



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**DISEÑO ACÚSTICO DEL TEMPLO EVANGÉLICO
“EL DIVINO REDENTOR”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

PRESENTAN:

**CLAUDIA IVETTE SÁNCHEZ ORTIZ
HORACIO ESAÚ SERRANO CASTRO**

ASESOR:

ING. ILHUICAMINA SERVIN RIVAS



MÉXICO D.F.

MAYO 2009

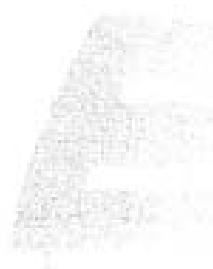
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA(N) DESARROLLAR C. CLAUDIA IVETTE SÁNCHEZ ORTIZ
HORACIO ESAÚ SERRANO CASTRO

"DISEÑO ACÚSTICO DEL TEMPLO EVANGÉLICO "EL DIVINO REDENTOR"

DESARROLLAR LA PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO, AISLAMIENTO ACÚSTICO
Y REFUERZO ELECTROACÚSTICO DEL TEMPLO EVANGÉLICO "EL DIVINO REDENTOR".




- INTRODUCCIÓN
- MARCO TEÓRICO
- ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO
- AISLAMIENTO ACÚSTICO
- REFUERZO ELECTROACÚSTICO
- CONCLUSIONES
- REFERENCIAS

MÉXICO D.F. A 5 DE NOVIEMBRE DE 2008

ASESORES


ING. ILHUICAMINA SERVIN RIVAS


M. EN C. SALVADOR RICARDO MENESES GONZÁLEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA



INDICE

	Pág.
OBJETIVO.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	5
CONDICIONES ACTUALES.....	6
CAPÍTULO 1 Marco teórico.....	7
1.1 Conceptos básicos de Acústica.....	8
1.1.1 Acústica.....	8
1.1.2 Sonido.....	7
1.1.2.1 Propiedades del sonido.....	7
1.1.2.2 Características de una onda.....	9
1.1.3 Niveles acústicos.....	9
1.1.3.1 Decibel.....	10
1.1.3.2 Presión acústica y nivel de presión acústica.....	10
1.2 Acondicionamiento acústico.....	11
1.2.1 Absorción acústica.....	11
1.2.2 Tiempo de reverberación (TR).....	12
1.2.3 Tiempo óptimo de reverberación.....	12
1.2.4 Cálculo del tiempo de reverberación.....	12
1.2.4.1 Ecuación de Sabine.....	13
1.2.4.2 Ecuación de Norris-Eyring.....	13
1.2.5 Materiales absorbentes del sonido.....	14
1.3 Aislamiento acústico.....	15
1.3.1 Ruido.....	15
1.3.2 Criterios de ruido.....	15
1.3.2.1 Curvas RC.....	17
1.3.2.2 Curvas NC.....	18
1.3.2.3 Curvas NCB.....	19
1.3.3 Pérdida por transmisión.....	20
1.3.4 Pérdida por transmisión compuesta.....	20
1.4 Refuerzo electroacústico.....	20
1.4.1 Inteligibilidad.....	21
1.4.2 Sistema electroacústico.....	21
1.4.2.1 Micrófonos.....	22
1.4.2.2 Líneas de audio.....	23
1.4.2.3 Controles electrónicos.....	24
1.4.2.4 Altavoces.....	24

CAPÍTULO 2 Acondicionamiento acústico.....	27
2.1 Tiempo de reverberación actual del recinto.....	28
2.1.1 Características físicas del recinto.....	28
2.1.2 Medición del Tiempo de reverberación (TR).....	29
2.1.2.1 Equipo empleado.....	29
2.1.2.2 Procedimiento de medición.....	29
2.1.3 Tiempo óptimo de reverberación.....	32
2.1.4 Análisis de las condiciones acústicas del recinto.....	35
2.2 Propuesta para el acondicionamiento acústico.....	37
CAPÍTULO 3 Aislamiento acústico.....	43
3.1 Medición del nivel de ruido.....	44
3.2 Criterio de ruido a utilizar.....	45
3.3 Comparación entre los valores actuales y los recomendados.....	46
3.4 Propuesta para el aislamiento acústico.....	51
CAPÍTULO 4 Refuerzo Electroacústico.....	57
4.1 Consideraciones técnicas.....	58
4.1.1 ¿Todos pueden escuchar?.....	60
4.1.2 ¿Es suficientemente fuerte?.....	60
4.1.3 ¿Todos pueden entender?.....	61
4.1.4 ¿Se retroalimentará?.....	63
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	67
CONCLUSIONES.....	70
ANEXOS.....	72
REFERENCIAS.....	81

OBJETIVO.

Desarrollar la propuesta de acondicionamiento acústico, aislamiento acústico y refuerzo electroacústico del Templo Evangélico “El Divino Redentor”.

JUSTIFICACIÓN.

En el templo “El Divino Redentor”, como en la mayoría de los recintos en los cuales la parte acústica no es tomada en cuenta, no existe una acústica del todo agradable; por lo tanto, es necesario hacer el análisis correspondiente para tomar las medidas pertinentes para la corrección de los problemas actuales: como el ruido de fondo que afecta al interior del templo, la falta de inteligibilidad del mensaje hablado y fallas debidas a una inadecuada operación del equipo de sonido en el recinto.

INTRODUCCIÓN.

En los últimos años la sociedad ha despertado nuevas necesidades para la vida diaria que en otro tiempo ni siquiera se pensaba que se podrían tener; estas pueden ser de comunicación, descanso, recreación, por mencionar algunas. Una de esas necesidades es la de tener un confort acústico en diversos recintos.

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 muy poca o ninguna atención se le ha dado al ambiente acústico; si bien, no se pasa mucho tiempo en la iglesia o algún templo religioso, tampoco existe la importancia suficiente hacia este aspecto.

Los templos son recintos que han sido usados por diversos grupos de personas, en los cuales, hoy en día, se busca que exista inteligibilidad de la palabra y una claridad musical (dependiendo del caso, a una se le dará más importancia que a la otra). Aunque se pensaría que cualquier templo es igual y funge para lo mismo, la verdad es que esto no es así, al menos en términos acústicos, ya que las necesidades de un templo católico no son las mismas que las de un templo evangélico o que una sinagoga judía o una mezquita islámica. En cada uno, el estilo musical es muy diferente y la intervención de la palabra en unos tendrá mayor importancia que en otros.

En este trabajo se plantea el estado actual acústico en que se encuentra el templo y de cómo mejorará con la propuesta del diseño acústico, el cual constará de un acondicionamiento lo que permitirá que el sonido se propague adecuadamente en el interior de la sala; un aislamiento que evitará que el ruido externo interfiera con el mensaje durante las ceremonias religiosas; y un sistema de refuerzo electroacústico mejorado que ayudará a que el mensaje sea escuchado con claridad por el asistente más alejado y sin distorsionar el audio de la música que se interpreta en el recinto.

Para llevar a cabo la propuesta de diseño acústico es necesario empezar desde conceptos básicos como: Acústica y sonido. 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 nuestro 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 “El divino redentor”.

El acondicionamiento acústico es parte esencial en el desarrollo de un proyecto de Acústica Arquitectural, ya que estudia la forma en que la propagación del sonido dentro del recinto se ve afectada por los materiales presentes en las superficies del mismo, ya que cada material absorbe parte del sonido. Debido a esto, el sonido tarda cierto tiempo en decaer después de haber cesado la fuente sonora (tiempo de reverberación, TR) y es necesario saber si ese tiempo es muy alto o muy bajo para el tamaño y uso del recinto.

Para medir el tiempo en que tarda en cesar el sonido (TR), existen equipos de medición y ecuaciones, que dependiendo de las características del recinto y del criterio empleado, se podrá

obtener el valor de TR. Si el tiempo es muy alto entonces se propone usar materiales, que según sus características, ayuden a la reducción de este tiempo.

Otra parte importante es la de evitar que el sonido externo interfiera con el mensaje que se quiere transmitir dentro del recinto y a su vez que los sonidos emitidos en el recinto no trasciendan al exterior de éste. Midiendo el ruido dentro del recinto se podrá conocer qué tanto afecta el ruido externo; una vez que se conoce este dato se debe escoger un criterio de ruido para así comparar los valores actuales de ruido con los que se deben tener según el criterio de ruido escogido y de esta forma proponer materiales que eviten de manera eficaz que el ruido externo perturbe el interior del recinto.

Por último es necesario considerar el uso de nuevo equipo electrónico, tal como: micrófonos, líneas de audio, controles electrónicos y altavoces. Los cuales ayudarán a reforzar el mensaje hablado, teniendo la certeza de que será fuerte y claro, de que todos los asistentes podrán escuchar y de que se evitarán retroalimentaciones por parte del sistema de refuerzo electroacústico.

ANTECEDENTES.

El templo “El Divino Redentor”, ubicado en Federico Dávalos #75 en la colonia San Juan Tlihuaca en la Delegación Azcapotzalco, ha dado servicio desde hace poco más de 10 años.

En sus inicios, no se había contemplado la idea de tratarlo acústicamente; sin embargo, con el paso del tiempo y el aumento de la comunidad cristiana se fueron dando necesidades que han hecho en primera instancia, ampliar el espacio del recinto y valerse de un sistema electroacústico que permita reforzar tanto la palabra como la música en sus ceremonias religiosas, por lo que la demanda de un espacio acústicamente agradable, por parte de sus feligreses, sigue siendo primordial.

CONDICIONES ACTUALES.

Las ceremonias religiosas en “El Divino Redentor” constan de dos partes: la primera en donde se alaba a Dios mediante cantos y música; la segunda donde el pastor da la palabra de Dios y se realizan oraciones por parte de la congregación.

En la primera parte de la celebración se generan problemas como molestias auditivas debidas al alto nivel sonoro dentro del recinto, falta de claridad musical, y en algunos casos se presentan retroalimentaciones del sistema. La falta de ecualización, de ajustes y de la correcta operación del equipo de audio con el que se cuenta en el templo, propicia estos problemas.

En la segunda parte, el nivel de ruido originado por el tránsito vehicular que circula sobre la avenida en donde se ubica el templo, afecta al interior de éste, provocando distracciones y la falta de concentración de los participantes en las ceremonias religiosas, sobre todo a los que están sentados en la parte posterior del recinto, debido a la cercanía de la puerta o de la ventanas, ya que aunque éstas permanecen cerradas durante el culto, no reducen completamente el ruido.

CAPÍTULO 1

Conceptos básicos de Acústica.

1.1. Marco Teórico

1.1.1 Acústica.

Acústica es la ciencia que estudia la generación, transmisión y recepción de energía en la 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 KHz) como en las frecuencias ultrasónicas (frecuencias superiores a los 20 KHz) e infrasónicas (frecuencias inferiores a los 20 Hz).

La Acústica Arquitectural cada vez tiene mayor importancia debido a las necesidades de 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.

1.1.2 Sonido.

Se puede definir el sonido como la vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso, y que es capaz de producir una sensación auditiva.

1.1.2.1 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: máximo valor que alcanza una oscilación en un ciclo.

Frecuencia: número de ciclos producidos por un objeto oscilante que ocurren en un segundo y se mide en Hertz (Hz).

Velocidad de propagación del sonido (c): debido a la inercia, el sonido tarda cierto tiempo en llegar a un punto, la velocidad depende de la elasticidad y densidad del medio de propagación (generalmente el aire), conviene recordar que el sonido puede propagarse a través de cualquier otro medio que entre más denso y menos elástico sea, mayor será la velocidad del sonido en éste.

Longitud de onda (λ): es la distancia recorrida por una onda en un ciclo completo. Ya que se habló de frecuencia del sonido y de velocidad del sonido es posible hablar de longitud de onda, ya que estas tres guardan una relación y esto se observa mediante la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

c = velocidad del sonido.

f = frecuencia del sonido.

Timbre: a la estructura que forman la frecuencia fundamental y sus submúltiplos se le llama timbre y esto es lo que diferencia a un instrumento musical de otro que está tocando la misma nota.

1.1.2.2 Características de una onda.

Reflexión: la onda sonora se reflejará siempre que encuentre en su trayecto una discontinuidad o un cambio de medio. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Refracción: cuando la onda sonora pasa de un medio a otro cambia la dirección de propagación en la frontera que separa a los dos medios.

Difracción: cuando las ondas sonoras encuentran un obstáculo, se difundirán alrededor de los lados del obstáculo. Si la longitud de onda es mayor que la longitud del obstáculo, entonces la onda sonora pasará como si el obstáculo no existiera.

Atenuación: se presenta cuando hay una pérdida de energía debido a la oposición del medio a la propagación de la energía acústica.

Absorción: disipación de energía en forma de calor, que ocurre cuando una onda sonora incide en una superficie dada. En el caso de que exista una pérdida de energía cuando la onda sonora se propaga en algún medio (por lo general el aire) ésta pérdida también es conocida como absorción, de aquí el concepto de “absorción del aire”.

Interferencia: se presenta cuando se superponen dos o más 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.

Resonancia: cuando se iguala la frecuencia de oscilación de una fuente y la frecuencia natural de oscilación de un sistema, resultando una amplitud de vibración relativamente grande.

1.1.3 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 escala logarítmica, ya que como se puede ver en la *Fig. 1.1* 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.

Por definición, el nivel es el logaritmo de la razón de una cantidad dada respecto de una cantidad de referencia del mismo tipo. La escala logarítmica de uso más general para describir niveles de sonido es la escala de decibeles.

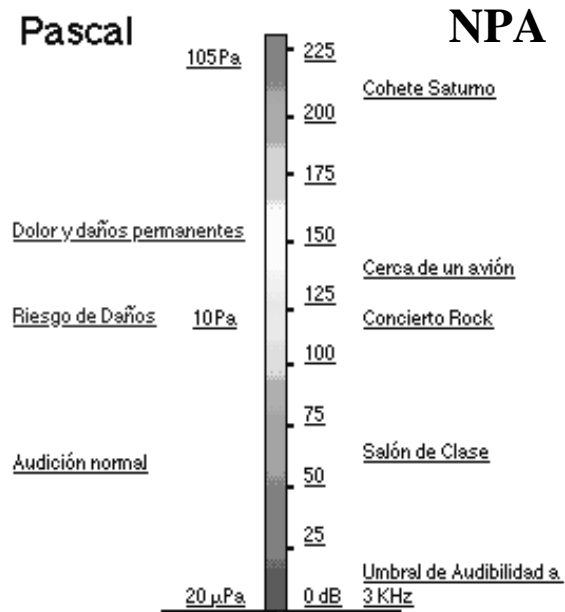


Fig. 1.1 Niveles de presión acústica.

1.1.3.1 Decibel.

El decibel, es la unidad usada para medir la intensidad relativa de los sonidos. Es aproximadamente igual al menor cambio en la sonoridad que puede percibir un oído humano agudo. (11)

El decibel (dB) es una unidad de nivel que denota la relación entre dos cantidades que son proporcionales en su potencia. El número de decibeles que corresponde a esta relación es 10 veces el logaritmo (de base 10) de la razón de las dos cantidades.

Existen diferentes curvas de ponderación de decibel:

- **Curva A (dBA):** para sonidos de intensidad baja. Es la más semejante a la percepción logarítmica del oído humano.
- **Curva B (dBB):** para sonidos de intensidades medias.
- **Curva C (dBC):** para sonidos de gran intensidad y más graves. Es más lineal.

1.1.3.2 Presión acústica y nivel de presión acústica.

La *presión acústica* es producto de la propia propagación del sonido.

Se define como *Nivel de Presión Acústica* a la relación entre la presión acústica de un sonido cualquiera y la presión acústica de referencia. Para medir el nivel de presión acústica se utiliza la fórmula:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p_1}{p_0} \right)$$

Donde:

L_p = nivel de presión acústica.

p_1 = presión acústica medida de la onda sonora.

p_0 = presión de referencia tomada a 20 μ Pa.

1.2 Acondicionamiento Acústico.

El objetivo del acondicionamiento acústico es conseguir una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto definiendo las formas y revestimientos de las superficies interiores.

Los recintos dedicados a una aplicación determinada deben tener cualidades acústicas adecuadas para dicho empleo, las cuales son una serie de propiedades relacionadas con el comportamiento del sonido en el recinto.

1.2.1 Absorción acústica.

La absorción en acústica, es el cambio de energía sonora a energía calorífica. El estudio de la absorción acústica se aplica, por lo general, en el interior del recinto. En espacios abiertos el sonido se atenúa a medida que aumenta la distancia de la fuente.

El *coeficiente de absorción* α es la porción de energía sonora que es absorbida en cualquier superficie. Tiene usualmente un valor entre 0 y 1, y varía con la frecuencia y el ángulo de incidencia del sonido.

Usando el modelo de rayos, el cual supone que el sonido sale de la fuente a lo largo de rayos divergentes y en cada choque con las fronteras del recinto los rayos son parcialmente absorbidos y reflejados, el coeficiente de absorción α puede definirse como:

$$\alpha = 1 - \frac{\text{energía reflejada}}{\text{energía incidente}}$$

El coeficiente de absorción representa la porción de la energía acústica que se pierde hacia el espacio de la fuente. Si el coeficiente de absorción es 0, no se pierde energía y todo el sonido permanece en el espacio de la fuente. A medida que el coeficiente se aproxima a 1, tanto más se pierde la energía hacia el espacio de la fuente.

La absorción de una superficie (A) se obtiene multiplicando el área de la superficie (S), por su respectivo coeficiente de absorción α :

$$A_i = \alpha_i S_i \quad \text{sabins ó } m^2$$

La absorción total de las superficies de un recinto está dada por:

$$A_T = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots \quad \text{sabins ó } m^2$$

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 puede mejorar la absorción en bajas frecuencias.

1.2.2 Tiempo de reverberación (TR).

El tiempo de reverberación es el parámetro más importante que describe la calidad acústica de una sala o un espacio. Es importante para los niveles sonoros, la inteligibilidad de la palabra y la percepción musical. Además, se emplea para corregir los efectos de la reverberación en medidas de aislamiento acústico y de la potencia acústica.

El tiempo de reverberación (TR) se define como el tiempo que tarda en producirse una caída de 60 dB del nivel de presión acústica una vez que ha finalizado la excitación sonora.

1.2.3 Tiempo óptimo de reverberación.

El tiempo de reverberación óptimo se refiere usualmente al valor recomendado de tiempo de reverberación para cada recinto a la frecuencia de 500 Hz, considerando su uso y su volumen. Este valor se considera como referencia para el diseño del acondicionamiento acústico de recintos.

Existen gráficas o ecuaciones que muestran el tiempo de reverberación recomendado en la frecuencia de 500 Hz para diferentes tipos de recintos. El valor óptimo depende no solo de la opinión pública sobre la calidad de dichos recintos, sino también del tipo de sonidos que serán considerados.

Espacios para discursos requieren tiempos de reverberación más cortos que para música, debido al interés general en sonidos directos. En general, tiempos de reverberación largos tienden a la falta de definición y claridad en música y a la pérdida de inteligibilidad en el lenguaje.

1.2.4 Cálculo del tiempo de reverberación.

Existen varias fórmulas para el cálculo del tiempo de reverberación mediante las propiedades acústicas del recinto. La ecuación de mayor aceptación es la de Sabine.

La primera teoría desarrollada para el tiempo de reverberación fue la de Sabine en 1902, basándose en un modelo de rayos en el cual se supone que el sonido sale de la fuente a lo largo de rayos divergentes; siendo ésta la base para las demás teorías clásicas. Las fórmulas de Norris-

Eyring (1930-1932), Millington-Sette (1932-1933), la de Kuttruff, y algunas otras más, se basan en la teoría de Sabine.

1.2.4.1 Ecuación de Sabine.

La ecuación de Sabine relaciona el tiempo de reverberación de un recinto a su volumen V y a su absorción sonora total A .

$$TR_{60} = \frac{0.161 * V}{A}$$

Donde:

V = volumen del recinto (m^3).

A = absorción total del recinto.

$$A = S \bar{\alpha}$$

Donde:

$\bar{\alpha}$ = coeficiente de absorción promedio del recinto.

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \alpha_i}{S}$$

Donde:

S = superficie total del recinto (m^2).

α = coeficiente de absorción.

1.2.4.2 Ecuación de Norris-Eyring.

La ecuación de Norris-Eyring para el caso en el que el recinto es muy absorbente.

$$TR_{60} = \frac{0.161 * V}{- S \ln(1 - \bar{\alpha})}$$

Donde:

V = volumen del recinto (m^3).

S = superficie total del recinto (m^2).

$\bar{\alpha}$ = coeficiente de absorción promedio del recinto.

Eyring asume que el sonido proveniente de una fuente en un recinto es sucesivamente reflejado en las superficies teniendo así un coeficiente promedio $\bar{\alpha}$. Cada vez que una onda choque en una superficie, una porción de energía $\bar{\alpha}$ será absorbida, y una porción $(1 - \bar{\alpha})$ será reflejada.

Para Rettinger, la ecuación de Norris-Eyring representa mejor el comportamiento de recintos muy absorbentes, ya que si el coeficiente de absorción promedio es menor a 0.15, se utiliza la ecuación de Sabine; y cuando el coeficiente de absorción sea mayor a 0.15, la ecuación de

Norris-Eyring. Sin embargo, para Mehta, Johnson y Rocafort, si el valor del coeficiente de absorción promedio es menor 0.2 se usará Sabine, de lo contrario, se usará Norris-Eyring. (7)

1.2.5 Materiales absorbentes del sonido.

Los materiales para lograr un acondicionamiento tienen propiedades que permiten reducir o aumentar el TR según sea el tipo de espacio y su volumen, el cual es un parámetro importante para el acondicionamiento acústico de recintos.

Los materiales absorbentes acústicos son aquellos materiales o sistemas que disponen de elevados coeficientes de absorción sonora en todo o en parte del espectro de frecuencias audibles. Se clasifican en:

Absorbentes porosos: Aquí la absorción acústica con materiales porosos es muy elevada a altas frecuencias y limitada a bajas frecuencias. Es importante el revestimiento con el que se presentan estos productos para su comercialización como en los “techos acústicos”. Hay de:

*Esqueleto rígido: en este el coeficiente de absorción aumenta con la frecuencia.

*Esqueleto flexible: se presentan resonancias (máximos) de absorción a frecuencias bajas y medias.

Absorbentes mixtos: en estos, se busca combinar propiedades de los diferentes tipos de materiales para mejorar sus propiedades acústicas (constituyen la mayor parte de los materiales comerciales).

Absorbentes anecoicos: (tienen una variación gradual de características físicas) llamados dispositivos de absorción con variación progresiva de las características físicas, hacen uso del hecho por el que la reflexión de una onda acústica se produce cuando encuentra una variación de las características físicas del medio en que se propaga. Con la variación gradual de éstas, se pretende reducir al mínimo el obstáculo que presenta el material.

Resonadores: El movimiento resonante de una parte del sistema extrae energía del campo acústico, de manera selectiva, en una banda de frecuencias determinada.

*Simples:

-Tipo Helmholtz: con este tipo de resonadores se consigue, para un espesor limitado, un elevado grado de absorción para la gama de frecuencias medias.

-De membrana: compuesto por un panel de material no poroso y flexible (ejemplo madera), montado con un espacio de aire entre este y la superficie rígida. Cuando una onda sonora incide sobre el panel, éste entra en vibración debido a la excitación producida. Dicha vibración, cuya amplitud depende principalmente de la frecuencia del sonido y es máxima a la frecuencia de resonancia, produce cierta deformación del material y como consecuencia la pérdida de una parte de la energía sonora incidente, que se disipa en forma de calor.

Es importante que el campo sonoro reverberante de cualquier fuente deba difundirse rápidamente para que haya una mezcla adecuada del sonido a través del recinto. (1)

1.3 Aislamiento acústico.

Un objetivo del diseño arquitectónico es proporcionar un aislamiento acústico suficiente para evitar que ruidos generados en el exterior interfieran con el uso destinado a un espacio, y recíprocamente, evitar que los sonidos generados dentro del mismo trasciendan hacia el exterior.

1.3.1 Ruido.

Al ruido se le considera como un factor contaminante, pues es un agente extraño que rompe el equilibrio natural o ecológico. Puede definirse también como cualquier sonido que sea calificado por quien lo recibe como algo molesto, indeseado, desagradable y perjudicial para la salud.

El primer paso para controlar el ruido en un recinto, es comparar el ruido existente con criterios de categorización apropiados. Tal comparación no solo permite una especificación del grado de supresión de ruido necesario para lograr el medio sonoro deseado, sino que también da una guía con respecto a qué aspectos del ruido se deben atacar.

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

1.3.2 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:

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

El Noise Criteria (NC) y el Balanced Noise-Criteria (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 (*rumble*) y de alta frecuencia (*hiss*).

El Room Criteria determina la comparación de los niveles de ruido 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; del inglés HVAC (Heating, Ventilating, Air-Conditioning).

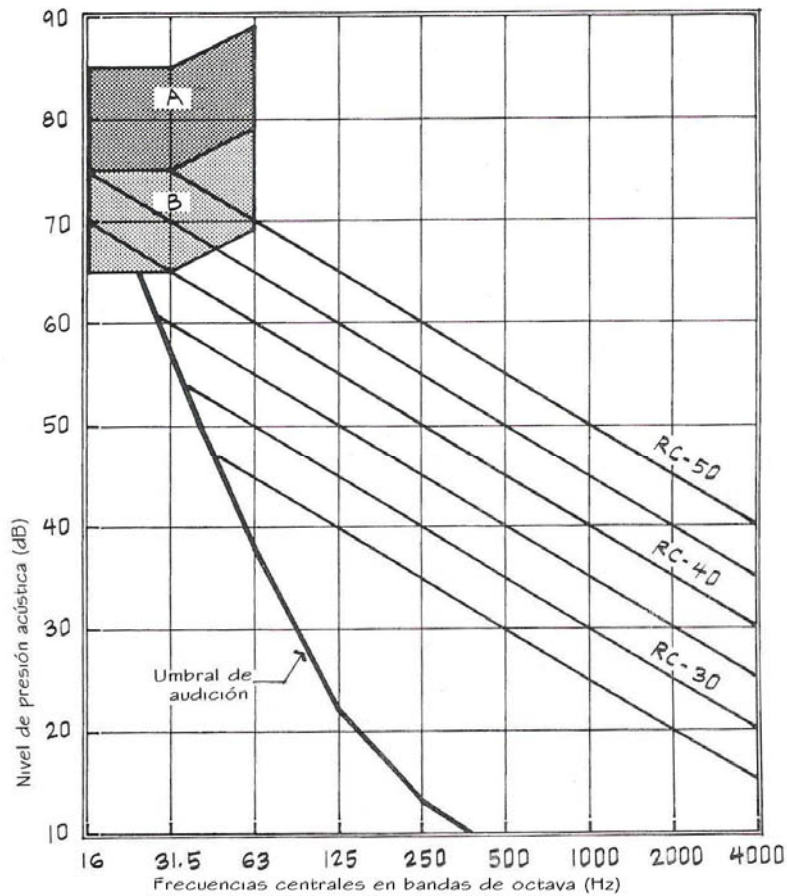
Estos criterios son utilizados para especificar los niveles de presión acústica máximos permisibles en los recintos (*Tabla 1.2*), además de proveer un modo particularmente específico de clasificación de los niveles de ruido e inclusive de un espectro del comportamiento de un recinto.

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
Vestíbulos, áreas públicas	35-40	35-40	38-43
Restaurantes	40-45	40-45	38-43
Oficinas públicas	40-45	40-45	38-43

Tabla 1.2 Criterios de ruido para diferentes recintos.

1.3.2.1 Curvas RC.

A continuación se presentan en la *gráfica 1.1* las curvas del criterio para recintos y en la *tabla 1.3* se muestra el nivel de presión acústica para cada curva por bandas de octava.



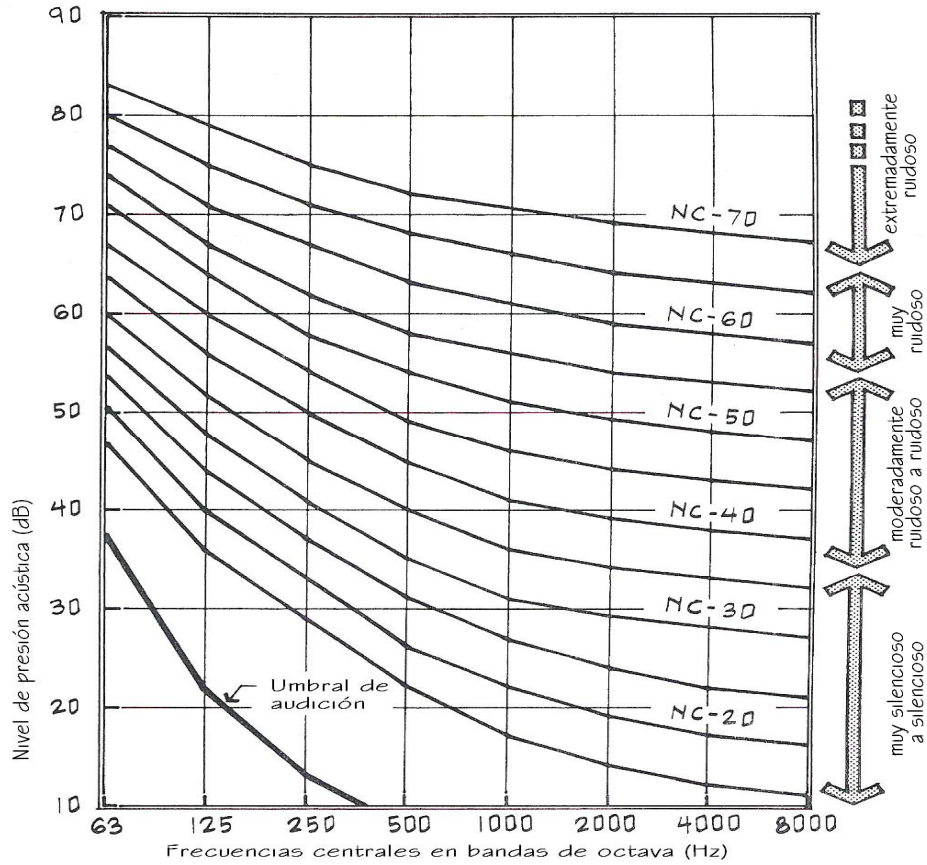
Gráfica 1.1 Curvas RC

Nivel de presión acústica (dB)						
Curva RC	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
50	65	60	55	50	45	40
45	60	55	50	45	40	35
40	55	50	45	40	35	30
35	50	45	40	35	30	25
30	45	40	35	30	25	20
25	40	35	30	25	20	15
Umbral	22	13	8	5	3	--

Tabla 1.3 Nivel de presión acústica para curvas RC

1.3.2.2 Curvas NC.

Se observa en la parte inferior la *gráfica 1.2* que muestra las curvas del criterio de ruido (NC), así como la *tabla 1.4* donde se ven los niveles de presión acústica.



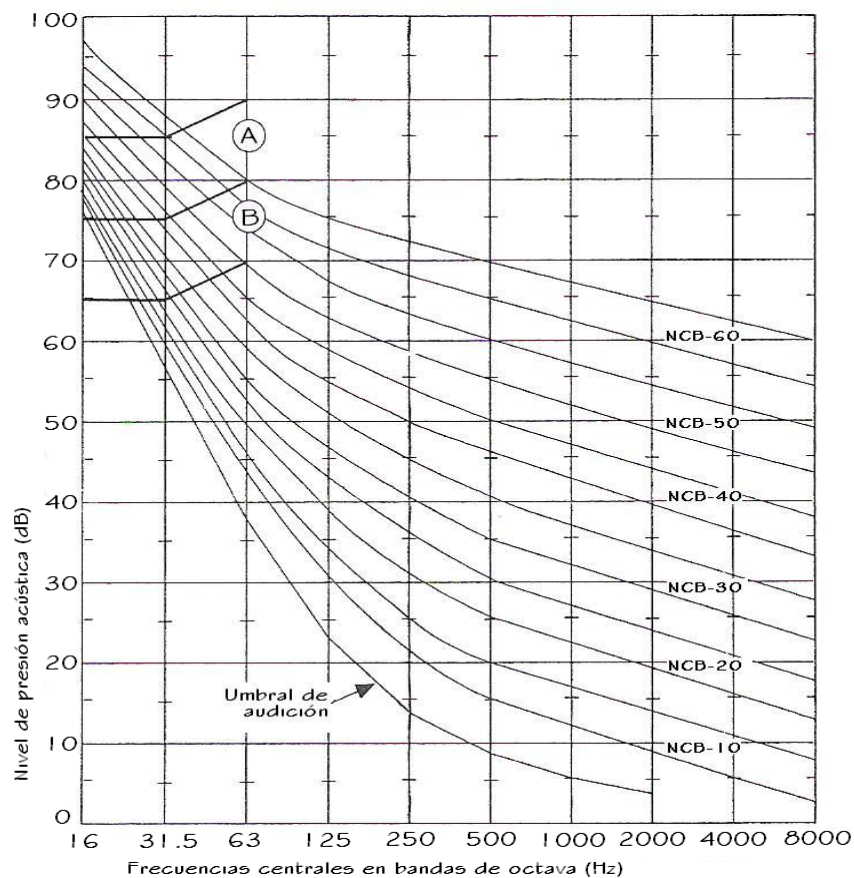
Gráfica 1.2 Curvas NC

Nivel de presión acústica (dB)						
Curva NC	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4KHz
65	75	71	68	66	64	63
60	71	67	63	61	59	58
55	67	62	58	56	54	53
50	64	58	54	51	49	48
45	60	54	49	46	44	43
40	56	50	45	41	39	38
35	52	45	40	36	34	33
30	48	41	35	31	29	28
25	44	37	31	27	24	22
20	40	33	26	22	19	17
15	36	29	22	17	14	12
Umbral	22	13	8	5	3	..

Tabla 1.4 Nivel de presión acústica para curvas NC

1.3.2.3 Curvas NCB.

Se tienen en la *gráfica 1.3* las curvas del criterio balanceado de ruido seguida de la *tabla 1.5* con sus respectivos niveles de presión acústica.



Gráfica 1.3 Curvas NCB

Nivel de presión acústica (dB)								
Curva NCB	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

Tabla 1.5 Nivel de presión acústica para curvas NCB

1.3.3 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 y se define como:

$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (dB)$$

Donde:

L_1 = nivel de presión acústica promedio en el recinto fuente (dB).

L_2 = nivel de presión acústica promedio en el recinto receptor (dB).

S = área total del recinto (m^2).

A = absorción total del recinto receptor.

Se especifica que L_1 y L_2 son niveles por banda de octava espacialmente promediados. Se utiliza la promediación espacial para reducir los efectos de ondas estacionarias tanto en el recinto fuente como en el recinto receptor.

1.3.4 Pérdida por transmisión compuesta.

Las particiones pueden presentar en ocasiones dos o más superficies de diversos materiales en el mismo plano, cada una con diferentes pérdidas por transmisión, como ocurre en paredes con puertas o ventanas. Generalmente, el sonido se transmite por las partes más débiles acústicamente, presentando un aislamiento total distinto del correspondiente a cada uno de los elementos que lo forman, en función de dichos aislamientos y de la relación de áreas de sus componentes.

$$TL_c = 10 \log \left[\frac{S_T}{S_1 \frac{1}{\tau_1} + S_2 \frac{1}{\tau_2} + \dots + S_n \frac{1}{\tau_n}} \right] \quad (dB)$$

Donde:

TL_c = pérdida por transmisión compuesta de la partición constructiva existente.

S_T = área total de la partición.

S_n = áreas que componen la partición.

τ_n = coeficiente de transmisión de cada material que compone la partición.

$$TL = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{1}{10^{\frac{TL}{10}}}$$

1.4 Refuerzo electroacústico.

El objetivo principal de un refuerzo electroacústico es proporcionar condiciones adecuadas de sonido para que sea escuchado por toda la audiencia.

Todo diseño de un sistema de refuerzo sonoro debe analizar en primera instancia las condiciones acústicas del lugar a tratar, para lograr un nivel de sonido adecuado, una buena inteligibilidad de la palabra y un sistema libre de realimentación electroacústica.

Las siguientes preguntas definen si el sistema de refuerzo electroacústico trabajará de manera satisfactoria:

- 1.- ¿Es suficientemente fuerte?
- 2.- ¿Todos pueden escuchar?
- 3.- ¿Todos pueden entender?
- 4.- ¿Se retroalimentará?

1.4.1 Inteligibilidad.

El ruido de fondo decrece la inteligibilidad del lenguaje al elevar el umbral de audición del escucha, y al mismo tiempo, enmascara la información. Esta pérdida de información se puede compensar parcialmente acercándose más, hablando más fuerte, o a través del uso de amplificación electrónica.

La inteligibilidad es la propiedad que posee el mensaje por la cual puede ser entendido por un receptor. La misma se ve afectada por:

- * La relación señal a ruido existente en el recinto (S/N).
- * El tiempo de reverberación del recinto (TR).
- * La distancia entre el receptor y la fuente.
- * Reflexiones muy cercanas a la fuente.
- * Fuentes de baja directividad.

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 retroalimentaciones a un nivel requerido de operación de sonido, el cual sea uniformemente distribuido.

1.4.2 Sistema electroacústico.

Los tres elementos básicos de un sistema de refuerzo electroacústico son: micrófono, controles electrónicos y altavoces, también se incluyen las líneas de audio, los cuales se muestran a continuación en la *Fig. 1.2*.

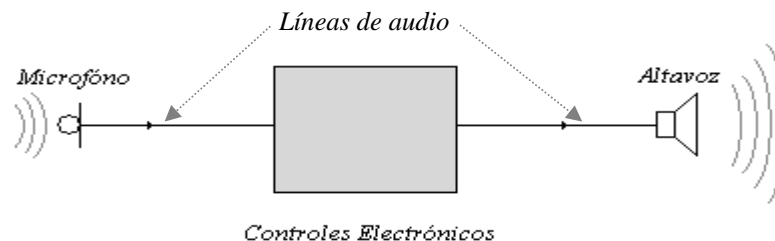


Fig. 1.2 Diagrama de un sistema de refuerzo electro-acústico.

1.4.2.1 Micrófonos.

Los micrófonos convierten la energía sonora (vibración del aire) en energía eléctrica. Para evitar retroalimentaciones, los micrófonos deben estar situados fuera del ángulo de cobertura de los altavoces.

Un micrófono dinámico es de construcción simple relativamente, puede manejar niveles altos de presión acústica sin sobrecargarse y sin causar distorsión. Sin embargo la respuesta en frecuencia y la sensibilidad es limitada especialmente en frecuencias altas. No obstante es el más usado.

Un micrófono de condensador requiere ser energizado ya sea por baterías o por una fuente *fantasma*; es por esto que tienden a ser más complejos, por lo tanto ofrecen más suavidad y sonido natural con una alta sensibilidad en frecuencias altas.

La respuesta en frecuencia plana indica que el micrófono reproduce todo el sonido en su intervalo de frecuencia con una pequeña o ninguna variación del sonido original. En contraste, un micrófono con respuesta en frecuencia predeterminada indica que es más sensible en ciertas frecuencias que en otras y también que tiene un intervalo limitado en frecuencia.

Si la sensibilidad del micrófono es alta, el nivel de salida eléctrica será alto para el mismo nivel de sonido.

El patrón polar o patrón de captación de un micrófono es la representación gráfica de su direccionalidad, la cual determina que tan buena es la posición del micrófono en relación con la fuente de sonido con prioridad a realzar la captación de los sonidos deseados y reducir la captación de los indeseados.

El patrón de captación *omnidireccional*, puede captar sonidos de un área muy amplia pero no puede realzar un sonido específico de otro. Un micrófono *unidireccional* es más sensible al sonido proveniente de una sola dirección, logrando que la retroalimentación sea mínima, permitiendo niveles altos de sonido. El tipo más común de patrón unidireccional es el *cardioide*, aunque también están el *supercardioide* e *hipercardioide*, en la *Fig. 1.3* se observa los patrones mencionados.

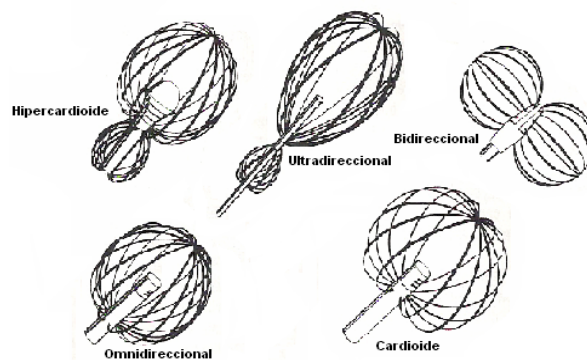


Fig. 1.3 Patrones de directividad de los micrófonos.

La selección de impedancia es determinada por la longitud del cable a emplear, es decir del micrófono a la entrada “micrófono” en la consola. “Baja impedancia” para conexiones cortas. “Alta impedancia” o línea de 100 v, se emplea generalmente en sonorizaciones de lugares públicos y amplios.

La Relación Señal/Ruido (del inglés *Signal-to-Noise Ratio S/N*) es la diferencia entre el nivel de presión acústica de referencia de 94dB (1 Pa de presión sonora) y el nivel de ruido equivalente. A diferencia del valor del nivel de ruido equivalente, un menor valor aquí significa mayor ruido del micrófono y, por lo tanto, un margen dinámico menor.

1.4.2.2 Líneas de audio.

Las líneas de audio son herramientas básicas cuya función es conectar cada elemento de la cadena de audio. Dentro de la configuración de los cables para audio, existen dos tipos: balanceado y no balanceado.

La salida balanceada lleva la señal en dos conductores (además de la protección), como se observa en la *Fig. 1.4*. Las señales en cada conductor tienen el mismo nivel pero diferente polaridad, en este modo el ruido es rechazado por la entrada balanceada, mientras que la señal balanceada original del micrófono no se ve afectada.

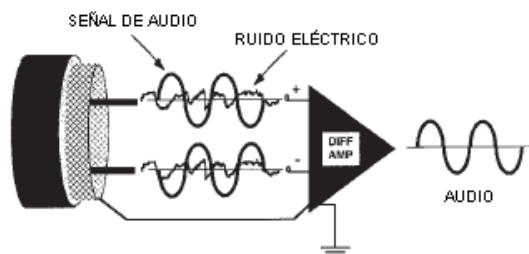


Fig. 1.4 Señal balanceada.

La salida desbalanceada lleva la señal en un sólo conductor (además de la protección), esto se ve en la *Fig. 1.5*. Una entrada desbalanceada es sensible a cualquier señal sobre el conductor. El ruido que se recoge por el cable se suma a la señal original del micrófono y se amplifica a lo largo de la entrada desbalanceada. Por esta razón, los micrófonos y cables desbalanceados no son recomendables para distancias largas o en áreas donde la interferencia eléctrica es un problema.

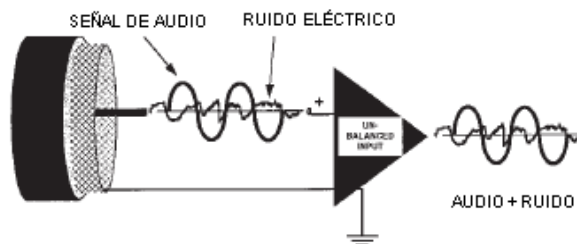


Fig. 1.5 Señal desbalanceada.

1.4.2.3 Controles electrónicos.

Los controles electrónicos son usados para aumentar la magnitud de señales eléctricas (amplificadores), para distribuir la energía eléctrica a altavoces de altas frecuencias y bajas frecuencias de acuerdo a su nivel y frecuencia (filtro divisor de frecuencias), para controlar la alimentación de varios micrófonos (consolas mezcladoras), para ecualizar la señal en función con las propiedades acústicas del recinto y de compensar las características de respuesta en frecuencia de los altavoces (ecualizadores).

1.4.2.4 Altavoces.

Los altavoces convierten la energía eléctrica en energía acústica. Los altavoces se clasifican en:

- * Altavoz de agudos (*tweeter*): es el altavoz encargado de reproducir las frecuencias altas de 5000 Hz a 20 000 Hz.
- * Altavoz de medios: es el altavoz encargado de reproducir las frecuencias medias, aproximadamente de 200 Hz a 8000 Hz. No todas las cajas acústicas lo llevan, y su presencia no es un indicador de la calidad del producto.
- * Altavoz de graves (*woofer*): tiene como misión el reproducir las frecuencias más graves, de 20 Hz a 200 Hz aproximadamente, y por lo general es el altavoz de mayor tamaño en la caja acústica.

La impedancia del altavoz representa el valor de carga sobre la salida del amplificador y la entrada del altavoz, varía con la frecuencia de la señal de salida. Los valores más comunes son 4Ω y 8Ω a frecuencias medias.

La sensibilidad indica la capacidad que posee el altavoz para generar la señal acústica; cuanto mayor sea el valor de la sensibilidad mayor será la potencia emitida por el altavoz. Está determinada como el nivel de presión acústica que proporciona un altavoz a 1 m de distancia de su eje horizontal al suministrarle una potencia de 1 W, a una frecuencia de 1 KHz.

La respuesta en frecuencia se representa mediante una curva característica que informa sobre el comportamiento del altavoz a distintas frecuencias del espectro acústico (*Fig. 1.6*).

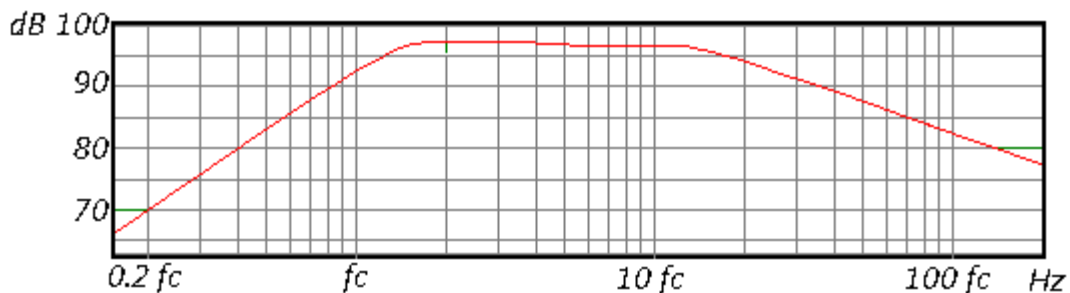


Fig. 1.6 Curva de respuesta en frecuencia del altavoz.

La *potencia mínima* se determina por la sensibilidad que posee la membrana para producir el sonido. La *potencia nominal o RMS* (W), es aquella que puede soportar el altavoz de modo continuo sin que se produzca un calentamiento excesivo en el propio altavoz ni distorsiones en el sonido. La *potencia musical o de pico* es la máxima que puede soportar el altavoz en un momento dado sin destruirse, solo durante un periodo breve de tiempo.

El ángulo de cobertura o ángulo de dispersión, es el ángulo limitado por los puntos en el que el nivel de presión acústica es menor en 6 dB que el nivel de presión acústica obtenido sobre el eje de simetría del altavoz. El índice de directividad también se especifica mediante el factor de directividad Q , el cual varía de 2 a 15 (en la mayoría de los casos), dependiendo del ángulo de cobertura.

La distorsión armónica total es la diferencia que existe entre la señal aplicada al altavoz y la que éste produce. La distorsión armónica total aumenta al incrementar la potencia sonora y no es la misma distorsión para todas las frecuencias.

Los altavoces deben estar situados de modo que el sonido directo se distribuya a todos los escuchas en el recinto. La distancia entre el altavoz y el escucha más alejado puede ser más larga para espacios que tengan un tiempo de reverberación bajo y emplear altavoces altamente direccionales.

Resulta conveniente dar unos criterios generales en cuanto a las diferentes posibilidades de ubicación de los altavoces.

Básicamente existen dos planteamientos: sistema concentrado y sistema distribuido.

❖ Sistema concentrado: colocación de los altavoces agrupados en forma de “piña” (del inglés “cluster”) sobre la fuente de sonido (*Fig. 1.7*). Esta disposición permite conseguir una buena uniformidad de cobertura, ya que los altavoces se hallan relativamente lejos del público, también permite una simplificación en el diseño del sistema de canalizaciones y cableado que proporciona la señal eléctrica a los altavoces, precisamente debido al hecho de que todos ellos están muy próximos entre sí.

Como desventaja respecto al sistema distribuido, cabe destacar la obtención de una menor inteligibilidad de la palabra debido a la mayor distancia entre los altavoces y el público.

❖ Sistema distribuido: distribución de los altavoces en diferentes puntos del espacio (*Fig. 1.8*). El criterio consiste en situar los altavoces en puntos cercanos a las diferentes zonas del público, con objeto de aumentar el nivel de campo directo. Para conseguir una uniformidad de cobertura correcta es preciso utilizar más altavoces, lo cual complica el sistema de canalizaciones y cableado. En cambio, la inteligibilidad de la palabra es mayor, especialmente en todos los puntos situados dentro de la zona de campo directo de cada uno de los altavoces utilizados.

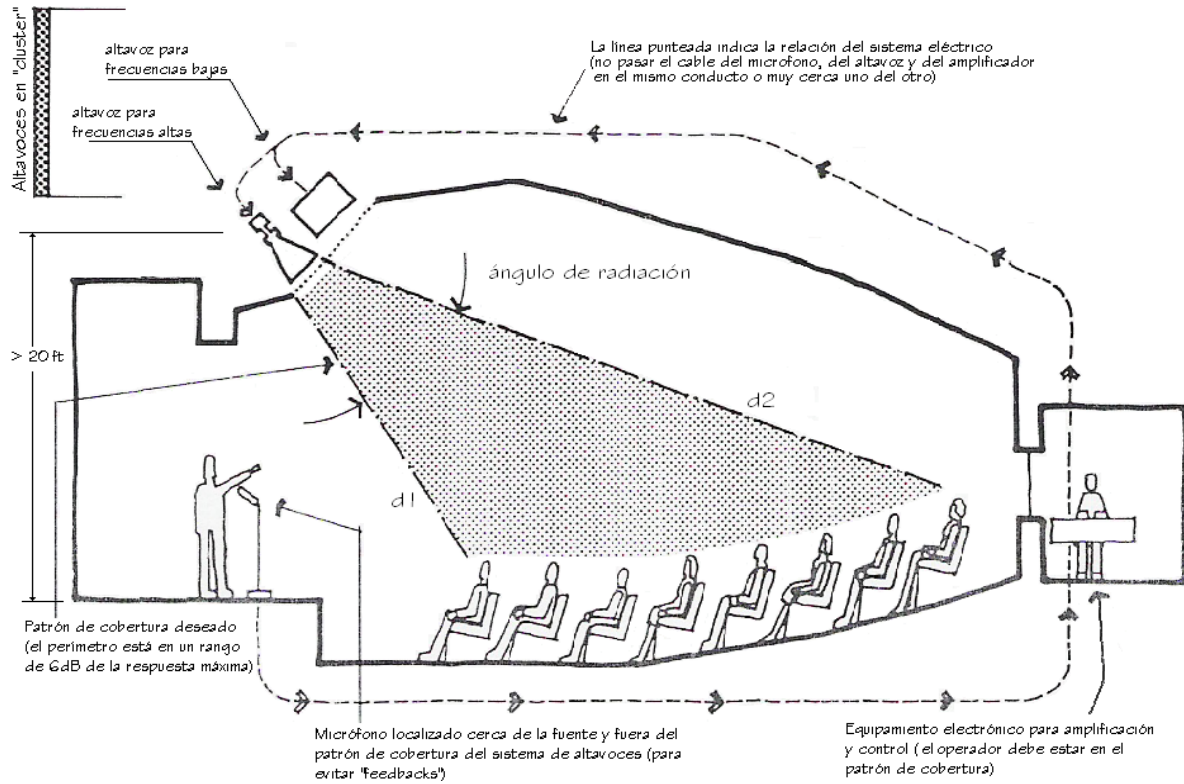


Fig. 1.7 Sistema concentrado "cluster".

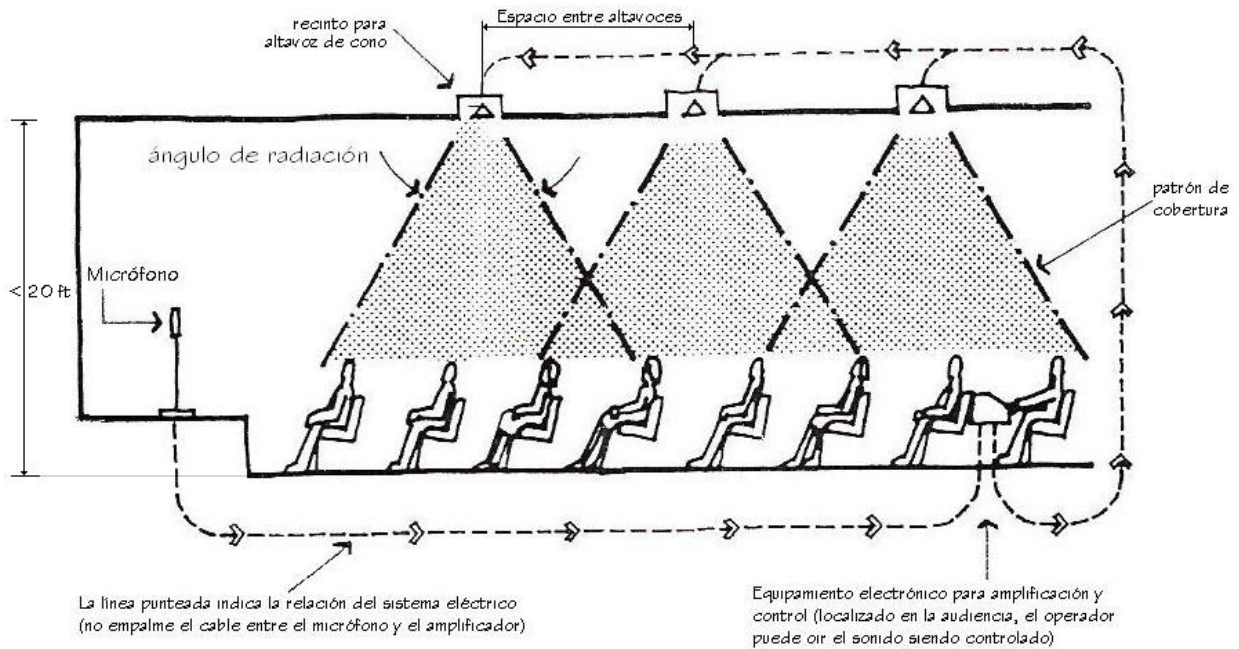


Fig. 1.8 Sistema distribuido.

CAPÍTULO 2

Acondicionamiento acústico

2.1 Tiempo de reverberación actual del recinto.

2.1.1 Características físicas del recinto.

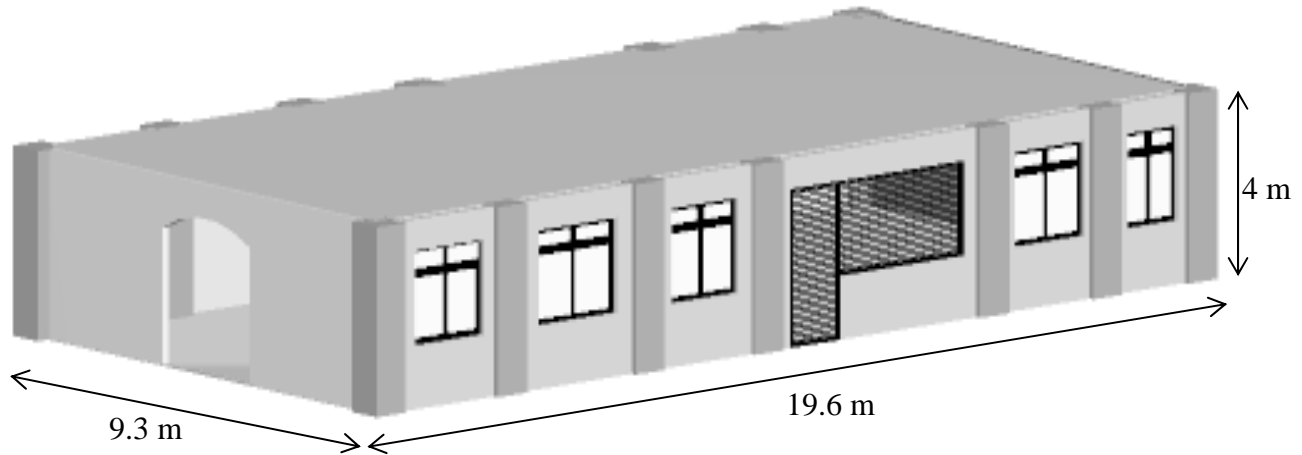


Fig. 2.1 Vista del templo “El Divino Redentor”.

Altura: 4 m = 13.12 ft

Largo: 19.6 m = 64.30 ft

Ancho: 9.3 m = 30.51 ft

Para calcular el área total, se obtendrá el área de cada pared, así como la del techo y la del piso, y después se sumaran cada una de ellas.

$$A = l \times l \quad \text{ec. 2.1}$$

$$A_{\text{pared posterior}} = A_{\text{pared frontal}} = 9.3 \times 4 = 37.2 \text{ m}$$

$$A_{\text{pared lateral derecha}} = A_{\text{pared lateral izquierda}} = 19.6 \times 4 = 78.4 \text{ m}$$

$$A_{\text{techo}} = A_{\text{piso}} = 19.6 \times 9.3 = 182.28 \text{ m}$$

$$A_{\text{TOTAL}} = A_{\text{pared posterior}} + A_{\text{pared frontal}} + A_{\text{pared lateral derecha}} + A_{\text{pared lateral izquierda}} + A_{\text{techo}} + A_{\text{piso}}$$

$$A_{\text{TOTAL}} = (2 \times 37.2) + (2 \times 78.4) + (2 \times 182.28) = 595.9 \text{ m}^2$$

Se calculará el volumen del recinto mediante la siguiente fórmula:

$$V = l \times l \times l \quad \text{ec. 2.2}$$

$$V = 19.6 \times 9.3 \times 4 = 729.12 \text{ m}^3$$

Por lo tanto:

$$\text{ÁREA TOTAL: } 595.9 \text{ m}^2 = \mathbf{6410.93 \text{ ft}^2}$$

$$\text{VOLUMEN: } 729.12 \text{ m}^3 = \mathbf{25728.85 \text{ ft}^3}$$

Se manejarán unidades de medición tanto en el sistema internacional de unidades como en el sistema inglés, debido al uso de gráficas y de ecuaciones que se emplearán después.

$$1 \text{ m} \Rightarrow 3.28 \text{ ft}$$

$$1 \text{ in} \Rightarrow 0.0254 \text{ m}$$

2.1.2 Medición del tiempo de reverberación (TR).

2.1.2.1 Equipo empleado.



Analizador de espectro en frecuencia de tiempo real

Marca: Norsonic

Modelo: 110



Calibrador acústico Clase I

Marca: Norsonic

Modelo: 1251



Pistola de salva

Marca: Mendoza

Modelo: K-62

Fig. 2.2 Equipo de medición empleado.

2.1.2.2 Procedimiento de medición.

Se midió el tiempo de reverberación del templo evangélico “El Divino Redentor”, para valorar el desempeño del acondicionamiento acústico de este recinto, excitando el salón con una señal de prueba de tipo impulsivo (por el gran número de componentes en frecuencia con que cuenta), producida por el disparo de una pistola de salva.

Para el sistema de registro se empleó un analizador de espectro de tiempo real que tiene la opción de poder determinar el tiempo de reverberación a las frecuencias centrales de las bandas de octava en el intervalo de frecuencias de 125 a 4000 Hz.

Cualquier procedimiento de medición debe estar siempre precedido por una calibración, ya que en este caso la calibración permite garantizar la exactitud de la medición.

Es así que se calibró el analizador de espectro, el cual detecta automáticamente el nivel de calibración cuando se utiliza el calibrador sonoro tipo Clase I, es decir a 114dB a 1KHz.

Las pruebas se realizaron manteniendo el mismo punto de excitación con dos puntos de medición diferentes, los cuales se encuentran indicados en la *Fig. 2.3* y se ilustran también en la *Foto 2.1*.

La forma de excitación del templo es mediante el disparo de una pistola de salva, dicho disparo se produjo en la parte que corresponde al altar (*Foto 2.2*), ya que en esa área es donde generalmente se emite sonido, ya sea por parte del pastor o bien, del grupo musical evangélico.

La colocación del micrófono del analizador de espectro a la hora de la medición, es en promedio la altura del oído de una persona que está sentada en una banca del templo como se muestra en la *Foto 2.3*.

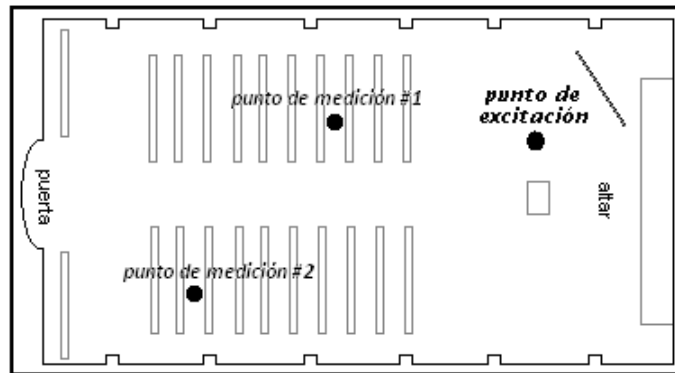


Fig. 2.3 Ubicación del punto de excitación y de los puntos de medición.



Foto 2.1 Identificación de los puntos de prueba.



Foto 2.2 Disparo con pistola de salva para obtener una señal de prueba de tipo impulsivo.



Foto 2.3. Posición del micrófono del analizador de espectro.

Los valores promedio de los resultados obtenidos en las pruebas para cada banda de frecuencia se muestran a continuación:

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
TR medido (s)	2.50	1.76	1.60	1.44	1.41	1.24

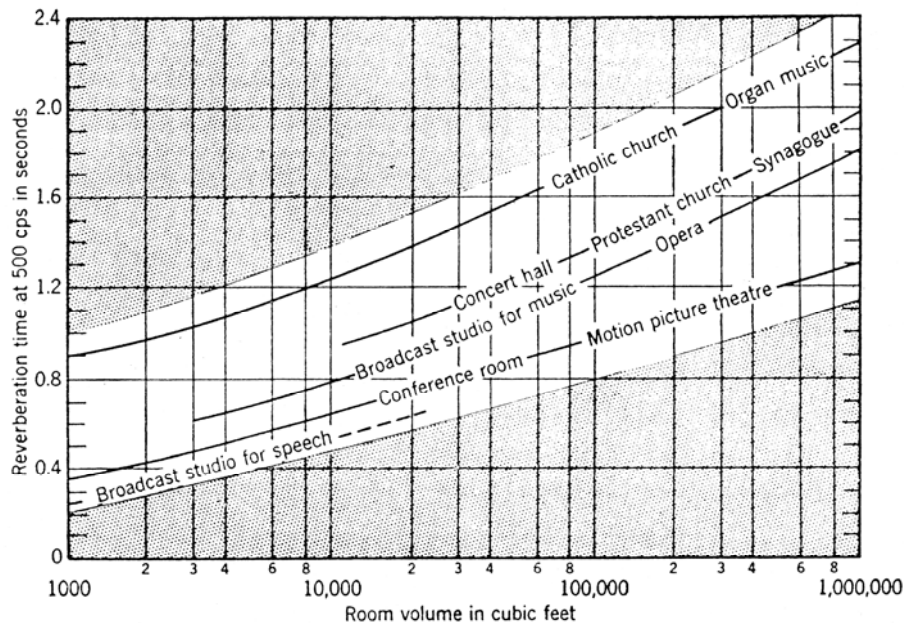
Tabla 2.1 TR medido con el analizador de espectro.

2.1.3 Tiempo óptimo de reverberación.

Como se menciona en la sección 1.2.3, para el diseño acústico de un recinto se determina el tiempo de reverberación óptimo, dependiendo de su volumen y del uso al que está destinado.

Existen gráficas y ecuaciones cuya función es determinar el tiempo de reverberación óptimo para diferentes tipos de recintos.

La Gráfica 2.1 muestra el tiempo de reverberación recomendado por Beranek (8) para distintos tipos de espacios y funciones. En esta gráfica observamos que hay una curva de categorización para iglesias católicas y otra curva de categorización para iglesias protestantes y sinagogas.



Gráfica 2.1 Tiempo de reverberación óptimo para diferentes tipos de salas, según Beranek.

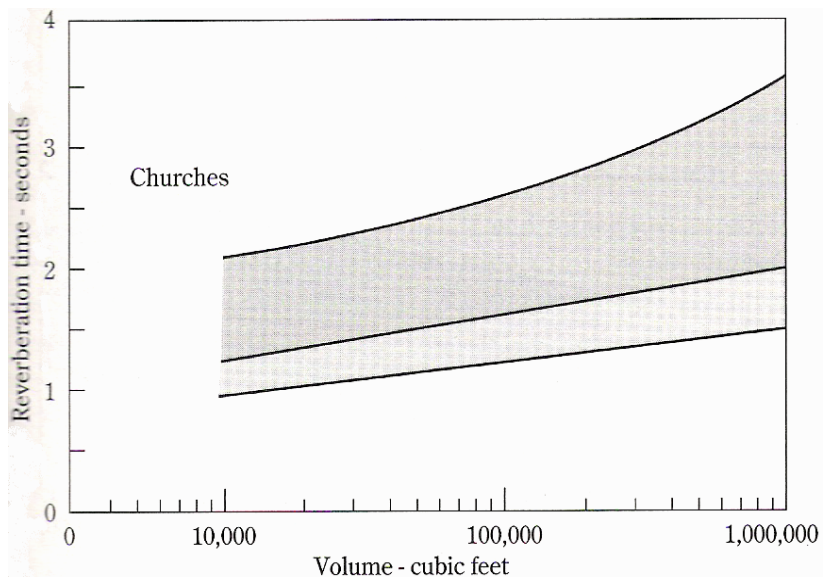
El recinto, es un templo evangélico que no pertenece a la forma tradicional de una iglesia católica, con elevados techos y cúpulas donde el tiempo de reverberación es usualmente alto.

Por tal motivo la curva seleccionada para establecer el TR óptimo, corresponde a la curva de categorización de iglesias protestantes ya que se adecua mejor a las características del templo “El Divino Redentor”.

Teniendo un volumen aproximado de 26000 ft^3 y haciéndolo coincidir en la curva para iglesias protestantes, se obtiene, para la frecuencia de 500 Hz, un TR óptimo de 1.1 s.

Es difícil establecer exactamente tiempos de reverberación óptimos para diferentes servicios, pero en la *Gráfica 2.2*, de acuerdo con Everest (2), se muestran también aproximaciones de tiempo de reverberación óptimo para diferentes tipos de iglesias dadas por un gran número de expertos en el campo de la Acústica.

En dicha gráfica, el área superior se relaciona con iglesias y catedrales más reverberantes, el área inferior se aplica a templos o iglesias donde el servicio se orienta más al habla. Las iglesias generalmente representan un compromiso entre la música y el lenguaje.



Gráfica 2.2 TR óptimo para iglesias, según Everest.

Al utilizar esta gráfica con un volumen de 26000 ft^3 y observando el área inferior de ésta, debido a la función del templo y a que éste está más orientado al habla que a la música, se llegó a un tiempo de reverberación óptimo de 1.1 s.

Rettinger (7) propone una serie de ecuaciones para obtener el tiempo de reverberación óptimo para diferentes recintos.

De acuerdo con él, la siguiente ecuación es apropiada para calcular el tiempo óptimo en iglesias protestantes y sinagogas:

$$T = 0.35 \log V - 0.35 \quad (s) \quad \text{ec. 2.2}$$

Para el templo con volumen aproximado de 26000 ft^3 se tiene:

$$T = 0.35 \log 26000 - 0.35 = 1.19 \approx 1.2 \text{ s}$$

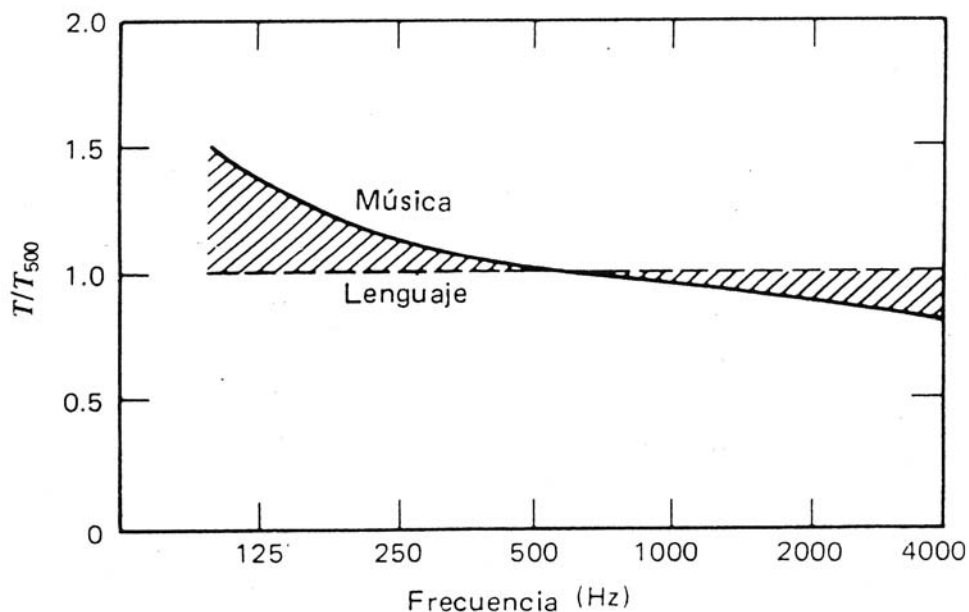
Con las gráficas de Beranek, de Everest y la ecuación de Rettinger se obtuvieron tiempos de reverberación óptimos similares. Aunque al comparar los resultados de las gráficas con el resultado de la ecuación, la diferencia es de 0.1 s, la cual, consideramos, no representa una variación significativa para poder descartar, ya que dicha diferencia puede ser despreciable subjetivamente.

Sin embargo, estas ecuaciones al igual que las gráficas, fueron derivadas empíricamente y no tienen un sustento teórico, y como ya se ha mencionado, su objetivo es representar una guía general para determinar el tiempo de reverberación óptimo con base en el volumen y en la función del recinto.

Por lo tanto, se trabajará con el valor de 1.1 s por ser un tiempo de reverberación no muy alto para el templo evangélico, ya que la palabra requiere tiempos de reverberación bajos en comparación con la música, puesto que con un tiempo de reverberación alto, la inteligibilidad de la palabra disminuirá; en contraste, con la música, se podrán disimular imperfecciones de ejecución además de otorgar sensación de espacialidad.

Se empleará el tiempo de reverberación óptimo en las frecuencias centrales de banda de octava (125 – 4000 Hz) para realizar el diseño acústico, ya que en la literatura técnica y hojas de especificaciones de materiales, los coeficientes de absorción están señalados para cada banda de frecuencia.

Para obtener los tiempos de reverberación óptimos de las frecuencias restantes: 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz, se utilizará la *Gráfica 2.3* que Kinsler (1) propone, en donde se bosquejan los comportamientos deseados para los tiempos de reverberación en función de la frecuencia para los casos de lenguaje y música.



Gráfica 2.3 Límites relativos para el tiempo de reverberación para música y discursos, según Kinsler.

La *Tabla 2.2* muestra los valores del tiempo de reverberación óptimo para cada frecuencia, realizando la multiplicación del $TR_{\text{óptimo}}$ a 500 Hz por los factores obtenidos de la *Gráfica 2.3*.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Factor	1.3	1.1	1	0.98	0.95	0.88
TR óptimo (s)	1.43	1.21	1.1	1.08	1.05	0.97

Tabla 2.2 Tiempos de reverberación óptimos para cada banda de frecuencia.

Para evaluar si los resultados del diseño son aceptables, Knudsen (6) propone una tolerancia del $\pm 10\%$ en el valor del tiempo de reverberación óptimo en el intervalo de frecuencias de 125 a 4000 Hz. Mehta, Johnson y Rocafort (3), sugieren dicha tolerancia del $\pm 20\%$ en ese mismo rango de frecuencias.

De acuerdo con lo anterior, se toma lo establecido por Knudsen, al elegir la tolerancia del $\pm 10\%$ por ser un rango más estricto permitirá mayor proximidad con el tiempo de reverberación óptimo, y se podrá obtener mayor certeza en los resultados del acondicionamiento acústico.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
TR óptimo (s)	1.43	1.21	1.1	1.08	1.05	0.97
Tolerancia - 10%	1.29	1.09	0.99	0.97	0.94	1.87
Tolerancia +10%	1.57	1.33	1.21	1.19	1.15	1.06

Tabla 2.3 Tolerancia del $\pm 10\%$ del TR para cada banda de frecuencia.

2.1.4 Análisis de las condiciones acústicas del recinto.

Para una mejor ubicación se definirá el altar como un área ubicada en el piso pero que tiene un nivel más elevado, de unos cuantos centímetros, para resaltar la importancia que este tiene en comparación con cualquier otra parte del templo.

Ubicándose dentro del recinto y viendo hacia el altar (el altar no está en la pared) y de espaldas a la puerta de entrada, se tiene a la izquierda la pared “A”; al frente la pared “B”, a la derecha la pared “C” y a espaldas la pared “D”. Se llamarán por su nombre al TECHO y al PISO.

El TECHO es de concreto, todas las paredes cuentan con recubrimiento de yeso y algún otro material en su superficie, sólo la pared “A” no presenta otro material más que aplanado de yeso sobre su superficie.

La pared “B”, cuenta con una ventana y está completamente cubierta por cortina. La pared “C”, cuenta con ventanas, y algunas de ellas tienen cortinas. En la pared “D” está la puerta de acceso

del templo. El PISO del recinto está cubierto con mosaico y la parte destinada al altar tiene alfombra, el área donde se encuentran los asientos de madera para la congregación es de 40 m².

La Fig. 2.4 muestra la distribución de los materiales existentes en el templo y a su vez indica la nomenclatura de cada partición.

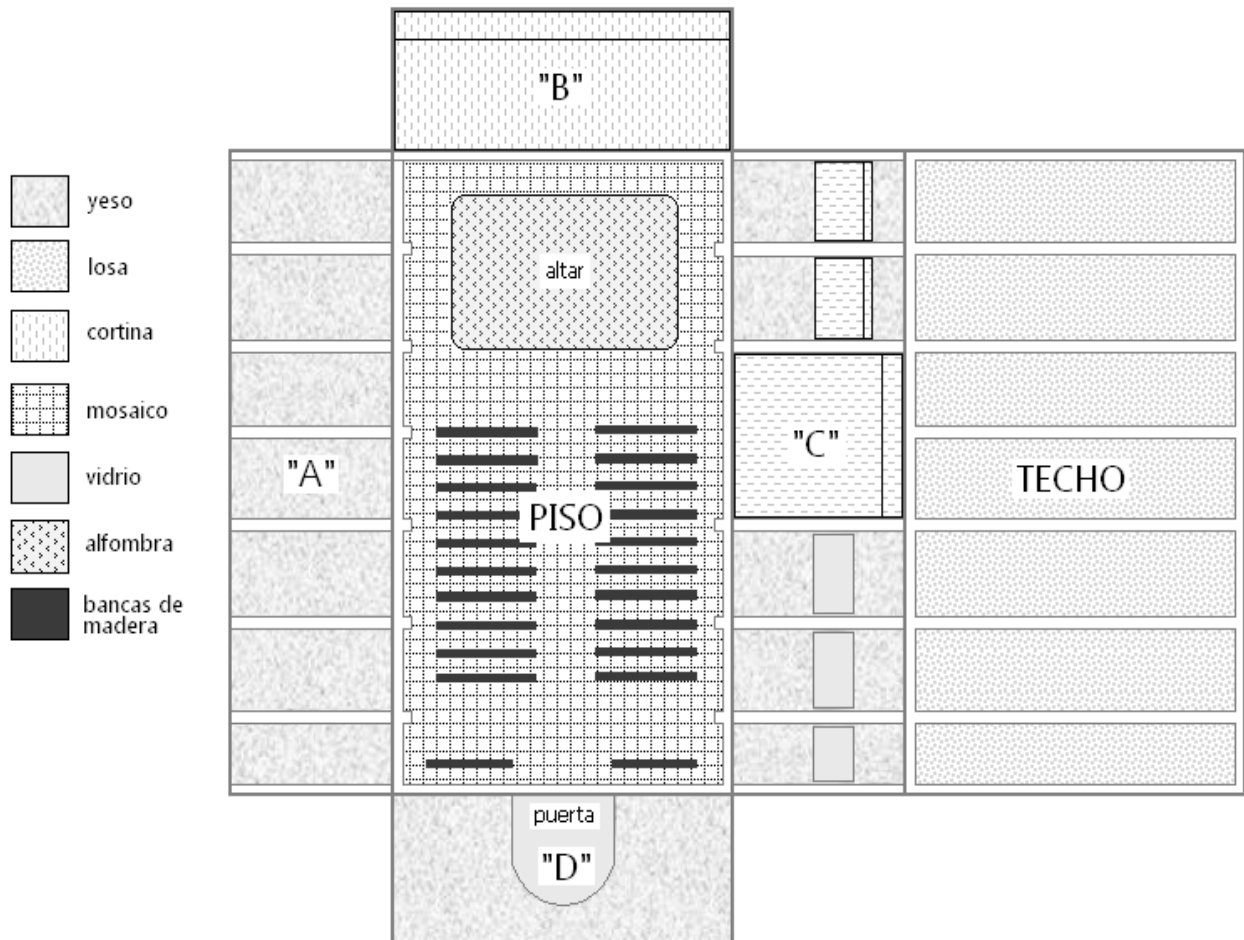
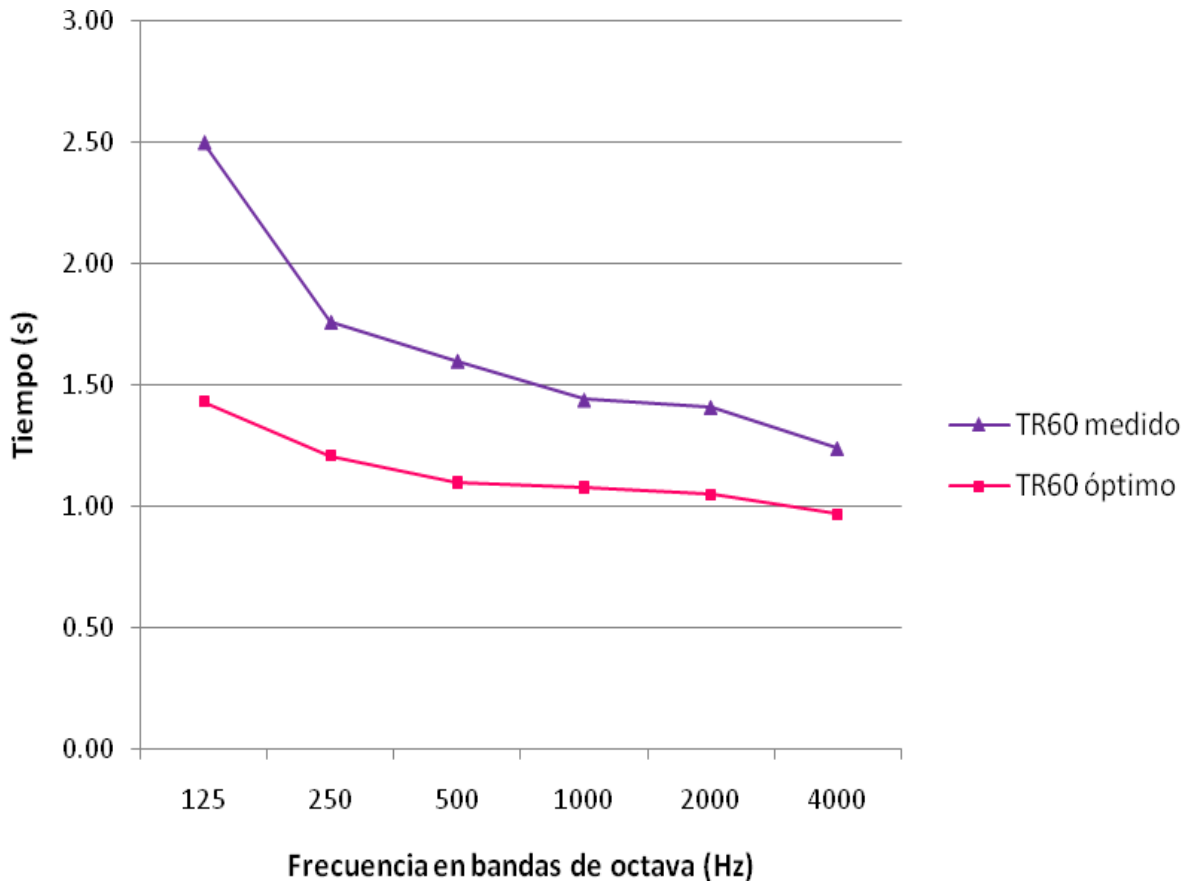


Fig. 2.4 Templo “El Divino Redentor”.

Los materiales descritos conforman el recinto cuando se llevó a cabo la medición con el analizador de espectro; comparando los valores obtenidos con los valores óptimos del TR de la Tabla 2.3, se tiene la Gráfica 2.4:

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
TR medido (s)	2.50	1.76	1.6	1.44	1.41	1.24
TR óptimo (s)	1.43	1.21	1.1	1.08	1.05	0.97

Tabla 2.3 TR medido vs. TR óptimo.



Gráfica 2.4 TR medido vs. TR óptimo.

El recinto tiene un TR superior al óptimo, especialmente en la frecuencia de 125 Hz. El tiempo de reverberación es alto porque las superficies del recinto son muy reflectantes, debido a que el templo cuenta, en su mayoría, con mosaico; por lo cual para lograr el acondicionamiento acústico necesario, se proponen materiales absorbentes que reduzcan el tiempo de reverberación y lo acerquen al tiempo óptimo.

2.2 Propuesta para el acondicionamiento acústico.

De acuerdo con los resultados de la *Gráfica 2.4*, se debe reducir el tiempo de reverberación existente, se proponen materiales con altos coeficientes de absorción en especial para las bajas frecuencias.

A fin de conseguir el valor del tiempo de reverberación óptimo para cada frecuencia y de lograr que el sonido en el recinto tenga una propagación adecuada, fiel y eficaz, se seleccionan materiales que se instalarán principalmente en las paredes del recinto.

La ubicación de los materiales es importante para el diseño acústico, de esto dependerá que haya una buena difusión del sonido y una buena inteligibilidad en la sala, la aplicación de materiales absorbentes en forma alternada favorece dicha difusión.

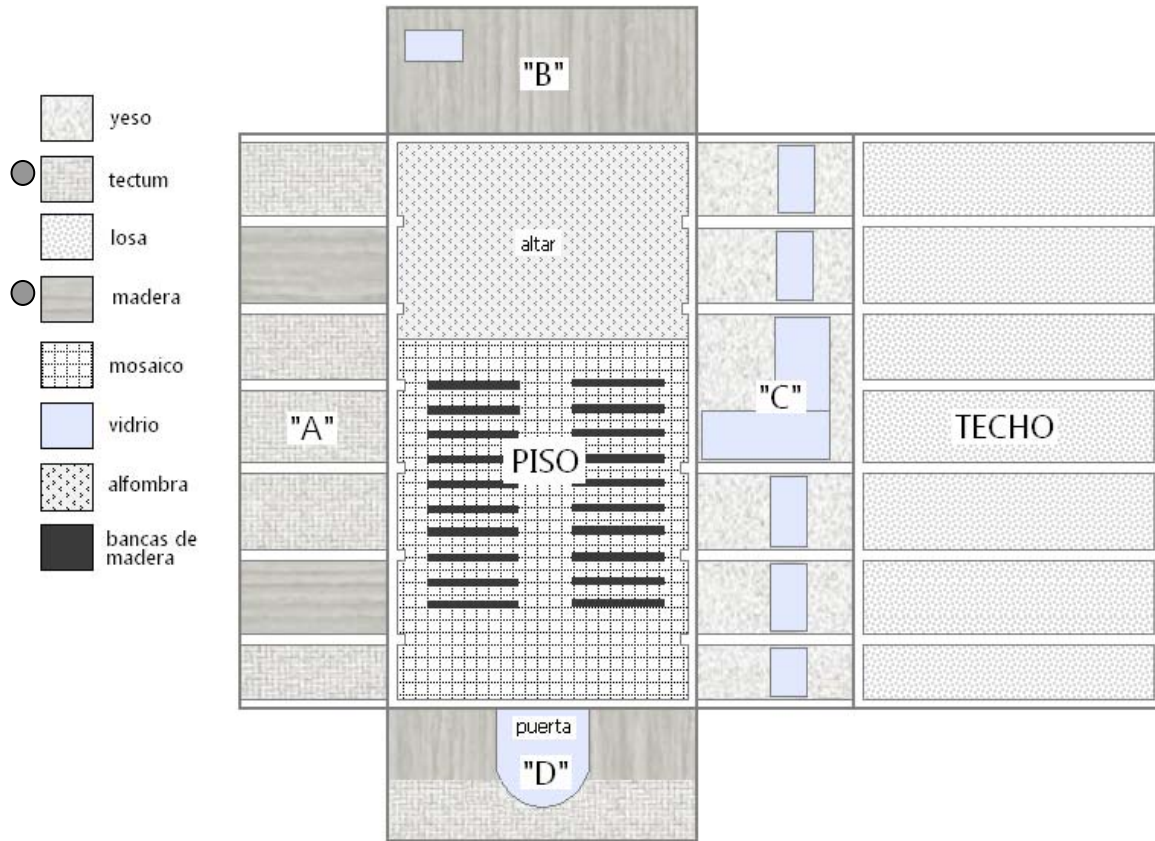


Fig. 2.5 Ubicación de materiales propuestos (tectum y madera).

Para el caso de las paredes se propone colocar paneles de madera terciada (triplay) de 3 mm de espesor dejando un espacio de 0.03 m entre la pared y dicho panel. Al colocar de esta forma la madera, formando así un resonador de membrana, se produce un efecto combinado de absorción y de reflexión, que en función de la frecuencia actuará sobre la acústica del recinto, favoreciendo así la absorción en frecuencias bajas Véase Fig. 2.6.

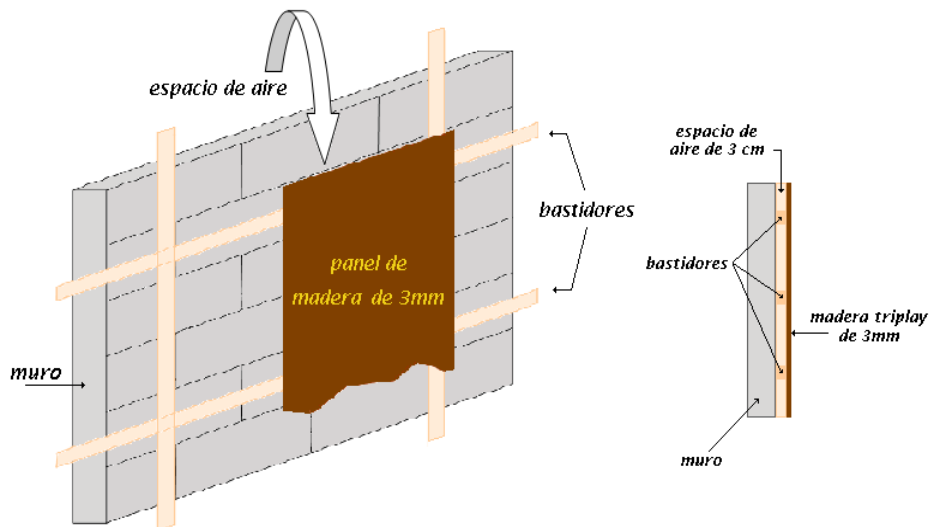


Fig. 2.6 Colocación del panel de madera triplay.

La absorción de cada material depende de la densidad de éste; si es poco denso, la absorción será mínima. Si la meta es tener coeficientes de absorción altos para frecuencias bajas, no es necesario emplear materiales muy gruesos, ya que se puede colocar un material de densidad media a cierta distancia de la pared, tal es el caso de la colocación de la madera de triplay.

Se proponen paneles acústicos estándar Tectum® (Fig. 2.7), los cuales son paneles de madera de 1 1/2" de espesor, a diferencia del triplay de 3 mm, este será colocado directamente sobre la pared.



Fig. 2.7 Panel Tectum (panel acústico estándar).

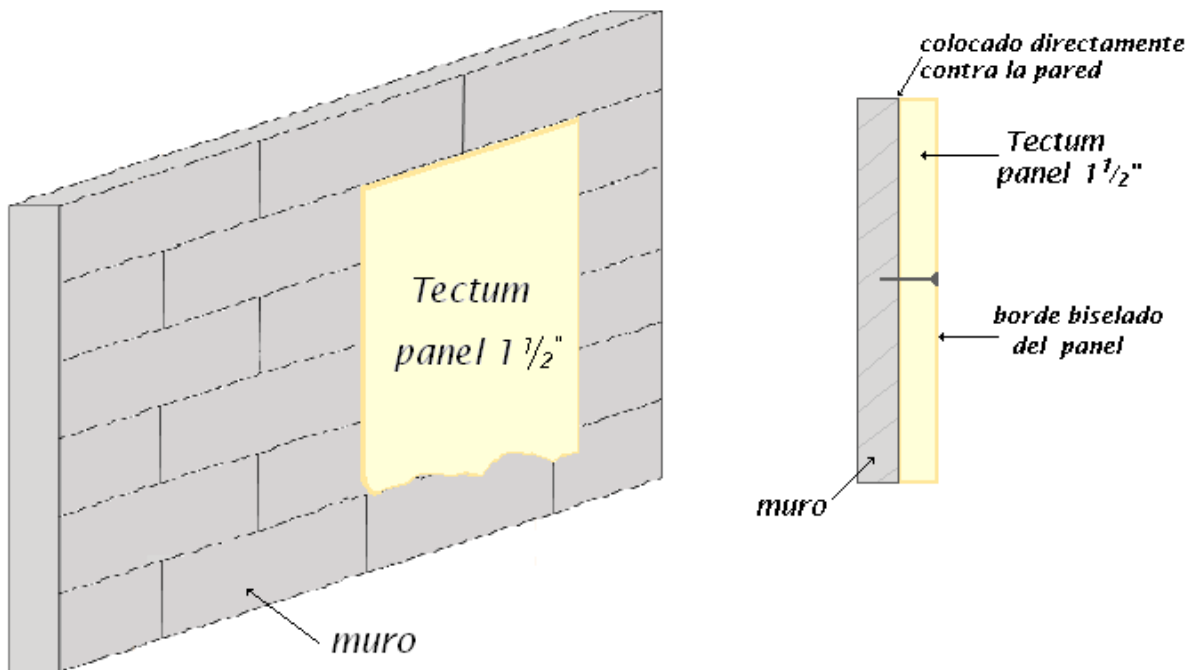


Fig. 2.8 Colocación del panel Tectum® (montaje tipo A).

Las personas representan también parte importante de la absorción en un recinto. Para el caso de salas de conferencias, salas de conciertos, teatros, iglesias y auditorios, en este caso los feligreses, siempre están sentados de forma agrupada, por tal motivo se utilizan coeficientes de

absorción unitarios (m^2) y no por persona. Según Carrión (5), dicha superficie acústica efectiva ocupada por las bancas, se calcula a partir de la superficie real y de la banda perimetral de anchura 0.5 m como se ve en la figura 2.9.

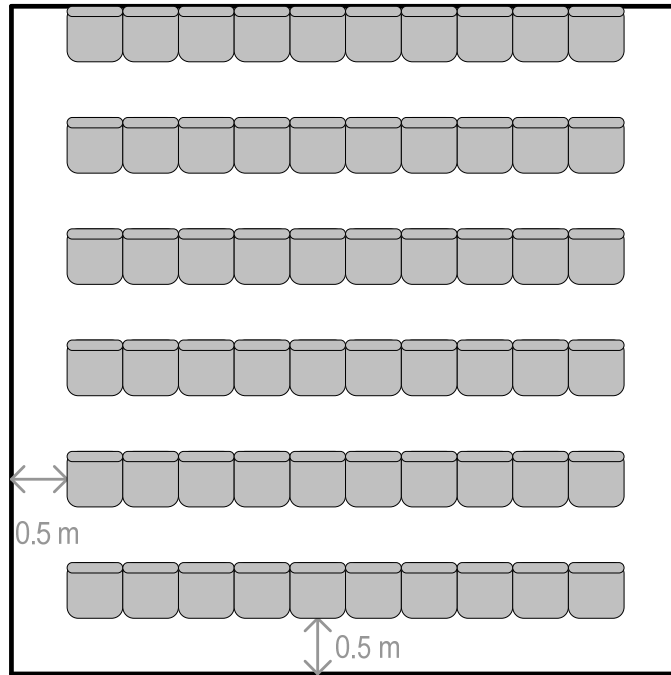


Fig. 2.9 Superficie acústica efectiva ocupada por las bancas, según Carrión.

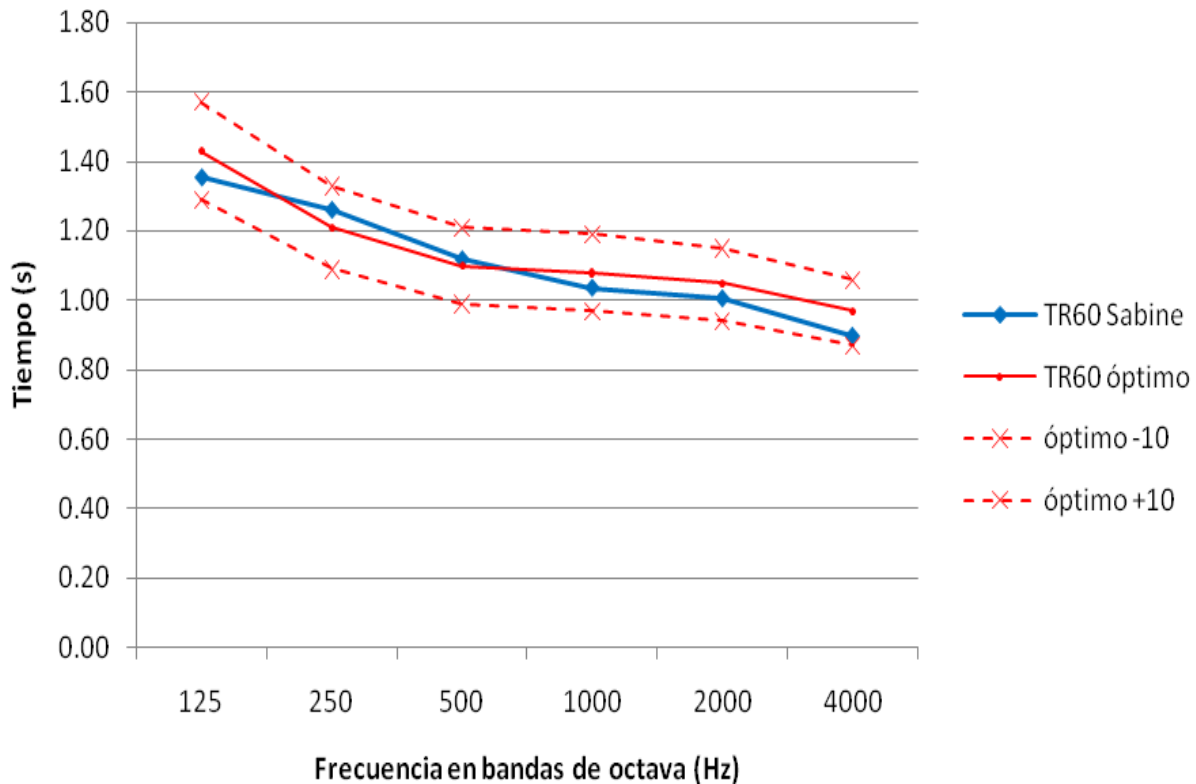
El área destinada a la congregación está determinada por la superficie real que abarcan las bancas más 0.5 m de ancho por cada lado, a excepción de las zonas contiguas a una pared. En este caso, se emplean los coeficientes de absorción correspondientes a las bancas ocupadas y a las bancas vacías.

Se calculó la absorción para un determinado porcentaje de ocupación del templo, el cual es del 75% del total; si la ocupación llegara al 100%, el tiempo de reverberación disminuiría moderadamente, sin que esto afecte tanto a la acústica del local como a la inteligibilidad del mensaje.

A continuación se muestra la *Tabla 2.4* y la *Gráfica 2.5* con los resultados de la propuesta para el acondicionamiento acústico.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
TR óptimo (s)	1.43	1.21	1.1	1.08	1.05	0.97
TR Sabine (s)	1.36	1.26	1.12	1.04	1.01	0.90
TR \pm 10%	1.29-1.57	1.09-1.33	0.99-1.21	0.97-1.19	0.94-1.15	0.87-1.06

Tabla 2.4 Tiempo de reverberación en el recinto acondicionado.



Gráfica 2.5 Tiempo de reverberación en el recinto acondicionado.

Los cálculos de tiempo de reverberación con base en los materiales propuestos para el acondicionamiento se pueden observar en la *Tabla 2.5*.

Es importante señalar que para calcular el tiempo de reverberación se emplea generalmente la ecuación de Sabine o la de Norris-Eyring. Según Rettinger, si el coeficiente de absorción promedio es menor a 0.15, se utiliza la ecuación de Sabine; y cuando el coeficiente de absorción sea mayor a 0.15, la ecuación de Norris-Eyring. Sin embargo, para Mehta, Johnson y Rocafort, si el valor del coeficiente de absorción promedio es menor 0.2 se usará Sabine, de lo contrario, será Norris-Eyring.

En la *Tabla 2.5* se observa que los valores del coeficiente de absorción promedio para cada frecuencia analizada, está por debajo de 0.2, a excepción de la frecuencia de 2 KHz en donde el valor es de 0.22. Sin embargo, 0.02 se puede despreciar ya que no afecta directamente la absorción del recinto.

De acuerdo con Mehta, Johnson y Rocafort, se debe emplear la ecuación de Sabine para determinar el tiempo de reverberación que existirá en el recinto ya acondicionado con los materiales propuestos, a pesar de ser la primera ecuación que se planteó para calcular el TR y aun cuando hoy en día existen diferentes ecuaciones con el mismo propósito, sigue siendo la más confiable y también la más utilizada.

Se realizaron varios ensayos para el acondicionamiento, siendo la propuesta que aquí se presenta, la más adecuada debido a que es la que más se aproxima a los valores óptimos establecidos

	Material	Frec. (Hz)	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1 KHz		2 KHz		4 KHz		referencia
		área (m ²)	α	$A=S*\alpha$	α	$A=S*\alpha$	α	$A=S*\alpha$	α	$A=S*\alpha$	α	$A=S*\alpha$	α	$A=S*\alpha$	
piso	Mosaico	112.3	0.01	1.12	0.01	1.12	0.01	1.12	0.01	1.12	0.02	2.25	0.02	2.25	Egan 30
	Alfombra sobre espuma	30.0	0.08	2.40	0.27	8.10	0.39	11.70	0.34	10.20	0.48	14.40	0.63	18.90	Egan 35
	Congregación sentada en bancas de madera para iglesia	40.0	0.57	22.80	0.61	24.40	0.75	30.00	0.86	34.40	0.91	36.40	0.86	34.40	Egan 55
muros	Yeso sobre concreto	50.6	0.12	6.07	0.09	4.55	0.06	3.04	0.05	2.53	0.05	2.53	0.04	2.02	Egan 12
	Panel de madera terciada de 3mm con 3 cm de espacio de aire atrás	79.4	0.20	15.88	0.25	19.85	0.10	7.94	0.09	7.15	0.08	6.35	0.08	6.35	
	Tectum 1 1/2" mtg A	55.0	0.07	3.85	0.26	14.30	0.58	31.90	0.72	39.60	0.64	35.20	0.92	50.60	Tectum inc
	Vidrio ordinario	46.3	0.35	16.21	0.25	11.58	0.18	8.33	0.12	5.56	0.07	3.24	0.04	1.85	Egan 6
techo	Losa pintada	182.3	0.10	18.23	0.05	9.12	0.06	10.94	0.07	12.76	0.09	16.41	0.08	14.58	Egan 4
	Área Total (m ²)	595.90													
	Volumen Total (m ³)	729.12													
	Absorción Total			86.56		93.02		104.97		113.32		116.78		130.96	
	$\bar{\alpha}$			0.15		0.16		0.18		0.19		0.20		0.22	
	TR Sabine(calculado) $TR = \frac{(0.161)(V)}{A}$			1.36		1.26		1.12		1.04		1.01		0.90	
	TR óptimo			1.43		1.21		1.1		1.08		1.05		0.97	

Tabla 2.5 Cálculo del tiempo de reverberación con base a los materiales propuestos para el acondicionamiento acústico del recinto.

CAPÍTULO 3

Aislamiento acústico

3.1. Medición del nivel de ruido.

Para obtener el nivel de ruido al que está expuesto el interior del templo, se midió el nivel de presión acústica con el analizador de espectro de tiempo real (*Norsonic 110*) en su función de medición de espectro, tomando en cuenta dos puntos de medición dentro del recinto, los cuales están indicados en la *Fig. 3.1*:

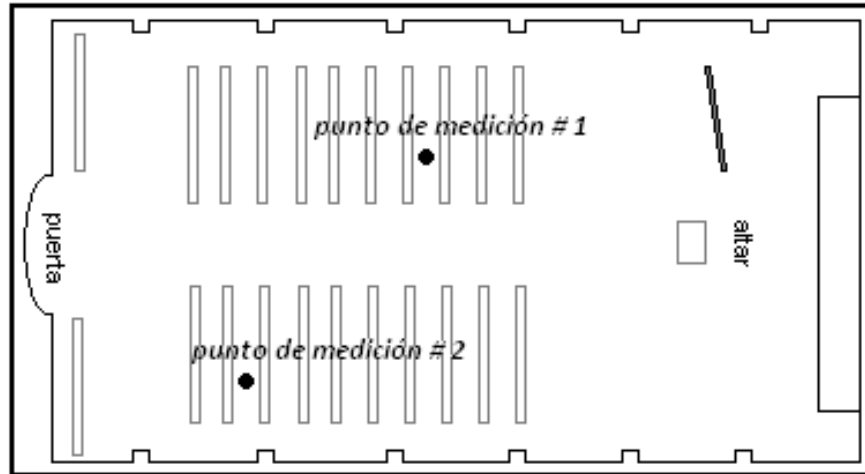


Fig. 3.1 Ubicación de los puntos de medición en el interior del templo.

Se midió, en una fecha posterior, el nivel de ruido afuera del recinto, como se muestra la *Fig.3.2*, con el analizador de audio portátil Phonic PAA3, véase *Fig. 3.3*. Básicamente el ruido de fondo que afecta al confort acústico del templo, está constituido principalmente por ruido de tránsito vehicular y en menor grado por ruido de tránsito aéreo.

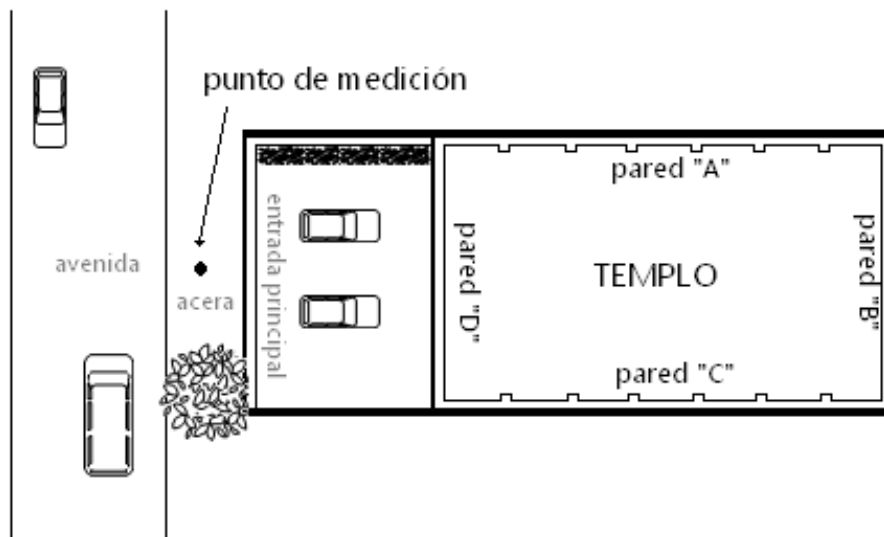


Fig. 3.2 Ubicación del punto de medición en el exterior del templo.



Fig. 3.3 Analizador de audio portátil.

3.2. Criterio de ruido a utilizar.

En la sección 1.3.2, se describieron diferentes criterios de ruido y sus respectivas curvas; el criterio RC (Room Criteria), NC (Noise Criteria), y NCB (Balanced Noise Criteria).

Al evaluar problemas de ruido, seleccionado ya un criterio, las curvas de categorización sirven 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 éste, 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 qué curva será la empleada como referencia para llevar a cabo el aislamiento acústico.

La *Tabla 3.1* muestra los intervalos de curvas recomendadas (4, 9, 12) para este recinto:

TIPOS DE RECINTO	RC	NC	NCB
Iglesias y auditorios pequeños	25-30	20-30	25-30

Tabla 3.1 Curvas de categorización de los criterios RC, NC y NCB.

Hay que 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 de aislamiento.

Se utilizará el criterio NC debido a que es el más usado, el más accesible y fácil de aplicar y es adecuado para recintos que no cuentan con sistemas de aire acondicionado.

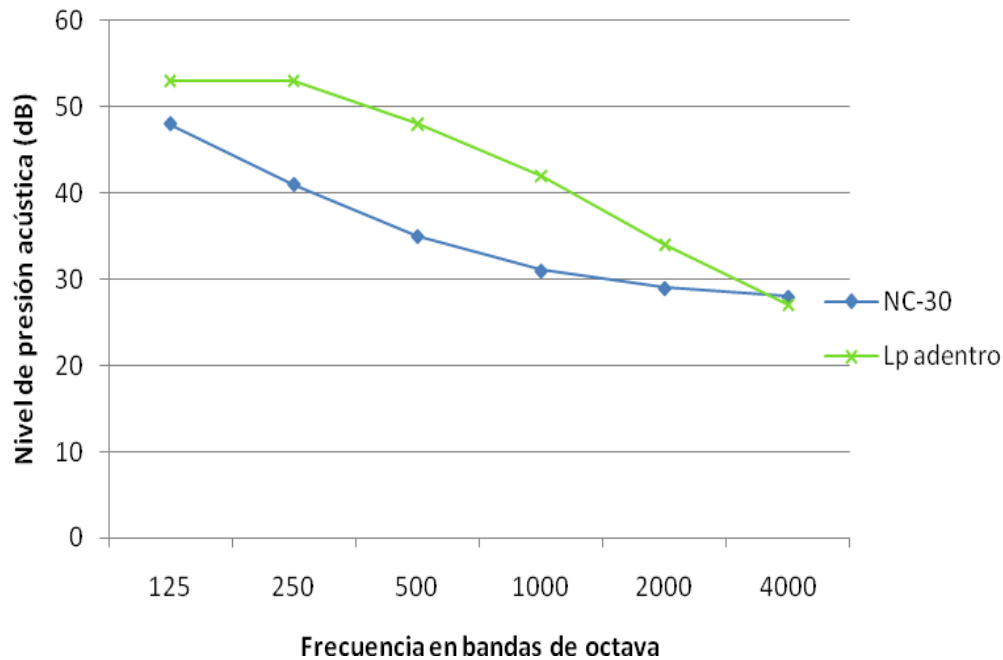
El espectro de banda de octava con las curvas NC será percibido igualmente en frecuencias bajas, medias y altas. Las curvas NC son ampliamente utilizadas para evaluar el ruido de fondo de edificios.

3.3 Comparación entre los valores actuales y los recomendados.

Se llevó a cabo la medición del nivel de ruido al que está expuesto el templo. Se obtuvo el nivel $Lp_{adentro}$ promediando los valores medidos del nivel de presión acústica en cada uno de los dos puntos indicados en la Fig. 3.1.

	NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA (dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
$Lp_{adentro}$	53	53	48	42	34	27
NC - 30	48	41	35	31	29	28

Tabla 3.2 Comparación del NC-30 y $Lp_{adentro}$.



Gráfica 3.1 Comparación del NC-30, y $Lp_{adentro}$.

Como se observa en la Tabla 3.2 y en la Gráfica 3.1, no se cumple la condición establecida para el criterio NC-30, la cual establece que los niveles de presión acústica a los cuales está expuesto el recinto deben estar por debajo de la curva del criterio elegido. Por tal motivo, se decidió efectuar posteriormente otra medición del nivel de ruido y en esta ocasión, las mediciones se realizaron afuera del recinto, véase Fig.3.2, con el fin de medir el nivel de ruido producido por autos, motocicletas y camiones que circulan cerca del templo.

A fin de validar las mediciones obtenidas y de complementar el análisis para el aislamiento acústico, se consultó en la literatura los niveles de presión acústica para diferentes tipos de fuentes emisoras, en este caso vehículos a 15 m, ya que el templo está ubicado sobre una calle transitada y como ya se ha mencionado, el ruido de fondo que afecta al templo, está constituido principalmente por ruido debido al tránsito vehicular.

En la *Tabla 3.3* se comparan los valores de los niveles de presión acústica para dichas fuentes y se ve que los valores obtenidos en la medición de la presión acústica llevada a cabo afuera del recinto son menores a los reportados por Egan (4), a excepción de los valores en las frecuencias de 125 Hz y 250 Hz.

	NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA (dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4KHz
Vehículos a 15 m	70	68	66	67	66	59
<i>Lp exterior</i>	73	68	58	57	55	48

Tabla 3.3 Niveles de presión acústica de vehículos a 15 m y el *Lp exterior*.

Para considerar el peor de los casos, se propone utilizar sólo los valores más altos en cada frecuencia como representación del nivel *Lp exterior* que vendrá siendo L_{p1} , el cual será el nivel que se tomará como referencia para la propuesta de diseño del aislamiento acústico del templo.

En la *Tabla 3.4* se conjuntan el nivel L_{p1} , cuyos valores describen la magnitud del ruido, y el nivel L_{p2} que son los valores de la curva NC-30.

	NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA (dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
L_{p1}	73	68	66	67	66	59
L_{p2} (NC-30)	48	41	35	31	29	28

Tabla 3.4 L_{p1} y L_{p2} (NC-30).

La pérdida por transmisión requerida (TLr) en dB por cada banda de octava, será la guía necesaria para elegir el material más apropiado, la cual está dada por la siguiente fórmula:

$$TLr = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (dB) \quad ec. 3.1$$

Donde:

Lp_1 = nivel de presión acústica promedio en el exterior del recinto.

Lp_2 = los valores de la curva NC-30.

S = área de la partición (m^2).

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

De la propuesta de acondicionamiento (sección 2.2), se obtiene la *tabla 3.5* con los siguientes valores de absorción total (A) para cada frecuencia.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4KHz
Absorción total A (<i>sabins</i> ó m^2)	86.56	93.02	104.97	113.32	116.78	130.96

Tabla 3.5 Absorción total (A) del recinto acondicionado para cada frecuencia.

El cálculo de la pérdida por transmisión requerida obtenida a partir de la *ec. 3.1*, se realiza para cada división constructiva a tratar. Para el templo, la pared "C" y la pared "D" (nomenclatura establecida en la sección 2.1.4), son las más vulnerables al ruido externo, debido a que en ellas se encuentran las ventanas y la puerta.

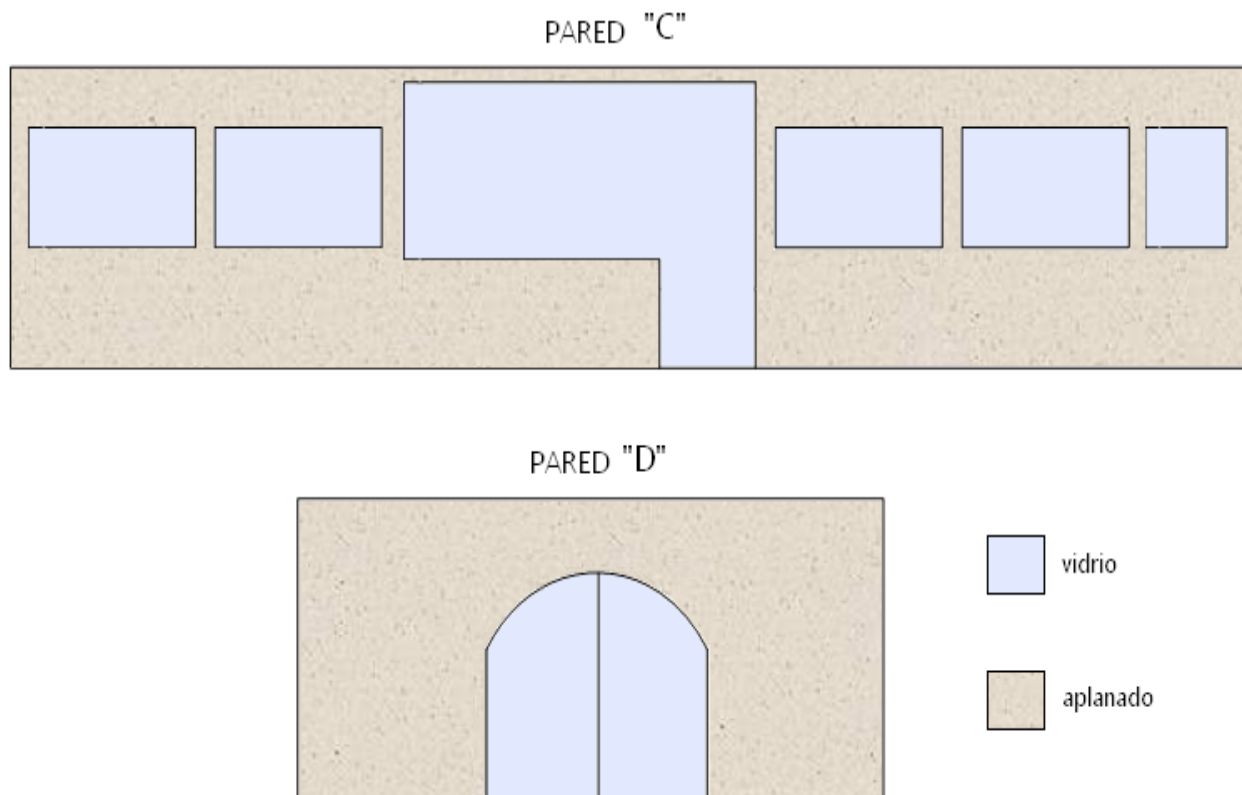


Fig. 3.4 Paredes "C" y "D".

		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
TLrequerida (dB)	pared "C"	24.79	26.37	29.67	34.43	35	29.17
	pared "D"	21.55	23.13	26.43	31.19	31.76	25.93

Tabla 3.6 Pérdida por transmisión requerida (TLr) para cada partición.

Con base a los valores de la *Tabla 3.6* donde se muestra la pérdida por transmisión requerida, se seleccionarán los materiales más apropiados para el aislamiento acústico.

Por otra parte, para determinar la pérdida por transmisión existente, ya que se combinan diferentes materiales ubicados en el mismo plano, se debe considerar también la pérdida por transmisión compuesta (TLc), la cual se obtiene de la *ec. 3.2*.

$$TLc = 10 \log \left[\frac{S_T}{S_1 \frac{1}{\tau_1} + S_2 \frac{1}{\tau_2} + \dots + S_n \frac{1}{\tau_n}} \right] \quad (dB) \quad ec. 3.2$$

Donde:

TLc = pérdida por transmisión compuesta de la partición constructiva existente.

S = área total de la partición.

S_n = áreas que componen la partición.

τ_n = coeficiente de transmisión de cada material que compone la partición.

a su vez,

$$TL = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{1}{10^{\frac{TL}{10}}} \quad ec. 3.3$$

En la *tabla 3.7* se presentan los valores de pérdida por transmisión por banda de octava del vidrio de 3 mm y de concreto, los cuales son los materiales que conforman las paredes "C" y "D" del templo.

		S (m ²) pared "C"	S (m ²) pared "D"	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	Referencia
TL	Vidrio 3mm	33.59	10.7	21	21	28	31	34	25	Harris 5.4
	Concreto	44.81	26.51	38	37	46	55	62	69	Harris 5.2

Tabla 3.7 Valores de pérdida por transmisión y áreas de los materiales en cada partición.

Utilizando la *ec. 3.2* y los valores de la *Tabla 3.7* para calcular la pérdida por transmisión compuesta se obtiene la *tabla 3.8* con los resultados para las paredes “C” y “D”.

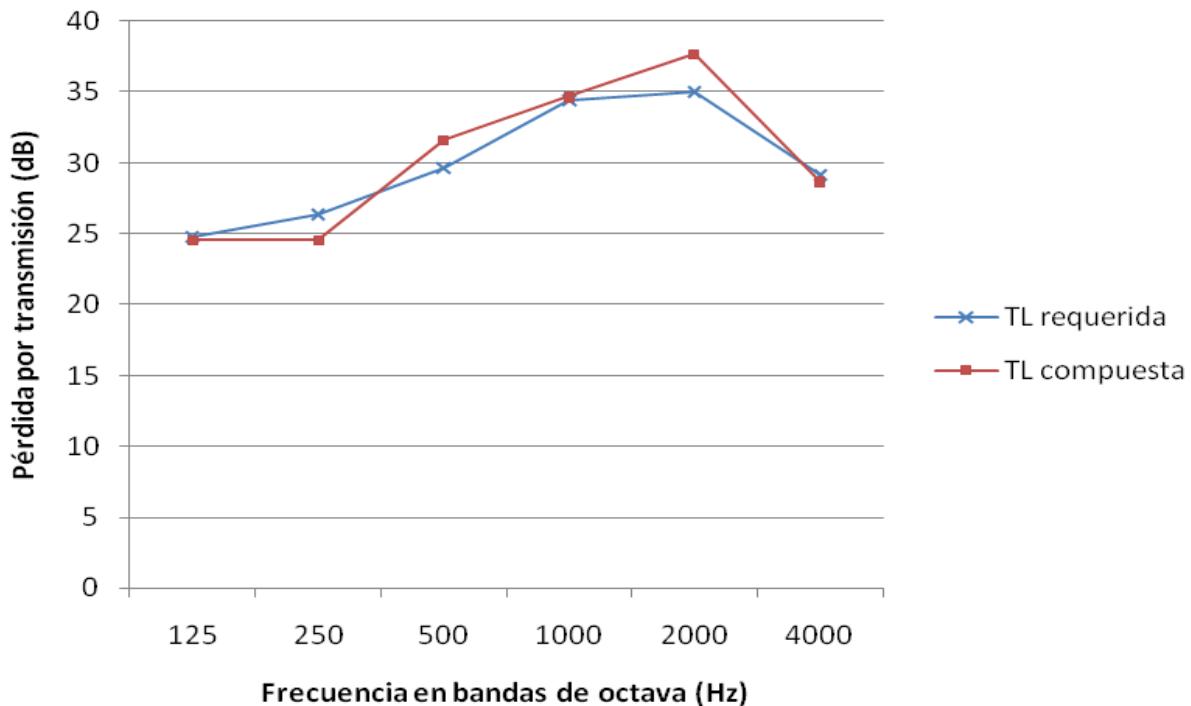
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
TLc (dB)	<i>pared “C”</i>	24.57	24.56	31.61	34.66	37.67	28.68
	<i>pared “D”</i>	26.08	26.31	33.31	36.36	39.38	30.41

Tabla 3.8 Pérdida por transmisión compuesta (*TLc*) para cada partición.

Al comparar los valores de *TLc* (*Tabla 3.8*) y los valores de *TLr* (*Tabla 3.6*) 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 del aislamiento acústico para el templo utilizando materiales que superen la exigencia mínima.

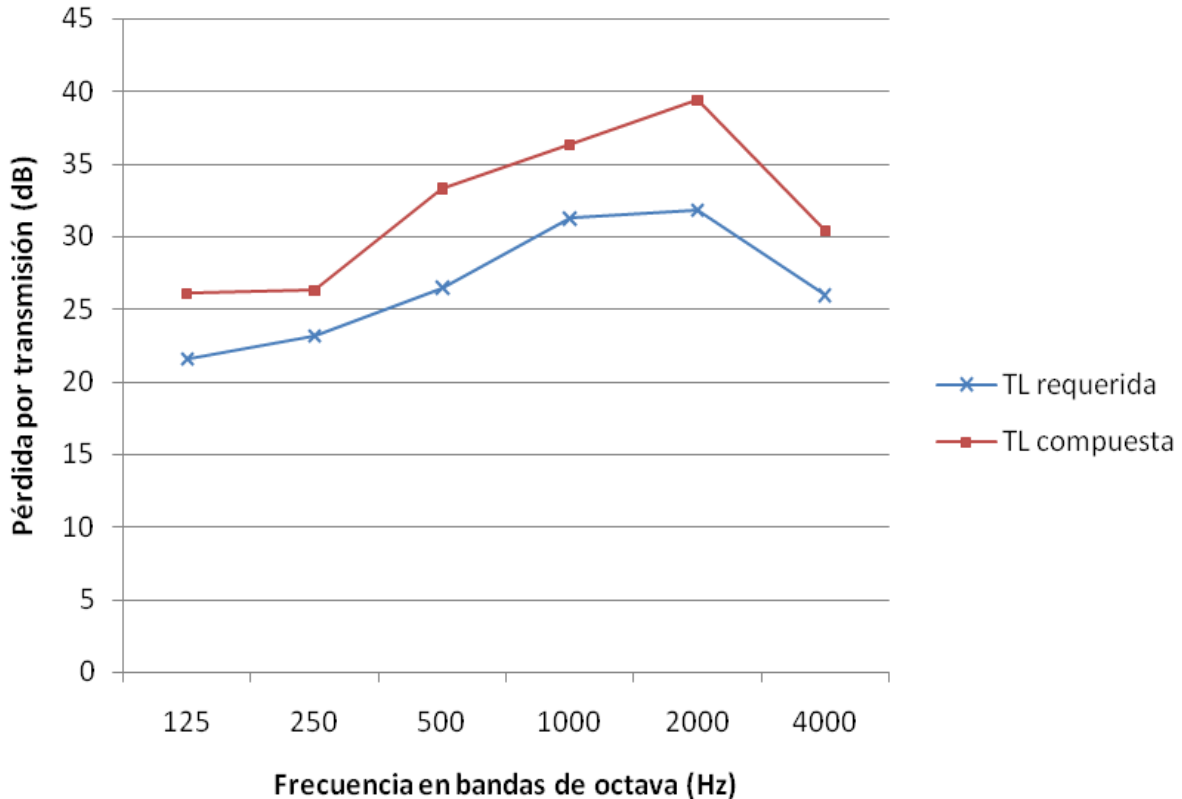
Por lo tanto, se debe satisfacer la siguiente condición:

$$TLr > TLc$$



Gráfica 3.3 Valores *TLc* y *TLr* para la pared “C”.

Se aprecia en la *Gráfica 3.3* que, se debe mejorar el aislamiento acústico para la pared “C”, ya que como se puede observar, la pérdida por transmisión compuesta en la mayoría de las frecuencias analizadas es menor que la pérdida por transmisión requerida. Esto se debe a que la pared “C” está conformada por ventanas, las cuales son más vulnerables al ruido.



Gráfica 3.4 Valores TLc y TL para la pared “D”.

En la *Gráfica 3.4*, donde se realiza el análisis de la pared “D”, la pérdida por transmisión compuesta es mayor a la pérdida por transmisión requerida y por lo tanto, no es primordial mejorar el aislamiento acústico.

3.4. Propuesta para mejorar el aislamiento acústico.

En una pared existe cierta pérdida cuando se atenúa cualquier sonido a través de ésta (pérdida por transmisión, *TL*).

La pared “atenúa” el sonido o “aísla” al interior del ruido externo. Se puede pensar que mientras mayor densidad tenga la pared, mejor será el aislamiento. Sin embargo, además del grosor, la pérdida por transmisión también depende de la frecuencia, ya que para frecuencias por debajo de 500 Hz, la pared es menos efectiva que para frecuencias por arriba de 500 Hz.

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

La presencia de superficies de diversos materiales, es decir superficies compuestas, cada una con diferentes pérdidas por transmisión -como ocurre con puertas y ventanas en los muros-, hace que el sonido se transmita por las partes más débiles acústicamente.

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

Aunque en la pared “D” está el acceso al templo, mediante una puerta de vidrio, no representa un problema de ruido como lo son las ventanas en la pared “C”.

De acuerdo con la *Gráfica 3.3*, la pared “D” satisface la condición: $TL_r > TL_c$; y por lo tanto sólo se realizará la propuesta de mejora del aislamiento acústico para la pared “C”.

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

El vidrio que estará en la parte interna del recinto será de 3 mm, el mismo espesor que la de las ventanas originales, conservando así el acondicionamiento acústico ya propuesto. El vidrio que estará en la parte exterior será el de 6 mm de espesor. Ver *figuras 3.4 y 3.5*.

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



Fig. 3.4 Doble vidriado hermético.

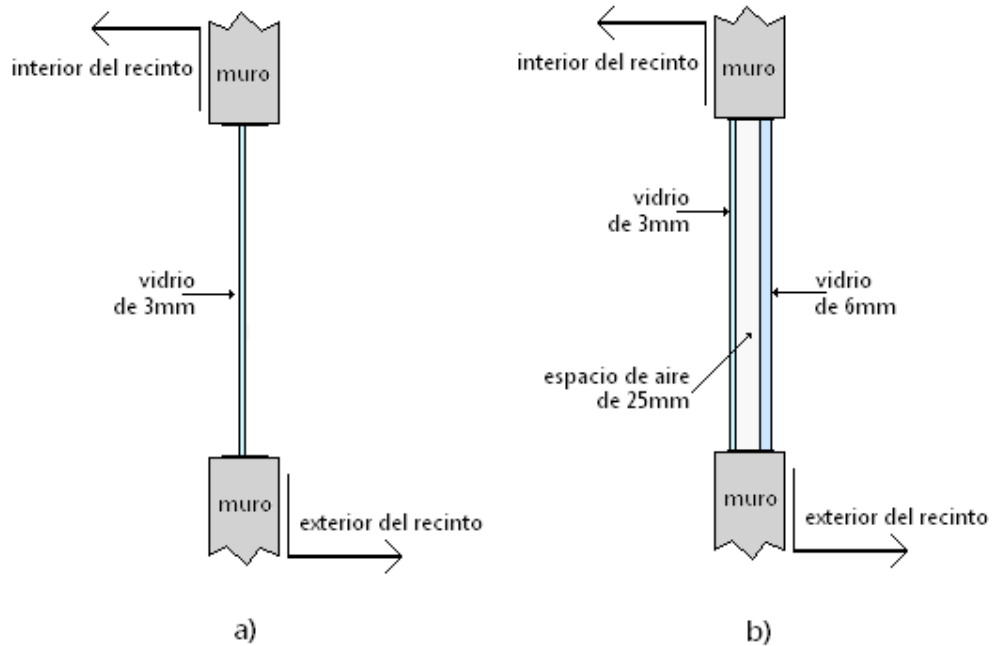


Fig. 3.5 a) ventana en condición actual.
b) ventana doble como propuesta de aislamiento.

En la cara interna del recinto todas las paredes están enyesadas, por el otro lado, sólo la pared “D” cuenta con aplanado, ya que ésta pared es la fachada del templo. Por lo tanto, como parte del aislamiento acústico de la pared “C” se aplicará una capa de aplanado de 13 mm, lo cual también ayudará a mejorar el aislamiento. Ver figura 3.6.

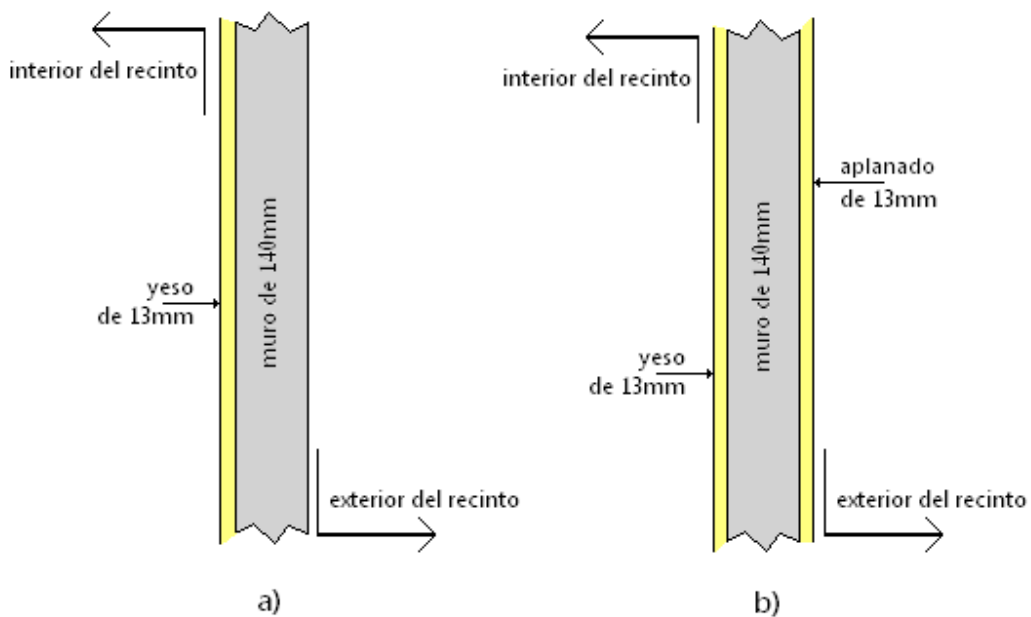


Fig. 3.6 a) pared “C” en condición actual.
b) pared “C” con aplanado en la cara externa del recinto.

En la *tabla 3.9* se presentan los valores de pérdida por transmisión por banda de octava de los materiales que conforman la propuesta para mejorar el aislamiento en la pared “C”.

Aunque la combinación del yeso y el block de concreto, estrictamente no corresponde con lo propuesto, los valores se aproximan a los necesarios para la mejora del aislamiento.

		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	referencia
TL	<i>vidrio 3mm +25mm de espacio de aire+ vidrio de 6mm</i>	24	26	37	42	42	46	<i>Harris 5.4</i>
	<i>13mm de yeso+140mm de block de concreto +13 mm de yeso</i>	36	41	48	54	60	60	<i>Harris 5.2</i>

Tabla 3.9 Valores de pérdida por transmisión de los materiales propuestos.

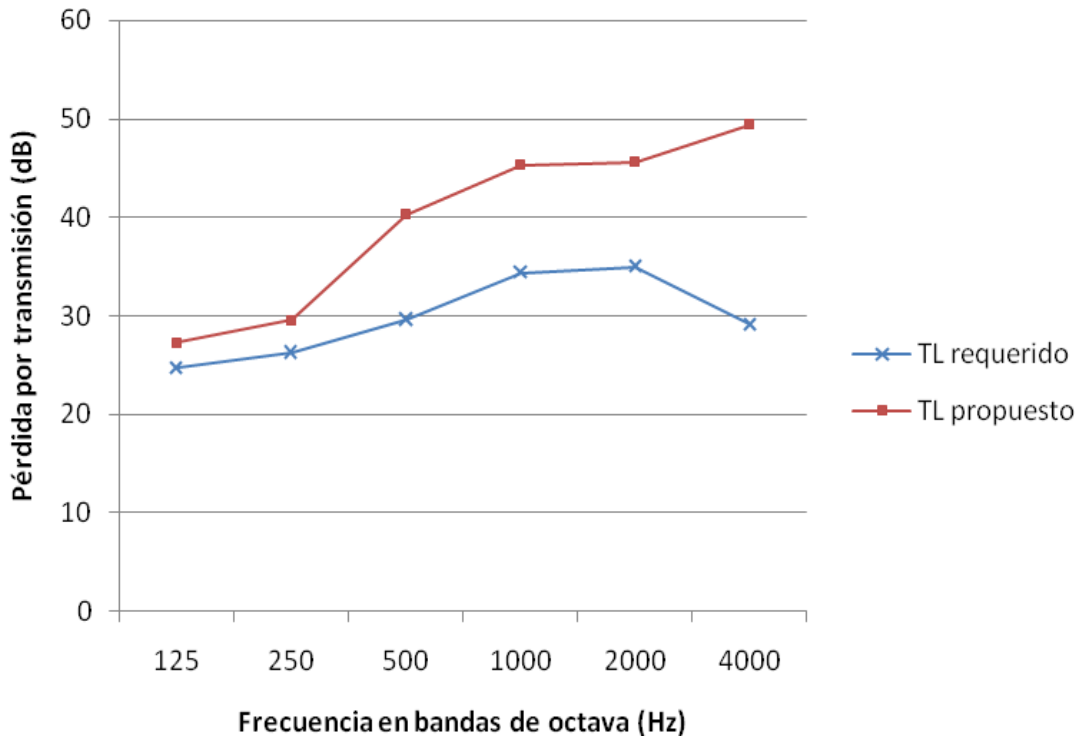
Realizando los cálculos correspondientes para obtener la pérdida por transmisión compuesta en la pared “C” con los materiales propuestos, se obtiene *la tabla 3.10* con una aproximación de los resultados de la propuesta de mejora de aislamiento (*TLp*):

PROPUESTA		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
TLp (dB)	<i>pared “C”</i>	27.33	29.54	40.28	45.31	45.57	49.38

Tabla 3.10 *TLp* de la propuesta de aislamiento acústico para la pared “C”.

La propuesta para la mejora del aislamiento acústico es válida ya que se observa en la *Gráfica 3.5* que la pérdida por transmisión propuesta (*TLp*) es mayor que la pérdida por transmisión requerida (*TLr*):

$$\checkmark \quad TLp > TLr$$



Gráfica 3.5 Propuesta de aislamiento acústico en pared “C”.

Para obtener el nivel de ruido esperado dentro del recinto (L_2), utilizamos la *ec. 3.1* y los resultados se pueden ver en la *tabla 3.11*:

$$L_2 = L_1 - TL + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (dB)$$

Donde:

L_1 = nivel de presión acústica promedio en el exterior del recinto.

TL = pérdida por transmisión propuesta.

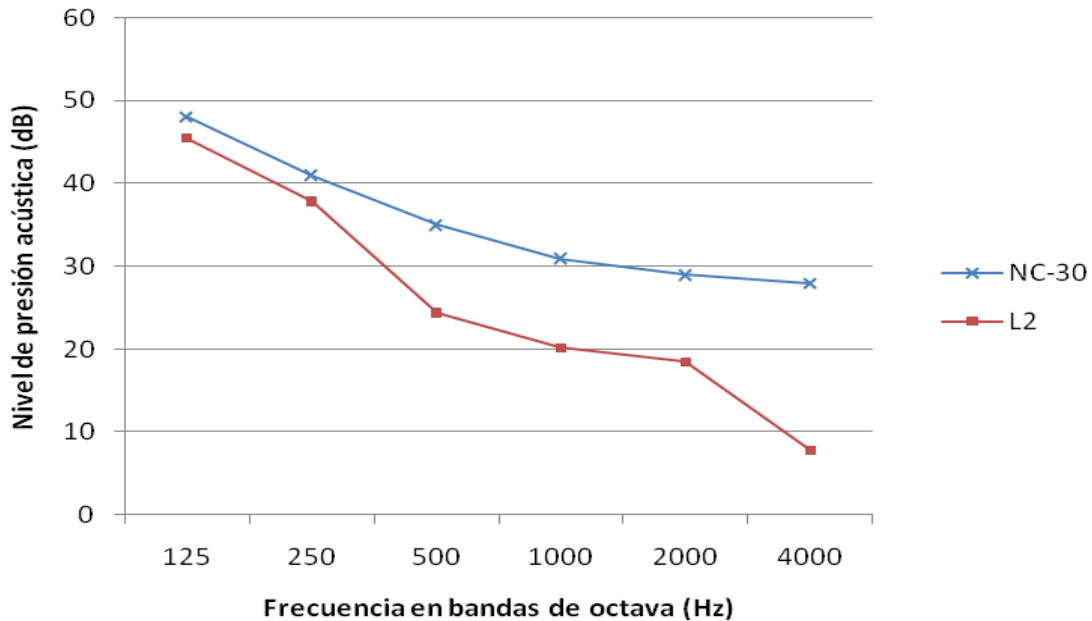
S = área de la partición (m^2).

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

	NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA (dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
NC-30	48	41	35	31	29	28
L_2	44.5	36	24.39	20.12	18.43	8

Tabla 3.11 Valores del nivel de ruido esperado L_2 y la curva NC-30.

La *Gráfica 3.6* muestra el nivel de ruido esperado (L_2) que habrá con el aislamiento acústico propuesto, y como se verá, L_2 está por debajo de la curva de categorización de ruido NC-30, lo cual indica que la propuesta del aislamiento acústico cumple con lo requerido.



Gráfica 3.6 Nivel de ruido esperado (L_2) y la curva NC-30.

De acuerdo con los cálculos realizados y con las gráficas obtenidas, la propuesta de aislamiento cumple para la curva NC-30; aunque, en condiciones operativas, se puede esperar más nivel de presión acústica, sobre todo en las frecuencias altas, debido al ruido propio de las personas en la sala.

El cumplimiento de la especificación NC-30 supone uno de los pasos para conseguir un confort acústico y un grado de inteligibilidad adecuados en el templo.

CAPÍTULO 4

Refuerzo electroacústico

Todo diseño de un sistema de refuerzo electroacústico debe analizar primero las condiciones acústicas del lugar en que se va a trabajar, luego se deben considerar los requerimientos de ganancia acústica para lograr un nivel de sonido adecuado, un sistema libre de retroalimentación electroacústica y una buena inteligibilidad de la palabra. Esto, en conjunto con la correcta elección de los componentes electroacústicos más convenientes, micrófonos y altavoces, así como su adecuado posicionamiento.

El refuerzo electroacústico consiste básicamente en aumentar el nivel acústico de la fuente sonora mediante un sistema de audio amplificado, hasta un nivel suficiente que permita una buena comprensión del mensaje por parte del oyente.

Este modelo teórico para el diseño del sistema de refuerzo electroacústico, emplea ecuaciones que a lo largo de este capítulo se presentan, dichas ecuaciones son las mismas propuestas por Don y Carolyn Davis (13).

4.1 Consideraciones técnicas.

El principal propósito de un sistema de refuerzo electroacústico es incrementar los niveles de presión acústica de una o varias fuentes, por sobre sus niveles acústicos naturales. La Fig. 4.1 describe un esquema simple de un sistema de refuerzo electroacústico donde se definen las siguientes variables:

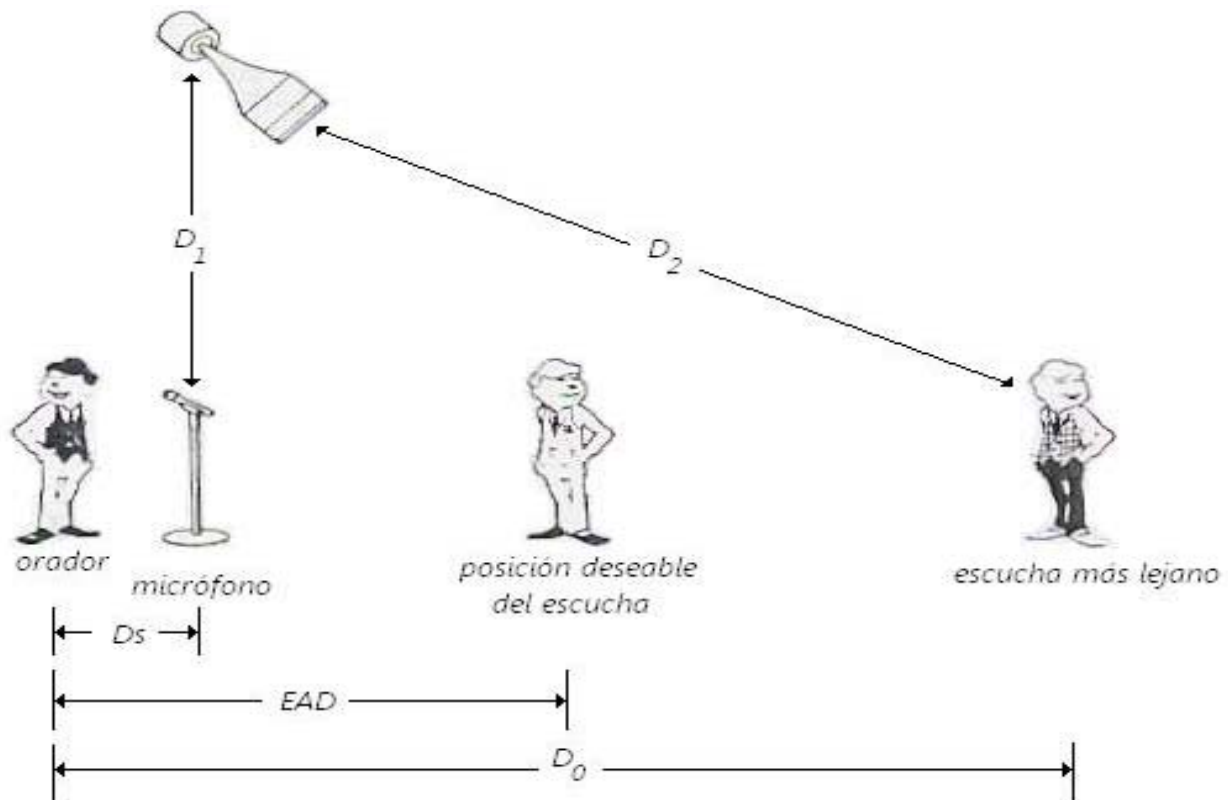


Fig. 4.1 Sistema simple de refuerzo electroacústico.

Donde como se observa en la *figura 4.1*:

- D_s = distancia entre el orador (fuente) y el micrófono.
- D_1 = distancia entre el altavoz (sistema) y el micrófono.
- D_2 = distancia entre el altavoz y el oyente más lejano.
- D_0 = distancia entre el orador y el oyente más alejado.
- EAD = distancia acústica equivalente.

Para el caso del Templo el “Divino Redentor”, los valores de las variables se muestran en la *Tabla 4.1* y se ilustra en la *Fig. 4.2*:

D_s (m)	D_0 (m)	D_1 (m)	D_2 (m)
0.15	14	2	14.14

Tabla 4.1 Distancias del sistema de refuerzo electroacústico en el “Divino Redentor”.

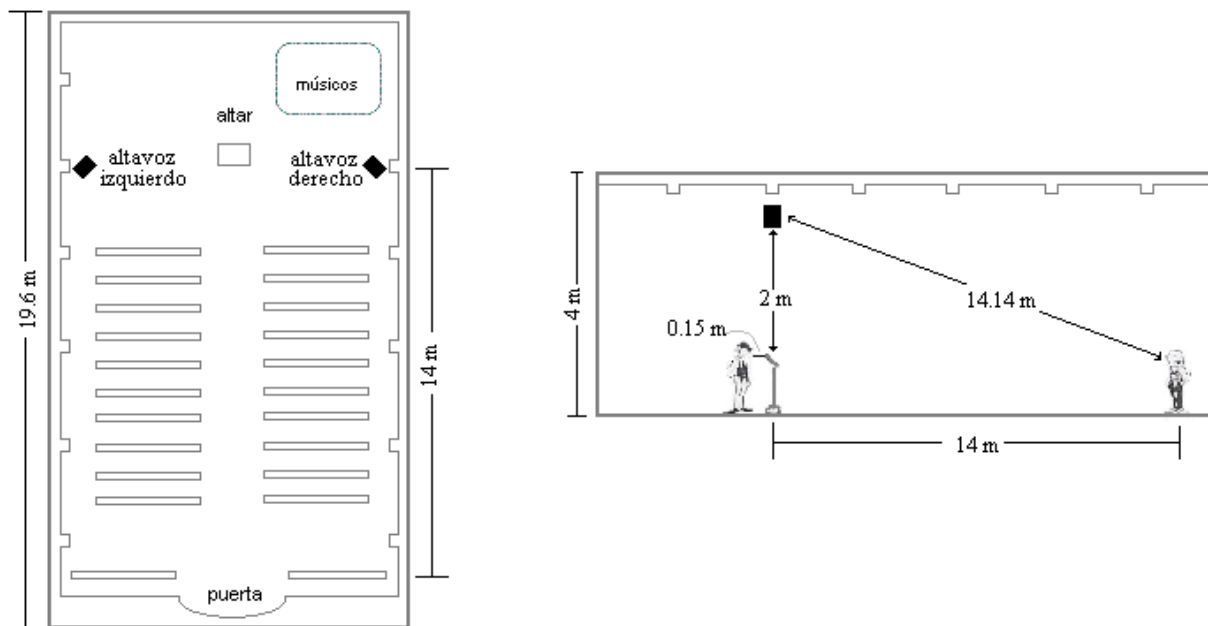


Fig. 4.2 Distancias del sistema de refuerzo electroacústico en el “Divino Redentor”.

El templo cuenta con 2 altavoces marca PEAVEY modelo *ILS1264V*, ubicados en los extremos del altar. Cuenta también con una consola analógica de 8 canales de entrada y con salida estéreo y auxiliar, un amplificador de 250 watts y 2 micrófonos de mano, todos estos de marca desconocida.

Para saber si el sistema de refuerzo electroacústico que existe actualmente en el templo, funcionará de forma adecuada, las respuestas a las siguientes preguntas brindarán mayor información al respecto:

4.1.1 ¿Todos pueden escuchar?

Dependerá de la colocación de los altavoces aprovechando al máximo su ángulo de cobertura para poder cubrir el área de la audiencia.

Se propone el *sistema concentrado* pero en forma separada (*split cluster*), es decir, una parte en la derecha y otra parte en la izquierda. (Véase Fig. 4.2). Cabe mencionar que a pesar de la colocación de los altavoces, no es con el fin de darle un enfoque estereofónico, al contrario, la misma señal será distribuida en los dos altavoces. Este sistema permite una simplificación en el diseño del sistema de canalizaciones y cableado que proporciona la señal eléctrica a los altavoces.

4.1.2 ¿Es suficientemente fuerte?

Este punto se determina mediante la potencia eléctrica requerida (*EPR*), la cual depende del nivel requerido (*Lp*) en el escucha más lejano ubicado en la distancia D_2 , del margen de tolerancia (*headroom*) en dB, de la sensibilidad del altavoz y la contribución del campo reverberante en el interior del recinto; así como de la distancia crítica (D_c), ya que a distancias mayores que D_c , no se necesita más potencia para mantener el mismo nivel L_p .

La distancia crítica depende del factor Q del altavoz y de la absorción del recinto y puede ser determinada mediante:

$$D_c = 0.141 \sqrt{\frac{QS\bar{\alpha}}{N}} \quad \text{ec. 4.1}$$

Donde:

Q = factor de directividad del altavoz.

S = área total del recinto.

$\bar{\alpha}$ = promedio del coeficiente de absorción en la banda de 2 KHz debido a su máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra.

N = número total de altavoces con la misma potencia acústica que el altavoz dirigido al escucha más lejano.

El valor del factor de directividad Q se tomó de las hojas de especificaciones de los altavoces que existen actualmente en el templo (PEAVEY ILS1264V).

Q (PEAVEY ILS1264V)	S (m^2)	$\bar{\alpha}$ en 2 KHz	N
14.76	595.9	0.20	2

Tabla 4.2 Datos.

De la ec.4.1 y de los datos de la Tabla 4.2, la distancia crítica (D_c) es:

$$D_c = 0.141 \sqrt{\frac{(14.76)(595.9)(0.20)}{2}} = 4.18 \text{ m}$$

Para calcular la potencia eléctrica requerida en el interior del recinto se utiliza la ec. 4.2.

$$EPR = 10^{\frac{Lp+H-Lsens+20\log D_2-10\log \frac{g(D_2)}{g(D)}}{10}} \quad ec. 4.2$$

Donde:

Lp = nivel de presión acústica promedio requerido a la distancia D_2 .

H = *headroom* en dB.

$Lsens$ = sensibilidad del altavoz (Iw/m).

D_2 = distancia del escucha más lejano.

$$g(x) = D_c^2 + x^2 \quad ec. 4.3$$

x = cualquier distancia.

Los criterios para definir los valores de nivel de presión acústica se desarrollan considerando la relación señal a ruido (S/N). Hopkins y Stryker aseguran que para conseguir una buena inteligibilidad la relación S/N debe superar los 25 dB, lo que indica que el nivel de ruido será 25 dB menor que el nivel de la señal. (14)

Este nivel es promedio y se debe considerar también el nivel pico. La diferencia entre el nivel pico y el nivel promedio se refiere al *headroom* del sistema. En un sistema de refuerzo electroacústico sólo para voz se considera un *headroom* adecuado de 10dB; para música, el *headroom* sería de 20dB.

En la *Tabla 4.3* se muestran los datos aplicables a este caso:

Lp (dB)	H (dB)	$Lsens$ (dB @ Iw/m) (PEAVEY ILS1264V)	D_2 (m)	$g(D_2)$ (m)	$g(I)$ (m)
70	20	96	14.14	217.43	18.49

Tabla 4.3 Datos.

La potencia eléctrica requerida (EPR) es:

$$EPR = 10^{\frac{70+20-96+20\log 14.14-10\log \frac{217.43}{18.49}}{10}} = 4.40 \text{ w}$$

4.1.3 ¿Todos pueden entender?

- Porcentaje de pérdida por articulación de las consonantes (% $ALcons$).

La inteligibilidad al interior de un recinto no puede ser resuelta únicamente aumentando el nivel de potencia acústica meramente del altavoz, ya que eso también aumentará el nivel de campo reverberante.

Para una inteligibilidad del lenguaje, las consonantes tienen un papel más significativo que las vocales, ya que si las consonantes se escuchan claramente, el mensaje puede ser entendido más fácilmente.

El cálculo de %ALcons permite cuantificar el grado de inteligibilidad de la palabra, el cual está relacionado con el TR y S/N, por lo que es de buen uso en locales cerrados. (15)

Si el TR es menor, habrá mayor inteligibilidad, pero por otro lado, el valor de %ALcons va aumentando a medida que el receptor se aleja de la fuente, pero a partir de cierta distancia, la inteligibilidad de la palabra ya no empeora.

La Tabla 4.4 muestra la valoración subjetiva del grado de inteligibilidad %ALcons según Carrión: (5)

%ALcons	Valoración subjetiva
1.4% - 0%	<i>excelente</i>
4.8% - 1.6%	<i>buena</i>
11.4% - 5.3%	<i>aceptable</i>
24.2% - 12%	<i>pobre</i>
46.5% - 27%	<i>Mala</i>

Tabla 4.4 Valoración subjetiva del %ALcons.

La pérdida de articulación de consonantes %ALcons se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\%ALcons = \frac{200D_2^2 TR^2 N}{QV} \quad \text{ec. 4.4}$$

Donde:

D_2 = distancia entre el altavoz y el escucha más lejano.

TR = tiempo de reverberación (s) en la banda de 2 KHz debido a su máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra.

N = número total de altavoces con la misma potencia acústica que el altavoz dirigido al escucha más lejano.

Q = factor de directividad del altavoz.

V = volumen del recinto (m^3).

La tabla 4.5 muestra los datos necesarios para el uso de la ec. 4.4

TR en 2 KHz (s)	V (m^3)	Q (PEAVEY ILS1264V)	D_2 (m)	$g(D_2)$ (m)	N
1.01	729.12	14.73	14.14	217.43	2

Tabla 4.5 Datos.

Empleando los datos de la *Tabla 4.5* en la *ec. 4.4*, se obtiene:

$$\% ALcons = \frac{200(14.14)^2 (1.01)^2 (2)}{(14.73)(729.12)} = 7.58 \%$$

De acuerdo a la *Tabla 4.4*, la valoración subjetiva de la inteligibilidad del templo “El Divino Redentor” es ACEPTABLE.

4.1.4 ¿Se retroalimentará?

Un sistema de refuerzo electroacústico libre de retroalimentaciones es fundamental en cualquier espacio acústico, para esto, la ganancia acústica potencial debe ser mayor que la ganancia acústica necesaria:

$$PAG > NAG$$

- Ganancia acústica necesaria (NAG).

El NAG corresponde, para cualquier posición de un espectador, al incremento de nivel que debe proporcionar el sistema, para compensar la pérdida de nivel entre el punto *EAD* y dicha posición.

Es importante que toda la audiencia escuche en forma adecuada, se debe encontrar la ganancia acústica necesaria en el punto más alejado (D_0), esto queda expresado en la *ec. 4.5*.

$$NAG = 20 \log \frac{D_0}{EAD} - 10 \log \frac{g(D_0)}{g(EAD)} \quad ec. 4.5$$

Donde:

D_0 = distancia entre el orador y el escucha más lejano.

EAD = distancia acústica equivalente.

La distancia acústica equivalente se determina mediante la expresión:

$$EAD = D_s 10^{\frac{L_{pt} - L_{pd}}{20}} \quad ec. 4.6$$

Donde:

D_s = distancia entre el orador y el micrófono.

L_{pt} = nivel de presión sonora del orador a la distancia D_s (78 dBA).

L_{pd} = nivel de presión sonora deseada.

Para obtener el nivel de presión acústica con ponderación A correspondiente al ruido de fondo, se suman logarítmicamente (*ec. 4.7*) los valores de presión acústica esperados dentro del recinto aislado acústicamente expresados en *dB*A.

$$L_{p_i} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{L_{pi}}{10}\right)} \right] \text{ dB} \quad ec. 4.7$$

De la *Tabla 3.11 (Capítulo 3)* y de la *ec. 4.7* se obtendrá el nivel de ruido de fondo, mostrado en la *tabla 4.5* en *dB*A:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
Nivel de ruido de fondo (dB)	44.5	36	24.39	20.12	18.43	8
Respuesta ponderación A	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1
Nivel de ruido de fondo (dBA)	28.4	27.4	21.19	20.12	19.63	9

Tabla 4.5 Nivel de ruido de fondo (*dBA*).

$$Lp_i = 10 \log \left[10^{2.84} + 10^{2.74} + 10^{2.11} + 10^{2.01} + 10^{1.96} + 10^{0.9} \right] \cong 31.97 \text{ dBA}$$

Por lo tanto el nivel de presión sonora deseada (*Lpd*) será la suma del nivel de ruido de fondo (*Lpi*) y la relación señal a ruido (*S/N*).

$$Lpd = Lp_i + 25 = 56.97 \text{ dBA}$$

Sustituyendo los valores *Lpt* y *Lpd* en la *ec. 4.6*, se obtiene la distancia acústica equivalente:

$$EAD = (0.15) \times 10^{\frac{78-56.97}{20}} = 1.69$$

A continuación se muestra en la *tabla 4.6* los valores de las variables para determinar la ganancia acústica necesaria:

<i>D₀</i> (m)	<i>EAD</i> (m)	<i>g(D₀)</i> (m)	<i>g(EAD)</i> (m)
14	1.69	213.49	20.34

Tabla 4.6 Datos.

La ganancia acústica necesaria (*NAG*) es:

$$NAG = 20 \log \frac{14}{1.69} - 10 \log \frac{213.49}{20.34} = 8.16 \text{ dB}$$

- Ganancia acústica potencial (*PAG*).

El *PAG* corresponde al máximo valor posible de “ganancia acústica” que se puede obtener de un sistema de refuerzo electroacústico antes que se produzca una retroalimentación y se obtiene mediante la *ec. 4.8*:

$$PAG = 20 \log \frac{D_0 D_1}{D_s D_2} - 10 \log NOM - 6 \text{ dB} - 10 \log \frac{g(D_0)g(D_1)}{g(D_s)g(D_2)} \quad \text{ec. 4.8}$$

Donde:

D_s = distancia entre el orador (fuente) y el micrófono.

D_1 = distancia entre el altavoz (sistema) y el micrófono.

D_2 = distancia entre el altavoz y el oyente más lejano.

D_0 = distancia entre el orador y el oyente más alejado.

NOM = número de micrófonos abiertos.

Si un sistema debidamente ajustado y ecualizado se encuentra funcionando en los límites del PAG, aunque éste en teoría no se retroalimente, puede traer como consecuencia deterioros drásticos en la respuesta de frecuencia; por lo tanto no es conveniente fijar la condición de retroalimentación en el límite, para lo cual, al cálculo de ganancia potencial se le debe agregar un margen de protección fijado en 6 dB.

Esta consideración de agregar un margen de protección y el agregar también el número de micrófonos abiertos, que en este caso son 2 (pastor y cantante), garantizan un distanciamiento de los problemas de retroalimentación del sistema. Por lo que,

$$PAG = 20 \log \frac{(14)(2)}{(0.15)(14.14)} - 10 \log 2 - 6 - 10 \log \frac{(213.49)(21.49)}{(17.51)(217.43)} = 12.59 \text{ dB}$$

Comparando los resultados de las ecuaciones 4.5 y 4.8; si PAG es mayor o igual a NAG, el sistema será estable y no se retroalimentará:

$$\checkmark \quad PAG = 12.59 \text{ dB} \geq NAG = 8.16 \text{ dB}$$

por consiguiente, se cumple con ésta condición.

El valor PAG es mayor que el valor NAG, los siguientes puntos ayudan también a evitar retroalimentaciones:

- * Los micrófonos deben estar lo más cerca de la fuente de sonido.
- * Los altavoces deben estar lejos de los micrófonos.
- * Reducir el número de micrófonos abiertos.
- * Usar micrófonos y altavoces direccionales.

Hay que resaltar que la reproducción del sonido debe realizarse de manera que sea recibida de forma natural, por lo que es conveniente que los diferentes controles del amplificador estén debidamente ajustados. Los controles de graves no deben tener un nivel demasiado alto, ya que va en detrimento de las frecuencias altas y medias, y da la sensación de un sonido poco inteligible.

Al colocar los altavoces se debe procurar que el haz sonoro de cada baffle se limite a la zona ocupada por los oyentes, ya que además de permitir un mayor nivel acústico y disminuir la reflexión del lugar, también limita el número de altavoces a instalar.

Hay que resaltar que el análisis para determinar si el sistema de refuerzo electroacústico trabaja de manera satisfactoria, se realizó con el equipo electrónico existente en el templo, el cual responde de forma conveniente las cuatro preguntas anteriores.

Aunque el funcionamiento es adecuado, se propone cambiar los micrófonos actuales por otros del modelo *SM-58* marca SHURE, el cual es dinámico y unidireccional (cardioid), lo que ayuda al control de la retroalimentación y generalmente es empleado para voz. Sustituir la consola actual por una *YAMAHA MG 10/2*, así como el amplificador por uno marca CROWN modelo *d-75 A*, ya que no se requiere de mucha potencia.

El siguiente diagrama muestra las conexiones de los instrumentos y micrófonos a la entrada de la consola de audio, la salida de ésta se conecta a la entrada del amplificador y las salidas de éste se conectan a los altavoces. Refiriéndose así a la cadena electroacústica.

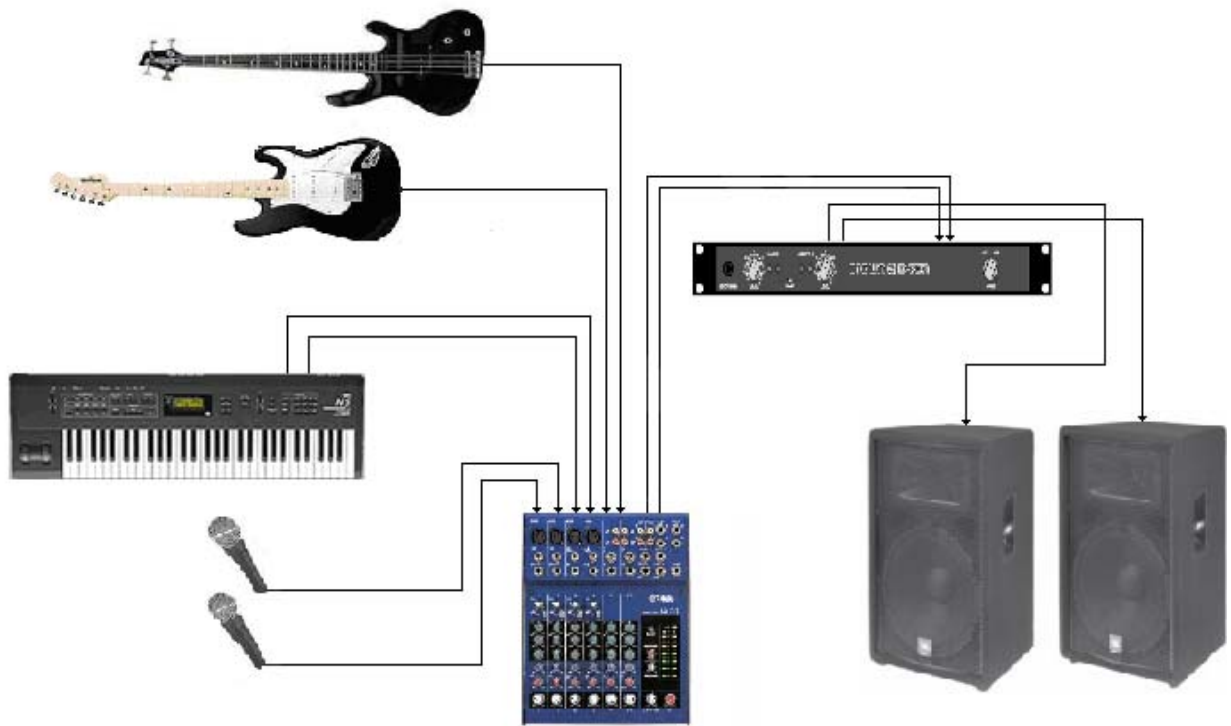


Fig. 4.2 Conexión del equipo electrónico.

Las recomendaciones anteriores son efectivas, es importante señalar también que sólo se obtendrán buenos resultados con una correcta ecualización, ajuste y operación del sistema.

Se debe tener en cuenta que en la valoración subjetiva de la audiencia intervienen factores externos a la parte técnica, como pueden ser la motivación o estado de ánimo de los asistentes, sus gustos particulares de tipo de música, la actitud del grupo en la actuación, entre otros.

ANÁLISIS ECONÓMICO

El diseño acústico del templo “El Divino Redentor” debe ser considerado como un proyecto de inversión para su comunidad evangélica, pues aunque en este caso sólo se habla sobre el diseño y su posible realización sólo se verá el análisis de costos; pues las inversiones, estados financieros, y rentabilidad deberán ser generados por el cliente, pues es él quien decidirá si el proyecto es conveniente.

En el siguiente cronograma se especifican los tiempos de las diferentes actividades necesarias para la realización de este proyecto, además se mencionan el número de horas-hombre necesarias para cada actividad, así como el número de personas recomendadas para llevar acabo dichas actividades de tal forma que se podrán deducir los costos tanto de equipos, materiales, ingeniería y mano de obra.

Actividad	hrs hombre	N° de personas	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
1.- Análisis del templo.	16	2	■				
2.- Mediciones físicas del templo. Mediciones del TR. Mediciones del nivel de presión acústica (ruido).	16	2		■			
3.- Diseño de la propuesta de acondicionamiento acústico y de la propuesta de mejora del aislamiento acústico.	48	2		■	■	■	
4.- Análisis del sistema de refuerzo electroacústico con el equipo actual.	8	2			■		
5.- Adquisición de materiales y equipo electrónico.	16	2			■		
6.- Instalación de los materiales para el acondicionamiento y el aislamiento.	48	13			■	■	■
7.- Instalación del equipo electrónico de audio y cableado.	8	3				■	
8.- Revisión y pruebas.	16	2					■
9.- Reporte del proyecto.	24	2					■

Tabla 1 Cronograma del proyecto del diseño acústico del templo “El Divino Redentor”.

En el cronograma del proyecto del diseño acústico del templo “El Divino Redentor” (Tabla 1), las actividades 1-5 serán llevadas a cabo por ingenieros ya que se analiza, diseña, eligen y se adquieren equipos y materiales; en las actividades 6 y 7 se requiere de por lo menos un ingeniero para supervisar la colocación de los materiales acústicos en el recinto (actividad 6) y el cableado e instalación del equipo electrónico (actividad 7), las demás personas son técnicos en instalación, los cuales serían responsables de seguir estrictamente los diagramas y planos diseñados. Para las actividades 8 y 9 se necesitan 2 ingenieros para llevar a cabo la revisión y pruebas del diseño terminado, así como la realización del reporte del proyecto.

*** Materiales para la propuesta de acondicionamiento acústico:**

<i>Material</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Piezas</i>	<i>Precio unitario (USD)</i>	<i>Costo de mano de obra</i>	<i>Precio (USD)</i>
Alfombra sobre espuma. <i>para tráfico pesado incluye bajo alfombra.</i>	30	--	\$8	Incluida	\$240
Madera triplay de 3 mm con 3 cm de espacio de aire atrás. <i>hojas de 4 x 8 m de madera de pino con 3 mm de espesor colocación de bastidores con módulos de 1.22 x 2.20 m de espacio.</i>	80	--	Incluido en la mano de obra	\$1100	\$1100
TECTUM 1½” (montaje tipo A) <i>paneles blancos (pueden ser pintados) de 4' x 8' = 32ft² = 3 m² (20 placas)</i>	55	20 placas	\$80	\$20 (m ²)	\$3000
				TOTAL	\$4340

*** Materiales para la propuesta de mejora del aislamiento acústico:**

<i>Material</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Piezas</i>	<i>Precio unitario (USD)</i>	<i>Costo de mano de obra</i>	<i>Precio (USD)</i>
Vidrio 3 mm + 25 mm de espacio de aire + vidrio 6 mm <i>ventanas de 1.60 x 2.60 m</i>	34	7 ventanas	\$60	Incluida	\$420
Aplanado <i>mortero, cemento, arena</i>	45	--	Incluido en la mano de obra	\$8 (m ²)	\$344
				TOTAL	\$764

* **Equipo electrónico propuesto:**

<i>Cantidad</i>	<i>Artículo</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Precio unitario (USD)</i>	<i>Precio (USD)</i>
2	Micrófonos	SHURE	SM-58	\$90	\$180
1	consola de audio	YAMAHA	GM 10/2	\$200	\$200
1	Amplificador	CROWN	D-75A	\$250	\$250
				TOTAL	\$630

<i>Concepto</i>	<i>Total (USD)</i>
Acondicionamiento acústico	\$4340
Aislamiento acústico	\$764
Equipo electrónico	\$630
Ingeniería	\$2390
TOTAL	\$8124

La tarea de obtener la utilidad, así como determinar si el proyecto es o no rentable, se reserva para el cliente o consumidor, pues es él quien aportará los recursos financieros en cualquier tipo de proyecto por lo que tendrá que realizar estudios de mercado y financieros.

CONCLUSIONES.

El templo cristiano “El Divino Redentor” no cuenta hasta la fecha con ningún tipo de tratamiento acústico, es así que el diseño descrito en esta tesis demuestra que se puede conseguir mejorar el estado acústico del templo.

En cuanto al acondicionamiento acústico se confirmó que el tiempo de reverberación es uno de los parámetros fundamentales para el acondicionamiento acústico de cualquier recinto.

Como resultado de la propuesta de acondicionamiento, el tiempo de reverberación para cada frecuencia en bandas de octava está dentro del margen de tolerancia que se estableció para el tiempo óptimo de reverberación en función del uso y del volumen del templo. Para esto, se propusieron materiales acústicos absorbentes para reducir el tiempo de reverberación existente. Al reducir el tiempo de reverberación, se consigue una mayor inteligibilidad de la palabra; de acuerdo con el porcentaje de pérdida por consonantes (%ALcons) la inteligibilidad de la palabra que se consigue dentro del recinto es aceptable.

Para el aislamiento acústico del templo, se eligió el criterio de ruido NC por ser el más empleado, utilizando la curva NC-30 que es considerada para iglesias o templos pequeños, como referencia para llegar a resultados óptimos de aislamiento del ruido en el templo.

Con la propuesta presentada, los niveles de presión acústica (ruido) que afectan al templo son disminuidos, logrando que estén por debajo de la curva NC-30. Dicha propuesta de aislamiento está orientada principalmente a las partes más débiles acústicamente, que como se observó, corresponden a las ventanas y puertas: que son muy vulnerables al ruido debido a su masa o a su mala colocación.

Es más fácil aislar las altas frecuencias que las bajas; tal y como se puede ver, el nivel de ruido esperado dentro del recinto es mayor en las frecuencias bajas que en las frecuencias altas.

Para una buena audición en la sala, tan importante es la acústica propia del recinto como el sistema de refuerzo electroacústico instalado. Es por esto que al satisfacer las siguientes cuatro preguntas: ¿Es suficientemente fuerte?, ¿Todos pueden escuchar?, ¿Todos pueden entender? y ¿Será libre de retroalimentaciones? Se determinó que el refuerzo electroacústico existente trabajará de manera adecuada.

El responder afirmativamente dichas preguntas, no asegura que el sistema esté totalmente libre de fallas; por tal motivo se hizo la propuesta de cambiar los micrófonos existentes por micrófonos direccionales y seguir algunos consejos prácticos como que los altavoces estén posicionados lejos de los micrófonos y éstos lo más cerca posible a la fuente de sonido, lo cual contribuirá a alcanzar el confort acústico deseado en el templo “El Divino Redentor”.

En resumen, se propone reducir el nivel de ruido de fondo con el aislamiento acústico; así mismo se propone aumentar el nivel sonoro de la fuente, permitiendo que el mensaje sea comprendido con claridad y con un buen nivel, mediante el acondicionamiento del recinto y del sistema de refuerzo electroacústico.

La inversión para implementar el diseño aquí propuesto puede ser costosa, pueden obtenerse resultados aceptables con una correcta ecualización, ajuste y operación del sistema, pero no será suficiente para satisfacer las demandas de los asistentes. Por eso es importante que para evitar soluciones costosas en las edificaciones, es necesario como en todas las instalaciones, planear con anterioridad un buen diseño acústico que asegure la eficiente distribución de sonidos agradables y deseables así como la exclusión de sonidos desagradables (ruido).

ANEXOS

Hojas de especificaciones:

* **Panel TECTUM:**

ACOUSTICAL PANEL TECHNICAL INFORMATION

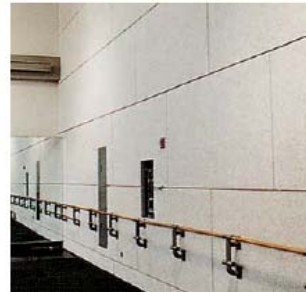
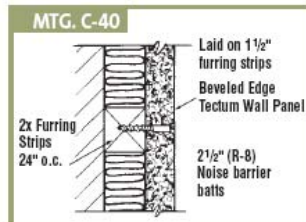
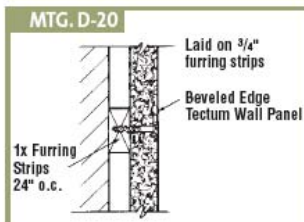
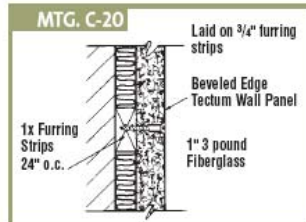
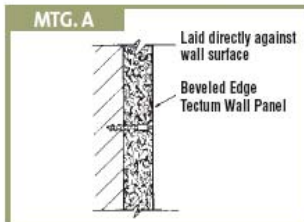
TECTUM ACOUSTICAL PERFORMANCE

TECTUM WALL PANELS • STANDARD • KERFED • V-LINE

Panel Type	SOUND ABSORPTION COEFFICIENTS						MOUNTING
	125	250	500	1000	2000	4000	
1"	.06	.13	.24	.45	.82	.64	A
1"	.07	.15	.36	.65	.71	.81	D-20
1"	.16	.43	1.00	1.05	.79	.98	C-20
1"	.32	.70	1.09	.93	.76	.94	C-40
1 1/2"	.07	.22	.48	.82	.64	.96	A
1 1/2"	.15	.26	.62	.83	.70	.91	D-20
1 1/2"	.24	.57	1.17	.87	.93	.87	C-20
1 1/2"	.40	.84	1.18	.84	.94	.88	C-40
2"	.15	.26	.62	.94	.62	.92	A
2"	.15	.36	.74	.82	.82	.92	D-20
2"	.24	.67	1.14	.87	1.06	.96	C-20
2"	.42	.89	1.19	.85	1.08	.94	C-40

Panel Type	Nominal Thickness (Inches)	Actual Size (Inches)	Edge Detail	Factory Finish	Light Reflectance	Flame Spread	Weight P/SF
TECTUM WALL PANELS							
Standard Tectum Panel	1, 1 1/2, 2	23 3/4, 31 3/4, 47 3/4 x 48 to 144 in 12" increments	Long Edges Beveled	White, Natural, Custom Colors	.75 / .60	0-25	1.63, 2.53, 3.3
	1 1/2, 2	23, 31, 47 x 48 to 144 in 12" increments	T&G Edges Square Ends	White, Natural, Custom Colors	.75 / .60	0-25	2.53, 3.3
Kerfed	1	23 3/4 x 48 to 144 in 12" increments	BKR, Bevel, Kerfed, Rabbed, Square Ends	White, Natural, Custom Colors	.75 / .60	0-25	1.63
V-Line	1, 1 1/2, 2	23 3/4, 31 3/4, 47 3/4 x 48 to 144 in 12" increments	Long Edges Beveled	White, Natural, Custom Colors	.75 / .60	0-25	1.63, 2.53, 3.3

ACOUSTICAL MOUNTINGS

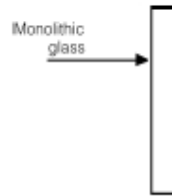


◀ Bevel/Bevel Wall Panels, Harlem Ballet Studio New York, NY

TECTUM painted head screws available for all installations.

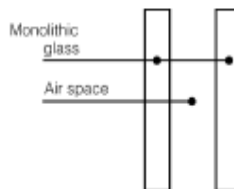
* **Vidrio SAFLEX:**

Monolithic



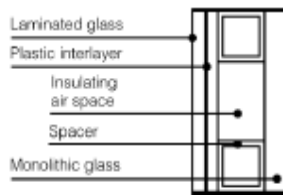
Glass Configuration Change	Adjustment
Replacing monolithic glass with single laminated glass (equal weight)	+3dB
Double interlayer thickness from 0.030" to 0.060" Saflex™ (for 3/8" total glass thickness or greater)	+1dB

Insulating



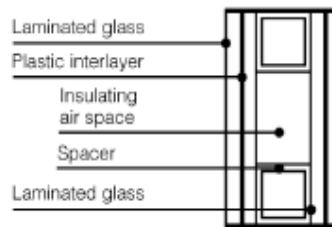
Glass Configuration Change	Adjustment
Replace one light with equal thickness of laminated glass	+4dB
Double air space	+3dB*
Double total glass weight	+1dB
Change from unsealed to sealed insulating glass	+1dB

Laminated Insulating



Glass Configuration Change	Adjustment
Change from insulating to laminated insulating (equal weight, equal air space)	+4dB
Double air space	+3dB*
Double glass weight air space thickness less than 1"	+3dB
air space thickness greater than 1"	+1dB
Change from unsealed to sealed insulating glass	+1dB

Double Laminated Insulating



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

* Micrófono SM 58 SHURE:

MODELO SM58®

MICROFONO DINAMICO UNIDIRECCIONAL

El Shure SM58 es un micrófono dinámico unidireccional (cardioide) diseñado para vocalistas profesionales en situaciones de refuerzo de sonido y grabaciones en estudio. Su filtro esférico incorporado altamente eficaz reduce al mínimo los ruidos causados por el viento y por el aliento. El dispersión polar de cardioide aísla la fuente sonora principal a la vez que reduce al mínimo los ruidos de fondo. El SM58 tiene una respuesta ajustada para la captación de voces que produce una calidad de sonido que se ha convertido en la norma a nivel mundial. Su fabricación resistente, su comprobado sistema de montaje resistente a choques y su rejilla de malla de acero garantizan que aún en condiciones de mal trato al aparato, el SM58 dará un rendimiento consistente. Ya sea a la intemperie o bajo techo, para cantantes o para oradores—el SM58 es la elección de la gran mayoría de los profesionales del mundo entero.

Características

- Respuesta de frecuencia diseñada para la voz humana con aumento de frecuencias medias y atenuación progresiva de bajas frecuencias
- La dispersión polar cardioide uniforme aísla la fuente sonora principal a la vez que reduce al mínimo los ruidos de fondo
- El sistema de montaje neumático resistente a choques reduce los ruidos causados por el manejo
- Filtro esférico incorporado altamente eficaz para reducir los ruidos causados por el viento y por el aliento
- Incluye un adaptador de pedestal resistente a las roturas que gira 180°
- La legendaria calidad, robustez y fiabilidad de Shure

Variaciones

- SM58
- SM58S (con interruptor de encendido)

EFEECTO DE PROXIMIDAD

Cuando la fuente sonora se encuentra a menos de 6 mm del micrófono, éste introduce un aumento progresivo en las frecuencias bajas (de 6 a 10 dB a 100 Hz) que crea un sonido de frecuencias bajas más cálido y fuerte que cuando la fuente está más alejada. Este efecto, conocido como el efecto de proximidad, se produce únicamente en micrófonos unidireccionales tales como el SM58. La atenuación progresiva de frecuencias bajas que incorpora el SM58 ofrece mayor control sobre el sonido y ayuda al usuario a aprovechar el efecto de proximidad.

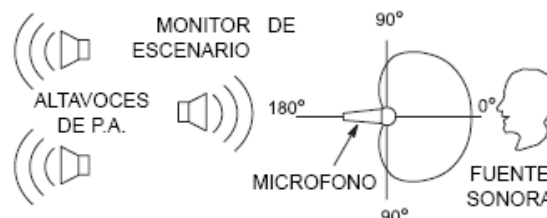
USOS Y COLOCACION

El SM58 es ideal para captar voces a corta distancia y puede sostenerse en la mano o en un pie. Algunas de las técnicas más comunes de uso y colocación se indican en la tabla siguiente. Recuerde que la técnica de uso de los micrófonos es en gran parte cuestión de gusto personal—no existe una posición de micrófono que sea la "correcta".

USO	COLOCACION SUGERIDA DEL MICROFONO	CALIDAD DEL TONO
Voces principales y de fondo	Los labios a no más de 15 cm o tocando al paravientos, en línea con el eje de captación del micrófono.	Sonido robusto, frecuencias bajas enfatizadas, aislamiento máximo de otras fuentes sonoras.
Conferencias	De 15 a 50 cm de la boca, justo arriba del nivel de la nariz.	Sonido natural, frecuencias bajas reducidas.
	De 20 a 50 cm de la boca, ligeramente a un lado de ésta.	Sonido natural, frecuencias bajas reducidas y pocos sonidos silbantes.
	De 1 a 2 m de distancia.	Sonido más agudo y distante; sonido ambiental.

COLOCACION DE ALTAVOCES DE PA MONITOR DE ESCENARIO

Coloque el monitor de escenario directamente detrás del micrófono (vea la Figura 1). Coloque los altavoces de P.A. de manera que el sonido que emiten se aleje de la parte trasera del micrófono. Cuando los altavoces se colocan en estas posiciones, la posibilidad de realimentación se reduce significativamente. Siempre compruebe la disposición del escenario antes de una actuación para verificar que la colocación del micrófono y los monitores es la óptima.



COLOCACION RECOMENDADA DE LOS ALTAVOCES
FIGURA 1

REGLAS GENERALES DE USO DE MICROFONOS

1. Apunte el micrófono hacia la fuente sonora deseada y alejado de las fuentes no deseadas.
2. Coloque el micrófono lo más cerca posible a la fuente sonora deseada.
3. Acérquese al micrófono para obtener mayor respuesta de frecuencias bajas.
4. Utilice sólo un micrófono para captar una fuente sonora.
5. La distancia entre un micrófono y otro deberá ser al menos tres veces la distancia de cada fuente a su micrófono.
6. Utilice el menor número de micrófonos que resulte práctico.
7. Aleje los micrófonos lo más posible de las superficies reflectoras.
8. Instale un paravientos si se usa el micrófono a la intemperie, o al captar una voz a muy poca distancia.
9. Evite el manejo excesivo para reducir la captación de ruidos mecánicos.

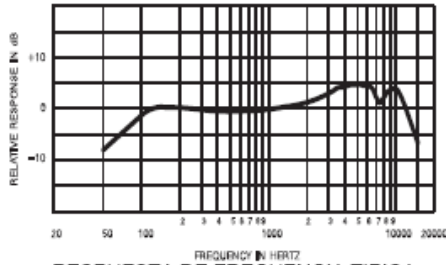
ESPECIFICACIONES

Tipo

Dinámico (bobina móvil)

Respuesta de frecuencia

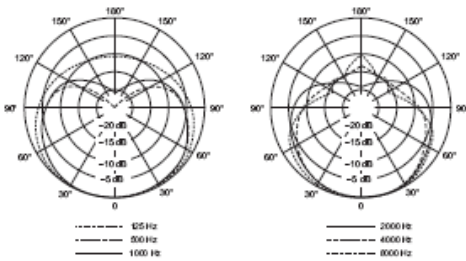
50 a 15.000 Hz (vea la Figura 2)



RESPUESTA DE FRECUENCIA TÍPICA
FIGURA 2

Dispersión polar

Unidireccional (cardioide), simétrico respecto al eje del micrófono, uniforme respecto a la frecuencia (vea la Figura 3)



DISPERSIONES POLAR TÍPICAS
FIGURA 3

Nivel de salida (a 1.000 Hz)

Voltaje de circuito abierto: -54,5 dBV/Pa (1,85 mV)
1 Pa = 94 dB SPL

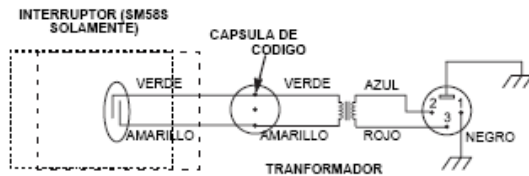
Impedancia

La impedancia nominal es de 150Ω (real: 300Ω) para conexión a entradas de micrófono de baja impedancia.

Fase

Una presión positiva en el diafragma del micrófono produce una tensión positivo en la patilla 2 con respecto a la patilla 3

Conexiones internas



CONEXIONES INTERNAS
FIGURA 4

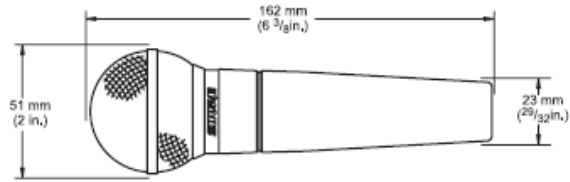
Conector

Conector de audio de tres patillas profesional (tipo XLR macho)

Caja

Metal fundido a troquel esmaltado de color gris oscuro con rejilla esférica de acero con acabado mate de color plateado

Dimensiones totales



DIMENSIONES TOTALES
FIGURA 5

Adaptador giratorio

De acción positiva, resistente a roturas, 180° de ajuste con rosca estándar de 5/8 pulg-27

Peso neto

298 g (10,5 oz)

CERTIFICACIONES

Califica para llevar las marcas CE. Cumple la directiva europea 89/336/EEC de compatibilidad electromagnética. Se ajusta a los criterios correspondientes de verificación y funcionamiento establecidos en la norma europea EN 55103 (1996), partes 1 y 2, para zonas residenciales (E1) y zonas de industria ligera (E2).

ACCESORIOS SUMINISTRADOS

- Adaptador giratorio A25D
- Bolsa de almacenamiento 26A13

ACCESORIOS OPCIONALES

- Paravientos Serie A58WS (disponible en 8 colores)
- Pie de sombrera S37A, S39A
- Montaje con aislamiento A55M
- Montaje doble A26M
- Cable (7,6 m [25 pies]) C25E, C25F

REPUESTOS

- Cartucho R59
- Conjunto de malla y rejilla RK143G

Para información adicional acerca del servicio o repuestos, llame al Departamento de servicio Shure al teléfono 1-800-516-2525. Fuera de los EE.UU., llame al servicentro autorizado de productos Shure.

* **Consola MG 10/2 YAMAHA:**

Especificaciones

■ Especificaciones generales

Características de frecuencia (ST OUT)	20 Hz–20 kHz +1dB, –3 dB @ +4 dBu, 10 k Ω (con el control de ganancia al nivel mínimo)	
Distorsión armónica total (ST OUT)	0,1 % (THD+N) @ +14 dBu, 20 Hz–20 kHz, 10 k Ω (con el control de ganancia al nivel máximo) (canales 1 y 2)	
Zumbido y ruido ¹	–128 dBu	Ruido de entrada equivalente (canales 1 y 2)
	–100 dBu	Ruido de salida residual (ST OUT)
	–87 dBu (91 dB S/N)	ST, potenciómetro general al nivel nominal y todos los canales al mínimo.
	–85 dBu (89 dB S/N)	Todos los controles de AUX de canales al nivel mínimo.
	–64 dBu (68 dB S/N)	ST, potenciómetro general y un potenciómetro de canal al nivel nominal. (canales 1 y 2)
Ganancia de voltaje máxima ²	60 dB CH MIC INPUT → CH INSERT OUT 76 dB CH MIC INPUT → ST OUT 64,2 dB CH MIC INPUT → REC OUT 70 dB CH MIC INPUT → AUX SEND1 (PRE) 76 dB CH MIC INPUT → AUX SEND2 (POST) 76 dB ST CH MIC INPUT → ST OUT 50 dB ST CH LINE INPUT → ST OUT 41 dB ST CH LINE INPUT → AUX SEND1 (PRE) 47 dB ST CH LINE INPUT → AUX SEND2 (POST) 26 dB ST CH INPUT → ST OUT 12 dB AUX RETURN → ST OUT 23,8 dB 2TR INPUT → ST OUT	
Control de ganancia de entrada monoaural/estereofónica	44 dB variable	
Filtro de paso alto monoaural/estereofónico	80 Hz 12 dB/octava	
Diafonía (1 kHz)	–70 dB entre canales de entrada –70 dB entre canales de entrada/salida (canales 1 a 6)	
Ecuilibración de canales de entrada monoaural/estereofónica: Variación máxima ³	±15 dB ALTAS, declive 10 kHz MEDIAS, pico 2,5 kHz BAJAS, declive 100 Hz	
Indicador de pico de entrada monoaural/estereofónica	En cada canal: el indicador rojo se enciende si la señal postecualización (en los canales ST, la señal postecualización o la señal postmicrófono/amplificador) se encuentra dentro de un margen de 3 dB con respecto al nivel de corte.	
Indicadores de nivel	Dos indicadores LED de 12 puntos [estereofónico (L, R)] Punto de pico: indicador rojo puntos +5, +3, +1 y 0: indicadores amarillos –1, –3, –5, –7, –10, –15, –20: indicadores verdes	
Alimentación fantasma +48 Vcc (entrada balanceada)	Se suministra cuando el interruptor de alimentación fantasma de +48 V está activado.	
Accesorios incluidos	Adaptador de corriente (PA-10)	
Opción	Adaptador para pie de micrófono (BMS-10A)	
Alimentación	EE.UU y Canadá: 120 V CA, 60 Hz Europa: 230 V CA, 50 Hz Australia: 240 V CA, 50 Hz Corea: 220 V CA, 60 Hz	
Consumo	19 W	
Dimensiones máximas (Anchura × Altura × Profundidad)	251 × 65 × 290,5 mm	
Peso	1,8 kg	

0 dBu = 0,775 V y 0 dBV = 1 V

¹ Medido con filtro de paso bajo de 12,7 kHz, –6 dB/oct. (equivalente a filtro 20 kHz, –∞).
(CH MIC INPUT a ST, AUX, EFFECT SEND)

² Girando PAN/BAL a la izquierda o a la derecha.

³ Declive de frecuencia de transición/atenuación: 3 dB antes del corte o refuerzo máximos.

■ Especificaciones de entrada

Conector de entrada	Ganancia	Impedancia de entrada	Impedancia adecuada	Sensibilidad*	Nivel normal	Máximo antes de corte	Especificaciones de los conectores
MIC INPUT (canales 1-2)	-60	3 kΩ	50-600 Ω mic	-72 dBu (0,195 mV)	-60 dBu (0,775 mV)	-40 dBu (7,75 mV)	Tipo XLR-3-31 (balanceado)
	-16			-28 dBu (30,9 mV)	-16 dBu (123 mV)	+4 dBu (1,23 V)	
LINE INPUT (canales 1, 2)	-34	10 kΩ	600 Ω línea	-46 dBu (3,88 mV)	-34 dBu (15,5 mV)	-14 dBu (155 mV)	Toma telefónica (TRS) (balanceada [punta: activo; anillo: pasivo; manguito: masa])
	+10			-2 dBu (0,616 V)	+10 dBu (2,45 V)	+30 dBu (24,5 V)	
ST CH MIC INPUT (canales 3 (L)/4 (R), canales 5 (L)/6 (R))	-60	3 kΩ	50-600 Ω mic	-72 dBu (0,195 mV)	-60 dBu (0,775 mV)	-40 dBu (7,75 mV)	Tipo XLR-3-31 (balanceado)
	-16			-28 dBu (30,9 mV)	-16 dBu (123 mV)	-10 dBu (245 mV)	
ST CH LINE INPUT (canales 3 (L)/4 (R), canales 5 (L)/6 (R))	-34	10 kΩ	600 Ω línea	-46 dBu (3,88 mV)	-34 dBu (15,5 mV)	-14 dBu (155 mV)	Toma telefónica (no balanceada)
	+10			-2 dBu (0,616 V)	+10 dBu (2,45 V)	+30 dBu (24,5 V)	
ST CH INPUT (canales 7 (L)/8 (R), canales 9 (L)/10 (R))		10 kΩ	600 Ω línea	-22 dBu (61,6 mV)	-10 dBu (245 mV)	+10 dBu (2,45 V)	Toma telefónica (no balanceada); toma de clavija RCA
CH INSERT IN (canales 1, 2)		10 kΩ	600 Ω línea	-20 dBu (77,5 mV)	0 dBu (0,775 V)	+20 dBu (7,75 V)	Toma telefónica (TRS) (no balanceada [punta: salida; anillo: entrada; manguito: masa])
AUX RETURN (L, R)		10 kΩ	600 Ω línea	-12 dBu (195 mV)	+4 dBu (1,23 V)	+24 dBu (12,3 V)	Toma telefónica (TRS) (no balanceada [punta: activo; manguito: masa])
2TR IN (L, R)		10 kΩ	600 Ω línea	-26 dBV (50,1 mV)	-10 dBV (316 mV)	+10 dBV (3,16 V)	toma de clavija RCA

0 dBu = 0,775 V y 0 dBV = 1 V

* Sensibilidad de entrada: el menor nivel que produce el nivel de salida nominal cuando la ganancia de la unidad está al máximo.

■ Especificaciones de salida

Conectores de salida	Impedancia de salida	Impedancia adecuada	Nivel normal	Máximo antes de corte	Especificaciones de los conectores
ST OUT (L, R)	150 Ω	10 kΩ línea	+4 dBu (1,23 V)	+20 dBu (7,75 V)	Toma telefónica (TRS) (impedancia balanceada [punta: activo; anillo: pasivo; manguito: masa])
AUX SEND (1, 2)	150 Ω	10 kΩ línea	+4 dBu (1,23 V)	+20 dBu (7,75 V)	Toma telefónica (TRS) (impedancia balanceada [punta: activo; anillo: pasivo; manguito: masa])
CH INSERT OUT (CH 1, 2)	150 Ω	10 kΩ línea	0 dBu (0,775 V)	+20 dBu (7,75 V)	Toma telefónica (TRS) (no balanceada [punta: salida; anillo: entrada; manguito: masa])
REC OUT (L, R)	600 Ω	10 kΩ línea	-10 dBV (316 mV)	+10 dBV (3,16 V)	Toma de clavija RCA
C-R OUT (L, R)	150 Ω	10 kΩ línea	+4 dBu (1,23 V)	+20 dBu (7,75 V)	Toma telefónica (TRS) (impedancia balanceada [punta: activo; anillo: pasivo; manguito: masa])
PHONES	100 Ω	40 Ω auricular	3 mW	75 mW	Toma telefónica estereofónica

0 dBu = 0,775 V y 0 dBV = 1 V

Las especificaciones y descripciones que se facilitan en este manual de instrucciones son únicamente informativas. Yamaha Corp. se reserva el derecho de cambiar o modificar los productos o especificaciones en cualquier momento sin previo aviso. Dado que las especificaciones, el equipo o las opciones pueden variar según los países, consulte a su proveedor Yamaha.

Modelos europeos

Información comprador/usuario especificada en EN55103-1 y EN55103-2.

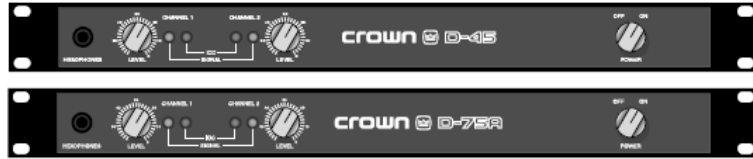
Intensidad de entrada: 3 A

Conforme para entornos: E1, E2, E3 y E4

* **Amplificador D-75 A CROWN:**



D SERIES



The Crown® D Series delivers dependable operation with a wide variety of loads. Because of their exceptional reliability, D-Series amplifiers have become the leading choice of professionals for use in recording studios, laboratories and public facilities. You can even find them on the road. Their sonic excellence also makes them a very good choice for your personal listening pleasure.

D-Series amplifiers are compact and provide ultra-low distortion for medium power applications. Crown's advanced AB+B circuitry ensures efficient operation and protects against shorted, open, mismatched or low-impedance loads that can affect any amplifier's performance. Crown further protects your investment with the industry's only Three-Year, No-Fault, Fully Transferable Warranty. After learning about your amplifier's features, facilities and capabilities, you'll understand why Crown power amplifiers have long been recognized as the worldwide standard for audio excellence.

For more details about the D-45 and D-75A, contact the Crown Technical Support Group at 800-342-6939 or 574-294-8200. Also, visit the Crown Audio website at www.crownaudio.com.

Specifications

The following apply to units in dual mode with both channels driven into 8 ohm loads and an input sensitivity of 26 dB gain unless otherwise specified.

Performance

- Frequency Response:** ±0.1 dB from 20 Hz to 20 kHz at 1 watt.
- Phase Response:** +10 to -15 degrees from 20 Hz to 20 kHz at 1 watt.
- Signal-to-Noise:** 106 dB from 20 Hz to 20 kHz at full bandwidth FTC power.

D-45	*1 kHz Power
4 ohm Dual (per channel)	35W
8 ohm Dual (per channel)	25W
16 ohm Dual (per channel)	20W
8 ohm Bridge-Mono	70W
16 ohm Bridge-Mono	50W

*1 kHz Power: refers to maximum average power in watts at 1 kHz with 0.1% THD.

Features

- Powerful AB+B class circuitry yields maximum efficiency with minimum crossover "notch" distortion
- IOC® (Input/Output Comparator) alerts of any distortion that exceeds 0.05% to provide proof of distortion-free performance
- Signal presence indicators verify the presence of amplifier output
- Detented level controls for precise repeatability
- Ultra-low harmonic and intermodulation distortion result in the best dynamic transfer function in the industry
- Very low noise and wide dynamic range exceed the audio specifications for digital compact discs (CDs)
- High damping factor provides exceptional loudspeaker motion control
- Convection cooling system dissipates heat through the heat sinks and chassis for optimal cooling and maintenance-free operation
- Mounts in a standard 19-inch (48.3-cm) rack
- Three-Year, No-Fault, Fully Transferable Warranty protects your investment and guarantees its specifications

Total Harmonic Distortion (THD): Less than 0.001% at full bandwidth FTC power from 20 Hz to 400 Hz increasing linearly to 0.05% at 20 kHz.

Intermodulation Distortion (IMD): (60 Hz and 7 kHz 4:1) Less than 0.01% from 0.25 watts to full bandwidth FTC power, and less than 0.05% from 0.01 to 0.25 watts.

Crosstalk: Greater than 100 dB below full bandwidth FTC power from 100 Hz to 1 kHz decreasing linearly to 80 dB at 20 kHz.

Damping Factor: Greater than 400 from DC to 400 Hz.

Controlled Slew Rate: 6 volts per ms. (Slew rates are limited to useful levels for ultrasonic/RF protection.)

Voltage Gain: At the maximum level setting, 8-ohm load, 0.775V input sensitivity.

- D-45:** 18.3:1 ±3% or 25.2 dB ±0.3 dB.
- D-75A:** 23:1 ±3% or 27.3 dB ±0.3 dB.

D-75A	*1 kHz Power
4 ohm Dual (per channel)	55W
8 ohm Dual (per channel)	40W
16 ohm Dual (per channel)	25W
8 ohm Bridge-Mono	110W
16 ohm Bridge-Mono	80W

*1 kHz Power: refers to maximum average power in watts at 1 kHz with 0.1% THD.

Power

Output Power: See power charts below.

Load Impedance: Safe with all types of loads. Rated for 4 to 16 ohms in dual mode, and 8 to 16 ohms in bridge-mono mode.

AC Line Voltage and Frequency Configurations Available: 100, 120, 220 and 240VAC (±10%), 50 to 400 Hz for international units (depending on the transformer configuration). North American 120VAC, 60 Hz units are not convertible and can only be used at the specified voltage and frequency. All units draw 15 watts or less when idle. Maximum AC power consumption is 150 watts.

Controls

Power: A two-position front panel rotary on/off switch.

Level: An independent 31-position detented front panel level control for each channel.

Dual/Mono: The dual/mono jumper is located inside the amplifier.

Ground Lift: To prevent ground loops, the chassis and signal grounds are separated (or "lifted") by a permanent impedance installed between them. There is no control for this feature.

Indicators

Signal Presence: The green front panel indicator for each channel flashes synchronously with the channel's output signal to indicate its presence.

Input/Output Comparator: The red Input/Output Comparator (IOC) indicator for each channel flashes if any type of distortion reaches 0.05%.



D-45 D-75A

Input/Output

Input Connector: A balanced 3-pin female Neutrik® combination XLR and ¼-inch (6.35-mm) phone connector for each channel.

Input Impedance: Nominally 20 k ohms, balanced. Nominally 10 k ohms, unbalanced.

Input Sensitivity: Configurable for 26 dB gain or 0.775 volt sensitivity.

Output Connector: Barrier block terminals and stereo headphone jack. The headphone output is unbalanced, and in parallel with the main amplifier outputs.

Output Impedance: Less than 15 milliohms in series with less than 3 microhenries.

DC Output Offset: 10 millivolts or less.

Output Signal

Dual: Unbalanced, two channel.

Bridge-Mono: Balanced, single channel. Channel 1 controls are active; channel 2 controls should be turned down.

Protection

Input: The inputs have series resistance that provides input overload protection. Controlled slew rate voltage amplifiers protect against radio frequencies. The AC line is fused to protect against excessive current draw.

Output: Instantaneous limiting protection for short circuits, open circuits and mismatched loads.

Turn-On: Minimum thumps. Power-up is instantaneous with no program delay.

Construction

Durable black finish on aluminum front panel with gray suede Lexan insert. Aluminum chassis provides maximum heat conduction and minimum weight.

Dimensions: 19-inch (48.3 cm) rack mount width, 1.75 inches (4.5 cm) high, 8.5 inches (21.6 cm) deep behind the mounting surface, and a 0.625-inch (1.6-cm) protrusion in front of the mounting surface.

Net Weight:

D-45: 8 lb, 11 oz (3.9 kg)

D-75A: 9 lb, 7 oz (4.3 kg).

Shipping Weight:

D-45: 10 lb, 9 oz (4.8 kg)

D-75A: 11 lb, 4 oz (5.1 kg).

Cooling: The amplifier is totally convection cooled. The entire aluminum chassis acts as a conductor to dissipate heat. The covers and front panel extrusion also act as heat sinks. Much of the unit's heat is conducted through the extruded front panel. This design is used so that front panel contact with the equipment rack will also dissipate heat.

* Altavoces *ILS1264* v PEAVEY:

S P E C I F I C A T I O N S



ILS™ 1264V

Frequency Response, 1 Meter On-axis, Swept-sine in Anechoic Environment:
63 Hz - 18.5 kHz (± 3 dB)

Usable Low Frequency Limit (-10 dB point):
48 Hz

Power Handling:
Full Range:
700 W continuous
1,400 W program
2,800 W peak

Low Frequency Section:
500 W continuous
1,000 W program
2,000 W peak

High Frequency Section:
100 W continuous
200 W program
400 W peak

Sound Pressure Level, 1 Watt, at 1 meter in anechoic environment:

Full Range:
96.0 dB SPL, (2.83 V input)

Low Frequency Section:
97.0 dB SPL, (2.83 V input)
High Frequency Section:
109.0 dB SPL, (2.83 V input)

Maximum Sound Pressure Level (1 meter):
Full Range:
124.5 dB SPL continuous
130.5 dB SPL peak

Low Frequency Section:
124.0 dB SPL continuous
130.0 dB SPL peak

High Frequency Section:
129.0 dB SPL continuous
135.0 dB SPL peak

Radiation Angle, measured at -6 dB point of polar response:

500 Hz – 1.6 kHz:
Horiz. $110^\circ \pm 15^\circ$
Vert. $115^\circ \pm 15^\circ$

1.6 kHz - 5 kHz:
Horiz. $55^\circ \pm 10^\circ$
Vert. $55^\circ \pm 20^\circ$

5 kHz - 16 kHz:
Horiz. $55^\circ \pm 5^\circ$
Vert. $35^\circ \pm 5^\circ$

Directivity Factor, Q (Mean):
 14.73 ± 8.35

Directivity Index, Di (Mean):
 $10.82 \text{ dB} \pm 2.92 \text{ dB}$

Transducer Complement:
Low Frequency Section:
1x 12 in. woofer, vented
1208-8 SPS
High Frequency Section:
1x 1.6 in. exit/100 mm voice coil
compression driver on Quadratic
Throat Waveguide™ 44XT™
(w/o adapter) on CH®-642qt horn

Box Tuning Frequency:
Low Frequency Section: 55 Hz

Harmonic Distortion:
1% rated power
2nd Harmonic:
100 Hz: 2.28%
1 kHz: 0.38%



REFERENCIAS.

1. KINSLER Lawrence E., FREY Austin R., COPPENS Alan B., SANDERS James V.
Fundamentos de Acústica.
Ed. Limusa 1995.
2. EVEREST F. Alton.
Master handbook of acoustics.
4° Edición.
Ed. McGraw Hill, 2001.
3. MEHTA Madan, JOHNSON James and ROCAFORT Jorge.
Architectural acoustics: principles and design.
Ed. Prentice Hall,
4. EGAN M. David.
Architectural acoustics.
Ed. McGraw Hill 1981.
5. CARRIÓN Isbert Antoni,
Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
Edicions UPC, 1998.
6. KNUDSEN Vern O., HARRIS Cyril M.
Acoustical designing in architecture.
John Willey. USA, 1984.
7. RETTINGER Michael.
Acoustic design and noise control.
Chemical Publishing Company, 1988.
8. BERANEK Leo L.
Music. Acoustics and architecture.
Robert E. Krieger Publishing Company, 1992.
9. HARRIS Cyril M.
Manual de medidas acústicas y control de ruido.
McGraw Hill, 1984.
10. BALLOU Glen M.
Handbook for sound engineers: the new audio cyclopedia.
Ed. Sams, 1991.
11. Norma Oficial Mexicana
NOM-081-ECOL-1994

12. ANSI S12.2-1995.
American National Standard Institute
13. Davis D. and Davis C.
Sound System Engineering, 2° edition
Carmel IN:SAMS, Division of Macmillan Computer Publishing, 1987
14. Hopkins H. F. and Stryker N. R.,
A proposed loudness-efficiency rating for loudspeakers and the determination of system power requirements for enclosures,
Journal of the proceedings of the IRE, March 1948
15. Peutz V. M. A.,
Articulation loss of consonants as a criterion for speech transmission in a room
Journal of the Audio Engineering Society, vol. 19 no. 11, December 1971.
Klein W.
Articulation loss of consonants as a basis for the design and judgment of sound reinforcement systems
Journal of the Audio Engineering Society, vol. 19 no. 11, December 1971

Sitios de internet:

Revista: Sonido y acústica.
Universidad Tecnológica de Chile INACAP.
Volumen 3 número 1, mayo 2008.
<http://www.inacap.cl>

Architectural Acoustics by Peavey
<http://aa.peavey.com>

<http://www.saflex.com>

<http://www.tectum.com>

<http://www.auralex.com>

<http://www.shure.com>

<http://www.communitypro.com>

<http://www.qscaudio.com>

<http://www.mackie.com>

<http://www.peavey.com>

Distribuidores de equipo de audio:

Vari Internacional S.A de C.V
Palenque #663 Col. Vértiz Narvarte

C.P. 03600 México D.F
Tel: 5605-9555
MARCAS: Neutrik, Gotham

Hermes Music
Naranjo #76 Col. Sta. María la Ribera
C.P. 06400 México D.F
Tel: 5541-0771
MARCAS: Community, QSC, Mackie

Pyramid Digital
República del Salvador #30-D Col. Centro
C.P 06080 México D.F
Tel: 5709-9441

Music-Comer
Bolivar #74-A Col. Centro
C.P 06080 México D.F
Tel: 5709-8994