



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA
Y ELÉCTRICA



UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
ZACATENCO

"DISEÑO DE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN EL TEMPLO DAVID"

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTA:
LUIS ESTEBAN GONZÁLEZ DÍAZ

ASESORES:
ING. ILHUICAMINA TRINIDAD SERVÍN RIVAS
ING. JOAQUÍN CONTRERAS ESTRADA

Ciudad de México, Octubre de 2018

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA (N) DESARROLLAR C. LUIS ESTEBAN GONZALEZ DIAZ

"DISEÑO DE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN EL TEMPLO DAVID"

DISEÑAR UNA PROPUESTA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN EL TEMPLO "DAVID" PARA DISMINUIR LA TRANSMISIÓN DE RUIDO HACIA EL INTERIOR DEL SALÓN PRINCIPAL QUE AFECTA CUANDO SE LLEVAN A CABO LOS SERVICIOS RELIGIOSOS.

- ❖ MARCO TEÓRICO
- ❖ ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS DEL RECINTO
- ❖ PROPUESTA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO Y CONTROL DE VIBRACIONES

CIUDAD DE MÉXICO, A 12 DE OCTUBRE DEL 2018.

ASESORES


ING. ILHUICAMINA TRINIDAD SERVÍN RIVAS


ING. JOAQUÍN CONTRERAS ESTRADA


DR. SALVADOR RICARDO MENESES GONZÁLEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional
P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe **Luis Esteban González Díaz**, manifiesto ser autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "**Diseño de aislamiento acústico en el templo David**", en adelante "**La Tesis**" y de la cual se adjunta copia, un impreso y un cd, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **El IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; para consulta y refuerzo de futuros trabajos relacionados con el tema de "**La Tesis**" por un periodo de **5 años** contando a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **El IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **El IPN** deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "**La Tesis**".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "**La Tesis**", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "**La Tesis**", por lo que deslindo de toda responsabilidad a **El IPN** en caso de que el contenido de "**La Tesis**" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 29 de Noviembre de 2018.

Atentamente

Luis Esteban González Díaz



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Esteban González Gómez e Isabel Nieves Díaz Moreno, que desde pequeño me inculcaron los valores que hoy me representan, que a pesar de que la cuesta sea muy inclinada, siempre estuvieron detrás de mí dándome el empujón necesario para llegar a la cima. Ellos son los pilares de este castillo construido, y ahora quiero regresarles un poco de lo mucho que ellos me han brindado, cosechando éxitos y creciendo como persona, siempre humilde y solidario como ellos me lo inculcaron. Gracias por enseñarme que, para ser grande, se necesita primero ser pequeño y que cualquier proceso conlleva mucho sacrificio, noches sin dormir, días sin comer, ausentarse en reuniones y fiestas; pero gracias a todo esto hoy puedo decir que valió la pena.

A mis hermanos, que siempre creyeron en mí, que desde pequeño me cuidaron y me guiaron mientras nuestros padres trabajaban, éste triunfo también es suyo, y lo único que pido a Dios es que se motiven a realizar sus sueños, nada es fácil, y nunca es tarde para triunfar.

A mis profesores, desde que inicié este camino, hasta su conclusión, todos y cada uno de ellos, gracias por su esfuerzo, por su paciencia, por su preocupación para que siempre aprendiera algo nuevo todos los días, gracias por ser estrictos y exigentes conmigo, gracias a sus conocimientos que me compartieron me enseñaron a cómo enfrentar los retos que el mundo laboral y la vida nos pone a diario.

Quiero hacer una mención especial para Ana Cecilia García Bustos, mi novia, que me acompañó en gran parte de esta trayectoria, que cuando me sentí sólo y desesperado, me sostuvo y me motivo a seguir y alcanzar mis metas siempre con la frente en alto; gracias por el sacrificio que hiciste dándome lo poco que tenías cuando yo tuve necesidad.

Al Instituto Politécnico Nacional y a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, gracias, ahora me comprometo a dar lo mejor en cada proceso, en cada trabajo, en ser una fuente de motivación para mi familia, amistades y compañeros de trabajo; a siempre dar el extra, para que mi México sea un país más grande de lo que es.

Quiero concluir agradeciendo a mi abuelita Rebeca Moreno Salgado, que a pesar de que ya no está conmigo, sus consejos fueron fundamentales para mí, gracias por compartir un poco de tu tiempo conmigo, siempre estarás presente en todos mis triunfos como lo estás ahora, gracias por darme refugio, comida y vestido cuando mis padres no podían.

OBJETIVO	1
JUSTIFICACIÓN	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	5
1.1. DEFINICIÓN DEL SONIDO.....	6
1.1.1. <i>GENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DEL SONIDO</i>	6
1.1.2. <i>FENÓMENOS DEL SONIDO</i>	7
1.1.3. <i>PROPIEDADES DEL SONIDO</i>	8
1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE ACÚSTICA	11
1.2.1. <i>ACÚSTICA</i>	11
1.2.2. <i>ACÚSTICA ARQUITECTURAL</i>	11
1.3. NIVELES ACÚSTICOS	11
1.3.1. <i>PRESIÓN ACÚSTICA</i>	12
1.3.2. <i>NIVEL</i>	12
1.3.3 <i>NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA</i>	12
1.3.4 <i>NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA PONDERADOS</i>	13
1.4 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	14
1.4.1 <i>EL SONÓMETRO</i>	14
1.4.2 <i>EL ANALIZADOR DE ESPECTRO</i>	14
1.4.2.1 ESPECTRO ACÚSTICO	15
1.4.2.2 BANDAS DE 1/1 OCTAVA	15
1.4.2.3 BANDAS DE 1/3 DE OCTAVA	15
1.5 ABSORCIÓN ACÚSTICA	16
1.5.1 <i>COEFICIENTE DE ABSORCIÓN</i>	16
1.5.2 <i>ABSORCIÓN ACÚSTICA, A</i>	16
1.5.3 <i>MATERIALES ABSORBENTES</i>	17
1.6 AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	20
1.6.1 <i>RUIDO</i>	20
1.6.2 <i>CRITERIOS DE RUIDO</i>	20
1.6.3 <i>CURVAS RC (ROOM CRITERIA)</i>	22
1.6.4 <i>CURVAS NC (NOISE CRITERIA)</i>	23
1.6.5 <i>CURVAS NCB (NOISE CRITERIA BALANCED)</i>	24
1.6.6 <i>PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN</i>	25
1.6.7 <i>PÉRDIDA POR TRANSMISION COMPUESTA</i>	26
1.6.8 <i>INTELIGIBILIDAD</i>	26
1.7 PRINCIPIOS DE CONTROL DE VIBRACIONES.....	27
1.7.1 <i>FRECUENCIA NATURAL</i>	28
1.7.2 <i>TÉCNICAS DE CONTROL DE LA VIBRACIÓN</i>	28
1.7.3 <i>CONTROL DE LA VIBRACIÓN EN LA FUENTE</i>	28

1.7.3.1	REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS TRANSMITIDAS	29
1.7.4	CONTROL DE LA VIBRACIÓN EN LAS VÍAS DE TRANSMISIÓN.....	29
1.7.5	AISLAMIENTO DE LA VIBRACIÓN	29
1.7.6	FACTORES CONSIDERADOS EN LA SELECCIÓN DEL AISLADOR.....	31
1.7.7	PROCESO DE DISEÑO PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES.....	32
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS DEL RECINTO		34
2.1.	ANTECEDENTES	35
2.2.	MEDICIÓN DEL NIVEL DE RUIDO DENTRO DEL SALÓN PRINCIPAL DEL RECINTO	37
2.2.1.	NIVEL DE RUIDO CON BOMBA DE AGUA ENCENDIDA	38
2.2.2.	NIVEL DE RUIDO EMITIDO POR LOS SALONES DE CLASE	40
2.3.	ANÁLISIS APLICANDO EL CRITERIO DE RUIDO NC	41
2.3.1.	COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE L_{pbomba} CON CRITERIO NC-30	42
2.3.2.	COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE L_{pmc} CON CRITERIO NC-30	43
2.4.	MEDICIÓN DEL NIVEL DE RUIDO FUERA DEL SALÓN PRINCIPAL DEL RECINTO.....	45
2.4.1.	COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS FUERA DEL SALÓN PRINCIPAL CON EL CRITERIO NC - 30	47
2.5.	ABSORCIÓN TOTAL DEL RECINTO	48
2.6.	DIMENSIONES DEL RECINTO<.....	49
2.7.	CÁLCULO DE LA PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN	52
2.7.1.	PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN REQUERIDA	52
2.7.2.	PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN COMPUESTA.....	53
2.8.	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES EN LA BOMBA DE AGUA	56
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO Y CONTROL DE VIBRACIONES.....		57
3.1.	AISLAMIENTO ACÚSTICO DE VENTANAS Y PUERTA 2 DE ACCESO	58
3.1.1.	CÁLCULO DE LA PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN PROPUESTA	61
3.1.2.	NIVEL DE RUIDO ESPERADO.....	62
3.2.	CONTROL DE VIBRACIONES EN LA BOMBA DE AGUA.....	64
3.2.1.	DESARROLLO DEL DISEÑO PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES EN LA BOMBA DE AGUA	64
3.2.2.	PROPUESTA DE ELEMENTOS ELÁSTICOS PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES	66
3.3.	PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO	68
3.3.1.	MINISPLITS.....	68
3.3.2.	UBICACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO DENTRO DEL SALÓN PRINCIPAL DEL RECINTO.....	70
3.4.	COSTO DEL PROYECTO.....	73
CONCLUSIONES.....		74
ANEXOS		75
REFERENCIAS		81

OBJETIVO

Diseñar una propuesta de aislamiento acústico en el Templo "David" para disminuir la transmisión de ruido hacia el interior del salón principal que afecta cuando se llevan a cabo los servicios religiosos.

JUSTIFICACIÓN

Durante más de treinta años, el Templo David ha brindado servicio a la comunidad cristiana, en donde destaca la alabanza mediante sermones religiosos y cánticos acompañados con música de piano. Durante los servicios, se presenta un porcentaje considerable de interferencia debida al ruido provocado por la instalación de una bomba de agua y al ruido de los salones que llevan a cabo simultáneamente sus actividades, afectando también la inteligibilidad del mensaje hablado.

Debido a éste problema, se optó por realizar el estudio de las condiciones acústicas del recinto, tomando las medidas necesarias para proponer una solución que beneficie a toda la comunidad y probablemente, en un futuro, a otras congregaciones.

INTRODUCCIÓN

El estudio del sonido en los recintos involucra no sólo la consideración de las reflexiones del sonido en el volumen considerado, sino también investigaciones acerca de cómo medir el sonido en ciertas condiciones y el efecto que los diversos materiales tienen sobre la absorción y el control del sonido. Por otra parte, es de gran importancia en las aplicaciones de los conocimientos de la ingeniería acerca del comportamiento del sonido en los espacios cerrados la comprensión de las preferencias personales de los oyentes, sea que se hallen en la sala donde se produce la música, voz o que escuchen remotamente la captación de un micrófono.

En general, cualquier persona comprende la importancia de un buen diseño acústico en salas de concierto, estudios de grabación y auditorios; pero también se sabe que la gente está la mayor parte de su tiempo en el hogar, la oficina, las fábricas o el salón de clases, donde se le presta muy poca atención al ambiente acústico; siendo sinceros, no pasamos mucho tiempo en un templo religioso, por lo tanto muchas veces no se toma en cuenta este aspecto.

Para entender los tipos de sonido que se generan y algunas peculiaridades de su comportamiento hay que conocer su naturaleza física.

Los fenómenos que se producen en su interacción con otros sonidos, al pasar de un medio a otro o al encontrar obstáculos en su camino, son consecuencia de la difracción.

En un plano más práctico, ser consciente de cómo percibe el ser humano el sonido es fundamental, ya que su sensibilidad ante las distintas frecuencias e intensidades varía.

La idea que debe quedar clara es que acondicionamiento acústico y aislamiento acústico términos que se confunden habitualmente, son muy distintos entre sí.

El primero consiste en alcanzar las características acústicas requeridas para un recinto a través de un diseño adecuado del espacio y la elección correcta de los materiales que se usarán en su interior. El segundo consiste en atenuar la transmisión de ruido y las vibraciones entre distintos locales mediante el uso adecuado de materiales que logren ese fin.

En el terreno del acondicionamiento es importante saber los mecanismos que controlan las condiciones acústicas (elementos absorbentes, reflectores y difusores) así como tener un cierto conocimiento de la terminología que con más frecuencia emplean los ingenieros de los problemas que un proyecto incorrecto puede provocar: ecos, focalizaciones, coloraciones, resonancias, etc., y las líneas generales del diseño que se deben seguir, teniendo en cuenta que no existe un tipo “ideal” sino que se pueden alcanzar buenos resultados con formalizaciones muy diversas.

La distinción entre las diferentes vías de transmisión del ruido es esencial para saber cuáles medidas hay que tomar para atacar el problema. Además es imprescindible saber que no sólo se recibe el sonido por vía directa, sino que las reflexiones laterales a través de elementos adyacentes tienen una influencia fundamental en el nivel sonoro total percibido.

Dentro de los mecanismos del aislamiento aéreo, está el tradicional aislamiento por masa, pero también otros muchos más novedosos relacionados con los avances producidos en el estudio de los efectos de masa-resorte y los efectos membrana. Frente al ruido transmitido por vía sólida, la solución más eficaz es incluir un elemento elástico para desacoplar la unión rígida y, según la magnitud de las de las vibraciones o el impacto, decantaremos por materiales más o menos elásticos o amortiguadores. **[2]**

Una parte importante es la de evitar que el sonido externo interfiera con el mensaje que se quiere transmitir dentro de un recinto y, a su vez, que los sonidos emitidos dentro del recinto no trasciendan al exterior de éste. En este trabajo se plantea el estado actual acústico en que se encuentra el salón principal del recinto y de cómo mejorará con la propuesta del diseño acústico, el cuál constará de un aislamiento acústico que evitará que el ruido externo al salón principal interfiera con el mensaje durante las ceremonias religiosas.

Para llevar a cabo la propuesta de diseño acústico es necesario empezar desde conceptos básicos como: Sonido y Acústica. Así como, recordar las propiedades del sonido y sus características, esto lleva a la percepción de que si se quiere estudiar y/o desarrollar un tema de ingeniería se tiene que hablar de mediciones y unidades de medición, en el caso de Ingeniería Acústica trataremos la relación que hay entre decibel, presión acústica y nivel de presión acústica y así tener una idea clara y cuantitativa de lo que se quiere mejorar en el Templo David.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

Para sustentar la propuesta de diseño de aislamiento acústico, es primordial primeramente estudiar los conceptos básicos teóricos que nos permitirán analizar las fórmulas y criterios de ruido necesarios para desarrollar los cálculos correspondientes.

En este capítulo, se presentan las definiciones fundamentales como: ¿qué es el sonido y sus diversas propiedades?, así como también podemos encontrar términos principales de acústica arquitectural.

1.1. DEFINICIÓN DEL SONIDO

Vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva. De dicha definición se desprende que, a diferencia de la luz, el sonido no se propaga a través del vacío y, además, se asocia con el concepto de estímulo físico.

1.1.1. GENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DEL SONIDO

El elemento generador del sonido se denomina fuente sonora. Tiene lugar cuando dicha fuente entra en vibración. La vibración es transmitida en las partículas de aire adyacentes a la misma que, a su vez, la transmiten a nuevas partículas contiguas.

Las partículas no se desplazan con la perturbación, sino que simplemente oscilan alrededor de su posición de equilibrio. La manera en que la perturbación se traslada de un lugar a otro se denomina propagación de la onda sonora.

La oscilación de las partículas tiene lugar en la misma dirección que la de propagación de la onda. En este caso se habla de ondas longitudinales, en contraposición a las ondas electromagnéticas que son transversales (oscilación de la señal generadora perpendicular a la dirección de propagación de onda).

La manera más habitual de expresar cuantitativamente la magnitud de un campo sonoro es mediante la presión sonora, o fuerza que ejercen las partículas de aire por unidad de superficie. [1]

1.1.2. FENÓMENOS DEL SONIDO

Reflexión: En general, una onda sonora se reflejará siempre que haya una discontinuidad o un cambio de medio. La onda reflejada depende de la onda incidente, el ángulo de incidencia, la superficie reflectora y las impedancias características de los medios. La Ley de reflexión expresa que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Refracción: Cuando las ondas sonoras inciden en una discontinuidad o límite, una parte se refleja y el resto cruza el límite para formar ondas transmitidas. Cuando el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo crítico, todas las ondas se reflejan y nada se transmite.

La dirección de propagación de las ondas transmitidas no es la misma que la de las ondas incidentes. Las ondas transmitidas son desviadas alejándose o acercándose a la normal hacia la superficie en concordancia con las velocidades del sonido en los medios. Esta es la refracción del sonido.

Difracción: Cuando las ondas sonoras encuentran un obstáculo, se difundirán alrededor de los lados del obstáculo dando lugar a la difracción del sonido. En otras palabras, las ondas sonoras son desviadas o sus direcciones de propagación se cambian debido a los obstáculos que se encuentran en su trayectoria. Las ondas sonoras también se difractan, en vez de reflejarse, si sus longitudes de onda son comparables con las dimensiones de los objetos reflectores.

Atenuación: Es la reducción en la magnitud de su amplitud. Un ejemplo lo encontramos en la llamada Ley cuadrática inversa, la cual se cumple en condiciones de campo libre, expresando que la presión acústica se reduce a la mitad cada vez que se duplica la distancia de separación con respecto a la fuente sonora.

Absorción: Se refiere a la disipación de energía que ocurre cuando una onda sonora incide en una superficie dada. La palabra “absorción” es usada comúnmente en relación con la acción de una esponja cuando se remoja en el agua. Tal connotación no se aplica en Acústica. El agua absorbida por la esponja puede recuperarse exprimiendo la esponja.

El sonido cuando es absorbido por el material, no puede recuperarse; se vuelve pérdida de energía, convertida en calor. Una onda sonora puede perder también algo de su energía cuando se propaga a través de un medio sólido o fluido, asociándose esta pérdida también a la absorción.

Interferencia: Si se superponen ondas sonoras de igual frecuencia y amplitud, se presentan efectos de cancelación o refuerzo entre ellas. El fenómeno se describe como interferencia, es decir, el efecto resultante en cada punto del medio es la suma algebraica de los efectos de las dos ondas. Se presenta la interferencia destructiva en los puntos en

donde las ondas se encuentran en oposición de fase y la interferencia constructiva en los puntos en donde las ondas se encuentran en fase.

Pulsaciones: Éstas se producirán a partir de la interferencia de dos ondas sonoras que difieren muy poco en sus frecuencias.

Resonancia: Ocurre cuando la frecuencia con que vale la fuerza de excitación aplicada a un sistema vibrante es igual a la frecuencia natural del sistema, resultando en una amplitud de vibración relativamente grande [4]

1.1.3. PROPIEDADES DEL SONIDO

Generalmente se utilizan cuatro cualidades subjetivas para describir un sonido musical: intensidad, tono, timbre y duración. Cada uno de estos atributos depende de uno o más parámetros físicos que pueden ser medidos (propiedades del sonido). El sonido debido a que tiene el comportamiento de una onda presenta las siguientes propiedades:

Amplitud: El sonido se mueve a través del aire en forma de ondas, la amplitud es la distancia entre el punto más alto y el más bajo de una onda. La amplitud del sonido es la intensidad (lo que comúnmente se conoce como volumen). Es lo que hace que lo escuchemos en nuestros oídos más fuerte o más suave. [7]. En la fig. 1.1, se observa un ejemplo de oscilaciones con diferentes amplitudes.

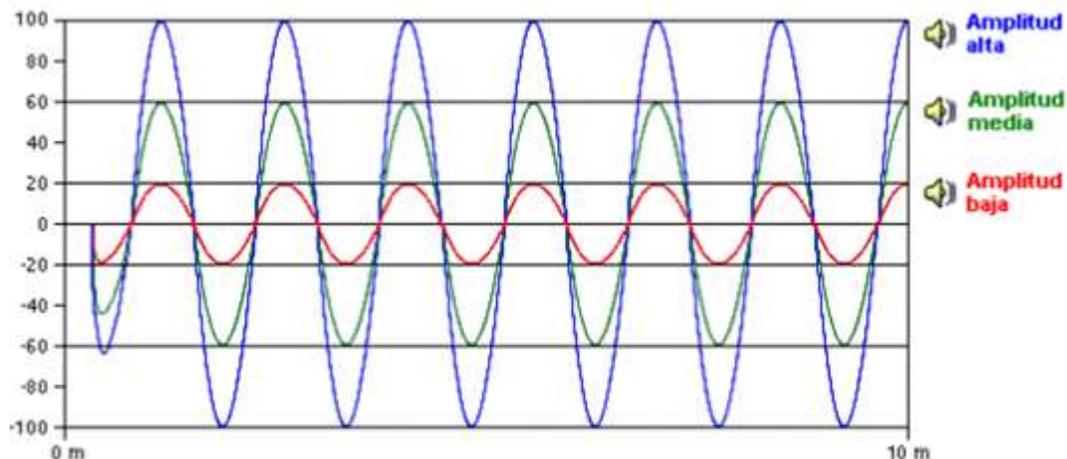


Fig. 1.1. Ejemplos de oscilaciones con diferentes amplitudes

Frecuencia: El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora p se denomina frecuencia (f) del sonido y se mide en Hertz (Hz) o ciclos por segundo (c/s).

Lógicamente, la frecuencia del sonido coincide con la frecuencia de la vibración mecánica que lo ha generado. [1]

En la *fig. 1.2*, se observan dos ejemplos de presión sonora p asociada a oscilaciones de diferente frecuencia.



Fig. 1.2. Ejemplos de oscilaciones con diferentes frecuencias

Timbre: Es una propiedad del sonido difícil de explicar científicamente. Es la diferencia entre dos sonidos de la misma amplitud y frecuencia. El mejor ejemplo son los distintos instrumentos musicales.

El timbre es lo que caracteriza a cada instrumento que pueden tocar la misma nota (frecuencia) y al mismo volumen (amplitud) y aun así podemos identificar a cada instrumento gracias a que tienen un timbre distinto. [7]

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

Longitud de onda (λ): Se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante de tiempo. Por ejemplo, si en un instante dado se seleccionan dos puntos consecutivos del espacio donde los niveles de presión son máximos, la longitud de onda es precisamente la distancia entre ambos puntos como se ve en la *fig. 1.3*.

1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE ACÚSTICA

Como se mencionó al inicio de éste capítulo, para la realización de la propuesta de aislamiento acústico es importante conocer al detalle cómo se conforma el significado de “acústica”. A continuación se presenta la definición principal de acústica y sus principales conceptos que la satisfacen.

1.2.1. ACÚSTICA

Acústica es la ciencia que estudia la generación, recepción y transmisión de energía en forma de ondas vibratorias en la materia. El fenómeno acústico más común es la percepción del sonido, tanto en el intervalo de la audición humana (20 Hz a 20 000 Hz) como en las frecuencias ultrasónicas (frecuencias superiores a los 20 000 Hz) e infra sónicas (frecuencias inferiores a los 20 Hz).

1.2.2. ACÚSTICA ARQUITECTURAL

El problema de la Acústica Arquitectural es necesariamente complejo, y cada recinto presenta muchas condiciones que contribuyen al resultado en mayor o menor grado de acuerdo a las circunstancias. Para tomar en cuenta justamente estas condiciones diversas, la solución al problema debería ser cuantitativa y no meramente cualitativa; y para conseguir una mayor utilidad y la dignidad de una ciencia de ingeniería debería ser tal que su aplicación precediera, y no viniera después de la construcción de la obra.

La Acústica Arquitectural cada vez tiene mayor importancia debido a las necesidades de la inteligibilidad de la voz, claridad musical y aislamiento al ruido que se requieren en diversos recintos y espacios de reunión popular. La Acústica Arquitectural estudia los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto.

1.3. NIVELES ACÚSTICOS

Aunque la magnitud para estudiar los fenómenos sonoros sea la presión o la intensidad acústica, es común describirlos como niveles acústicos, los cuales se basan en la escala logarítmica, ya que como se puede ver en la *fig. 1.5*, el rango de la escala lineal es muy

grande, mientras que la escala logarítmica comprime el intervalo de valores. Además, el oído humano responde de forma logarítmica.

1.3.1. PRESIÓN ACÚSTICA

La presión acústica en un punto es el valor cuadrático medio de la presión acústica instantánea, sobre un intervalo dado de tiempo, en el punto considerado.

La presión acústica instantánea en un punto es la variación incremental de la presión estática causada en un instante cualquiera por la presencia de una onda sonora. [3]

1.3.2. NIVEL

Se define como el logaritmo de la razón de una cantidad dada a una cantidad de referencia de la misma clase.

Las cantidades que describen la magnitud del sonido son: potencia acústica, intensidad acústica, presión acústica.

Se emplean los decibeles para expresar magnitudes acústicas para compactar una escala lineal en una logarítmica. Además de que la respuesta del oído humano es logarítmica.

1.3.3 NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA

El nivel de presión acústica de un sonido, en decibel, es 20 veces el logaritmo base 10 de la relación de presión acústica efectiva de la presión acústica eficaz de referencia. Se puede definir mediante la siguiente ecuación:

$$L_P = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} \text{ dB} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

L_P = nivel de presión acústica.

P = presión acústica medida de la onda sonora

P_0 = presión de referencia $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$

Los valores de referencia usados en las expresiones que definen el nivel de potencia acústica, el nivel de intensidad acústica y el nivel de presión acústica representan el umbral de audición humana a una frecuencia de 1000 Hz. [4]

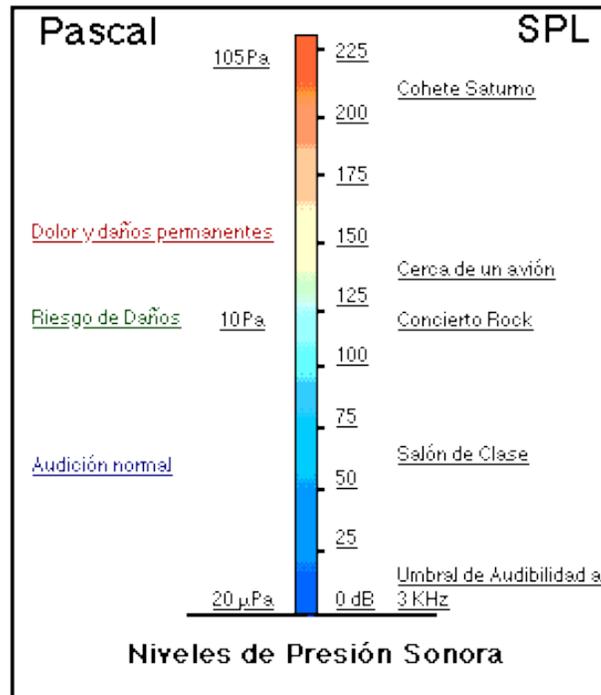


Fig. 1.5. Nivel de Presión acústica

1.3.4 NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA PONDERADOS

El decibel es una unidad logarítmica que indica la relación entre dos cantidades físicas y su unidad es un décimo de un bel (B).

Existen diferentes curvas de ponderación en frecuencia:

- **Curva A (dBA):** Inicialmente se utilizó para sonidos de intensidad baja. Es la más semejante a la percepción del oído humano.
- **Curvas C (dBC):** Inicialmente se utilizó para sonidos de gran intensidad. Es aproximadamente lineal.

1.4 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Para efectuar las mediciones de nivel de presión acústica en un recinto, se utilizan instrumentos y dispositivos electrónicos que nos permiten conocer los valores de nivel de presión acústica con más puntualidad que tiene inicialmente un espacio. En seguida, podemos encontrar los distintos instrumentos utilizados en la ingeniería y los parámetros que se pueden obtener.

1.4.1 EL SONÓMETRO

El sonómetro es un instrumento que permite medir el nivel de presión acústica, expresado en dB. Está diseñado para responder al sonido de la misma forma aproximadamente que el oído humano y proporciona mediciones objetivas y reproducibles del nivel de presión acústica.

Básicamente consiste de un micrófono como transductor de entrada, una sección de procesamiento de señal y una unidad de lectura.

Pueden realizarse diferentes tipos de una red de ponderación en frecuencia, cuyos de procesamiento de señal. Esta puede pasar a través de una red de ponderación en frecuencia, cuya característica de respuesta a la frecuencia varía de manera similar a la del oído humano, simulando los controles de igual sonoridad. Esto ha resultado en tres diferentes características de ponderación en frecuencia normalizadas internacionalmente, denominadas como ponderación "A", "B" y "C". La red de ponderación "A" proporciona una respuesta que se aproxima a la curva invertida de un contorno de igual sonoridad para niveles de presión acústica bajos, la red de ponderación "B" corresponde a un contorno invertido para niveles de presión acústica medios y la red "C" a un contorno invertido para niveles de presión acústica altos, siendo la red de ponderación "A" la más ampliamente usada.

1.4.2 EL ANALIZADOR DE ESPECTRO

Un analizador de espectro de tiempo real muestra el comportamiento de una señal sonora en el dominio de la frecuencia.

Algunos analizadores de espectro operan usando bandas de frecuencia, siendo las más comunes las bandas de 1/1 octava y 1/3 de octava.

1.4.2.1 ESPECTRO ACÚSTICO

El espectro acústico es una representación gráfica de la distribución de energía sonora en función de la frecuencia.

El espectro audible está conformado por toda la gama de frecuencias que pueden ser percibidas por el oído humano. Un oído joven y sano responde en el intervalo de 20 Hz a 20 000 Hz.

1.4.2.2 BANDAS DE 1/1 OCTAVA

Una octava es el intervalo que separa dos sonidos cuyas frecuencias tienen una relación 2:1.

Las bandas de frecuencia se especifican en función de las frecuencias centrales de las bandas. Para obtener los valores de las frecuencias centrales normalizadas de las **bandas de octava**, se parte de la frecuencia de referencia de 1 000 Hz.

Se multiplica sucesivamente este valor por 2, obteniéndose: 2 000 Hz, 4 000 Hz, 8 000 Hz y 16 000 Hz.

Posteriormente se divide sucesivamente 1 000 Hz entre 2, obteniéndose: 500 Hz, 250 Hz, 125 Hz, 63 Hz y 31.5 Hz.

1.4.2.3 BANDAS DE 1/3 DE OCTAVA

Para obtener los valores de las frecuencias centrales normalizadas de las bandas de **1/3 de octava**, se consideran los factores multiplicadores 1.0, 1.25, 1.6, 2.0, 2.5, 3.15, 4.0, 5.0, 6.3, y 8.0.

Partiendo de 20 Hz, se multiplican sucesivamente estos factores por 10, obteniéndose: 20 Hz, 25 Hz, 31.5 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz y 80 Hz.

Se repite el procedimiento, multiplicando ahora por 100, obteniéndose: 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz y 800 Hz.

Similarmente, se multiplican los factores por 1000, obteniéndose: 1000 Hz, 1250 Hz, 1600 Hz, 2000 Hz, 3150 Hz, 4000 Hz, 5000 Hz, 6300 Hz, 8000 Hz, 10000 Hz, 12500 Hz, 16000 Hz y 20000 Hz.

Las bandas de 1/3 de octava se aproximan a la respuesta de las bandas críticas, características de la audición humana.

El ancho de banda crítico es el intervalo de frecuencias en el cual el oído no detecta variaciones de presión.

1.5 ABSORCIÓN ACÚSTICA

Se refiere a la propiedad que poseen los materiales y los objetos de convertir el sonido en calor, como resultado de la propagación en un medio o de la disipación de energía cuando el sonido incide en su superficie.

1.5.1 COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

Idealmente es la fracción de la energía incidente en forma aleatoria que es absorbida por un material, Usualmente se representa mediante la letra α ó a y es una cantidad adimensional.

El coeficiente de absorción, se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = 1 - \frac{E_r}{E_i} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

α = Coeficiente de absorción

E_r = Energía reflejada

E_i = Energía incidente.

1.5.2 ABSORCIÓN ACÚSTICA, A

La absorción acústica A se define mediante la siguiente ecuación:

$$A = S \alpha \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

S = Área del material

α = Coeficiente de absorción.

Las unidades de la absorción en el sistema internacional de unidades (SI) son m^2 ó Sabins métricos.

En general, la absorción aumenta con la frecuencia, debido a que para frecuencias altas la longitud de onda es pequeña y entonces las irregularidades de la superficie o el propio espesor del material son más comparables con la longitud de onda. Sin embargo, en algunos casos, algún fenómeno de resonancia entre el material y la pared pueden mejorar la absorción en bajas frecuencias.

1.5.3 MATERIALES ABSORBENTES

La absorción que sufren las ondas sonoras cuando inciden sobre los distintos materiales absorbentes utilizados como revestimientos de las superficies límites del recinto, así como su dependencia en función de la frecuencia, varían considerablemente de un material a otro. En consecuencia, la correcta elección de los mismos permitirá obtener, en cada caso, la absorción más adecuada en todas las bandas de frecuencias de interés.

Los materiales absorbentes se utilizan generalmente para conseguir uno de los siguientes objetivos:

- Obtención de los tiempos de reverberación más adecuados en función de la actividad (o actividades) a la cual se haya previsto destinar el espacio objeto de diseño.
- Prevención o eliminación de ecos.
- Reducción del nivel de campo reverberante en espacios ruidosos (restaurantes, fábricas, estaciones, etc.).

Estos materiales presentan un gran número de canales a través de los cuales la onda sonora puede penetrar. La disipación de energía en forma de calor se produce cuando la onda entra en contacto con las paredes de dichos canales. Cuando mayor sea el número de canales, mayor será la absorción producida. El correspondiente coeficiente de absorción α es asignado a la superficie del material.

Las propiedades generales que los materiales absorbentes de sonido deben tener para ser efectivos incluyen la necesidad de que la superficie sea relativamente transparente a

las ondas acústicas. El material también debe proporcionar algún mecanismo mediante el cual la energía acústica sea convertida a energía calorífica mediante fricción durante el paso de la onda por el material.

La transparencia se consigue teniendo una superficie altamente porosa, o mediante el uso de un material duro perforado sobre un material poroso, o cubriendo el material poroso con una membrana impermeable muy delgada, ligera y flexible. Cada uno de ellos puede producir el mismo efecto absorbente, siendo la diferencia el tipo de atmósfera en que cada uno se usa.

Normalmente tales materiales están formados por sustancias fibrosas o granulares a las que se les confiere un grado suficiente de compacidad a través de un proceso de prensa o de tejeduría. Los materiales absorbentes comerciales de este tipo se manufacturan básicamente a partir de:

- Lana de vidrio
- Lana mineral
- Espuma a base de resina de melanina
- Espuma de poliuretano

En las *fig. 1.6, 1.7, 1.8 y 1.9*, se muestran los cuatro tipos de materiales absorbentes mencionados:



Fig. 1.6. Material absorbente a base de lana de vidrio



Fig. 1.7. Material absorbente a base de lana mineral

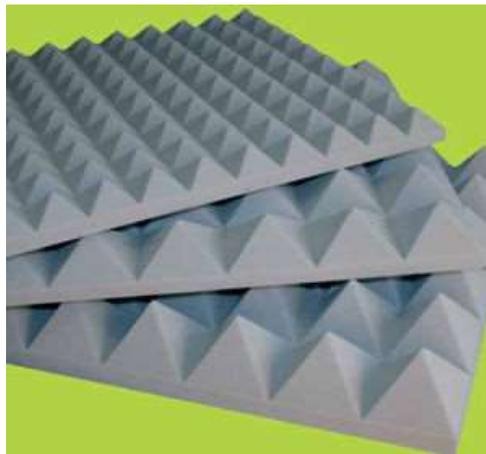


Fig. 1.8. Material absorbente de espuma a base de resina de melamina



Fig. 1.9. Material absorbente a base de espuma de poliuretano

1.6 AISLAMIENTO ACÚSTICO

Se refiere al conjunto de acciones encaminadas a la obtención de una correcta atenuación en la transmisión de ruido y vibraciones entre los diferentes espacios que integran un recinto.

Consiste en obtener un óptimo aislamiento contra el ruido aéreo y contra el ruido estructural, entre los diferentes locales. Para ellos es necesario considerar:

- Materiales empleados en la construcción
- Espesor de los materiales
- Muros dobles
- Puertas y ventanas
- Perforaciones debidas a la instalación de servicios (energía eléctrica, teléfono, redes, aire acondicionado, etc.).

1.6.1 RUIDO

Es toda señal acústica no deseada, que puede afectar a la salud o causar molestia. **[4]**

En el ámbito de la acústica, se define como ruido a todo sonido no deseado que interfiere en la comunicación entre las personas o en sus actividades. Cuando se utiliza la expresión de ruido como sinónimo de contaminación acústica, se está haciendo referencia a un ruido (sonido), con una intensidad alta (o suma de intensidades), que puede resultar incluso perjudicial para la salud humana.

El problema de la reducción de ruido adquiere su propio significado por la presencia del ser humano como oyente. Se han desarrollado criterios para el diseño acústico de espacios de fabricación, oficinas, aeronaves y distritos residenciales.

1.6.2 CRITERIOS DE RUIDO

El ruido en el interior de un recinto es menos variable que el ruido del exterior, es por eso que los criterios para evaluar el ruido en el interior han sido establecidos, definidos y estandarizados.

Para la evaluación de la calidad acústica de recintos cerrados existen principalmente tres criterios:

- Criterio de ruido (NC, Noise Criteria).
- Criterio de recintos (RC, Room Criteria).
- Criterio balanceado de ruido (NCB, Noise Criteria Balanced).

El Criterio de ruido (NC) y el Criterio balanceado de ruido (NCB) se determinan de la comparación de los niveles de sonido en bandas de octava, medidos en un recinto ocupado.

El criterio NC fue establecido en 1957 por L. L. Beranek, con el que se pretendió originalmente relacionar el espectro de un ruido con una perturbación que producía la comunicación oral, teniendo en cuenta los niveles de interferencia de la palabra y los niveles de sonoridad.

Las curvas NCB son una versión modificada de las curvas NC, ya que ha sido aumentada la zona de las bajas frecuencias con el fin de incluir las frecuencias de 16 y 31.5 Hz, y modificada la pendiente de la curva .3.33 dB en el intervalo de 500 Hz a 8000 Hz. Este criterio involucra el nivel de interferencia del habla (sil) por su abreviatura en inglés (Speech Interference Level) que es la medida del nivel de presión acústica en el intervalo de frecuencia de la voz y a su vez propone un balance percibido entre sonidos de baja frecuencia y de alta frecuencia.

El Criterio de recintos (RC) determina la comparación de los niveles de ruido de fondo en bandas de octava, medidos en un recinto desocupado. Estas curvas se utilizan principalmente para el diseño de los sistemas de calefacción, ventilación y de aire acondicionado.

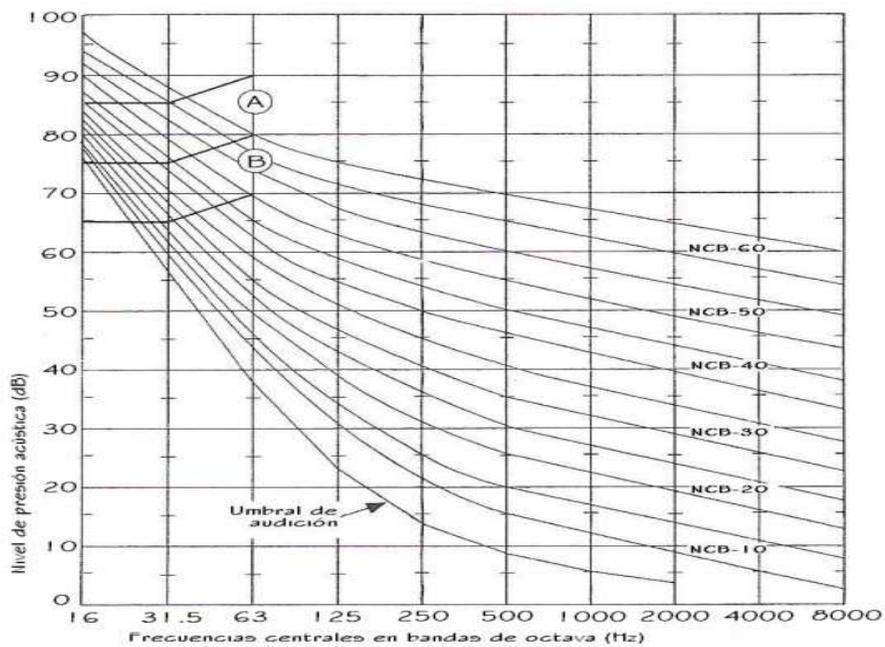
Estos criterios son utilizados para especificar los niveles de presión acústica máximos permisibles en los recintos (*tabla 1.1*), además de proveer un modo particularmente específico de clasificación de los niveles de ruido e inclusive un espectro de comportamiento de un recinto.

Tabla 1.1. Criterios de ruido para diferentes recintos

Tipo de espacio	CRITERIO DE RUIDO		
	RC	NC	NCB
Estudios de grabación	10-20	10-20	10
Salas de conciertos y recitales	15-20	15-20	10-15
Salas de conferencias, auditorios e iglesias pequeñas	25-30	20-30	25-30
Oficinas ejecutivas	25-30	25-30	25-30
Salones de clases	25-30	25-30	25-30
Iglesias	30-35	30-35	30-35
Salas de cine	30-35	30-35	27-37
Bibliotecas	35-40	35-40	33-37
Vestibulos, áreas públicas	35-40	35-40	38-43
Restaurantes	40-45	40-45	38-43
Oficinas públicas	40-45	40-45	38-43

1.6.3 CURVAS RC (ROOM CRITERIA)

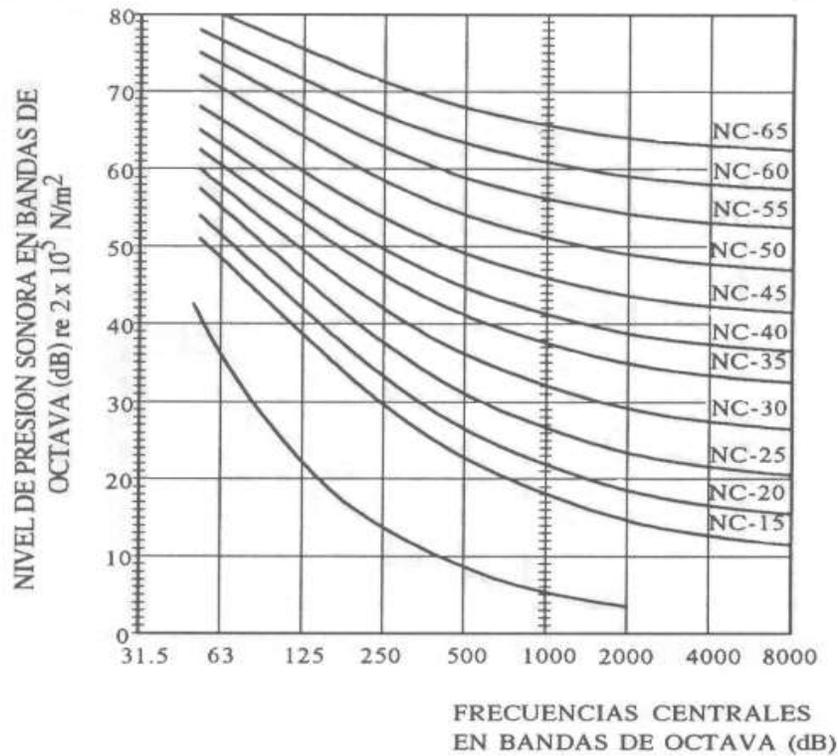
En la gráfica 1.1, se observan las curvas de criterio de ruido RC para distintos recintos:



Gráfica 1.1. Curvas RC (Room Criteria)

1.6.4 CURVAS NC (NOISE CRITERIA)

En la siguiente gráfica 1.2., se pueden observar las curvas del criterio de ruido NC y en la tabla 1.2., se observan los niveles de presión acústica máximos permisibles:



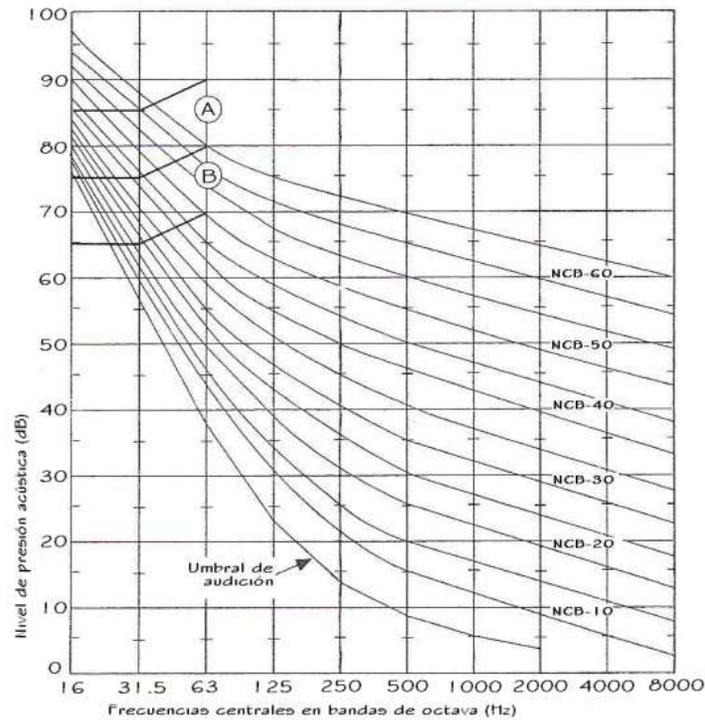
Gráfica 1.2. Curvas NC (Noise Criteria)

Tabla 1.2. Nivel de presión acústica para curvas NC

Curva \ Frecuencia	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
NC 15	47	36	29	22	17	14	12	11
NC 20	51	40	33	26	22	19	17	16
NC 25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC 30	57	48	41	35	31	29	28	27
NC 35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC 40	64	56	50	45	41	39	38	37
NC 45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC 50	71	64	58	54	51	49	48	47
NC 55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC 60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC 65	80	75	71	68	66	64	63	62
NC 70	84	79	75	72	71	70	68	68

1.6.5 CURVAS NCB (NOISE CRITERIA BALANCED)

Se tienen en la *gráfica 1.3.*, las curvas de criterio balanceado de ruido, adicionalmente la *tabla 1.3.*, nos muestra los respectivos niveles de presión acústica para estas curvas:



Gráfica 1.3. Curvas NCB (Noise Criteria Balanced)

Tabla 1.3. Niveles de presión acústica para curvas NCB

Curva NCB	Nivel de presión acústica (dB)							
	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
60	86	75	71	67	65	62	58	55
55	83	72	67	62	60	57	53	50
50	80	68	63	58	55	52	48	45
45	77	65	59	53	50	47	43	40
40	74	61	55	49	45	42	38	35
35	71	58	51	44	40	37	33	30
30	68	54	47	39	35	32	28	25
25	66	51	43	35	30	27	23	20
20	64	48	38	30	25	22	18	15
15	62	45	35	26	20	17	13	10

1.6.6 PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN

Uno de los parámetros más importantes y más empleados para describir el aislamiento acústico por vía aérea es la pérdida por transmisión o índice de reducción acústica.

De acuerdo con Harris, la pérdida por transmisión es una medida de las propiedades del aislamiento acústico de una partición, que es característica propia de la partición en sí misma y no del recinto que la confina. La expresión de la pérdida por transmisión TL o índice de reducción acústica R, según la norma ISO 10140/III es:

$$TL = 10 \log \left(\frac{W_1}{W_2} \right) \text{ dB} \dots\dots\dots (5)$$

Donde W_1 es la potencia acústica incidente en un espécimen bajo prueba y w_2 es la potencia transmitida a través del espécimen.

La determinación de la pérdida por transmisión en condiciones de laboratorio se realiza empleando un par de cámaras de transmisión, colocando el espécimen bajo prueba dividiendo a dichas cámaras.

La pérdida por transmisión depende del ángulo de incidencia. Si los campos acústicos son difusos y si existe transmisión únicamente a través del espécimen, el índice de reducción acústica R' , en condiciones de campo, o en sitio, está dado por:

$$R' = 10 \log_{10} \left(\frac{W_1}{W_2} \right) \text{ dB} \dots\dots\dots (6)$$

Donde R' es la pérdida por transmisión aparente o índice de reducción acústica aparente, W_1 es la potencia acústica incidente en la partición bajo prueba y W_2 es la potencia acústica total transmitida al recinto receptor.

Bajo la consideración de campos acústicos difusos en los dos recintos, el índice de reducción acústica aparente puede evaluarse mediante la expresión:

$$TLr = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \text{ dB} \dots\dots\dots (7)$$

Donde L_1 es el nivel de presión acústica promedio en el recinto fuente, L_2 es el nivel de presión acústica promedio en el recinto receptor, S es el área del espécimen de prueba y A es el área equivalente de absorción en el recinto receptor.

La pérdida por transmisión es la razón de la energía acústica que incide en la partición con respecto a la energía acústica transmitida, expresada en dB.

1.6.7 PÉRDIDA POR TRANSMISION COMPUESTA

En general las particiones constan de más de un elemento. Ejemplo: pared, puerta y ventana.

Es necesario en estos casos encontrar la pérdida por transmisión compuesta que con el área total del cerramiento produzca una reducción acústica igual a la que tendrán en forma combinada los materiales utilizados.

La T_{Lc} se determina conociendo los τ_i de los elementos componentes así como las áreas S de los mismos.

La T_{Lc} se puede determinar en forma analítica según la ecuación siguiente:

$$T_{Lc} = 10 \log \frac{S}{\sum \tau_i S_i} \text{ dB} \dots\dots\dots (8)$$

Donde T_{Lc} es la pérdida por transmisión compuesta, S es el área total de la división constructiva, S_i es el área de cada material, τ_i es el coeficiente de transmisión de cada material.

1.6.8 INTELIGIBILIDAD

La inteligibilidad de la palabra dependerá de la capacidad que se tenga de entendimiento de las consonantes de la expresión hablada. Generalmente, el (%) AL_{cons} se calcula en la banda de 2000 Hz, por considerarse ésta banda de máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra. Las expresiones que regulan su cálculo son:

$$\% AL_{cons} = \frac{200 r^2 T^2}{VQ} \text{ (para } r \text{ menor o igual a } 3.16 r) \dots\dots\dots (9)$$

$$\% AL_{cons} = 9 RT \text{ (para } r \text{ mayor o igual a } 3.16r) \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

r = Distancia fuente sonora – receptor, m

T = Tiempo de reverberación de la sala, s

V = Volumen del recinto, m^3

Q = Factor de directividad de la fuente sonora

R = Constante de la sala, ($R = S\bar{\alpha}/1 - \bar{\alpha}$), m^2

r_c = Radio de reverberación o distancia crítica, m

s = Superficie total del recinto, m^2

$\bar{\alpha}$ = Coeficiente de absorción promedio de la sala.

Para una buena inteligibilidad en discursos, la señal directa desde el altavoz hasta el oído del escucha debe ser más fuerte que cualquier otro sonido y sin distorsión alguna. Por otra parte, un sistema exitoso debe estar libre de retroalimentación a un nivel requerido de operación de sonido, el cual sea uniformemente distribuido.

1.7 PRINCIPIOS DE CONTROL DE VIBRACIONES

Un sistema mecánico oscilará (vibrará) si se mueve de su posición de descanso y luego se deja libre. El tiempo en segundos que tarda el sistema en realizar una oscilación completa se denomina como su *periodo*. El número de veces que el sistema hace una oscilación completa en un segundo se denomina *frecuencia de vibración*; se expresa en Hertz (Hz) o ciclos por segundo. La frecuencia es la recíproca del periodo.

El movimiento en función del tiempo de cualquier punto particular de un sistema lineal vibrante viene dado por:

$$x = x_0 \text{ sen } 2\pi f t \dots\dots\dots (11)$$

Donde x_0 es la amplitud del desplazamiento del movimiento; f es la frecuencia de la vibración en Hertz y t es el tiempo en segundos. La velocidad correspondiente v y la aceleración a son:

$$v = (2\pi f) x_0 \text{ cos } (2\pi f t) \dots\dots\dots (12)$$

$$a = -(2\pi f)^2 x_0 \text{ sen } (2\pi f t) \dots\dots\dots (13)$$

El desplazamiento f puede medirse en unidades de metros (pulgadas); v en metros por segundo (pulgadas por segundo) y a en metros por segundo al cuadrado (pulgadas por segundo al cuadrado). Pero a menudo estas cantidades son tan pequeñas que se expresan en términos de milímetros (mm) o micrómetros (μm).

1.7.1 FRECUENCIA NATURAL

La frecuencia natural de un sistema mecánico es la frecuencia de oscilación del sistema después de su desplazamiento desde su posición de equilibrio cuando se le permite vibrar libremente. Un sistema vibrante tiene una frecuencia natural de vibración para cada grado de libertad. La frecuencia natural de un sistema vibrante esta dada por la siguiente expresión:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ Hz} \dots\dots\dots (14)$$

Donde k es la rigidez del muelle en newtons por metro y m es la masa del cuerpo rígido en kilogramos.

Cuando la masa se coloca encima del muelle, lo comprime en una cantidad (denominada *deflexión estática*) mg/k , donde g es la aceleración de la gravedad.

Para este caso:

$$f_n = 5 / \sqrt{\delta_1} = 3.13 / \sqrt{\delta_2} \dots\dots\dots (15)$$

Donde δ_1 es la deflexión estática en centímetros y δ_2 es la deflexión estática en pulgadas.

1.7.2 TÉCNICAS DE CONTROL DE LA VIBRACIÓN

El control de la vibración, o sea, mantener las vibraciones dentro de unos límites aceptables, se suele tener en cuenta para: (1) proteger el equipamiento, las estructuras y el personal de las vibraciones excesivas y (2) limitar el sonido irradiado por las superficies estructurales vibrantes.

1.7.3 CONTROL DE LA VIBRACIÓN EN LA FUENTE

El control de la vibración en su fuente suele ser el más eficaz si es factible en la práctica. La vibración se produce por fuerzas oscilatorias o intermitentes. La reducción de la vibración en la fuente suele requerir: (1) modificación o reducción de esas fuerzas o (2)

reducción de los movimientos de los componentes del equipamiento sobre los que estas fuerzas actúan directamente.

1.7.3.1 REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS TRANSMITIDAS

El control en la fuente también puede lograrse mediante la reducción de las fuerzas vibratorias que transmite una máquina a las estructuras a las que está conectada.

Las reducciones de las fuerzas transmitidas pueden lograrse: (1) añadiendo absorbentes dinámicos al marco o apoyo de la máquina; (2) modificando el bastidor; (3) mejorando el aislamiento entre los componentes internos de la máquina y el bastidor, o (4) mejorando el aislamiento entre el bastidor y la estructura de apoyo de la máquina. El aislamiento de la vibración (la inserción de elementos flexibles entre la máquina y su apoyo) es a menudo el mejor enfoque práctico.

1.7.4 CONTROL DE LA VIBRACIÓN EN LAS VÍAS DE TRANSMISIÓN

A menudo, la propagación de las vibraciones desde la fuente hasta el receptor se reduce mejor interrumpiendo la vía de transmisión. Si los requisitos estructurales o de apoyo hacen imposible la interrupción completa, pueden utilizarse discontinuidades parciales, que consisten en elementos cuyas características de masa y rigidez difieren notablemente de los elementos estructurales vecinos. Por ejemplo, estas discontinuidades pueden consistir en uniones elásticas, juntas de culata u otros elementos flexibles que son mucho más blandos que las placas de metal, vigas o tuberías a los que están conectados. Para frecuencias altas, se puede conseguir una considerable atenuación a partir de los cambios en la sección transversal de la vía, incluso sin cambiar el material.

1.7.5 AISLAMIENTO DE LA VIBRACIÓN

El término *aislamiento de la vibración* hace referencia a la inserción de un elemento relativamente blando y elástico, denominado *aislador de la vibración*, entre dos componentes que han de estar conectados entre sí, donde uno de ellos vibra y el otro está protegido de esta fuente de vibración. El aislamiento de la vibración puede resultar útil: (1) entre una fuente de vibración y su apoyo; (2) en una vía de transmisión y (3) entre el apoyo y el receptor, así como dentro de máquinas que poseen componentes generadores de vibración o dentro del equipamiento que incorpora elementos sensibles a la vibración.

El puenteo a través de tuberías, conductos, ejes, cables tensos, etc., que conectan elementos y estructuras entre los aisladores, pueden evitarse mediante el uso de tubos flexibles. Los tubos flexibles de caucho o tubos plásticos pueden resultar útiles para el aislamiento en los sistemas de tuberías; pueden precisarse secciones de tuberías o conducciones de metal flexible: (1) si la temperatura o la presión son altas, (2) si se transmiten fluidos químicamente activos o (3) si está prescrito por un código de ensayo.

La tubería habitual de metal flexible no suele ser satisfactoria en el caso de gases a presiones muy altas o sustancias volátiles altamente peligrosas. Los tubos corrugados, sin costuras o soldados, con perfilado exterior y ajustes integrales interiores en los extremos no son susceptibles de producir pérdidas y por tanto son adecuados para contener sustancias volátiles y gases bajo presión.

Directrices para utilizar tuberías flexibles. Deben observarse las siguientes directrices generales en la instalación de tuberías flexibles:

1. Se conectan las tuberías flexibles a los elementos de conexión en lugares en que haya relativamente poco movimiento de vibración y en que las estructuras de estos elementos sea más masivas. Esto puede reducir la vibración transmitida a lo largo del tubo.
2. Si un extremo de la tubería experimenta grandes desplazamientos con respecto al otro o si la tubería ha de tener muy poca rigidez, debe incluirse una gran curva o bucle en la tubería flexible. El bucle ha de estar dispuesto de manera que el movimiento vibratorio esté distribuido a lo largo de toda la longitud de la parte flexible; si el movimiento sólo se produce cerca de sus extremos, el desgaste excesivo que resulte de las concentraciones de tensión en las conexiones de los extremos puede acortar la vida de la tubería.

Un ejemplo de instalación de tuberías flexibles se puede observar en la *fig. 1.10.*:

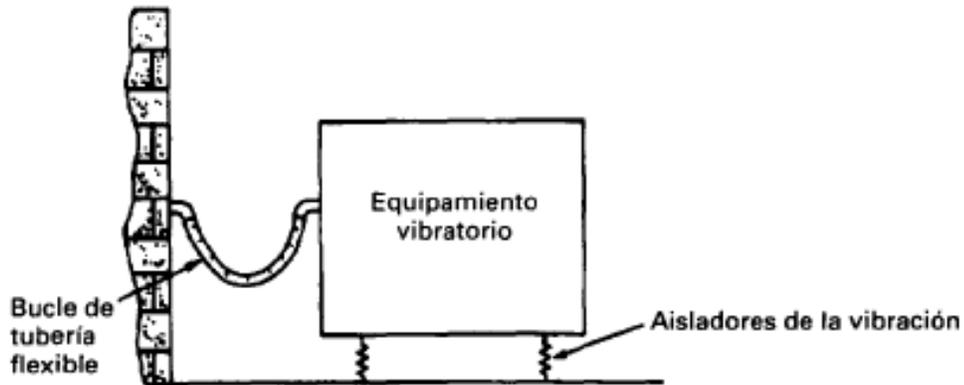


Fig. 1.10. Instalación de tuberías flexibles

1.7.6 FACTORES CONSIDERADOS EN LA SELECCIÓN DEL AISLADOR

La rigidez y la amortiguación son las propiedades básicas de un aislador que determinan su utilización en un sistema diseñado para aportar aislamiento de la vibración y/o impacto. Generalmente estas propiedades se encuentran en la bibliografía de los distribuidores de aisladores. Sin embargo, hay otros factores importantes que deben considerarse a la hora de seleccionar un aislador:

1. Fuente de la perturbación dinámica.
2. Tipo de perturbación dinámica.
3. Dirección de la perturbación dinámica.
4. Respuesta permisible del sistema a la perturbación dinámica.
5. Espacio y localizaciones disponibles para los aisladores.
6. Peso y centro de gravedad del equipo soportado.
7. Espacio disponible para el movimiento del equipamiento.
8. Condiciones ambientales.
9. Materiales de aislamiento disponibles.
10. Vida de servicio deseada.
11. Instalación contra roturas.
12. Costo.

1.7.7 PROCESO DE DISEÑO PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES

De acuerdo a los apartados anteriores en donde se menciona la información para poder alcanzar un aislamiento óptimo contra las vibraciones, es primordial conocer las características técnicas del sistema a tratar, en nuestro caso es una bomba de agua centrífuga; para estas cuestiones existe un proceso para elegir un aislador efectivo como se menciona a continuación:

1. Definir el porcentaje de eficiencia de aislamiento (se propone por el diseñador). Usualmente opera entre un 70% y 90%.
2. Cálculo de la transmisibilidad "T" mediante la siguiente ecuación:

$$T = (100 - E)/100 \dots \dots \dots (16)$$

Donde:

T = Transmisibilidad

E = Eficiencia de aislamiento

3. Determinar la frecuencia más baja de excitación f dividiendo la velocidad a la que trabaja la bomba (rpm) entre 60.
4. Usando T y f determinar la frecuencia natural, f_n .
5. Determinar la deflexión estática requerida para obtener f_n mediante la siguiente ecuación:

$$\delta_{es} = (15.8)^2 / (f_n)^2 \dots \dots \dots (17)$$

Donde:

δ_{es} = Deflexión estática.

6. Determinar la constante k para la combinación de n elementos elásticos mediante la siguiente ecuación:

$$K_2 = (m) (2\pi f_n)^2 \dots \dots \dots (18)$$

Donde:

m = masa del sistema (kg)

7. Determinar la constante k para cada elemento elástico con la siguiente ecuación:

$$K_3 = K_2 / n \dots \dots \dots \textbf{(19)}$$

8. Determinar la carga total que deben soportar los elementos elásticos
9. Determinar la carga en cada elemento elástico.
10. Seleccionar un aislador que tenga la k calculada en el punto 7, y soporte el peso estático considerado en el punto 9.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS DEL RECINTO

En éste capítulo, se desarrolla el análisis de las condiciones acústicas del recinto, las mediciones del nivel de presión acústica del salón principal y se selecciona un criterio de ruido de acuerdo al tipo de espacio que se está trabajando; así como también se presentan brevemente los antecedentes del lugar, los cuales nos motivó a proponer el diseño de aislamiento acústico.

2.1. ANTECEDENTES

El templo David está ubicado en Norte 64-A, #5118, Col. Belisario Domínguez C. P. 07890, Delegación Gustavo A. Madero, Ciudad de México; en sus inicios no se había contemplado la idea de trabajarlo acústicamente; sin embargo, con el paso del tiempo y con el aumento de la comunidad cristiana, se optó por reconstruir algunas partes del recinto, en donde la parte acústica no fue tomada en cuenta.

Hace algunos años en el recinto se hicieron algunos trabajos que sólo mejoraron parcialmente el aspecto del refuerzo sonoro: dichos trabajos fueron el cableado subterráneo de la consola a todos los micrófonos que se utilizan durante los servicios, y la instalación de cuatro sistemas de altavoces para reforzar las áreas en donde no era posible captar correctamente el sermón. A pesar de todos estos cambios, las mejoras no fueron suficientes, ya que se descuidó el aspecto de la transmisión de ruido dentro del recinto.

Fuera del recinto se realizó la instalación de una bomba de agua que se activa continuamente durante los servicios, afectando al confort acústico del templo. Con la reconstrucción ya mencionada, el recinto sufrió un robo del equipo de audio utilizado en sus servicios. Como consecuencia de este acto, las autoridades del templo se vieron obligadas a implementar una solución para evitar que se repitieran este tipo de situaciones, además de evitar accidentes en la escalera por las lluvias. Por lo que se instaló un domo de acrílico que cubría por completo una de las paredes laterales del recinto; pero debido a esto, el salón principal aumentó su temperatura considerablemente, obligando a mantener abiertas las ventanas que comunican a la nave principal, por cuestiones de comodidad para el público asistente. Esto repercutió en un aumento de las reflexiones de ruido que se emite desde los salones de niños contra el domo, y que finalmente se transmite dentro del salón principal del templo cuando llevan a cabo sus actividades.

Debido a estos problemas, se optó por trabajar en una propuesta de aislamiento acústico que permita en la medida de lo posible contribuir a la disminución de transmisión de ruido.

En la *fig. 2.1*, se muestra el recinto visto desde la calle y en la *fig. 2.2*, se ilustra la ubicación geográfica tomada desde el satélite mediante Google Maps.



Fig. 2.1. Templo David



Fig. 2.2. Ubicación del recinto desde el satélite de Google Maps

2.2. MEDICIÓN DEL NIVEL DE RUIDO DENTRO DEL SALÓN PRINCIPAL DEL RECINTO

Como se mencionó en el apartado anterior, el problema principal a tratar es la disminución de los niveles de ruido que maneja el salón principal del recinto debido a las diversas reconstrucciones que se realizaron.

Es necesario analizar las condiciones acústicas actuales y los distintos materiales que conforman el salón principal para tratar las divisiones constructivas más vulnerables a los altos niveles de presión acústica y así proponer los materiales necesarios para contribuir en la solución de este problema.

En éste apartado, se realizarán las mediciones correspondientes al ruido emitido por las dos fuentes ya mencionadas (bomba de agua y salones de niños), así como también se hará un análisis comparando un criterio de ruido que relacione al tipo de recinto con los niveles de presión acústica medidos y, por último, se desarrollarán los cálculos necesarios de absorción acústica y pérdidas por transmisión de cada uno de los materiales en cada uno de los muros del salón principal.

2.2.1. NIVEL DE RUIDO CON BOMBA DE AGUA ENCENDIDA

Para obtener el nivel de ruido al que está expuesto el interior del templo, se midió el espectro acústico en respuesta plana (nivel de presión acústica en función de bandas de octava) con el analizador de audio portátil Phonic PAA3 (fig. 2.3); se ejecuta primeramente una medición principal de referencia a 1m de distancia de la bomba de agua como se indica en la fig.2.4, cuyos resultados se muestran en la *tabla 2.1*.



Fig. 2.3. Analizador de audio portátil PHONIC PAA3

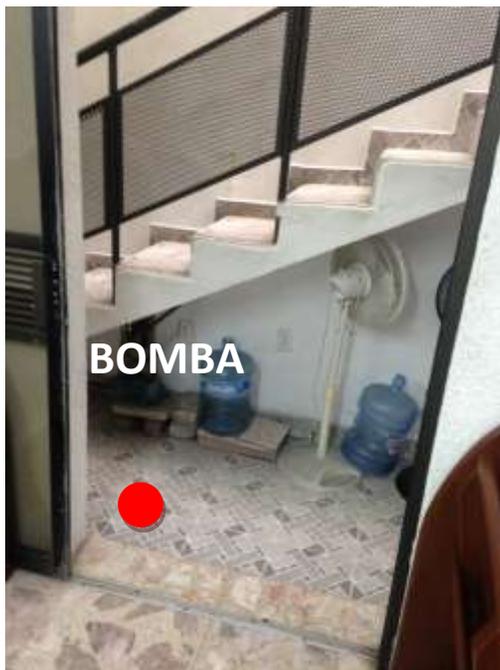


Fig. 2.4. Punto de medición de referencia

Tabla 2.1. Niveles de presión acústica de referencia

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Lp de referencia (dB)	47	48	51	53	67	60

Posteriormente, se realizaron mediciones en tres puntos, considerados los más afectados por la transmisión de ruido de la bomba de agua dentro del recinto indicados en la *fig.2.5* [11]. Se obtuvo el nivel L_p de la bomba promediando los valores medidos del nivel de presión acústica en cada uno de los tres puntos mostrados en la *tabla 2.2*.



Fig. 2.5. Ubicación de los puntos de medición de ruido transmitido por la bomba

Tabla 2.2 Niveles de presión acústica de bomba de agua.

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz
L_{pbomba} (dB)	46	37	40	44	57	47

2.2.2. NIVEL DE RUIDO EMITIDO POR LOS SALONES DE CLASE

Como ya se mencionó anteriormente, el servicio que se imparte en el salón principal, es simultáneo con las clases impartidas en los diferentes salones ubicados en la parte superior con respecto al salón principal. En este caso, el ruido de fondo que altera el confort acústico del templo, es generado en gran parte por las voces de los participantes en los salones del nivel superior cuando se está llevando a cabo el servicio principal. Es por ello que se ubicaron tres puntos de medición considerados los más afectados hacia el público del salón principal mostrados en la *fig. 2.6 [11]*; las condiciones para realizar la medición fueron: salón principal vacío y los salones realizando sus actividades con normalidad. Como en el caso anterior, se obtuvo el nivel $L_{p_{mc}}$ promediando los valores obtenidos en cada punto como se muestran en la *tabla 2.3*.



Fig. 2.6. Ubicación de los puntos de medición de ruido transmitido por salones de clase

Tabla 2.3 Niveles de presión acústica con los salones del nivel superior en servicio

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz
L_{pmc} (dB)	52	53	48	43	38	34

NOTA: Los valores para L_{pmc} fueron medidos en el interior del salón principal vacío con los salones de niños cuando se tenía un pequeño convivio.

2.3. ANÁLISIS APLICANDO EL CRITERIO DE RUIDO NC

En el capítulo 1 se describieron diferentes criterios de ruido y sus respectivas curvas.

Al evaluar problemas de transmisión de ruido, es importante determinar el criterio de ruido conveniente dependiendo el uso que se le dé a cada recinto. Las curvas, ya elegido el criterio, nos ayudarán como punto de referencia y por medio de ellas es posible determinar los requisitos de reducción de ruido.

La máxima clasificación de ruido recomendada para un recinto depende no sólo del uso que se le dará a este, sino también de las expectativas de los usuarios.

Es así que en este capítulo se selecciona el criterio de ruido a utilizar, de acuerdo con el tipo de espacio y sus requerimientos acústicos y se determina que curva será la empleada como referencia para llevar a cabo el aislamiento acústico.

Para este trabajo se elegirá el criterio NC, ya que es el más usado, el más accesible y el espectro de bandas de octava con estas curvas, será percibido igualmente en frecuencias bajas, medias y altas. Además las curvas NC son ampliamente utilizadas para evaluar el ruido de fondo en edificios. Estas curvas semejan a los contornos de igual sonoridad de la audición humana.

En la *tabla 2.4*, se muestra el intervalo de las curvas NC consideradas para este tipo de recinto:

Tabla 2.4. Curvas de categorización de criterio NC

Tipo de recinto	Curvas NC
TEATROS, SALAS DE JUNTAS, IGLESIAS	25-30

Cabe señalar que del intervalo recomendado para cada criterio, sólo se utiliza una curva de categorización y que el resultado del aislamiento acústico debe dar valores menores a la curva seleccionada.

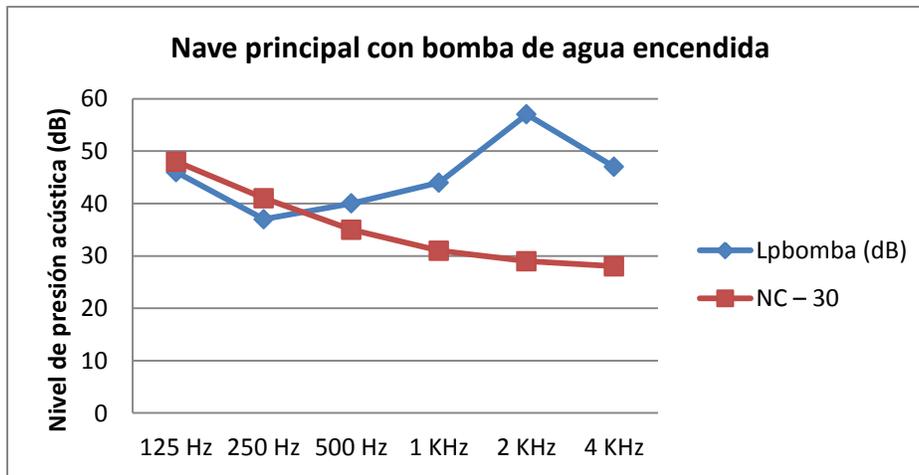
Los valores del límite superior del intervalo de curvas de categorización para cada criterio de ruido son más flexibles para la propuesta del aislamiento acústico.

2.3.1. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE L_{pbomba} CON CRITERIO NC-30

A partir de la sección 2.2.1 de este capítulo, se llevaron a cabo las mediciones del nivel de ruido al que está expuesto el interior del templo. A continuación en la *Tabla 2.5*, se muestran los valores medidos del nivel L_{pbomba} que se transmiten al interior del salón principal comparados con la curva NC-30 en frecuencias centrales por bandas de octava:

Tabla 2.5. Comparación del NC-30 y L_{pbomba}

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
L_{pbomba} (dB)	46	37	40	44	57	47
NC-30 (dB)	48	41	35	31	29	28



Gráfica 2.1. Comparación del NC-30 y L_{pbomba}

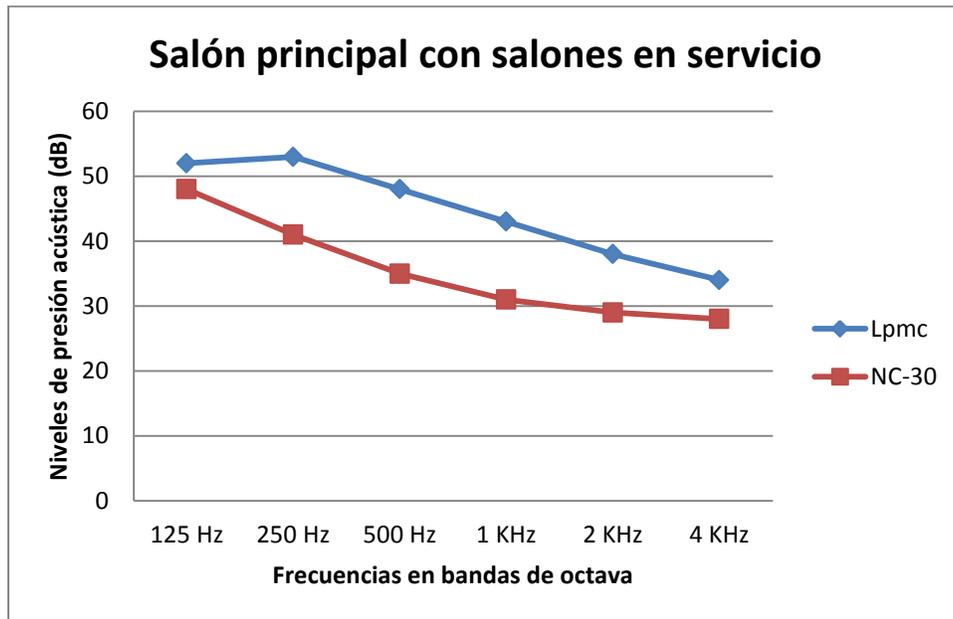
Como se observa en la *tabla 2.5* y en la *gráfica 2.1*, no se cumple la condición establecida para el criterio NC-30 a excepción de las frecuencias en 125 Hz y 250 Hz, la cual establece que los niveles de presión acústica existentes en el interior del recinto deben estar por debajo de la curva del criterio NC-30.

2.3.2. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE $L_{p_{mc}}$ CON CRITERIO NC-30

Como ya se mencionó anteriormente, uno de los problemas que aqueja al recinto es el ruido transmitido al interior del templo provocado por las voces de los niños cuando llevan a cabo sus actividades en los salones superiores al salón principal. A continuación en la *tabla 2.6*, se comparan los valores medidos de nivel de presión acústica dentro del salón principal cuando hay actividad en los salones de los niños, y se puede observar que los valores obtenidos en la medición están por encima de los valores de la curva NC-30:

Tabla 2.6. Comparación del NC-30 y $L_{p_{mc}}$

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
NC-30 (dB)	48	41	35	31	29	28
$L_{p_{mc}}$ (dB)	52	53	48	43	38	34



Gráfica 2.2. Comparación del NC-30 y $L_{p_{mc}}$

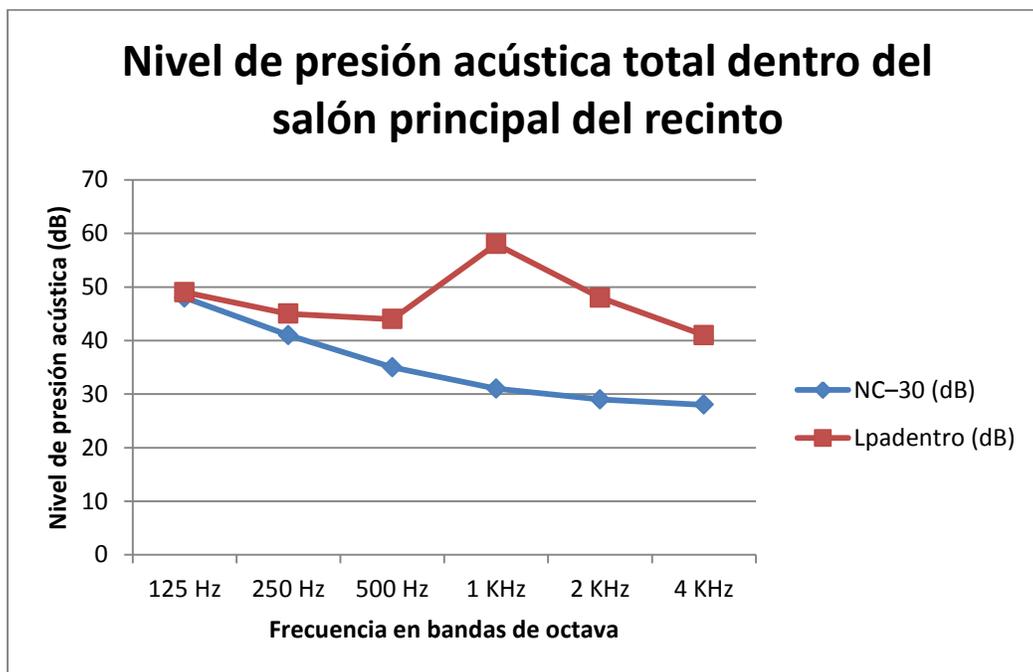
Como se observa en la *gráfica 2.2*, no se cumple con el criterio de la curva NC-30 dentro del recinto, por lo tanto se realizarán mediciones fuera del salón principal del recinto y así complementar el análisis para el diseño de aislamiento acústico.

Ahora en la *tabla 2.7*, se muestra el promedio de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas dentro del recinto comparado con el criterio de ruido NC – 30:

Tabla 2.7. Comparación del NC-30 y el nivel de presión acústica total dentro del recinto

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
NC-30 (dB)	48	41	35	31	29	28
L _p interior (dB)	49	45	44	58	48	41

En la *gráfica 2.3*, se observa que no se cumple con el criterio de ruido NC – 30 ya que los valores obtenidos están por encima de la curva de este criterio:



Gráfica 2.3. Nivel de presión acústica dentro del recinto comparado con el criterio de ruido NC - 30

2.4. MEDICIÓN DEL NIVEL DE RUIDO FUERA DEL SALÓN PRINCIPAL DEL RECINTO

Como se señaló anteriormente, para tener un estudio completo de las condiciones acústicas actuales del recinto, es importante realizar mediciones de nivel de presión acústica dentro y fuera el recinto; ya se realizaron dichas mediciones dentro del salón principal, ahora en esta sección se mostrarán los resultados obtenidos de las mediciones realizadas fuera del salón principal.

En las *fig. 2.7, 2.8 y 2.9*, se muestran los puntos fuera del salón principal donde se realizaron las mediciones:



Fig. 2.7. Puntos de medición en el pasillo fuera del salón principal del recinto



Fig. 2.8. Puntos de medición a un costado de los salones de niños fuera del recinto



Fig. 2.9. Puntos de medición en el pasillo a un costado del salón principal bajo la escalera

2.4.1. COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS FUERA DEL SALÓN PRINCIPAL CON EL CRITERIO NC – 30

Después de haber realizado las mediciones fuera del salón principal, se hizo un promedio de los niveles de presión acústica detectados en los distintos puntos de medición, respecto a esto, es esencial hacer una comparación de los resultados obtenidos con el criterio de ruido que se está utilizando (NC – 30) como en las secciones anteriores, esto nos indicará si es preferente realizar el diseño de aislamiento acústico en el recinto.

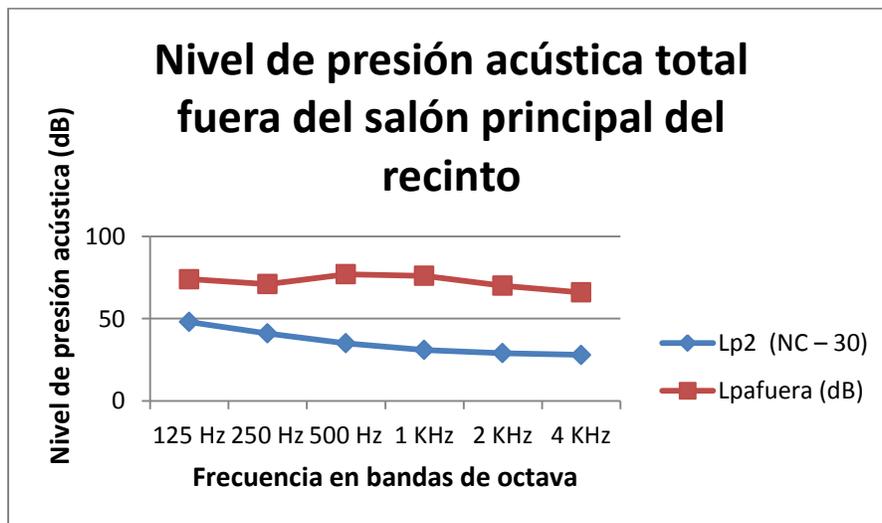
Para este caso tomaremos como $L_{p_{\text{exterior}}}$ como el resultado de las mediciones hechas fuera del salón principal y L_{p_2} como los valores del criterio de ruido NC – 30.

En la *tabla 2.8*, se indican los valores obtenidos en comparación con el criterio de ruido NC – 30:

Tabla 2.8. Nivel de presión acústica total fuera del salón principal del recinto y el nivel L_{p_2} NC - 30

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
$L_{p_{\text{exterior}}}$ (dB)	74	71	77	76	70	66
L_{p_2} (NC – 30)	48	41	35	31	29	28

En la *gráfica 2.4*, se ve de una manera más clara que los niveles de presión acústica resultantes de las mediciones en el templo David están por encima del criterio de ruido NC – 30, por lo tanto es válido realizar el diseño de aislamiento acústico para darle solución a este conflicto:



Gráfica 2.4. Nivel de presión acústica fuera del recinto comparado con el criterio de ruido NC - 30

Es importante estudiar cada división constructiva y descubrir cuál es la más vulnerable a la transmisión de estos niveles de ruido, con el fin de proponer los materiales adecuados para resolver la problemática.

2.5. ABSORCIÓN TOTAL DEL RECINTO

En esta sección se describen los materiales que hay en cada división constructiva del salón principal del recinto; dicho esto es importante identificar el coeficiente de absorción de cada uno de los materiales descritos con el fin de conseguir un aislamiento acústico óptimo para cada frecuencia. La elección de los materiales absorbentes es primordial para el diseño de aislamiento acústico, de esto dependerá que reduzcan los niveles de presión acústica por debajo del criterio de ruido seleccionado en apartados anteriores.

El altar está formado por un área ubicada en el piso, pero tiene un nivel más elevado, aproximadamente de unos 20 cm esto es porque según la creencia de la comunidad, así es como se daban los sermones en la antigüedad: en una zona elevada donde toda la gente pudiera apreciar al predicador y escucharlo de una manera más correcta.

Ubicándose dentro del recinto con vista hacia el altar y de espaldas hacia la puerta de entrada, tenemos las siguientes auxiliares de puntos cardinales: la pared "A" a la izquierda; a la derecha la pared "B"; de frente la pared "C" y de espaldas la pared "D". Nos referimos por su nombre al piso y al techo.

El techo es de concreto, todas las paredes son de concreto pintado a excepción de la pared C ya que es la parte del altar y está revestida de madera. El piso es de mosaico de mármol y las bancas de madera.

La pared A, cuenta con dos ventanas en la parte de abajo cubiertas con cortinas de terciopelo de 0.5 cm de grosor aproximadamente y en la parte media se tiene una puerta de acceso al salón principal que es la que queda a un costado de la bomba de agua; en la parte de arriba se tienen tres ventanas con vidrio de 3mm de espesor aproximadamente que conectan directamente al pasillo de las escaleras hacia los salones de las distintas sociedades (infantil, juvenil y varonil) y la puerta de acceso al mezanine.

En la pared "D" tenemos la puerta principal de acceso al templo y arriba (en la parte del mezanine) se encuentra una ventana que comunica con la calle. El piso del recinto está cubierto con mármol. Los materiales descritos conforman el recinto, donde posteriormente se llevó a cabo la medición con el analizador de espectro de los niveles de presión acústica.

Véase que en la *fig. 2.10*, se indica la nomenclatura de cada partición en los muros del salón principal del recinto.

2.6. DIMENSIONES DEL RECINTO<

Ancho = 5.50 m

Alto = 5.86 m

Largo = 18.27 m

Para obtener el área total del recinto, se calculará el área de cada pared, así como la del techo y la del piso; posteriormente se sumarán cada una de ellas.

$$S = b h \dots\dots\dots (20)$$

Donde:

S = área total

b = base

h = altura

$$S_{\text{pared posterior}} = S_{\text{pared frontal}} = (5.50) (5.86) = 32.23 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{pared lateral derecha}} = S_{\text{pared lateral izquierda}} = (18.27) (5.86) = 107.06 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{techo}} = S_{\text{piso}} = (18.27) (5.50) = 100.48 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{TOTAL}} = (2 \times 32.23) + (2 \times 107.06) + (2 \times 100.48) = 479.54 \text{ m}^2$$

Ahora se calculará el volumen con la siguiente fórmula:

$$V = l \times a \times h \dots\dots\dots (21)$$

Donde:

a = Anchura

h = Altura

l = Longitud

$$V = (5.50) (5.86) (18.27) = 588.84 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, tenemos que:

Área total: 479.54 m²

Volumen: 588.84 m³

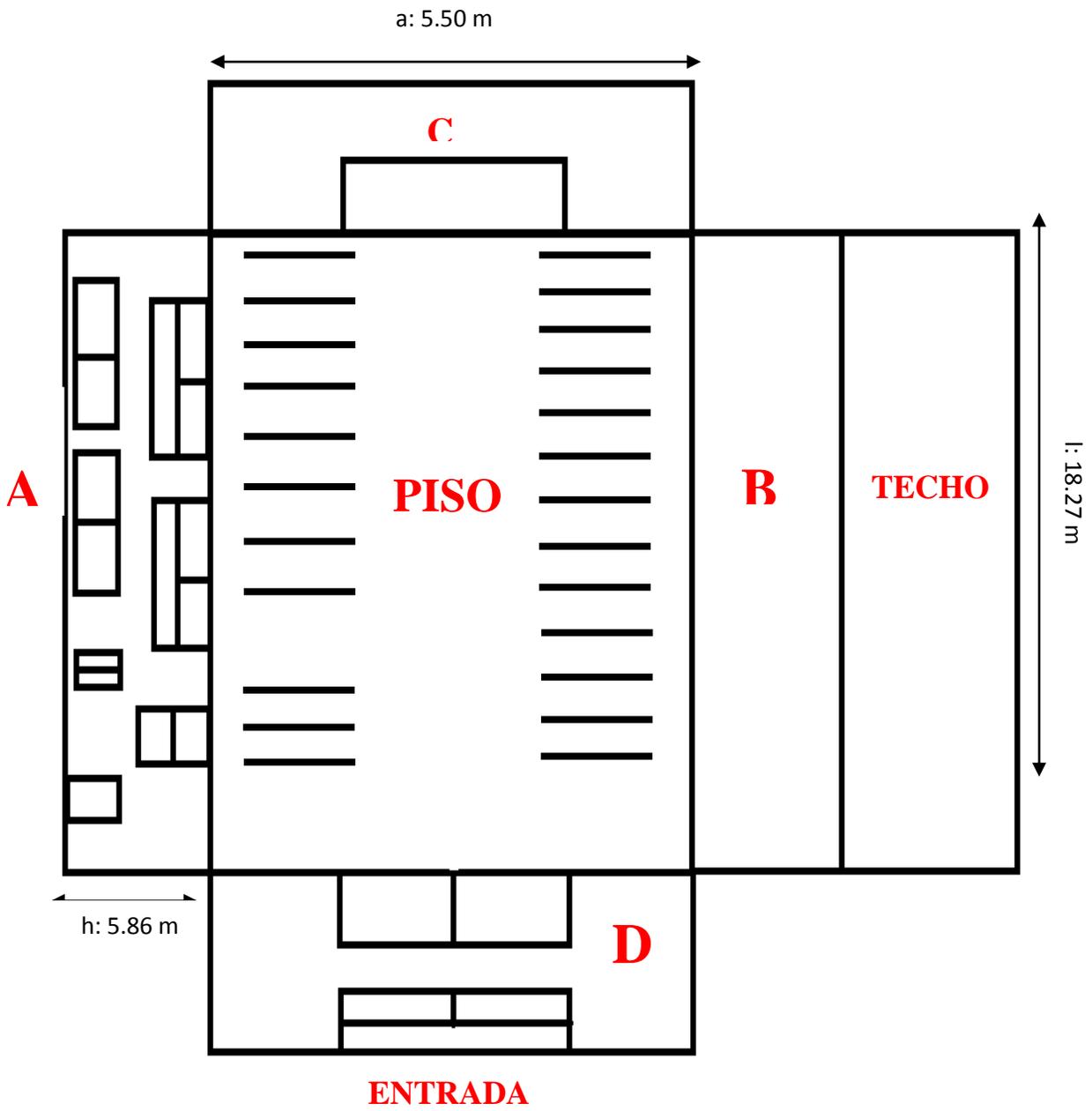


Fig. 2.10. Salón Principal del Templo "David"

Tabla 2.9. Absorción acústica por área de cada material que conforma el salón principal del recinto

	MATERIA L	FREC. Hz	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1 KHz		2 KHz		4 KHz	
			ÁREA (m ²)	α	A=S α	α	A=S α	α	A=S α	A	A=S α	α	A=S α	α
Techo	Concreto	107.0 6	0.10	10.04	0.05	5.02	0.06	6.02	0.07	7.03	0.09	9.04	0.08	8.03
Piso	Mármol	107.0 6	0.01	1	0.01	1	0.01	1	0.02	2	0.02	2	0.01	1
	Butacas de madera		0.72	72.34	0.79	79.37	0.83	83.39	0.84	84.40	0.83	83.39	0.79	79.37
Pared A	Terciopelo (x2)	18	0.14	2.52	0.62	11.16	0.92	16.56	1.62	29.16	1.32	23.76	0.88	15.84
	Ventana de vidrio abajo (x2)	5.12	0.7	3.58	0.5	2.56	0.36	1.84	0.24	1.2	0.14	0.71	0.08	0.40
	Ventana de vidrio arriba (x2)	3	0.7	2.1	0.5	1.5	0.36	1.08	0.24	0.72	0.14	0.42	0.08	0.24
	Ventana de vidrio mezanine	0.5	0.35	0.17	0.25	0.12	0.18	0.09	0.12	0.06	0.07	0.03	0.04	0.02
	Concreto	107.0 6	0.10	10.70	0.05	5.35	0.06	6.42	0.07	7.49	0.09	9.63	0.08	8.56
	Puerta de vidrio acceso No.2	2	0.35	0.7	0.25	0.5	0.18	0.36	0.12	0.24	0.07	0.14	0.04	0.08
Pared B	Concreto	107.0 6	0.10	10.70	0.05	5.35	0.06	6.42	0.07	7.49	0.09	9.63	0.08	8.56
Pared C	Revestimiento de madera	32.23	0.10	3.22	0.11	3.54	0.10	3.22	0.08	2.57	0.08	2.57	0.11	3.54
Pared D	Ventana de vidrio	2.25	0.35	0.78	0.25	0.56	0.18	0.40	0.12	0.27	0.07	0.15	0.04	0.09
	Puerta principal con vidrio	3	0.35	1.08	0.25	0.75	0.18	0.54	0.12	0.36	0.07	0.21	0.04	0.12
	Concreto	32.23	0.10	3.22	0.05	1.61	0.06	1.93	0.07	2.25	0.09	2.90	0.08	2.57

Referencia: Harris Cyril M.

Observe que en la *tabla 2.9*, se muestran los coeficientes de absorción de cada partición del salón principal del recinto en frecuencias centrales por bandas de octava:

Tenemos que en la *tabla 2.10*, se indica la absorción total de cada división constructiva del recinto por frecuencias centrales de bandas de octava:

Tabla 2.10. Absorción acústica total

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
$\Sigma A=S*\alpha$	122.55	118.39	129.27	145.24	144.58	128.42

También se incluye en la *tabla 2.11* el área total por cada material:

Tabla 2.11. Área total por material del salón principal

Material	$S_{total} (m^2)$
Concreto	346.83
Mármol	100.48
Butacas de madera	100.48
Terciopelo	18
Vidrio	15.87
Revestimiento de madera	32.23

2.7. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN

La pérdida por transmisión (TL) para una partición o división constructiva, es la razón de la energía acústica que incide en la partición con respecto a la energía acústica transmitida.

2.7.1. PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN REQUERIDA

La pérdida por transmisión requerida (TLr) en dB por cada banda de octava, será la guía necesaria para elegir el material más apropiado para cada uno de los casos presentados en apartados anteriores de éste capítulo.

Recordando, la ecuación (7) mencionada en la sección 1.6.6, nos permite determinar la pérdida por transmisión necesaria como se indica a continuación:

$$TLr = Lp_1 - Lp_2 + 10 \log (S/A) \dots\dots\dots (7)$$

Para este caso tenemos que:

TLr = Pérdida por transmisión requerida

Lp_1 = Nivel de presión acústica promedio medido con el analizador de espectro en el exterior del salón principal del recinto

Lp_2 = Nivel de presión acústica promedio medido con el analizador de espectro en el interior del salón principal del recinto

S = Área de la partición (m^2)

A = Área equivalente de absorción en el recinto por cada frecuencia (sabins ó m^2)

El cálculo de pérdida por transmisión requerida, se realiza para cada división constructiva a tratar. Para el salón principal del recinto, la pared “A” (nomenclatura establecida en la sección 2.5. y 2.6.) es la más vulnerable al ruido que produce la bomba y los salones de niños, debido a que en ella se encuentran las ventanas y la puerta No. 2 de acceso; es por eso que en esta partición se realizarán los cálculos de TLr .

Para el caso de los niveles de presión acústica registrados en el apartado 2.4 del capítulo anterior, obtenemos la pérdida por transmisión requerida para cada frecuencia, como se muestra en la *tabla 2.12*:

Tabla 2.12. Pérdida por transmisión requerida (TLr) para la pared “A”

Frecuencia		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
TL_r (dB)	Pared “A”	24.41	25.56	32.18	16.67	20.69	24.20

Con base a la *tabla 2.12*, se seleccionarán los materiales más apropiados para el aislamiento acústico.

2.7.2. PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN COMPUESTA

Por otra parte, para determinar la pérdida por transmisión existente, ya que se combinan diferentes materiales ubicados en el mismo plano, se debe de considerar también la pérdida por transmisión compuesta (TLc) la cual está descrita en la sección 1.6.7 ecuación (8) como se indica a continuación:

$$TLc = 10 \log \frac{S}{\sum \tau_i S_i} \dots \dots \dots (8)$$

A su vez determinamos:

$$TL = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad \text{---->} \quad \tau = 10^{-\frac{TL}{10}} \dots \dots \dots (22)$$

En la *tabla 2.13*, se presentan los valores de pérdida por transmisión por banda de octava de cada material que conforma la pared "A": Debido a que en las ventanas de abajo y la puerta 2 de acceso en la pared "A" son de vidrio con un espesor más grueso que las ventanas de arriba, se tomará en cuenta la pérdida por transmisión de cada una, obteniendo una suma de todas las TL de cada vidrio.

Tabla 2.13. Valores de pérdida por transmisión y área de loa materiales en cada partición

		FRECUENCIA		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	Referen cia
		Material	S (m ²) total							
TL (dB)	Pared A	Ventanas de vidrio arriba 3mm	3.5	18	21	26	31	33	22	Egan
		Ventanas de vidrio abajo 6mm	5.12	25	28	31	34	30	37	Egan
		Puerta de vidrio abajo 6mm	2	25	28	31	34	30	37	Egan
		Concreto	107.06	30	34	41	48	56	55	Harris Cyril M.

De acuerdo a los valores de la *tabla 2.13*, se obtendrá el coeficiente de transmisión de cada material, como se observa en la *tabla 2.14*:

Tabla 2.14. Valores de los coeficientes de transmisión de loa materiales en cada partición

FRECUENCIA		125Hz	250Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
τ	Material						
	Ventanas vidrio arriba 3mm	0.015	0.00794	0.00251	0.000794	0.000501	0.00630
	Ventanas de vidrio abajo 6mm	0.0031	0.00158	0.000794	0.000398	0.001	0.000199
	Puerta de vidrio abajo 6mm	0.0031	0.00158	0.000794	0.000398	0.001	0.000199
	Concreto	0.001	0.00039	0.000079	0.000015	0.000002	0.000003

Utilizando la ecuación (8) y los valores de las *tablas* 2.13 y 2.14 para calcular la pérdida por transmisión compuesta se obtiene la *tabla* 2.15 con los resultados para la pared “A”.

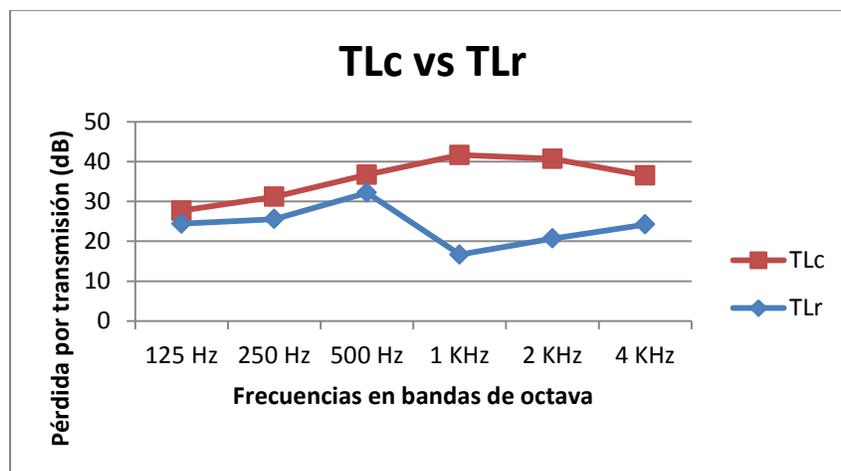
Tabla 2.15. Pérdida por transmisión compuesta por cada partición

Frecuencia		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
TLc (dB)	Pared “A”	27.69	31.17	36.69	41.66	40.68	36.52

Al comparar los valores de *TLc* (*tabla* 2.15) y los valores de *TLr* (*tabla* 2.12) entre sí, la diferencia resultante indicará si se requiere mejorar el aislamiento acústico para cada partición a tratar. Es decir que si la pérdida por transmisión compuesta (*TLc*) es mayor que la pérdida por transmisión requerida (*TLr*), se realizará la mejora de aislamiento acústico para el templo utilizando materiales que superen la exigencia mínima.

Por lo tanto, se debe satisfacer la siguiente condición:

$$TLr < TLc$$



Gráfica 2.5. Valores de TLc y TLR para la pared “A”

Se aprecia en la *gráfica 2.5* que, se debe mejorar el aislamiento acústico para la pared “A”, la pérdida por transmisión compuesta en todas las frecuencias analizadas es mayor que la pérdida por transmisión requerida. Esto se debe a que en la pared “A” está conformada por un mayor número de ventanas y puertas que son más vulnerables al ruido.

2.8. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES EN LA BOMBA DE AGUA

Para desarrollar los cálculos correspondientes a la obtención de los parámetros para control de vibraciones en la bomba que abastece de agua a todo el recinto, primero debemos hacer un breve análisis del escenario principal:

- La bomba de agua está montada sobre una base común de madera y esta transmite vibraciones a través de las estructuras más vulnerables a la vibración, lo que provoca un mayor nivel de ruido dentro del salón principal del recinto.
- De acuerdo a los datos técnicos que son proporcionados por el proveedor de la bomba de agua, se sabe que tiene un peso de 12 Kg, una velocidad en el motor de 3,450 rpm y una frecuencia de 60 Hz.

Ahora, el objetivo primordial es lograr reducir la vibración transmitida a la estructura de apoyo y a los muros cercanos más vulnerables a esta propagación. Por lo general, es posible obtener una eficiencia de aislamiento de la vibración del 70 al 90%, pero para este trabajo se elegirá una eficiencia del 80%.

Una vez conociendo las especificaciones técnicas de la bomba de agua, podemos empezar a realizar los cálculos para proponer el tipo de aisladores que son más eficientes de acuerdo a las necesidades expuestas con anterioridad.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO Y CONTROL DE VIBRACIONES

3.1. AISLAMIENTO ACÚSTICO DE VENTANAS Y PUERTA 2 DE ACCESO

Como sabemos, existen algunos factores que disminuyen el aislamiento acústico de una pared, como son rendijas, orificios, puertas y/o ventanas.

Las puertas y ventanas, son puntos débiles para la penetración directa del ruido exterior debido a la baja intensidad de los vidrios, a un montaje inadecuado de éstas, además de que en la mayoría de los casos el cierre no es hermético.

De acuerdo con la *gráfica 2.5*, la pared “A” satisface la condición $TL_n < TL_c$ en todas las bandas de frecuencia, y por lo tanto es necesario realizar la propuesta de mejora del aislamiento acústico.

La transmisión del sonido a través de ventanas se rige por los mismos principios físicos que afectan a las paredes. Las medidas prácticas de control de ruido están influidas por las propiedades del cristal y las características de los montajes de las ventanas.

El uso de cristales dobles o triples aumentan la pérdida por transmisión a frecuencias altas, pero la mejora global depende de la separación de los cristales. La resonancia masa – aire – masa, produce una bajada significativa en la pérdida por transmisión para frecuencias bajas o medias.

Cerca de la frecuencia de resonancia, la pérdida por transmisión es en realidad inferior a la de una capa única del mismo cristal, ya que la cámara de aire sólo aporta un aumento en la pérdida por transmisión a frecuencias por encima de la resonancia. Al aumentar la cámara de aire y/o usar cristales más pesados, la bajada puede desplazarse fuera de rango de frecuencias de interés, consiguiendo una pérdida por transmisión mucho más alta.

Para el aislamiento acústico que se llevará a cabo en la pared “A” se sugiere sustituir las ventanas originales por un doble vidriado hermético, es decir, ventanas de doble vidrio con una cámara de aire entre ellos de 25mm.

Para este caso, los espacios que se propone aislar acústicamente con vidrios dobles serán: las dos ventanas de la parte de arriba que comunican con el pasillo de las escaleras hacia los salones y la puerta 2 de acceso al salón principal que prácticamente es un cancel con vidrio de 3mm aproximadamente, como se ve en las *fig. 3.1* y *fig. 3.2*.



Fig.3.1. Ventanas que comunican al pasillo de la escalera hacia los salones



Fig.3.2. Puerta de acceso No. 2

El vidrio interno será de 3 mm, conservando el mismo espesor que el de las ventanas y la puerta 2 de acceso. El vidrio que estará en la parte exterior será de 6 mm de espesor, como se observa en la *fig. 3.3*.

Dicho arreglo brinda un aislamiento acústico eficiente, ya que la diferencia de espesores de los vidrios evita en lo posible la aparición de resonancias que pueden reducir el aislamiento acústico.

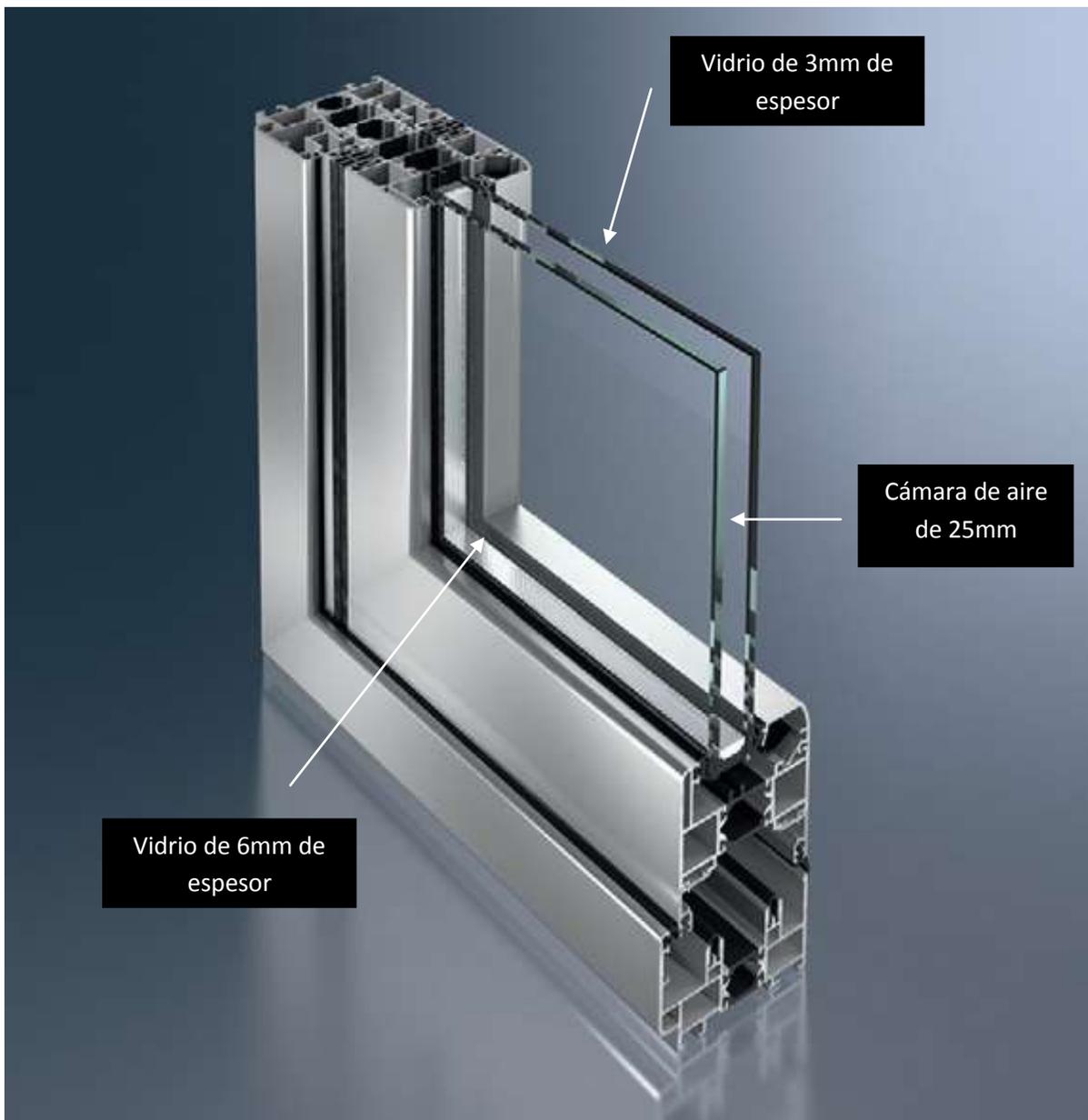


Fig.3.3. Propuesta de arreglo para ventanas y puerta 2 de acceso con doble vidrio en pared "A"

3.1.1. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN PROPUESTA

Véase que en la *tabla 3.1* se presentan los valores de pérdida por transmisión por cada banda de octava del material sugerido que conforma la propuesta de aislamiento acústico en la pared "A".

Tabla 3.1. Valores de pérdida por transmisión del material propuesto

Frecuencia		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	Referencia
TL (dB)	Vidrio 3mm + 25mm en cámara de aire + vidrio de 6mm	24	26	37	42	42	46	Harris Cyril M.

De acuerdo a los valores de la *tabla 3.1*, se realizan los cálculos correspondientes para obtener el coeficiente de transmisión de los vidrios dobles, cuyos resultados se observan en la *tabla 3.2*.

Tabla 3.2. Valores de coeficiente por transmisión del material propuesto

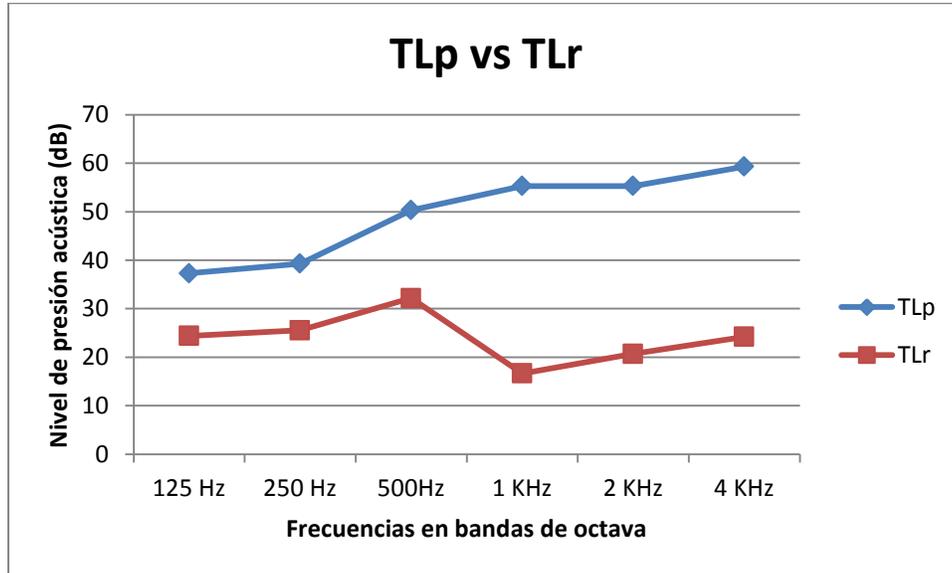
Frecuencia		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
$T_{\text{Propuesto}}$	Vidrio 3mm + 25mm en cámara de aire + vidrio de 6mm	3.98×10^{-3}	2.51×10^{-3}	1.99×10^{-4}	6.30×10^{-5}	6.30×10^{-5}	2.51×10^{-5}

Con los valores de la *tabla 3.2* de los coeficientes por transmisión del material propuesto, se obtendrán los valores de pérdida por transmisión propuesta en la pared "A", cuyos resultados se ven en la *tabla 3.3*:

Tabla 3.3. TLp de la propuesta de aislamiento acústico para la pared "A"

Frecuencia			Área m ²	125 Hz	250 Hz	500Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
TL _p (dB)	Pared "A"	Ventanas de vidrio x2	3	37.30	39.30	50.31	55.31	55.31	59.30
		Puerta de acceso No. 2	2						

De acuerdo con los valores de la *tabla 3.3*, podemos afirmar que la propuesta para mejora de aislamiento acústico es válida, ya que se cumple la condición $TLp > TLR$, como se observa en la *gráfica 3.1*:



Gráfica 3.1. Valores de TLp y TLR para la pared "A"

3.1.2. NIVEL DE RUIDO ESPERADO

Para obtener el nivel de ruido esperado dentro del recinto (L_2), se utiliza la siguiente ecuación:

$$Lp_2 = Lp_{exterior} - TLp + 10 \log (S/A) \dots\dots\dots (23)$$

Donde:

$Lp_{exterior}$ = nivel de presión acústica fuera del salón principal del recinto.

TLp = pérdida por transmisión propuesta.

S = área de la partición (m^2).

A = área equivalente de absorción en el recinto receptor para cada frecuencia (sabins o m^2).

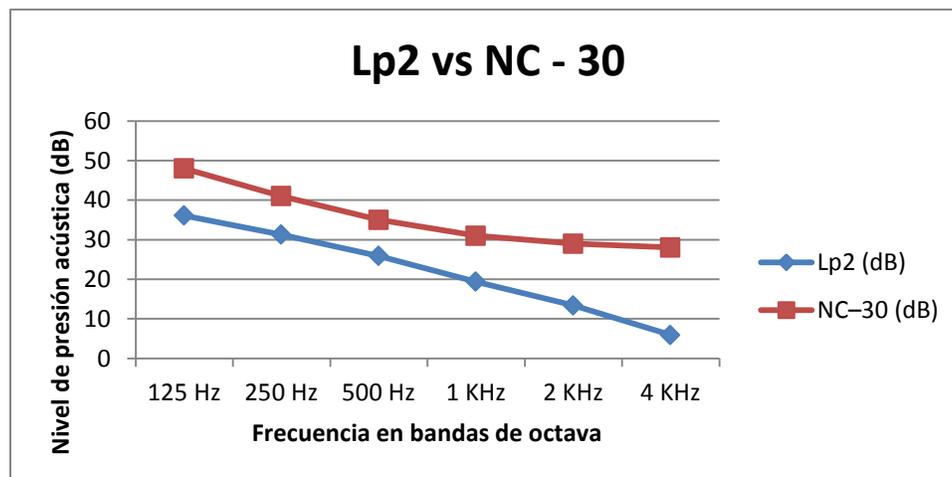
El nivel de ruido esperado (L_{p2}) tiene que ser menor que la curva del criterio de ruido correspondiente al tipo de recinto; en este caso, se debe cumplir la siguiente condición:

$$L_{p2} < L_p \text{ (NC)}$$

En la *tabla 3.4*, se muestran los resultados del nivel de ruido esperado L_{p2} con respecto al criterio de ruido NC – 30 por cada frecuencia central por bandas de octava:

Tabla 3.4. Valores de nivel de ruido esperado L_2 y los valores del criterio de ruido NC - 30

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
L_{p2} (dB)	36.11	31.26	25.87	19.36	13.38	5.90
NC-30 (dB)	48	41	35	31	29	28



Gráfica 3.2. Valores de L_{p2} y la curva de criterio de ruido NC - 30 para la pared "A"

En la *gráfica 3.2*, se observa el nivel de ruido esperado (L_{p2}) que tendrá el salón principal del recinto con la propuesta de aislamiento acústico, y se puede percibir que la curva de L_{p2} está por debajo de la curva de categorización de ruido NC – 30, así que la propuesta de aislamiento acústico cumple con lo solicitado. Los resultados obtenidos en este diseño se refieren a valores teóricos, que en la práctica, se espera alcanzar cantidades más altas de nivel de ruido esperado como en el caso de las frecuencias de 2 kHz y 4 kHz.

La realización de la especificación NC – 30 deduce uno de los pasos para conseguir un confort acústico y un nivel de inteligibilidad adecuados en el recinto.

3.2. CONTROL DE VIBRACIONES EN LA BOMBA DE AGUA

De acuerdo con lo expuesto en la sección 2.8 del capítulo anterior, conocemos los parámetros básicos para realizar los respectivos cálculos para la elección del sistema de control de vibraciones.

Recordando entonces, tenemos los siguientes datos:

- Peso de la bomba: 12 kg.
- Velocidad: 3,250 rpm.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Eficiencia de aislamiento: 80%.

3.2.1. DESARROLLO DEL DISEÑO PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES EN LA BOMBA DE AGUA

Recapitulando en el apartado 1.7.7 del capítulo uno de este trabajo, realizaremos el proceso para el control de vibraciones, utilizando las fórmulas escritas en la misma sección, lo cual nos permitirá determinar el tipo de aislador que es más conveniente para la comunidad y resolver la problemática.

1. Se halla en primer lugar la transmisibilidad T que corresponde a la eficiencia de aislamiento de vibración que en este caso es de 80% ($E = 0.8$), por lo tanto tenemos que:

$$T = 0.2$$

2. Se determina entonces el valor más bajo de la frecuencia de excitación en Hertz dividiendo 3,250 rpm entre 60, y se obtiene un valor de:

$$f = 57.5 \text{ Hz}$$

3. A continuación, se calcula la frecuencia natural f_n que necesita el sistema de aislamiento para aportar una transmisibilidad T para una frecuencia de excitación de f Hz. Utilizando $T = 0.2$ y $f = 57.5$ Hz, se obtiene:

$$f_n = 23.47 \text{ Hz}$$

4. Ahora se determina la deflexión estática δ_{es} precisa para la frecuencia natural:

$$\delta_{es} = 0.45 \text{ mm}$$

5. Se calcula entonces la constante k para la combinación de los elementos elásticos, obteniendo:

$$k = 261052257 \text{ N/ mm}$$

6. Se calcula la constante k para cada elemento elástico, entonces:

$$k = 65263064.33 \text{ N/ mm}$$

7. Ahora se determina la carga total que soportarán los elementos elásticos, para este caso será:

$$m = 12 \text{ kg.}$$

8. Por último, calculamos la carga que soportará cada elemento elástico, que será de:

$$m = 3 \text{ kg.}$$

En la *tabla 3.5*, se presentan los datos calculados en el proceso anterior:

Tabla 3.5. Resultados para el aislador de vibraciones

DATOS	CANTIDAD	UNIDADES
Frecuencia más baja de excitación, f	57.5	Hz
Velocidad angular	3450	RPM
Masa	12	Kg
Número de elementos elásticos (puntos de apoyo)	4	
Eficiencia de aislamiento, E	80%	
Transmisibilidad	0.2	
Frecuencia natural	23.47	Hz
Deflexión estática	0.45	cm

Rigidez de sistema de aislamiento	65263064.33	N/ mm
Carga de cada elemento elástico	3	Kg

3.2.2. PROPUESTA DE ELEMENTOS ELÁSTICOS PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la *tabla 3.5*, los segmentos fundamentales con los cuales podremos seleccionar nuestros aisladores son la rigidez del sistema de aislamiento y la carga total que puede soportar cada elemento elástico, por lo tanto se propone utilizar un arreglo de cuatro resortes como base que soportarán la bomba y permitirán la reducción de las vibraciones excesivas en piso y muros, esto será de gran beneficio para la comunidad y el mobiliario que conforma el recinto además que tendremos la ganancia de alcanzar una reducción de ruido provocado por las superficies estructurales vibrantes.

Para que el diseño esté completo, es necesaria la instalación de un tubo o una manguera flexible que nos permita reducir las vibraciones desde la bomba de agua hasta la estructura entre los aisladores.

En la *fig. 3.4*, se muestra el elemento elástico para el control de vibraciones que se propone para este diseño:



Fig.3.4. Propuesta de aislador tipo resorte para el control de vibraciones en la bomba de agua

Los resortes abiertos son la solución para eliminar ruido y vibración de los equipos soportados a piso, la gran deflexión de los resortes (1 pulgada) hace que sean muy buenos eliminando vibraciones de alta y muchas de baja frecuencia, así como ruido. Su sencillez los hace muy económicos y prácticos para su instalación.

Para evitar que la vibración se transmita de un equipo vibrante, como una bomba a las tuberías se deben colocar mangueras que absorban la vibración y que corrijan las desviaciones de alineación. Cuando el uso de mangueras o juntas de hule no es posible por el uso, la presión o cualquier otro caso, se recomienda usar las mangueras metálicas de acero inoxidable brindadas; su cuerpo corrugado le da flexibilidad y su tramado de acero inoxidable la protege.

En la *fig. 3.5*, se indica la manguera flexible para sustituir la tubería actual de la bomba de agua:



Fig.3.5. Propuesta de manguera metálica de acero inoxidable

En la *fig. 3.6*, se observa el sistema completo de control de vibraciones propuesto para este trabajo:

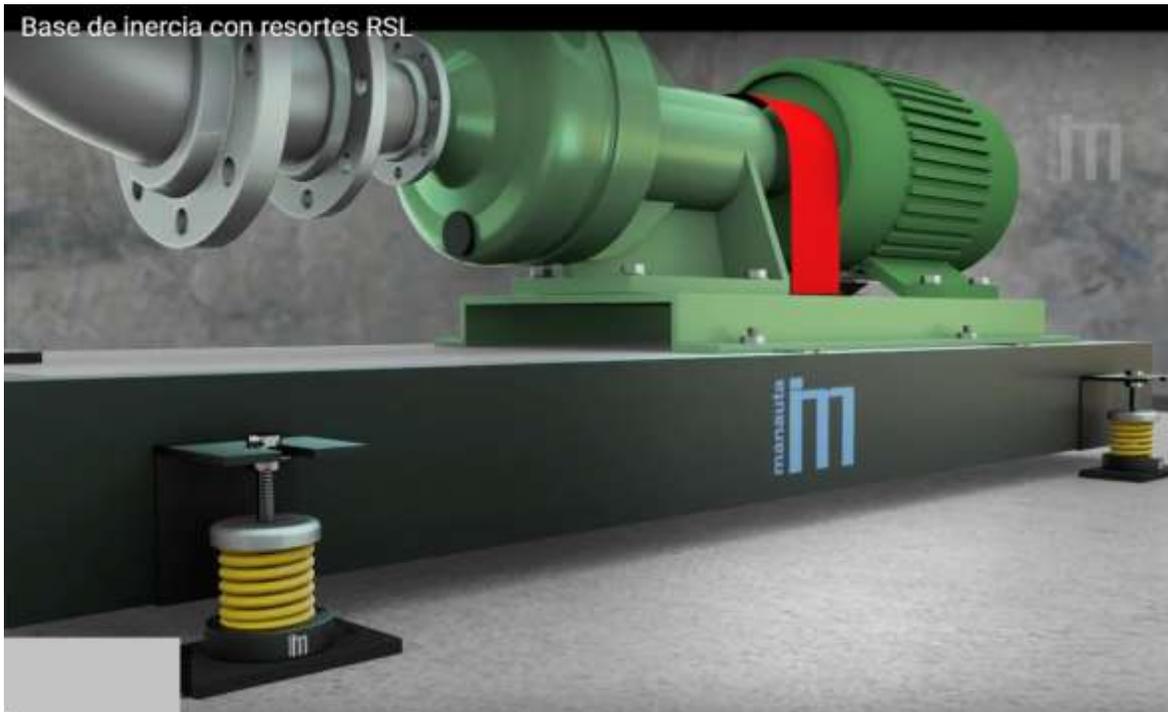


Fig.3.6. Propuesta de instalación del sistema de aislamiento de vibraciones

3.3. PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO

3.3.1. MINISPLITS

Un acondicionador de aire, de descarga libre sin conductos de aire, constituido por dos cuerpos (minisplit), es un acondicionador de aire, constituido por dos cuerpos, uno al interior del cuarto, espacio o zona cerrada (espacio acondicionado) y otro al exterior conectados por tuberías. Está constituido por una fuente primaria de refrigeración para enfriamiento y/o deshumidificación y puede incluir medios para calefacción, circulación y limpieza del aire (*fig. 3.5*) [14].

La capacidad de enfriamiento se mide en BTUs (British Thermal Units). Un BTU es la cantidad de calor que emite un fósforo y, en los aires acondicionados, es la capacidad de extraer el calor del aire en una hora

El equipo debe instalarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante, utilizando los procedimientos y accesorios de instalación recomendados. Si el equipo puede instalarse de distintas maneras, las pruebas deben realizarse utilizando la condición más desfavorable. En todos los casos, deben seguirse las recomendaciones del fabricante en relación a las distancias desde los muros adyacentes, cantidades de extensiones a través de los muros, etc.

La unidad evaporadora y condensadora deben de conectarse con una tubería de $5\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$ de longitud. En la *fig. 3.4*, se puede observar la nomenclatura básica de un sistema de aire acondicionado minisplit:

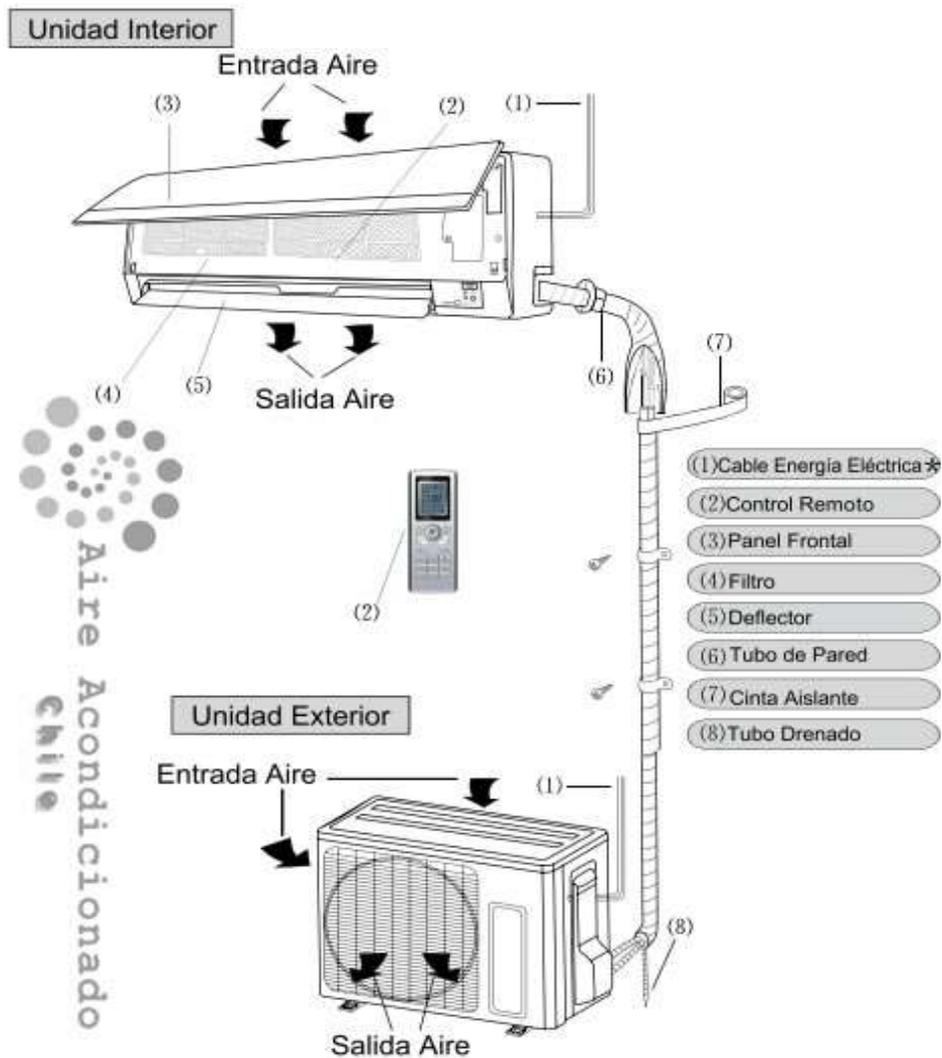


Fig.3.4. Nomenclatura básica de un sistema de aire acondicionado

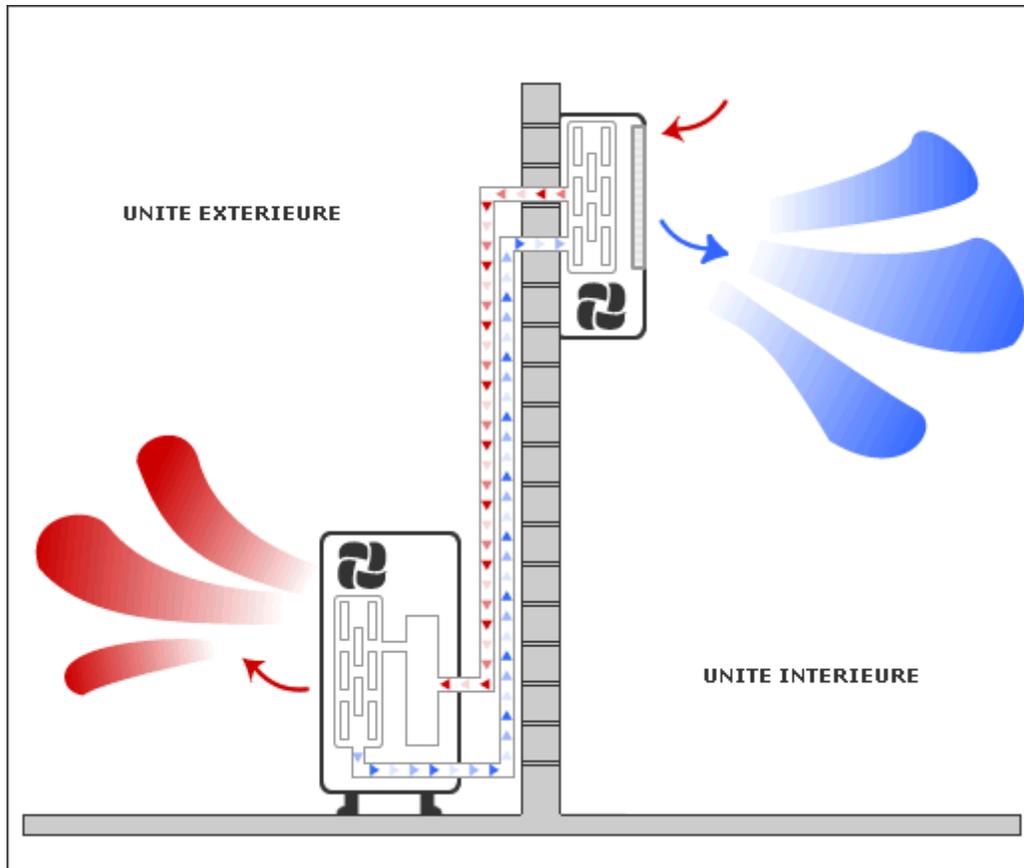


Fig.3.5. Diagrama de funcionamiento de un minisplit

3.3.2. UBICACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO DENTRO DEL SALÓN PRINCIPAL DEL RECINTO

Como se mencionó anteriormente, las particiones en las que se propone la instalación de vidrios dobles para mejorar el aislamiento acústico (ventanas de arriba y puerta 2 de acceso en la pared "A"), se mantienen abiertas debido a que existe un aumento de temperatura en el salón principal del recinto, es por eso, que hay un mayor nivel de presión acústica transmitido dentro del salón principal desde los salones de los niños y la bomba de agua.

La idea de los materiales propuestos, es mantener las ventanas y la puerta 2 cerradas durante el servicio central que se imparte para reducir los niveles de presión acústica. Obviamente en esta condición, aumentará aún más la temperatura a como normalmente se siente, por lo tanto, se propone la instalación de minisplits en distintos puntos del salón para que esta circunstancia climática mejore y así exista un confort acústico agradable sin preocuparse de abrir las ventanas o la puerta 2.

Ya que el salón principal del recinto es de dimensiones grandes, se propone la instalación de dos minisplits en los puntos indicados en la *fig. 3.5* y en la *fig. 3.6*.

Es importante atender algunas indicaciones que nos permitirán la instalación correcta del sistema de aire acondicionado.

Para la unidad interior del minisplit se recomienda lo siguiente:

- 1.- La unidad debe estar instalada en un lugar donde no obstruya el flujo de aire.
- 2.- El lugar debe de soportar el peso de la unidad interior.
- 3.- El lugar debe ser de fácil acceso para el mantenimiento y reemplazo del filtro de aire.
- 4.- El lugar debe permitir el espacio necesario alrededor de la unidad interior.
- 5.- Debe haber al menos 1m entre la unidad y dispositivos de radio y televisión. Lo ideal es que la unidad esté instalada en el centro.
- 6.- Debe estar lejos del fuego, humo y gases inflamables.
- 7.- La unidad interior debe de estar al menos a 2.3 m del piso.
- 8.- El lugar debe permitir que se pueda quitar el drenaje conector y la manguera del mismo fácilmente.
- 9.- La unidad debe estar protegida de la luz solar directa.

Para la unidad exterior del minisplit se recomienda lo siguiente:

- 1.- Debe instalarse en un lugar conveniente que no esté expuesto a vientos fuertes. El lugar debe estar seco y bien ventilado.
- 2.- El lugar debe soportar el peso de la unidad exterior y permitir la instalación vertical.
- 3.- No debe haber la posibilidad de aumento de ruido y vibración en el lugar.
- 4.- La unidad debe estar instalada en un lugar donde el ruido producido por su funcionamiento y descarga de aire no moleste a los vecinos o animales.
- 5.- El lugar no debe tener fuga de gases inflamables.
- 6.- El lugar debe permitir el espacio necesario alrededor de la unidad.
- 7.- Los niños no deben poder acceder al lugar de instalación.

Como todos sabemos, la climatización es importante en diferentes épocas del año, no se puede mantener una temperatura baja cuando es temporada de invierno por ejemplo, así que la opción ideal para el templo será un sistema de aire acondicionado minisplit de dos toneladas con una capacidad de 24 000 BTU que permita ambientar el recinto ya sea con aire frío o aire caliente.



Fig.3.5. Ubicación de punto 1 de instalación

En la fig. 3.5, se propone el punto de instalación en esa parte del salón principal para poder abarcar el área del mezanine.



Fig.3.6. Ubicación de punto 2 de instalación

Se propone el punto 2 (fig. 3.6), ya que abarcaría toda la sección de las bancas en la parte de abajo del mezanine. Al estar encendidos ambos sistemas de minisplits, se podrá ambientar todo el salón principal del recinto de manera que no exista la necesidad de abrir ninguna ventana, y con esto, gracias a los materiales propuestos en el aislamiento acústico; el servicio principal se llevará a cabo de una manera más correcta y se captará mejor el mensaje hablado.

3.4. COSTO DEL PROYECTO

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL IVA INCLUIDO
2 ventanas fijas	Vidrio 3mm + 25mm en cámara de aire + vidrio de 6mm	Suministro e instalación de ventanas superiores	\$6,453.30	\$14,969
1 cancel	Vidrio 3mm + 25mm en cámara de aire + vidrio de 6mm	Suministro e instalación de puerta 2 de acceso	\$6,853.30	\$7,949.82
2	Sistema de aire acondicionado minisplit inverter frío/calor	Suministro e instalación de sistema de aire acondicionado	\$6,704	\$13,408
4	Resortes abiertos RSL B20	Suministro e instalación de resortes abiertos RSL B20	\$266.62	\$1,237
1	Manguera flexible de acero inoxidable	Suministro e instalación de manguera flexible de acero inoxidable	\$190.45	\$221
Precio total de equipamiento para el proyecto			\$20,468	\$36,548
Costo de ingeniería (30% del monto del proyecto)				\$10,964
Costo total del proyecto				\$47,512

CONCLUSIONES

Para este trabajo, se tuvo que analizar la problemática que afectaba al salón principal del recinto cuando éste llevaba a cabo su servicio principal.

En el proyecto solo se tomó en cuenta la parte de aislamiento acústico, aunque sabemos que acondicionamiento y asilamiento acústicos, son dos conceptos que no se pueden dissociar; pero en esta ocasión sólo se consideró la parte de aislamiento, ya que primordialmente la situación a resolver fue la disminución de los niveles de presión acústica (transmitidos por las fuentes ya mencionadas en el desarrollo de esta propuesta) que se manejaban cuando el templo llevaba a cabo su servicio principal.

Se desarrollaron los cálculos correspondientes, demostrando que los materiales elegidos para el aislamiento acústico cumplen con el objetivo, logrando que los niveles de presión acústica estén por debajo de la curva NC – 30, que es considerada para iglesias o templos pequeños.

Dicha propuesta de aislamiento acústico está orientada principalmente a las particiones más vulnerables a la transmisión de ruido, que como se observó, corresponden a las ventanas y puertas de cada pared, debido a su masa ligera o a su mala colocación.

Es más fácil aislar frecuencias altas que frecuencias bajas, y se puede ver en el nivel de ruido esperado dentro del salón principal del recinto.

Con la propuesta para la bomba del agua la instalación de resortes y la manguera flexible de acero inoxidable se cumple con la reducción de vibraciones excesivas, y con ello también se reduce el nivel de ruido irradiado en las superficies estructurales vulnerables a la vibración que afecta al servicio cristiano del salón principal del recinto.

Además, con la propuesta de montaje de aire acondicionado (minisplits), se resuelve la problemática de niveles de temperatura altos o a su vez niveles bajos de temperatura.

En resumen, con esta propuesta se garantiza que existirá una mejor audición y una mejor concentración en el mensaje hablado durante los cultos realizados; así como también un ambiente climático más agradable para los asistentes.

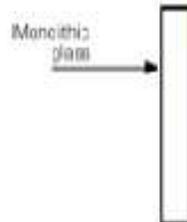
ANEXOS

- Hoja de especificaciones del analizador de espectro Phonic PAA3

Entrada/Salida	
Micrófono	Micrófono miniatura integrado omni direccional de condensador
Línea	jacks XLR para entrada y salida de línea
Puerto de Datos	Interfase USB 1.1
Display :	Pantalla LCD 160X160 con ajuste de contraste y luz de fondo
SPL, dBu, dBV, Voltaje	Graficas de barra y display digital
RTA	31-bandas, resolución de 0.5dB, frecuencias centrales estándar ISO de 20Hz a 20KHz
Rango de Medición	
SPL (Entrada de Micrófono)	30 a 130 dB SPL
dBu (Entrada de Línea)	-50 a +40 dBu
dBV (Entrada de Línea)	-52 a +38 dBV
Voltage (Entrada de Línea)	5 mV a 80 V
Configuración	
Weighting	A, C o Flat
Peak hold	ON/OFF
Display de Nivel Máximo	RESET
Tiempo de Respuesta	35 ms, 125 ms, 250 ms, 1 seg.
Otras Funciones	
RT60	Display de tiempo de Reverberación, hasta 30 segundos
Memoria	10 RTA+ 6 calculo promedio
Calculo Promedio	Para 10 memorias de RTA
Display de valores de configuración de EQ	31-bandas
Analisis de Fase	A través de señal de polaridad
Transmisión	Operación simultanea con PC o laptop a través del puerto USB
Generador de Ruido (Basado en alimentacion a 6VDC)	
Ruido Rosa	Salida Balanceada, -10 dBu
Señal de 1K Hz	Salida Balanceada, -10 dBu
Señal de Polaridad	Salida Balanceada, -10 dBu
Alimentación	4 baterias AA (duración: más de 7 horas con baterias alcalinas) o adaptador externo de 6 VDC
Dimensiones (AlxAnxL)	144.95 x 82.95 x 39.42 mm (5.7" x 3.26" x 1.55")
Peso (con baterías)	354 g (0.78 lbs)

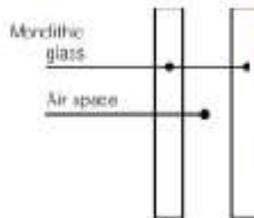
- Vidrio Saflex

Monolithic



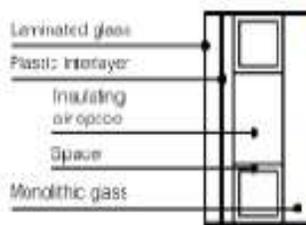
Class Configuration Change	Adjustment
Replacing monolithic glass with single laminated glass (equal weight)	+3cB
Double interlayer thickness from 0.030" to 0.060" Saflex [®] (for 3/8" total glass thickness or greater)	+1cB

Insulating



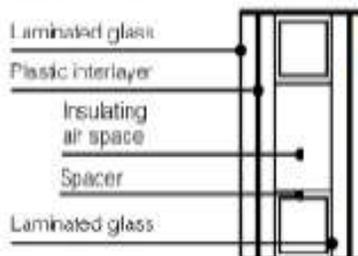
Class Configuration Change	Adjustment
Replace one light with equal thickness of laminated glass	+1cB
Double air space	+3dB*
Double total glass weight	+1cB
Change from unsealed to sealed insulating glass	+1cB

Laminated Insulating



Class Configuration Change	Adjustment
Change from insulating to laminated insulating (equal weight, equal air space)	+1cB
Double air space	+3dB*
Double glass weight	+3cB
air space thickness less than 1"	+1cB
air space thickness greater than 1"	+1cB
Change from unsealed to sealed insulating glass	+1cB

Double Laminated Insulating



Class Configuration Change	Adjustment
Change from laminated insulating to double laminated insulating	+3cB
Double air space	+3dB*
Double glass weight	+1cB

- Sistema de aire acondicionado minisplit:

**MINISPLIT
INVERTER**







ECOLÓGICO

**AHORRA HASTA UN
60% DE ENERGÍA**



INVERTER - MODELOS DISPONIBLES																
MODELO	CAPACIDAD	CARACERO		VOLTAJE (V-1)	AMPERIAJE (A)	POTENCIA (W)	REFRIGERANTE	EFICIENCIA (SEER RTUPW)	DIMENSIONES (mm)						PESO NETO (kg)	
		EVAPORADORA	CONDENSADORA						TON	BTU/H	EVAPORADORA			CONDENSADORA		
SOLO FRIO																
FREL121C	FKDL121C	1	12,000	110	15	1700	R-410A	15.72	800	280	190	715	540	235	10	26
FREL122C	FKDL122C	1	12,000	220	6.2	1450	R-410A	16.85	800	280	190	715	540	235	10	26
FREL182C	FKDL182C	1.5	18,000	220	9.5	2050	R-410A	17.10	800	292	215	850	605	295	13	40
FREL242C	FKDL242C	2	24,000	220	10.4	2180	R-410A	15.70	1060	300	220	875	690	315	16	53
FREL302C	FKDL302C	2.5	30,000	220	14	3000	R-410A	15.62	1185	340	260	900	805	360	17	59
FRIO / CALOR																
FREL121H	FKDL121H	1	12,000	110	15	1700	R-410A	15.72	800	280	190	715	540	235	10	26
FREL122H	FKDL122H	1	12,000	220	6.2	1450	R-410A	16.85	800	280	190	715	540	235	10	26
FREL182H	FKDL182H	1.5	18,000	220	9.5	2050	R-410A	17.10	800	292	215	850	605	295	13	40
FREL242H	FKDL242H	2	24,000	220	10.4	2180	R-410A	15.70	1060	300	220	875	690	315	16	53
FREL302H	FKDL302H	2.5	30,000	220	14	3000	R-410A	15.62	1185	340	260	900	805	360	17	60

- Especificaciones del sistema de aire acondicionado minisplit:

Especificaciones:

Modelo	Capacidad BTU	Potencia	Voltaje	Función	Eficiencia (SEER)
1 Tonelada	12,000 BTU	1700	110 V	Solo Frío	16.72
1 Tonelada	12,000 BTU	1450	220 V	Solo Frío	16.85
1.5 Toneladas	18,000 BTU	2050	220 V	Solo Frío	17.1
2 Toneladas	24,000 BTU	2180	220 V	Solo Frío	16.7
2.5 Toneladas	30,000 BTU	3100	220 V	Solo Frío	16.72
1 Tonelada	12,000 BTU	1700	110 V	Frío / Calor	16.72
1 Tonelada	12,000 BTU	1450	220 V	Frío / Calor	16.85
1.5 Toneladas	18,000 BTU	2050	220 V	Frío / Calor	17.1

- **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BOMBA DE AGUA**

Características técnicas

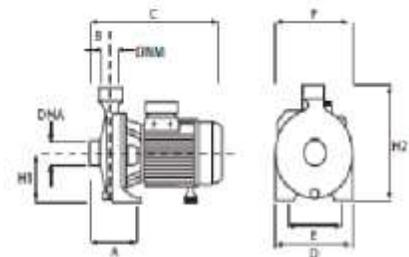
Bomba Centrífuga	CM 050/23 M 1/2 HP	CM 075/30 M 3/4 HP	CM 100/36 M 1 HP
Temperatura máxima del líquido bombeado	50 °C	50 °C	50 °C
Máxima / mínima temperatura ambiente	40 °C / 5 °C	40 °C / 5 °C	40 °C / 5 °C
Número máximo de piezas en marcha / hora	40 distribuidas	40 distribuidas	40 distribuidas
Altura máxima de aspiración (aconsejada)	5 m (con pichancha)	5 m (con pichancha)	5 m (con pichancha)
Presión máxima de ejercicio (Válvula cerrada)	2.2 bar (kg / cm ²)	2.7 bar (kg / cm ²)	2.9 bar (kg / cm ²)
Altura máxima de descarga (Válvula cerrada)	22 m	27 m	29.7 m
Tensión	127 Vca	127 Vca	127 Vca
Caudal máximo (Q)	105 LPM	110 LPM	120 LPM
Corriente máxima	5.5 A	8.1 A	9.8 A
Potencia	1/2 HP	3/4 HP	1.0 HP
Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Consumo energético	453.62 Wh	331.4 Wh	977.21 Wh
Tipo de motor	Asincrónico	Asincrónico	Asincrónico
Velocidad de motor	3450 RPM	3450 RPM	3450 RPM
Aislamiento	Clase F	Clase F	Clase F
Grado de protección	IP 44	IP 44	IP 44
Conexión de succión	1"	1"	1"
Conexión de descarga	1"	1"	1"



2 años de garantía

Cuadro de dimensiones

Modelo	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	DNA (mm)	DNM (mm)	Peso (Kg)
CM 050	110	44	280	148	100	170	90	210	25.4	25.4	8.4
CM 075	105	40	300	200	140	201	110	245	25.4	25.4	11.9
CM 100	120	80	300	180	140	205	110	240	25.4	25.4	12



- **ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE RESORTES ABIERTOS RSL**

Modelo	Color Resorte	Carga a 1" deflexión (kg)	Razón de carga (kg/cm)	Deflexión máxima (cm)	S O P O R T E				Tornillo elevación (plg)
					Peso (kg)	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	
RSL - B5	amarillo	27	10.5	3.55	0.50	9.0	7.6	11.5	1/2"x2" NC13
RSL - B10	marrón	66	26.0	3.55	0.54	9.0	7.6	11.5	1/2"x2" NC13
RSL - B20	negro	114	45.0	2.79	0.61	9.0	7.6	11.5	1/2"x2" NC13
RSL - B30	azul	123	48.5	2.79	0.61	9.0	7.6	11.5	1/2"x2" NC13
RSL - B40	rojo	160	63.0	2.79	0.62	9.0	7.6	11.5	1/2"x2" NC13
RSL - B50	naranja	222	87.3	2.79	0.68	9.0	7.6	11.5	1/2"x2" NC13
RSL - C17	negro	80	31.5	4.32	0.93	12.0	9.0	14.5	1/2"x2" NC13
RSL - C26	amarillo	123	48.5	3.81	0.98	12.0	9.0	14.5	1/2"x2" NC13
RSL - C35	vino	159	62.6	3.55	1.05	12.0	9.0	14.5	1/2"x2" NC13
RSL - C40	blanco	191	75.07	3.05	1.10	12.0	9.0	14.5	1/2"x2" NC13
RSL - C50	naranja	223	87.7	3.05	1.15	12.0	9.0	14.5	1/2"x2" NC13
RSL - C65	marrón	250	98.4	3.05	1.17	12.0	9.0	14.5	1/2"x2" NC13
RSL - C80	azul	319	125.5	3.05	1.20	12.0	9.0	14.5	1/2"x2" NC13
RSL - C95	verde	440	173.1	3.05	1.20	12.0	9.0	14.5	1/2"x2" NC13
RSL - D100	plata	828	326.0	3.05	1.20	12.0	9.0	14.5	1/2"x2" NC13

- **ESPECIFICACIONES DE LA MANGUERA FLEXIBLE DE ACERO INOXIDABLE JEM-AC**

EXTREMOS BRIDADOS				EXTREMOS ROSCADOS Y/O A SOLDAR			
Diámetro Nominal (in)	Longitud total (in)	Presión max trabajo (psi)	Peso aprox. (Lb)	Diámetro Nominal (in)	Longitud total (in)	Presión max trabajo (psi)	Peso aprox. (Lb)
2 1/2"	9"	250	16	1/2"	6 1/2"	950	0.40
3"	9"	250	19	3/4"	7"	700	0.15
4"	9"	200	19	1"	8"	550	0.75
6"	11"	200	40	1 1/4"	8 1/2"	420	1.00
8"	12"	200	62	1 1/2"	9"	380	1.25
10"	13"	150	101	2"	10 1/2"	300	2.12

REFERENCIAS

1. Carrión Isbert Antoni, “Diseño acústico de espacios arquitectónicos”, 1ra. Edición., Alfaomega Grupo Editor, 2001
2. Revista “Tectónica 14”, “Introducción a la Acústica Arquitectónica, fundamentos físicos: acondicionamiento y aislamiento acústicos”, Proyectos Dossier, consultado en mayo de 2017
3. Beranek Leo L., “Acústica “, 2da. Editorial Hispanoamericana, 1969
4. Servín Rivas Ilhuicamina Trinidad, Apuntes de Acústica Arquitectural, ESIME, 2017
5. Arau Higini, ABC de la Acústica Arquitectónica, Ediciones ceac, 1999
6. Norma ISO 3382 – 2: 2008, “Acoustics – measurement of room acoustic parameters”, 2008
7. Egan David M., ”Architectural acoustics”, Ed. McGraw Hill, 1988
8. Norma Oficial Mexicana NOM – 023 – ENER 2010, “Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire”
9. Harris Cyril M., “Manual de medidas acústicas y control de ruido”, Ed. McGraw Hill, 1984.
10. Everest Alton F., “Master handbook of Acoustics”, 4⁰ Edición, Ed. McGraw Hill, 2001
11. Ballou Glen M., “Handbook for sound engineers: the new audio cyclopedia”, Ed. Sams, 1991

Sitios Web:

1. www.saflex.com consultado en octubre de 2017
2. www.igreen.mx consultado en octubre de 2017
3. www.frikko.com consultado en octubre de 2017
4. www.dof.gob.mx consultado en octubre de 2017
5. www.kineticsnoisecontrol.com consultado en octubre de 2017