4.5- TL de las ventanas adicionales

Ventanas Adicionales			
Frecuencia	TL	Coefficiente de transmisión	Superficie
125	25	0,003162278	5,69
250	28	0,001584893	
500	31	0,000794328	
1000	34	0,000398107	
2000	30	0,001	
4000	37	0,000199526	

4.2.3.4.- Diferencia entre TL actual, y TL con Fibra de vidrio de la partición

TABLA 4.6- Diferencia entre TL actual, y TL con propuesta de tratamiento

Diferencia entre TL actual, y TL con tratamiento			
Frecuencia	TL Actual	TL con Tratamiento	Diferencia
125	30,2	35,65	5,45
250	33,7	38,67	4,97
500	36,5	41,67	5,17
1000	39,8	44,69	4,89
2000	35,9	40,69	4,79
4000	42,9	47,69	4,79

Al comparar la diferencia que resulta en la tabla 4.6 con los valores de la tabla 4.3, se puede observar que el diseño propuesto cumple con el grado de atenuación requerido, ya que el TL incrementa alrededor de 4.5 a 5 dB, y el ruido de fondo sobre pasaba a la curva NC con máximo 4 dB.

4.3.- Diseño del Acondicionamiento Acústico

Una vez que se ha tratado a la obra gruesa del recinto, se va a tratar el revestimiento interno que va a tener el auditorio, dependiendo de la selección de los materiales que sean utilizados en función de obtener un grado óptimo de inteligibilidad de la palabra, estudiando el efecto que tienen parámetros como el Tiempo de Reverberación en el recinto.

4.3.1.- Cálculo teórico del T60

Por un lado se realizó la medición del T60 mediante software, pero es importante también conocer los resultados teóricos de la obtención del T60, calculando las debidas absorciones que proporcionan los materiales con los cuales están elaboradas las particiones del auditorio. A continuación se presentan los resultados obtenidos en la tabla 4.7.

TABLA 4.7- Absorciones de las particiones, y T60 teórico

ELEMENTO	A 125 Hz	A 250 Hz	A 500 Hz	A 1000 Hz	A 2000 Hz	A 4000 Hz
Paredes	1,4326	1,4326	4,2978	5,7304	2,8652	3,5815
Techo	1,2658	1,2658	3,7974	5,0632	2,5316	3,1645
Suelo	2,5316	2,5316	4,4303	3,7974	3,7974	4,4303
Puerta 2	0,456	0,384	0,312	0,24	0,144	0,144
Ventana 1	0,6102	0,2034	0,1356	0,1017	0,0678	0,0678
Ventana 2	0,6102	0,2034	0,1356	0,1017	0,0678	0,0678
Puerta 1	0,24	0,192	0,12	0,072	0,072	0,072
ABSORCIÓN TOTAL	7,1464	6,2128	13,2287	15,1064	9,5458	11,5279
RT60	4,6875728	5,3919762	2,53231761	2,2175548	3,50932033	2,90592996

Como se puede observar, los resultados no concuerdan con los obtenidos mediante el programa SpectraPlus. La explicación de este fenómeno radica en que al momento de realizar la medición, la puerta elaborada de Gypsum no se encontraba sellando a la

partición, presentaba aperturas de 3 cm alrededor de ella. Además, como se explicó antes, el recinto no se encontraba completamente vacío, ya que dentro de él se encontraban 2 camillas de enfermería, 1 escritorio, 3 sillas y 2 personas. A la absorción que presentan estos elementos se denominó como “Absorción Restante”, por motivos de cálculo.

El T60 obtenido teóricamente sirvió para conocer el grado de absorción que aportaron los elementos que se encontraban en el auditorio al momento de la medición. Obteniendo los resultados expuestos en la tabla 4.8.

TABLA 4.8- T60 medido y Absorción restante de los elementos del recinto

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
RT60 MEDIDO	1,53	1,168	1,106	1,176	1,096	0,915
Absorción Total (T60 medido)	21,961242	28,767723	30,3803797	28,572024	30,657573	36,7220765
Absorción Restante	14,814842	22,554923	17,1516797	13,465624	21,111773	25,1941765

Sumando la Absorción Restante, a las absorciones de las superficies del recinto, se obtiene el T60 que se tomó en la medición mediante software.

4.3.1.1.- Cálculo del RTmid del recinto

Existen métodos tradicionales para la obtención del RTmid de un recinto, los cuales contemplan múltiples cálculos, como por ejemplo el procedimiento realizado por Antoni Carrión, en el capítulo 3 del libro Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Sin embargo, para este trabajo la obtención del T60 se realizó mediante software (SpectraPlus), obteniéndose los siguientes resultados para las bandas de 500 Hz y 1 kHz requeridas para el cálculo del RTmid.

Es importante recordar, que el RTmid debe ser medido considerando al recinto en un grado alto de ocupación, por ello se debe calcular la absorción de las personas sentadas en las sillas. Según los directivos del hospital, el auditorio no será ocupado

por la misma cantidad de personas, variando su número aproximadamente entre 15 a 20 personas, al igual que el número de sillas obviamente. Por este motivo se realizó el cálculo de la superficie que ocuparán 15 personas. Esto es otra causa para no poder proponer un modelo de sillas para el auditorio, ya que el hospital posee de sillas de plástico que serán ocupadas de acuerdo al número de personas que ocupen el recinto.

TABLA 4.9- *T60 del recinto ocupado*

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Absorción personas	5,06	8,43	11,81	11,81	12,8	11,81
Absorción total con recinto ocupado	27,021242	37,197723	42,1903797	40,382024	43,457573	48,5320765
RT60 recinto ocupado	1,2397384	0,9005731	0,79400257	0,829559	0,77085	0,69025009

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

TABLA 4.10- *T60 para 500 Hz y 1kHz*

Frecuencia (Hz)	T60 (segundos)
500	0.79
1k	0.8

Reemplazando los valores en la fórmula:

$$RT_{mid} = \frac{RT(500Hz) + RT(1kHz)}{2}$$

$$RT_{mid} = \frac{0.79 + 0.8}{2}$$

$$RT_{mid} = 0.8s$$

Según Antoni Carrión, se puede considerar como aconsejable un RTmid de 0.7 a 0.8 segundos para recintos con volúmenes de entre 100 a 200 m³. Considerando que el recinto en estudio cuenta con un volumen de 148.82m³, se podría tomar como recomendable un valor de 0.8 segundos para el RTmid.

Desde este punto de vista, el recinto cumple con un RTmid de 0.8 segundos, por lo tanto no se considera como un problema.

4.3.1.2.- Cálculo de la Inteligibilidad de la palabra

La inteligibilidad de la palabra en este proyecto, va a ser calculada por medio del cálculo del %AICons, para ello, se debe tomar como punto de partida el cálculo de la Distancia Crítica (D_c), así, se podrá analizar la distancia “r” entre el emisor y el receptor, permitiendo escoger la fórmula correspondiente para el cálculo del %AICons.

$$\%AICons = \frac{200 \cdot r^2 \cdot RT^2}{VQ}, \quad \text{con}(r \leq 3.16D_c)$$

ó

$$\%AICons = 9 \cdot RT, \quad \text{con}(r > 3.16D_c)$$

Con:

r: distancia entre emisor y receptor (m)

RT: T60 de la sala (s)

V: volumen del recinto (m³)

D_c: distancia crítica

Q: factor de directividad de la fuente (2, para el caso de la voz humana)

R: constante de la sala (m²)

Considerando:

$$D_c = 0.14\sqrt{QR}$$

$$R = \frac{S_{tot}\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

Donde:

S_{tot} : superficie total de la sala (m^2)

$\bar{\alpha}$: coeficiente medio de absorción de la sala

Entonces:

$$Q = \frac{180^\circ}{\arcsen\left(\sen\left(\frac{A}{2}\right) \cdot \sen\left(\frac{B}{2}\right)\right)} = 2$$

$$\bar{\alpha}_{2kHz} = \frac{A_{total}}{S_{total}}$$

$$\bar{\alpha}_{2kHz} = \frac{43.45}{208.07}$$

$$\bar{\alpha}_{2kHz} = 0.20$$

$$R = \frac{S_{tot}\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

$$R = \frac{208.7 \times 0.20}{1 - 0.20}$$

$$R = 52.17m^2$$

Reemplazando los valores:

$$D_c = 0.14\sqrt{QR}$$

$$D_c = 0.14 \times \sqrt{2 \times 52.17}$$

$$D_c = 0.14 \times 10.21$$

$$D_c = 1.42m$$

Se escogerán 8 puntos para realizar el análisis del %AICons, cuya ubicación variará dentro del recinto, tomando en cuenta 4 posiciones menores al punto crítico, y 4 mayores.

TABLA 4.11- Puntos de evaluación de % AICons

Ubicación (m)	T60 (s)	Q	Volumen (m3)	%AICons
1	0,8	2	148,82	0,43004972
1,3	0,8	2	148,82	0,72678403
0,5	0,8	2	148,82	0,10751243
1,1	0,8	2	148,82	0,52036017
2	0,8	2	148,82	7,2
4	0,8	2	148,82	7,2
3	0,8	2	148,82	7,2
2,8	0,8	2	148,82	7,2

Antoni Carrión, considera valores de hasta 1.4% como excelente, por lo tanto la inteligibilidad de la palabra para posiciones menores a la distancia crítica en el auditorio se valoraría subjetivamente como excelente. Por otro lado, valores de hasta 11.4% se considera como aceptable, lo cual se puede considerar como un problema pero que no representa un alto grado de afectación a la inteligibilidad de la palabra para distancias superiores a la distancia crítica.

Pese a que las condiciones del Auditorio del Hospital San Bartolo son aceptables y favorecen a la inteligibilidad de la palabra, se puede optimizar el control en el Tiempo de Reverberación

4.4.- Presupuesto

Se buscó en el país a los distribuidores con los cuales se puede contactar fácilmente. La fibra de vidrio se consiguió en PLÁSTICOS REFORZADOS ECUATORIANOS, su planta se encuentra ubicada en el sector de Tumbaco y son especialistas en la elaboración de estructuras a base de fibra de vidrio, sin embargo, se pudo conseguir el material en planchas, lo cual facilita la instalación en las paredes del auditorio. El cálculo para la obtención del presupuesto se encuentra en el Anexo CALCULO DE PRESUPUESTO.

En el caso de las ventanas se contactó con VIDRIERIAS UNIDAS, en la sucursal ubicada en la Ciudadela Atahualpa.

Se requieren 3464 dólares para poder realizar el proyecto, incluyendo mano de obra, transporte de material.

5.- Conclusiones y Recomendaciones

5.1.- Conclusiones

La falta de conocimiento acerca de la importancia de la acústica en recintos, puede generar múltiples problemas, que en casos extremos imposibilitan diseñar una solución que sea efectiva al cien por ciento, sin embargo, actualmente se ha comenzado a prestar más atención en este aspecto. A pesar de esto, muchos locales presentan características aceptables, como es el caso del Auditorio en cuestión, ya que al comparar las mediciones con las condiciones óptimas, no presentaron gran diferencia.

El diseño de aislamiento acústico mostró cierta complejidad, puesto que al momento de seleccionar los materiales aparentemente presentan índices de atenuación sonora elevados, cuestión que en casos tiende a presentar confusión, ya que al momento que se adhiere una superficie a otra, la transmisión sonora se suma logarítmicamente, incrementando el TL en alrededor de 3 de dB. Las evaluaciones visuales y auditivas, permiten encontrar las particiones que presentan menor aislamiento, ya sea por la ubicación con respecto a la fuente o por los materiales que se encuentran conformando dicha estructura.

El acondicionamiento acústico no presentó mayores problemas, ya que los valores medidos se encontraban dentro de un rango aceptable de acuerdo con la bibliografía consultada y debido a que la capacidad del recinto no se ve limitada, es decir, la cantidad de público puede variar en menos o en más, hace muy difícil presentar un tratamiento que sea totalmente efectivo, pero al menos se puede determinar que no existirán problemas de inteligibilidad de la palabra que es lo más importante, y ha sido el eje de este proyecto.

La respuesta de frecuencia del recinto presenta condiciones favorables que aportan positivamente a la inteligibilidad de la palabra, ya que a partir de la frecuencia de coincidencia se puede observar que se mantiene estable. Para frecuencias de 800 Hz hasta 4 kHz, la respuesta de frecuencia no varía más de 3 dB, se observa entonces el aporte de la sala a la comprensión del mensaje hablado.

El presupuesto que se obtuvo puede ser considerado como una medida de solución relativamente económica, en relación a su efectividad y el aporte brindado. Además que son materiales que pueden ser fácilmente encontrados en nuestro medio, buscando inclusive lugares donde su costo sea menor. Una gran limitante es que los fabricantes y distribuidores de nuestro medio carecen de conocimientos como coeficientes de absorción, pérdida de transmisión, entre otros, por ello se buscó seleccionar los materiales de acuerdo en cierto punto a la mayor cantidad de información que se pudo encontrar de cada elemento utilizado en la propuesta.

Conforme se sigan generando trabajos relacionados a este proyecto, más personas se verán interesadas en buscar soluciones técnicas a problemas relacionados con la acústica.

5.2.- Recomendaciones

A pesar de que se salga un poco del tema, es de gran importancia generar una evaluación del ruido de fondo en las habitaciones del Hospital, ya que los problemas que se encontraron al comparar con las curvas NC no mostraban dificultades tan graves, sin embargo, para un Hospital la curva NC es menor, lo cual hace necesario que se preste atención a este aspecto para poder garantizar un mejor confort a los pacientes del hospital.

Aparentemente, el precio de la obra es elevado, pero se debe considerar la eficacia del diseño, además de conservar la estética del local. Sin embargo, se pueden encontrar distribuidores que presenten un menor precio por los materiales, pero, se recomienda en todo caso consultar las características, para poder realizar una comparación de materiales. El material propuesto es de gran ayuda también desde el punto de vista estético, ya que su superficie puede ser de cualquier color.

BIBLIOGRAFÍA

BERANEK, Leo, "Acoustics", 1969

CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos", Los Autores, Primera Edición, 1998

HARRIS, Cryril, "Manual de medidas acústicas y control de ruido", McGraw-Hill, Tercera Edición, 1995.

MIYARA, Federico, "Acústica y Sistemas de Sonido", Fundación Decibel, Cuarta Edición, 2004.

RECUERO, Manuel, "Acústica arquitectónica", Segunda Edición, 1993.

BRADLEY, J.S, "Using ISO 3382 measures, and their extensions, to evaluate acoustical conditions in concert halls", <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/jrc/doc/pubs/nrcc46097/nrcc46097.pdf> , 2005.

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, INSTITUTO DE ACÚSTICA, "Medición de aislación sonora en edificios", <http://html.rincondelvago.com/medicion-de-aislacion-sonora-en-edificios.html>, 1998.

LP ESTUDIOS, "Curvas NC. Evaluación del ruido de fondo en una sala", <http://www.estudiodegrabacion.eu/2010/05/curvas-nc-evaluacion-del-ruido-de-fondo-en-una-sala/>, 2010.

DICCIONARIO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN, "Definición de sonido reflejado y conceptos relacionados", <http://www.parro.com.ar/definicion-de-sonido+reflejado>, 2011.

DUIOPS, "Ruido Blanco", <http://www.duiops.net/hifi/enciclopedia/ruido-blanco.htm>, 2007.

DUIOPS, "Ruido Blanco", <http://www.duiops.net/hifi/enciclopedia/ruido-rosa.htm>, 2007.

TECNIACUSTICA, "CÁLCULO INVERSO DE LA RESISTIVIDAD AL FLUJO DE AIRE DE LANAS MINERALES", <http://digital.csic.es/bitstream/10261/8339/1/AFS003.pdf>, 2005.

ISOVER, “Aislamiento en la edificación”,
<http://www.isover.net/asesoria/manuales/industria/Acustico4.pdf>

ARQUIDE, “Condiciones Acústicas – Conceptos fundamentales”,
http://www.arquide.upct.es/fichas_profesores/web_profesores/javier_prior/Tema%205:%20Acustica/CondicionesAcusticasConceptosFundamentales.pdf.

FIBERGLASS, “Conceptos de Acústica”,
http://www.fiberglasscolombia.com/admin/assetmanager/images/73nt_acustica1.pdf,
2009.

FIBERGLASS, “Conceptos básicos de Acústica – Aislamiento del sonido transmitido por el aire”,
<http://www.fiberglasscolombia.com/admin/assetmanager/images/notas/acustica/NTArq49.pdf>

FONAC, “FONAC MATERIALES – AISLAMIENTO ACÚSTICO”,
<http://www.sonoflex.com/prod2.htm>.

PLÁSTICOS REFORZADOS ECUATORIANOS, “Fibra de Vidrio”,
http://www.infocomercial.com/buscador/redir.php?tipo=pagina&id_empresa=90801.

PEARSON, Carlos, “Manual del vidrio plano”,
http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/accion_viento/manual_vidrio_plano.pdf.

ANEXOS

ANEXO 1

CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DEL AUDITORIO

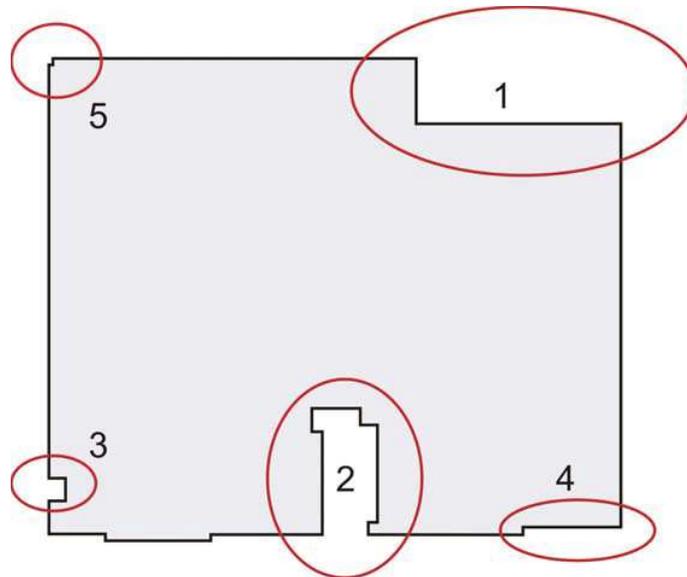
Para calcular el volumen total del Auditorio del Hospital San Bartolo, se debe tomar en cuenta que se trata de un paralelepípedo, sin embargo se deben restar los volúmenes de las paredes que sobresalen dentro del recinto. Como primer paso, se debe obtener el volumen del paralelepípedo, como si no tuviera las paredes sobresalientes.

$$V_T = \text{alto} \times \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$V_T = 2.55 \times 7.255 \times 8.73$$

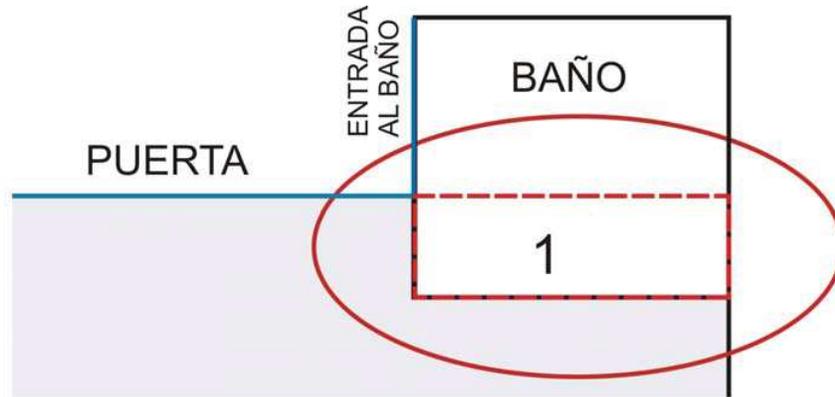
$$V_T = 161.50m^3$$

V_T constituiría el volumen total, pero en vista de la existencia de paredes internas, se debe restar su volumen, en este caso se calcularán los volúmenes de cada estructura interna que altera al total. Para lograr una mejor comprensión, se indicará desde la vista superior cuales son las estructuras internas, numerándolas para posteriormente proceder a restar sus volúmenes de V_T .



La primera estructura cuyo volumen sería el que más afecta al volumen total, es la rotulada como 1 en la gráfica, se encuentra cerca a la puerta falsa, y separa al baño del auditorio. En el apartado 3.1, se observa la situación actual del recinto, y en la

gráfica, se puede observar claramente que la puerta de acceso hacia el baño no está ubicada en la pared en cuestión, pero, esta pared forma parte del baño.

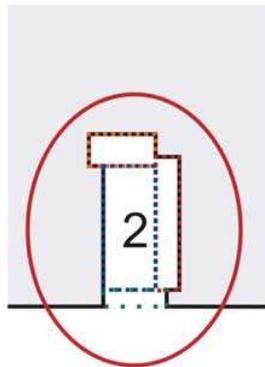


$$V_1 = \text{alto} \times \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$V_1 = 2.55 \times 1 \times 3.13$$

$$V_1 = 7.98m^3$$

Como se puede observar, el alto se mantiene para el cálculo de los volúmenes, mientras que el largo y ancho de las paredes sobresalientes van cambiando.



La segunda sección, posee una geometría más compleja para realizar el cálculo del volumen, por ello se la subdividió para poder calcular su volumen. Las líneas punteadas que se observan en la figura anterior muestran la subdivisión realizada para

poder calcular el volumen total de la segunda sección, se colocó un color a cada espacio, siendo cuatro los colores: naranja, azul, verde, rojo. Para el cálculo y por motivos prácticos se detallarán a continuación las operaciones matemáticas requeridas para encontrar el valor de cada volumen por color.

Color naranja:

$$V_{NARANJA} = \text{alto} \times \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$V_{NARANJA} = 2.55 \times 0.75 \times 0.35$$

$$V_{NARANJA} = 0.67m^3$$

Color azul:

$$V_{AZUL} = \text{alto} \times \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$V_{AZUL} = 2.55 \times 0.60 \times 1.4$$

$$V_{AZUL} = 2.142m^3$$

Color verde:

$$V_{VERDE} = \text{alto} \times \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$V_{VERDE} = 2.55 \times 0.165 \times 0.70$$

$$V_{VERDE} = 0.29m^3$$

Color rojo:

$$V_{ROJO} = \text{alto} \times \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$V_{ROJO} = 2.55 \times 0.25 \times 1.50$$

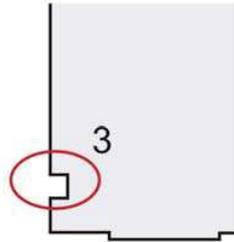
$$V_{ROJO} = 0.956m^3$$

Basta sumar el volumen obtenido para cada color, y así se obtendrá el volumen total que constituirá al de la segunda sección (V_2).

$$V_2 = V_{NARANJA} + V_{AZUL} + V_{VERDE} + V_{ROJO}$$

$$V_2 = 0.67 + 2.142 + 0.29 + 0.956$$

$$V_2 = 4.058m^3$$

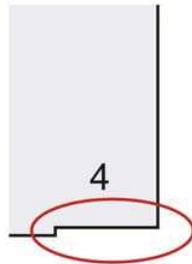


La tercera sección corresponde a una columna que sobre sale en una acerca a una esquina de la estructura, consta como uno de los volúmenes más pequeño que será restado al volumen total.

$$V_3 = \text{alto} \times \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$V_3 = 2.55 \times 0.25 \times 0.35$$

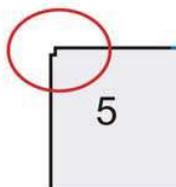
$$V_3 = 0.223m^3$$



$$V_4 = \text{alto} \times \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$V_4 = 2.55 \times 0.105 \times 1.50$$

$$V_4 = 0.40m^3$$



$$V_5 = \text{alto} \times \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$V_5 = 2.55 \times 0.05 \times 0.105$$

$$V_5 = 0.013m^3$$

Una vez que se han calculado los volúmenes de las estructuras internas, se resta del volumen V_T , y se obtendrá el volumen del recinto.

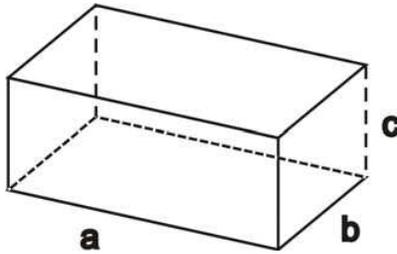
$$V_{RECINTO} = V_T - V_1 - V_2 - V_3 - V_4 - V_5$$

$$V_{RECINTO} = 161.50 - 7.98 - 4.058 - 0.223 - 0.40 - 0.013$$

$$V_{RECINTO} = 148.82m^3$$

ANEXO 2
CÁLCULO DE SUPERFICIES

A pesar de que la geometría del recinto no es la de un paralelepípedo perfecto, se puede calcular la superficie del recinto como si lo fuera.



$$S_{\text{RECINTO}} = 2ab + 2ac + 2bc$$

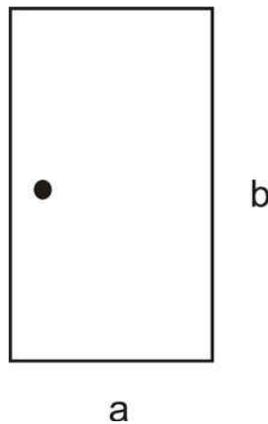
$$S_{\text{RECINTO}} = 2 \times 8.73 \times 7.25 + 2 \times 8.73 \times 2.55 + 2 \times 7.25 \times 2.55$$

$$S_{\text{RECINTO}} = 126.58 + 44.52 + 36.97$$

$$S_{\text{RECINTO}} = 208.07 \text{ m}^2$$

Superficie de las puertas

A pesar de que las dos puertas que posee el recinto son de diferente material, las dos mantienen las mismas dimensiones.



$$S_{\text{PUERTA1}} = a \times b$$

$$S_{\text{PUERTA1}} = 1.00 \times 2.40$$

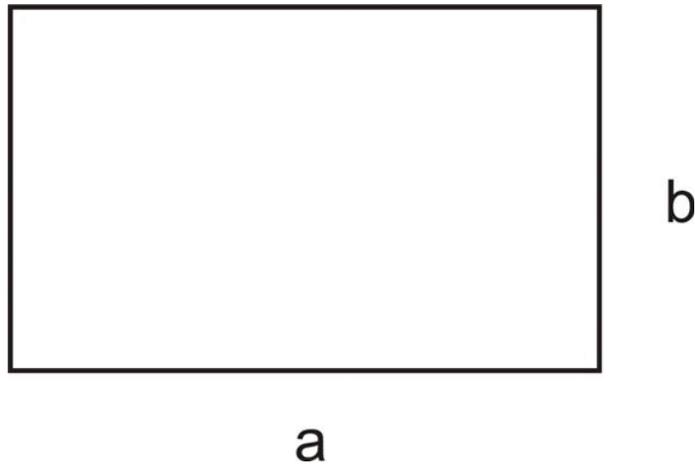
$$S_{\text{PUERTA1}} = 2.40 \text{ m}^2$$

Al mantener las puertas las mismas dimensiones, basta duplicar la superficie de la puerta 1 para obtener la superficie total de las puertas.

$$S_{PUERTAS} = 2.40 + 2.40$$

$$S_{PUERTAS} = 4.80m^2$$

Superficie de las ventanas



$$S_{VENTANA1} = a \times b$$

$$S_{VENTANA1} = 1.44 \times 2.36$$

$$S_{VENTANA1} = 3.39m^2$$

$$S_{VENTANA2} = a \times b$$

$$S_{VENTANA2} = 1.44 \times 1.60$$

$$S_{VENTANA2} = 2.30m^2$$

$$S_{VENTANAS} = 3.39 + 2.30$$

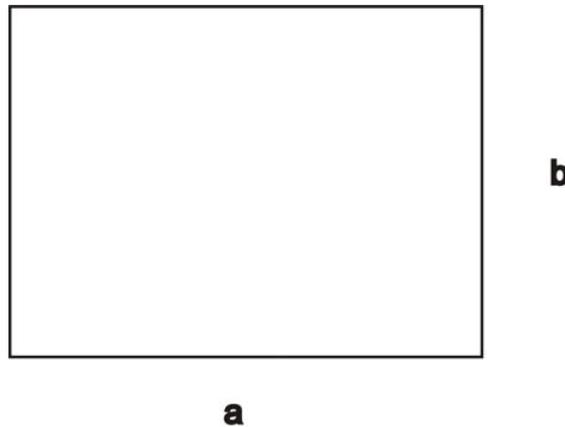
$$S_{VENTANAS} = 5.69m^2$$

Superficie de las paredes

Se podría seguir el mismo procedimiento que se realizó para el cálculo de las superficies de las puertas y ventanas, sin embargo, como en el apartado 4.1.2 se realizó el cálculo de la superficie total, se puede hallar el área de las paredes restando a la superficie total, la superficie que ocupan las puertas y las ventanas.

$$\begin{aligned} S_{PAREDES} &= S_{RECINTO} - S_{PUERTAS} - S_{VENTANAS} \\ S_{PAREDES} &= 208.07 - 4.80 - 5.69 \\ S_{PAREDES} &= 198.21m^2 \end{aligned}$$

Superficie del techo y el suelo



$$\begin{aligned} S_{TECHO/SUELO} &= a \times b \\ S_{TECHO/SUELO} &= 8.73 \times 7.25 \\ S_{TECHO/SUELO} &= 63.29m^2 \end{aligned}$$

ANEXO 3

TL Y COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE LOS MATERIALES DEL RECINTO

Pared de Bloque de Hormigón			
Frecuencia	TL	Coefficiente de transmisión (τ)	Superficie
125	37	0,000199526	16,5715
250	46	2,51189E-05	
500	46	2,51189E-05	
1000	54	3,98107E-06	
2000	59	1,25893E-06	
4000	60	0,000001	

Ventanas			
Frecuencia	TL	Coefficiente de transmisión (τ)	Superficie
125	25	0,003162278	5,69
250	28	0,001584893	
500	31	0,000794328	
1000	34	0,000398107	
2000	30	0,001	
4000	37	0,000199526	

Partición Completa Actual			
Frecuencia	TL efectivo	Coefficiente de transmisión efectivo (τ)	Superficie
125	30,19178719	0,0009568	22,2615
250	33,72844764	0,000423794	
500	36,541806	0,000221727	
1000	39,79974493	0,000104719	
2000	35,90852737	0,000256535	
4000	42,86148786	5,1743E-05	

Fibra de Vidrio			
Frecuencia	TL	Coefficiente de transmisión (τ)	Superficie
125	52	6,30957E-06	16,5715
250	57	1,99526E-06	
500	61	7,94328E-07	
1000	70	0,0000001	
2000	78	1,58489E-08	
4000	82	6,30957E-09	

Ventanas Adicionales			
Frecuencia	TL	Coefficiente de transmisión (τ)	Superficie
125	25	0,003162278	5,69
250	28	0,001584893	
500	31	0,000794328	
1000	34	0,000398107	
2000	30	0,001	
4000	37	0,000199526	

Partición Completa + Fibra + Ventanas adicionales			
Frecuencia	TL efectivo	Coefficiente de transmisión efectivo (τ)	Superficie
125	35,65852716	0,000271736	22,2615
250	38,67272207	0,000135746	
500	41,67699696	6,79673E-05	
1000	44,6909301	3,39553E-05	
2000	40,69533532	8,52053E-05	
4000	47,69503609	1,70019E-05	

ANEXO 4
RESULTADOS DE MEDICIÓN DE T60

Mediciones Primer Punto			
T60 (segundos)			
Frecuencia	Punto 1-1	Punto 1-2	Punto 1-3
40.000.000	-	-	-
50.000.000	2.133.106	4.117.823	2.633.923
63.000.000	2.541.179	2.652.472	4.006.531
80.000.000	1.409.705	2.021.814	1.372.608
100.000.000	1.057.279	1.168.571	1.168.571
125.000.000	1.836.326	2.819.410	1.502.449
160.000.000	1.595.193	1.799.229	1.279.864
200.000.000	1.187.120	1.391.156	1.279.864
250.000.000	1.279.864	1.502.449	1.354.059
315.000.000	1.298.413	1.316.961	1.224.218
400.000.000	1.224.218	1.187.120	1.020.181
500.000.000	964.535	1.725.034	1.224.218
630.000.000	1.001.633	1.112.925	927.438
800.000.000	1.020.181	1.075.828	1.001.633
1.000.000.000	1.279.864	1.205.669	1.187.120
1.250.000.000	1.539.546	1	1.743.583
1.600.000.000	1.112.925	1.112.925	1.112.925
2.000.000.000	983.084	1.094.376	1.038.730
2.500.000.000	964.535	1.038.730	1.001.633
3.150.000.000	908.889	927.438	964.535
4.000.000.000	908.889	945.986	964.535
5.000.000.000	871.791	908.889	927.438
6.300.000.000	871.791	871.791	890.341
8.000.000.000	853.243	816.145	834.694
10.000.000.000	779.048	908.889	816.145
12.500.000.000	927.438	927.438	890.341
16.000.000.000	1.279.864	1.279.864	1.252.041
20.000.000.000	1.725.034	1.780.680	1.780.680

Mediciones Segundo Punto			
T60 (segundos)			
Frecuencia	Punto 2-1	Punto 2-2	Punto 2-3
40.000.000	-	-	-
50.000.000	2.281.497	2.615.374	5.750.113
63.000.000	1.687.937	2.003.265	2.485.533
80.000.000	1.168.571	1.298.413	1.001.633
100.000.000	1.187.120	1.650.839	1.057.279
125.000.000	760.499	1.539.546	1.131.474
160.000.000	1.038.730	1.706.485	2.188.753
200.000.000	871.791	1.706.485	1.891.973
250.000.000	1.112.925	1.261.315	1.316.961
315.000.000	834.694	1.205.669	1.224.218
400.000.000	779.048	1.279.864	1.632.290
500.000.000	890.341	1.112.925	1.131.474
630.000.000	908.889	1.205.669	1.428.254
800.000.000	1.558.095	1.205.669	1.372.608
1.000.000.000	1.242.766	1.354.059	1.446.803
1.250.000.000	1.150.023	1.520.998	1.891.973
1.600.000.000	1.094.376	1.298.413	1.335.510
2.000.000.000	1.075.828	1.279.864	1.242.766
2.500.000.000	1.038.730	1.057.279	1.168.571
3.150.000.000	890.341	945.986	945.986
4.000.000.000	871.791	945.986	964.535
5.000.000.000	834.694	908.889	945.986
6.300.000.000	779.048	945.986	1.001.633
8.000.000.000	704.853	1.094.376	1.094.376
10.000.000.000	612.109	1.150.023	1.150.023
12.500.000.000	482.268	1.168.571	1.168.571
16.000.000.000	556.463	1.780.680	1.725.034
20.000.000.000	-	-	-

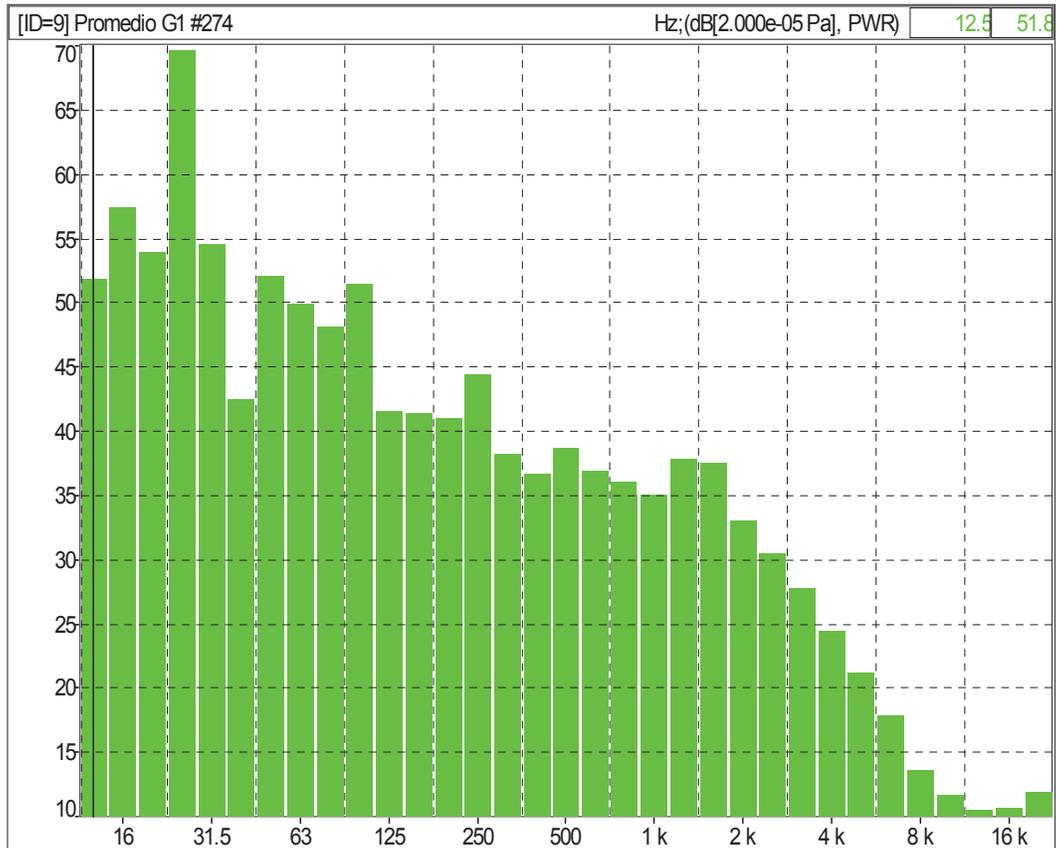
Mediciones Tercer Punto			
T60 (segundos)			
Frecuencia	Punto 3-1	Punto 3-2	Punto 3-3
40.000.000	-	-	-
50.000.000	11.147.800	0	6.121.089
63.000.000	1.873.424	8.235.646	10.980.862
80.000.000	1.799.229	3.709.751	3.190.386
100.000.000	983.084	927.438	1.150.023
125.000.000	1.316.961	1.576.644	1.372.608
160.000.000	1.261.315	1.150.023	1.075.828
200.000.000	1.001.633	1.075.828	1.094.376
250.000.000	760.499	1.057.279	871.791
315.000.000	871.791	1.112.925	871.791
400.000.000	890.341	1.279.864	853.243
500.000.000	816.145	1.298.413	797.596
630.000.000	853.243	1.075.828	834.694
800.000.000	853.243	1.205.669	908.889
1.000.000.000	853.243	1.112.925	908.889
1.250.000.000	1.112.925	1.632.290	1.205.669
1.600.000.000	1.242.766	1.483.900	1.168.571
2.000.000.000	983.084	1.168.571	1.001.633
2.500.000.000	964.535	1.075.828	964.535
3.150.000.000	853.243	871.791	871.791
4.000.000.000	871.791	890.341	871.791
5.000.000.000	816.145	853.243	816.145
6.300.000.000	816.145	834.694	779.048
8.000.000.000	686.304	741.951	686.304
10.000.000.000	575.011	630.658	556.463
12.500.000.000	482.268	575.011	463.719
16.000.000.000	463.719	612.109	389.524
20.000.000.000	537.914	760.499	463.719

Promedios por cada punto de medición - T60 (segundos)			
Frecuencia	Promedio 1	Promedio 2	Promedio 3
40.000.000	-	-	-
50.000.000	2.961.617	3.548.995	5.756.296
63.000.000	3.066.727	2.058.912	7.029.977
80.000.000	1.601.376	1.156.206	2.899.789
100.000.000	1.131.474	1.298.413	1.020.182
125.000.000	2.052.728	1.143.840	1.422.071
160.000.000	1.558.095	1.644.656	1.162.389
200.000.000	1.286.047	1.490.083	1.057.279
250.000.000	1.378.791	1.230.400	896.523
315.000.000	1.279.864	1.088.194	952.169
400.000.000	1.143.840	1.230.401	1.007.816
500.000.000	1.304.596	1.044.913	970.718
630.000.000	1.013.999	1.180.937	921.255
800.000.000	1.032.547	1.378.791	989.267
1.000.000.000	1.224.218	1.347.876	958.352
1.250.000.000	1.094.377	1.520.998	1.316.961
1.600.000.000	1.112.925	1.242.766	1.298.412
2.000.000.000	1.038.730	1.199.486	1.051.096
2.500.000.000	1.001.633	1.088.193	1.001.633
3.150.000.000	933.621	927.438	865.608
4.000.000.000	939.803	927.437	877.974
5.000.000.000	902.706	896.523	828.511
6.300.000.000	877.974	908.889	809.962
8.000.000.000	834.694	964.535	704.853
10.000.000.000	834.694	970.718	587.377
12.500.000.000	915.072	939.803	506.999
16.000.000.000	1.270.590	1.354.059	488.451
20.000.000.000	1.762.131	160.756	587.377

FRECUENCIA (Hz)	T60 FINAL (s)
40	4,025
50	4,088
63	4,051
80	1,885
100	1,15
125	1,539
160	1,455
200	1,277
250	1,168
315	1,106
400	1,127
500	1,106
630	1,038
800	1,133
1000	1,176
1250	1,31
1600	1,218
2000	1,096
2500	1,03
3150	0,908
4000	0,915
5000	0,875
6300	0,865
8000	0,834
10000	0,797
12500	0,787
16000	1,037
20000	0,836

ANEXO 5

RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RUIDO DE FONDO



Resultados Ruido de Fondo	
Frecuencia (Hz)	NPS (dB)
63	49,9
125	41,5
250	44,3
500	38,6
1000	35
2000	33
4000	24,3
8000	13,6

ANEXO 6

CÁLCULO DEL PRESUPUESTO

Fibra de Vidrio	
Precio m2	6
Precio mm espesor	6
Superficie paredes	198,21
Espesor necesario	50
Precio por superficie	1189,26
Precio por espesor	300
Precio Total	1489,26
Precio Instalación del material	446,778
Precio con mano de obra	1936,038
Ventanas	
Ventana 1,44x2,36	680
Ventana 1,44x1,60	522
Marcos	325
Precio Total Ventanas	1527
Presupuesto Total	3463,038