



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERIA EN SONIDO Y ACUSTICA

**“PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO Y
ELECTROACÚSTICO EN LA IGLESIA DE LA INMACULADA
CONCEPCIÓN”**

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

PROFESOR GUÍA:

ING. YOLANDA CARREÑO POZO

AUTOR:

RICARDO ANDRES GUAYGUA TOAPANTA

2012

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA:

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

Ing. Yolanda Carreño Pozo

1721694642-2

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE:

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

Ricardo Andrés Guaygua Toapanta
1720856549

AGRADECIMIENTO:

Todos los días es un momento especial para dar gracias a Dios, ya que es quien llena mi vida de amor, paz y tranquilidad junto a mi familia... Agradezco a mi Madre por su confianza, cariño, amor, comprensión y sobre todo el sacrificio que ha puesto para salir siempre adelante... a mi Hermano, que es mi amigo y padre y a sabido luchar a mi lado en cada momento de mi existencia... son lo más importante en mi vida...

Agradezco a mis abuelitos por la compañía y el respaldo que encuentro siempre... Son indispensables para mí existir...

Agradezco a mi novia Carlita y a mi hijo Edward por ser las semillitas que nacieron en mi corazón... siempre hay un motivo para ser feliz...

Agradezco a todos mis amigos, profesores y demás personas que han sabido confiar en mí y brindarme su apoyo...

DEDICATORIA:

Esta tesis la dedico a Dios por ser la luz en mi camino y darme la oportunidad de compartir esta vida que es única, con una familia excepcional...

RESUMEN

El trabajo consiste en la elaboración de una propuesta de diseño para el acondicionamiento acústico y electro-acústico en la Iglesia de la Inmaculada Concepción, ubicada en la Av. La Prensa entre Pedro Traversari Oe3-75 y Capitán Francisco Oliva, fundamentándose en las bases teóricas sobre acondicionamiento acústico y electro-acústico existentes.

La Iglesia se ha dedicado a realizar eventos como presentaciones corales, sinfónicas y actividades sociales, con la única finalidad de convocar y hacer partícipes a las personas de la comunidad, por lo que se ha hecho indispensable contar con elementos electrónicos y propiedades acústicas óptimas para realizar eventos de esta magnitud.

Para el estudio se utilizarán normativas ISO ya que nos permiten evaluar las condiciones acústicas del lugar de manera fácil y aplicable a la realidad, pudiendo así comenzar una planificación adecuada en la elaboración de dicha propuesta.

Para evaluar la situación de la Iglesia se efectuará previamente mediciones acústicas in situ, levantamientos arquitectónicos de su interior, evaluación de los materiales existentes en el lugar y para el campo electro-acústico se realizará un inventario de los implementos electrónicos que existen en el lugar con la finalidad de buscar las soluciones más eficientes y menos costosas para su diseño.

ABSTRACT

The work involves developing a design proposal for conditioning and electro-acoustic sound in the Church of the Inmaculada Concepcion, located on the Prensa Avenue, between Pedro Traversari SO3-75 and Captain Francisco Oliva, building on the theoretical basis on soundproofing existing and electro-acoustic.

The Church is dedicated to performing choral events like presentations, symphonic and social activities for the sole purpose of calling and involves people in the community, which has become indispensable electronic and acoustic properties for optimal events of this magnitude.

For the study will be used ISO standards enabling us to evaluate the acoustics of the place and easily applicable to the reality and may well start a proper planning in the preparation of the proposal.

To assess the situation of the Church acoustic measurements previously made in situ, inside architectural surveys, evaluation of existing materials on site and the electro-acoustic field an inventory of electronic tools that exist in the place in order to find solutions more efficient and less costly to design.

ÍNDICE

Introducción.....	1
CAPITULO I.....	7
1.1. Marco Teórico.....	7
1.1.1. Conceptos Elementales de Acústica.....	7
1.1.1.1. Acústica Arquitectónica	7
1.1.1.2. Acústica en Espacios Abiertos	7
1.1.1.3. Acústica en Espacios Cerrados.....	8
1.1.1.4. Absorción	8
1.1.1.5. Coeficiente de Absorción (α)	8
1.1.1.6. Absorción Total	8
1.1.1.7. Coeficiente de Absorción Medio.....	9
1.1.1.8. Tiempo de Reverberación (RT).....	9
1.1.1.9. Propagación del Sonido en Recinto Cerrado	10
1.1.1.10. Sonido Directo.....	10
1.1.1.11. Sonido Reflejado	10
1.1.1.12. Campo Directo y Campo Reverberante	12
1.1.1.13. Distancia Crítica	12
1.1.1.14. Estudio de las Primeras Reflexiones. Acústica Geométrica.....	13
1.1.1.15. Ley de la Reflexión Regular	16
1.1.1.16. Reflexiones y Ecos.....	17
1.1.1.17. Eco Flotante (FlutterEcho).....	17
1.1.1.18. Modos Normales de Vibración	18
1.1.1.19. Acústica Estadística	20

1.1.1.20. Inteligibilidad de la Palabra:.....	21
1.1.1.20.1. Porcentaje de pérdida de articulación de consonantes, %ALCons	21
1.1.1.20.2. Speech Transmission Index / Radid Speech Transmission Index STI/RASTI	23
1.1.1.20.3. Claridad de la voz, C50	24
1.1.1.20.4. Clarida musical, C80	24
1.1.1.21. Materiales Absorbentes.....	25
1.1.1.22. Curvas Noise Criteria, NC	25
1.1.2. Conceptos de Acondicionamiento Electro-acústico	26
1.1.2.1. Electro-Acústica	26
1.1.2.2. Impedancia Eléctrica	26
1.1.2.3. Adaptación de Impedancias	27
1.1.2.4. Transductor	27
1.1.2.5. Valor eficaz (RMS)	27
1.1.2.6. Micrófonos.....	28
1.1.2.7. Amplificadores.....	29
1.1.2.7.1. Ganancia.....	29
1.1.2.7.2. Niveles de señal.....	29
1.1.2.7.3. Clasificación de los amplificadores.....	31
1.1.2.8. Altavoces.....	32
1.1.2.8.1. Clasificación por rangos de frecuencia....	32
1.1.2.8.2. Altavoces de bobina móvil.....	32
1.1.2.8.3. Especificaciones de potencia	34
1.1.2.9. Filtros.....	34
1.1.2.9.1. Filtros pasabajos y pasa altos	35

1.1.2.9.2. Redes divisoras de frecuencias (Crossover).....	35
1.1.2.9.3. Ecualizadores.....	36
1.1.2.10. Acoples.....	36
1.1.2.11. Compresores y Limitadores.....	37
1.1.2.12. Consolas de mezcla	38
CAPITULO II.....	39
2.1. Descripción de la Situación Actual.....	39
2.2. Forma y superficie de la Iglesia	39
2.3. Medición In Situ	44
2.4. Nivel de Ruido de Fondo	46
2.5. Inventario de Implementos Electro-acústicos.....	48
2.6. Análisis de la situación de recinto	49
2.6.1. Tiempo de reverberación	49
2.6.2. Análisis del recinto a través de la Acústica Geométrica	49
2.6.3. Análisis de los Modos Normales de Vibración	49
2.6.4. Análisis de la Implementación Electro-acústica	50
2.6.5. Datos Referenciales para el Análisis de Datos	51
2.6.6. Simulación de la Situación Actual de la Iglesia	51
2.6.6.1. Simulación Acústica	51
2.6.6.2. Simulación Electro-acústica	54
CAPITULO III.....	56
3.1. Propuesta de Diseño	56
3.1.1. Objetivos Acústicos.....	56

3.1.2.	Aspectos Relacionados con la Geometría del Recinto.	57
3.1.2.1.	Eco Flotante debido a la Geometría del Recinto	57
3.1.2.2.	Tiempo de Reverberación	58
3.1.2.2.1.	Tratamiento en Techo.	58
3.1.2.2.2.	Tratamiento en Paredes Laterales	60
3.1.2.2.3.	Tratamiento en Pared Posterior	61
3.1.2.2.4.	Tratamiento en Puertas de Barra de Hierro.....	63
3.1.2.3.	Resultados del Tiempo de Reverberación con los materiales propuestos.	63
3.1.3.	Aspectos Relacionados con la Implementación Electro-acústica.....	65
3.1.3.1.	Implementación Electro-Acústica	65
3.1.3.1.1.	Implementos a utilizar en el Acondicionamiento Electro-Acústico	66
3.1.3.1.2.	Incrustación de estructura metálica para colocación de Altavoces.....	68
3.1.3.1.3.	Conexión del sistema de Amplificación ...	69
3.1.3.1.4.	Listado de canales a utilizar en la consola LS9.....	70
CAPITULO IV.....		72
4.1.	Simulación de los materiales y sistemas de refuerzo sonoro propuesto para la Iglesia de la Inmaculada Concepción.	72
4.1.1.	Simulación Acústica de la Iglesia con los materiales propuestos para su recubrimiento mediante el software EASE.....	72

4.1.2. Simulación Electro-acústica del sistema de refuerzo sonoro mediante el Software NS-1.	76
4.1.3. Simulación Electro-acústica por Frecuencias.....	81
CAPITULO V	87
5.1. Análisis Costo/Beneficio	87
CAPITULO V	89
6.1. Conclusiones	89
6.2. Recomendaciones	90
BIBLIOGRAFIA	92
ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Relación entre %ALCons, STI/RASTI y la valoración subjetiva del grado de inteligibilidad.....	24
Tabla 1. 2. Características de las principales escalas con referencia para expresar niveles de señal.	31
Tabla 1. 3. Clasificación de los altavoces acorde a su rango de frecuencia.....	32
Tabla 2. 1. Distribución de las Superficies de la Iglesia	41
Tabla 2. 2. Tabla de coeficientes de absorción por bandas de octava acorde al material de revestimiento.....	42
Tabla 2. 3. Tabla de coeficientes de absorción por bandas de octava producida por el aire.....	43
Tabla 2. 4. Tabla de Absorción Total por bandas de octava	43
Tabla 2. 5. Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid) teóricos.	43
Tabla 2. 6. Datos del tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RT _{MID}) medidos.....	45
Tabla 2. 7. Comparación entre el tiempo de reverberación (RT) teórico y medido.	46
Tabla 2. 8. Datos de los Valores del Nivel de Ruido de Fondo medido.	46
Tabla 2. 9. Tabla de Implementos Electro-acústicos actuales de la Iglesia.....	48
Tabla 2. 10. Tabla de Porcentajes Comparativos entre %ALCONS y STI/RASTI.....	51
Tabla 3. 1. Coeficiente de absorción sonora estimada del material en el Techo.	59
Tabla 3. 2. Coeficiente de absorción sonora estimada del material en la pared.....	61

Tabla 3. 3.	Coeficiente de absorción sonora estimada del material en la pared.....	62
Tabla 3. 4.	Coeficiente de absorción sonora estimada de la puerta abierta.....	63
Tabla 3. 5.	Tabla de coeficientes de absorción por bandas de octava acorde al material de revestimiento propuesto.....	64
Tabla 3. 6.	Tabla de Absorción Total por bandas de octava.....	64
Tabla 3. 7.	Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid).	64
Tabla 3. 8.	Implementos Básicos de un Sistema de Refuerzo Sonoro Analógico.	65
Tabla 3. 9.	Implementos Básicos de un Sistema de Refuerzo Sonoro Digital.	66
Tabla 3. 10.	Tabla de Implementación Electro-acústica.....	67
Tabla 3. 11.	Características estructura metálica.	68
Tabla 3. 12.	Tabla de Distribución de Canales en la Consola.....	70
Tabla 4. 1.	Ángulos de inclinación en grados para los altavoces propuestos en el Software de Simulación NS-1.....	79
Tabla 5. 1.	Tabla de Costos para la Implementación Electro-Acústica del Proyecto.....	87
Tabla 5. 2.	Tabla de Costos para la Implementación Acústica del Proyecto.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. 1. Fotografía Panorámica de La Iglesia de la Inmaculada Concepción</i>	3
<i>Figura 1. 2. Microlocalización coordenadas: Latitud: 0°9'1.78" S; Longitud: 78°29'27.13" O; Elevación 2811 m a nivel del mar</i>	3
<i>Figura 2. 1. Ecograma asociado a un receptor con indicación del sonido directo, las primeras reflexiones y la cola reverberante.</i>	11
<i>Figura 2. 2. Evolución del nivel relativo total de presión sonora.....</i>	13
<i>Figura 2. 3. Ejemplo de llegada del sonido directo y de las primeras reflexiones a un receptor.....</i>	14
<i>Figura 2. 4. Reflexión especular del sonido sobre una superficie</i>	15
<i>Figura 2. 5. Gráfica de la Ley de la reflexión de la luz.....</i>	16
<i>Figura 2. 6. Eco flotante aparecido al clocar la fuente sonora entre dos paredes paralelas, lisas y muy reflectantes.....</i>	18
<i>Figura 2. 7. Obtención del %ALCons a partir de RT y $L_D - L_R$.....</i>	22
<i>Figura 2. 8. Correspondencia entre STI / RASTI y %ALCons.</i>	23
<i>Figura 2. 9. Curvas NC para evaluación del Ruido de Fondo</i>	26
<i>Figura 2. 10. Corte transversal de un altavoz de bobina móvil típico, en donde se indican sus partes funcionalmente más importantes.</i>	33
<i>Figura 2. 11. Respuesta en frecuencia de un filtro pasaaltos y pasabajos respectivamente, con tres pendientes de corte.</i>	35
<i>Figura 2. 12. Diagrama de bloques del acoplamiento entre micrófono y parlante, causante de zumbidos o silbidos indeseable en el sistema de sonido.</i>	37
<i>Figura 3. 1. Distribución de la Iglesia desde una vista superior.</i>	40
<i>Figura 3. 2. Corte B-B' de la Iglesia</i>	40
<i>Figura 3. 3. Corte A-A' de la Iglesia</i>	41

<i>Figura 3. 4. Gráfica de la ubicación de los puntos de medición dentro de la iglesia.</i>	45
<i>Figura 3. 5. Curvas NC (40-50) con relación al Ruido de Fondo medido.</i>	47
<i>Figura 3. 6. Simulación en EASE, % ALCons</i>	52
<i>Figura 3. 7. Simulación en EASE, STI/RASTI</i>	52
<i>Figura 3. 8. Simulación en EASE, C50.</i>	53
<i>Figura 3. 9. Simulación en EASE, C80.</i>	53
<i>Figura 3. 10. Vista en crudo de la iglesia</i>	54
<i>Figura 3. 11. Simulación de Nivel de Presión Sonora Existente en La Iglesia con los altavoces Actuales.</i>	55
<i>Figura 4. 1. Material FONAC Texturado Class 1</i>	57
<i>Figura 4. 2. Material FONAC Class 1</i>	58
<i>Figura 4. 3. Vista colocación del material en Techo</i>	59
<i>Figura 4. 4. Material FONAC Texturado Class 1</i>	60
<i>Figura 4. 5. Vista instalación del material en pared lateral.</i>	61
<i>Figura 4. 6. Material FONAC Fonoabsorbente</i>	62
<i>Figura 4. 7. Vista frontal de la estructura instalada.</i>	68
<i>Figura 4. 8. Vista superior de la estructura instalada.</i>	69
<i>Figura 4. 9. Configuración de Conexiones del Sistema de Amplificación.</i>	69
<i>Figura 5. 1. Simulación en EASE, SPL Directo.</i>	72
<i>Figura 5. 2. Simulación en EASE, SPL Total.</i>	73
<i>Figura 5. 3. Simulación en EASE, % ALCons.</i>	74
<i>Figura 5. 4. Simulación en EASE, STI/RASTI</i>	74
<i>Figura 5. 5. Simulación en EASE, C50.</i>	75
<i>Figura 5. 6. Simulación en EASE, C80.</i>	75
<i>Figura 5. 7. Vista superior de la capilla y los altavoces.</i>	77
<i>Figura 5. 8. Simulación en NS-1 de la radiación sonora de los altavoces en la superficie de la Iglesia.</i>	77

<i>Figura 5. 9. Acople de Simulación en NS-1 de radiación sonora con la ubicación propuesta para los altavoces en la superficie total de la Iglesia.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 5. 10. Gráfico de ubicación de los Altavoces acorde a los ángulos propuestos en el software NS-1.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 5. 11. Gráfica de la Presión Sonora de los altavoces en relación a la distancia, Software de Simulación NS-1.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 5. 12. Directividad obtenida por los altavoces acorde al Software de Simulación NS-1.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 5. 13. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 63 Hz.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 5. 14. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 125 Hz.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 5. 15. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 250 Hz.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 5. 16. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 500 Hz.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 5. 17. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 1 kHz.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 5. 18. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 2 kHz.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 5. 19. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 4 kHz.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5. 20. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 8 kHz.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5. 21. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 16 kHz.</i>	<i>86</i>

ÍNDICE DE FÓRMULAS

1.1.	Absorción.....	8
1.2.	Coeficiente de Absorción.....	8
1.3.	Absorción Total.....	9
1.4.	Coeficiente de absorción medio.....	9
1.5.	Tiempo de reverberación.....	10
1.6.	Tiempo de reverberación con factor m.....	10
1.7.	Distancia Crítica.....	12
1.8.	Modos normales de vibración.....	19
1.9.	Modos normales cavidades continuas.....	20
1.10.	Densidad de Energía.....	20
1.11.	Calculo LD – LR, del %ALCons.....	22
1.12.	Claridad de la Voz C50.....	24
1.13.	Claridad MusicalC80.....	25
1.14.	Valor Eficaz RMS.....	28
1.15.	Ganancia.....	29
1.16.	Ganancia en dB.....	30
1.17.	Nivel de presión sonora dBm.....	30
1.18.	Nivel de presión sonora dBu.....	31
1.19.	Nivel de presión sonora dBv.....	31

Introducción

La acústica es una rama de la física que estudia el sonido, infrasonido y ultrasonido, es decir ondas mecánicas que se propagan a través de la materia por medio de modelos físicos y matemáticos.

Para el caso de este proyecto se inmiscuirá en la ingeniería acústica, ya que trata las aplicaciones tecnológicas de la acústica y estudia la producción, transmisión, almacenamiento, percepción o reproducción del sonido en distintos ambientes.

Mediante esta aplicación, se analizará a la Iglesia de la Inmaculada Concepción, con la finalidad de, mediante datos obtenidos en mediciones y evaluaciones acústicas, obtener una perspectiva actual de la acústica existente en la misma y así empezar con el tratamiento adecuado para su mejoramiento acústico y electro-acústico.

El comportamiento modal, tiempo de reverberación y análisis de implementos electro-acústicos, son parámetros de inicio que permitirán enfocarse en el mejoramiento de los implementos estructurales y electrónicos de la iglesia.

Mediante la utilización de softwares especializados en mediciones y simulaciones se propondrá materiales y un sistema de refuerzo sonoro para optimizar parámetros como RT60, C50, C80 y STI/RASTI.

La calidad del resto de los factores acústicos y de control determinará en qué medida nos podemos aproximar a los valores acústicos óptimos para la iglesia y así poder analizar el problema de una forma sistemática.

Es necesario contar con una descripción del campo acústico que permita predecir el comportamiento del sistema cuando se le somete a una perturbación primaria o si se introduce un determinado número de fuentes secundarias, por lo que, se realizará un estudio previo antes de proponer posibles soluciones que es uno de los objetivos de este proyecto.

Antecedentes

La Iglesia en general es el recinto oficial de la comunidad de los cristianos, por ende, uno de los organismos de mayor importancia en la antigüedad y la actualidad.

En Quito-Ecuador, existen estudios de acústica pero muy pocos, y no muy especializados con relación a las características acústicas que debe considerarse en la construcción de una iglesia, es por eso que la mayoría de las iglesias no poseen una buena acústica de sala, ni mucho menos se guían en aspectos arquitectónicos para evaluar las condiciones acústicas favorables de la misma.

La Iglesia de la Inmaculada Concepción ha sido una de las pocas iglesias que de una u otra manera ha buscado mejorar la acústica del lugar, razón por la cual ha sufrido diversos tratamientos y cambios en su arquitectura (naves y columnas retiradas, inclinación en piso), pero, los cambios propuestos por personas anteriores no ayudaron de una manera adecuada a su progreso acústico, por lo que se ha ido deteriorando continuamente con el transcurso de los años.

La Iglesia se encuentra ubicada muy cerca del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, por lo cual, presenta niveles de ruido exterior muy significativos en su interior.

Figura 1. 1. Fotografía Panorámica de La Iglesia de la Inmaculada Concepción



Fuente: Google
Elaborado por: El Autor

Figura 1. 2. Microlocalización coordenadas: Latitud: $0^{\circ}9'1.78''$ S; Longitud: $78^{\circ}29'27.13''$ O; Elevación 2811 m a nivel del mar



Fuente: Google
Elaborado por: El Autor

Alcance

El presente estudio consiste en proponer un diseño valiéndose de la teoría del acondicionamiento acústico y electro-acústico en recintos cerrados. Al momento de obtener los resultados, estos ayudarán a realizar un correcto análisis técnico y eficaz de los detalles del planteamiento y así cumplir con los parámetros acústicos óptimos para un mejor funcionamiento del lugar.

Justificación

La iglesia se va a utilizar tanto para predica, como para presentaciones musicales. La mala inteligibilidad de la palabra puede causar confusión en quien se encuentra tratando de entender ya sea un mensaje o simplemente una conversación. La causa de una mala acústica puede ser en su gran mayoría, por los materiales existentes en el lugar ya que pueden ser reflectantes o a su vez absorbentes. La acústica de un lugar puede variar constantemente dependiendo de los materiales que se utilicen para su realización.

En la actualidad no existen leyes que exijan parámetros acústicos óptimos dentro de un recinto por lo que la mayoría de las veces es propia iniciativa de los dueños o propietarios del lugar.

La implementación acústica como electro-acústica ayuda de manera considerable a obtener mejores resultados en el acondicionamiento de un espacio, ya que las dos ramas buscan un fin en común que es brindar un confort auditivo a las personas.

Objetivos del Proyecto

Objetivo General

- Proponer un diseño para el Acondicionamiento Acústico y Electro-Acústico en La Iglesia de la Inmaculada Concepción.

Objetivos Específicos

- Conocer las propiedades acústicas de la iglesia.
- Realizar las mediciones de tiempo de reverberación necesarias para su análisis y evaluación.
- Determinar los materiales adecuados para mejorar la acústica de sala.
- Obtener los valores del tiempo de reverberación y decaimiento temprano, mediante cálculos matemáticos y la utilización de software.
- Implementar los equipos electrónicos suficientes para un correcto funcionamiento electro-acústico.
- Realizar los esquemas de interconexión de dispositivos basados en la teoría de electro-acústica.
- Presentar cálculos de presupuestos para la ejecución del proyecto.

Hipótesis

La Iglesia, actualmente realiza eventos musicales como presentaciones corales, sinfónicas o diversos, por lo que, es apropiada la acústica del lugar, ofrece un adecuado confort acústico para que este tipo de eventos se los realice de la mejor manera.

La Iglesia presenta varios materiales reflectantes en la mayor parte de sus paredes y techo, por lo que, posee un correcto recubrimiento acústico capaz de

corregir posibles problema y así reducir hasta niveles tolerables y aceptables de acuerdo a lo establecido para recintos de este tipo.

Los implementos electro-acústicos existentes brindan la eficiencia necesaria para cubrir de manera adecuada toda la iglesia, se debe realizar un análisis de acuerdo al volumen existente en la sala.

1. Capítulo I

1.1. Marco Teórico

Para entender de forma clara el comportamiento y cambios que sufre el sonido dentro de un recinto, es necesario fundamentar varios términos relacionados a la acústica y electroacústica.

1.1.1. Conceptos Elementales de Acústica

1.1.1.1. Acústica Arquitectónica

La acústica arquitectónica es una rama de la acústica relacionada directamente con la arquitectura. Se encarga de estudiar el control acústico en recintos cerrados o semiabiertos, y está enfocada en dos campos primordiales; el primero es mejorar de forma eficiente el acondicionamiento acústico de un lugar o recinto, sin importar que este sea abierto o cerrado; y la segunda, diseñar un correcto aislamiento acústico entre recintos aledaños.

Ágoras, coliseos, salas de conferencias o iglesias, todas con un propósito ya establecido, deben cumplir con propiedades relacionadas al comportamiento del sonido dentro de los mismos. Las reflexiones, reverberación, ecos, resonancias, cobertura de fuentes sonoras, entre otras, pueden variar de forma considerable el comportamiento acústico de un recinto, por lo que se debe realizar un estudio adecuado y distribuir a la energía de forma homogénea.

1.1.1.2. Acústica en Espacios Abiertos

En lugares abiertos y cerrados el fenómeno preponderante es la propagación del sonido. Las ondas sonoras son ondas tridimensionales, esto quiere decir, su propagación es en tres dimensiones y sus frentes de ondas son esferas radiales que salen de la fuente de *perturbación* en todas las direcciones; si no se obtiene una correcta cobertura de las ondas sonoras, estas pueden sufrir diversos cambios o pérdidas de intensidad al momento de propagarse.

1.1.1.3. Acústica en Espacios Cerrados

A diferencia del apartado anterior, el fenómeno preponderante en este caso es la aparición del campo reverberante, producto de las múltiples reflexiones. Al momento de acondicionar un espacio cerrado hay que tomar en cuenta los elementos utilizados en su construcción, ya que cada uno de ellos posee diferente forma de interactuar con la energía. El sonido directo como el reflejado, deben mantener una mutua relación para reforzar la propagación dentro del lugar, caso contrario, se puede producir varios efectos no deseados, tales como ecos, salas reverberantes, entre otros.

1.1.1.4. Absorción

La absorción está definida como la capacidad de una superficie determinada, para transformar energía acústica en calor. Se la puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$A = S \cdot \alpha \text{ [m}^2 \text{ Sabine]} \quad (1.1)$$

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

1.1.1.5. Coeficiente de Absorción (α)

El coeficiente de absorción está definido como la relación entre la intensidad energética absorbida y la intensidad incidente en un material o superficie. Generalmente se especifica por bandas de octava desde 125 [Hz] a 4 [kHz].

$$\alpha = \frac{\text{Energía Absorbida}}{\text{Energía Incidente}} \quad (1.2)$$

Sus valores oscilan entre 0 y 1, siendo un material totalmente reflectante aquel que obtuviese un valor de 0 y un material de caso absorción total si se tuviese 1.

1.1.1.6. Absorción Total

Para conocer la absorción de un material cualquiera, se debe multiplicar su coeficiente de absorción " α " por su superficie "S". Tomando en cuenta que un

recinto posee distintas superficies recubiertas de materiales diversos, se define a la Absorción total (A_{tot}) como la suma de todas y cada una de las absorciones individuales, es decir:

$$A_{tot} = \alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2 + \dots + \alpha_n A_n \quad (1.3)$$

A partir de esta fórmula es posible calcular el coeficiente medio de absorción $\bar{\alpha}$ que se define a continuación.

1.1.1.7. Coeficiente de Absorción Medio

El coeficiente de absorción medio se define como el promedio ponderado de todas las absorciones presentes en un recinto, dividido para la superficie total del mismo. Cuantifica la cantidad de energía que un recinto es capaz de absorber acorde a las superficies existentes y su correspondiente α .

El coeficiente de absorción medio se define mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{\alpha} = \frac{A_{tot}}{S_t} \quad (1.4)$$

Dónde:

$S_t = S_1 + S_2 + \dots + S_n =$ Superficie total del Recinto (paredes+techo+piso)

1.1.1.8. Tiempo de Reverberación (RT)

Es un parámetro acústico que se lo utiliza para cuantificar la reverberación existente en un recinto. Se lo define como el tiempo que transcurre desde que un emisor se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora cae 60 dB con respecto a su valor inicial.

A un recinto con un RT grande se lo denomina “vivo” (iglesia, coliseo, etc.), mientras que a uno con un RT pequeño se lo denomina recinto “apagado” o “sordo” (locutorio, estudio de grabación, etc.)

Por lo general, el RT varía con la frecuencia, tendiendo a disminuir a medida que esta aumenta. El RT es único para cada recinto.

El tiempo de reverberación relacionado a los ítems anteriores se lo puede definir mediante la siguiente fórmula:

$$RT = \frac{0,161 V}{\bar{\alpha} S_t} \quad (\text{s}) \quad (1.5)$$

Dónde:

V = Volumen de la sala (m^3)

$A_{\text{tot}} = \bar{\alpha} S_t$ = Absorción total del recinto.

La fórmula de Sabine, si se introduce un factor de absorción (m), puede resultar más eficiente que la anterior. Si se trata de grandes recintos, este factor es de gran importancia. La fórmula es la siguiente:

$$RT = \frac{0,161 V}{A + 4mV} \quad (1.6)$$

1.1.1.9. Propagación del Sonido en Recinto Cerrado

La energía que radia una fuente sonora dentro de un recinto, se propaga de manera directa e indirecta, lo que causa una distinta percepción del sonido en el oyente.

1.1.1.10. Sonido Directo

La manera directa de propagación se refiere al sonido que llega en línea directa desde la fuente al receptor, mientras que la manera indirecta es el sonido que llega debido a las múltiples reflexiones existen en el recinto generadas en paredes, piso y techo.

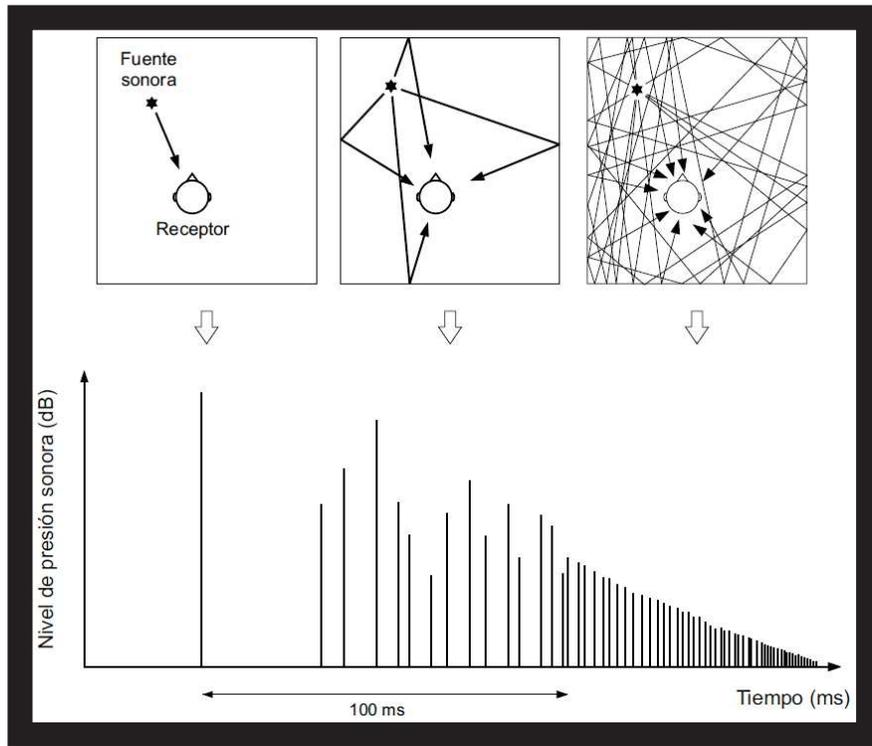
La propagación del sonido y la percepción del receptor van a depender de varios factores como por ejemplo: la distancia fuente-receptor, la potencia acústica de la fuente, la absorción y ubicación de los materiales existentes en el interior del recinto, entre otros.

1.1.1.11. Sonido Reflejado

Al analizar la evolución temporal del sonido indirecto en un punto cualquiera del recinto objeto de estudiar, se observa básicamente dos zonas de características notablemente diferenciadas: la primera zona que abarca a todas las reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo, denominadas primeras reflexiones o reflexiones tempranas, y una segunda

formada por reflexiones tardías que corresponden a la denominada cola reverberante.

Figura 2. 1. Ecograma asociado a un receptor con indicación del sonido directo, las primeras reflexiones y la cola reverberante.



Fuente: CARRION, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos"

Elaborado por: El Autor

Aquellas reflexiones que llegan dentro de los primeros 50 [ms] aproximadamente, se denominan reflexiones tempranas, las cuales varían dependiendo del mensaje que se transmite, por ejemplo: mensaje oral hasta 50 [ms] o para el mismo caso de la Iglesia hasta los 100 [ms] que es considerado como límite temporal y puede variar en función de la forma y volumen del recinto.

La representación gráfica temporal de la llegada de las diversas reflexiones con su correspondiente nivel energético, se denomina ecograma o reflectograma.

1.1.1.12. Campo Directo y Campo Reverberante

La energía sonora total presente en cualquier punto de un recinto, se obtiene de la acumulación de una energía de valor variable y otra de valor constante, la cual parte de una fuente sonora de directividad conocida que radia una potencia constante.

La relación fuente-receptor se encuentra ligada a la energía de valor variable, ya que a medida que el receptor se aleja de la fuente, el sonido directo disminuye; por otro lado, el sonido indirecto o reflejado representa a la energía de valor constante, considerando a la teoría estadística, toma al sonido reflejado como un solo conjunto (reflexiones tempranas y tardías), facilitando el cálculo de la energía total.

Usualmente no se trabaja en términos de energía, sino de nivel de presión sonora SPL, lo cual es enteramente equivalente.

Para el estudio de los campos directo y reverberante, se tiene zonas que dependen del sonido directo y reflejado.

La zona de campo directo está formada por los puntos más cercanos a la fuente y en ella el nivel de presión sonora, llamado nivel de campo directo LD, disminuye 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente. Es como si el receptor estuviese en espacio libre.

La zona de campo reverberante está formada por los puntos más alejados de la fuente y en ella el nivel de presión sonora, llamado nivel de campo reverberante LR, se mantiene constante.

1.1.1.13. Distancia Crítica

La distancia para la cual LD = LR se denomina distancia crítica (Dc), y se la puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$D_c = 0.14\sqrt{QR} \quad (1.7)$$

Dónde:

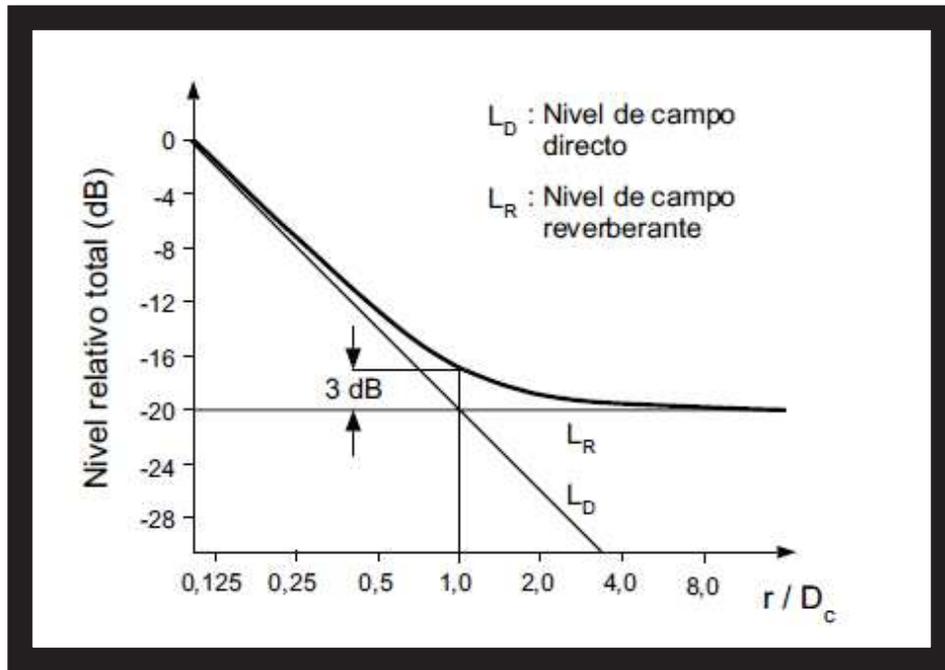
Q = factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada.

R = constante de la sala = $\frac{S_t \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$ (en m²)

S_t = Superficie total de la sala (m^2)

$\bar{\alpha}$ = Coeficiente medio de absorción del recinto

Figura 2. 2. Evolución del nivel relativo total de presión sonora.



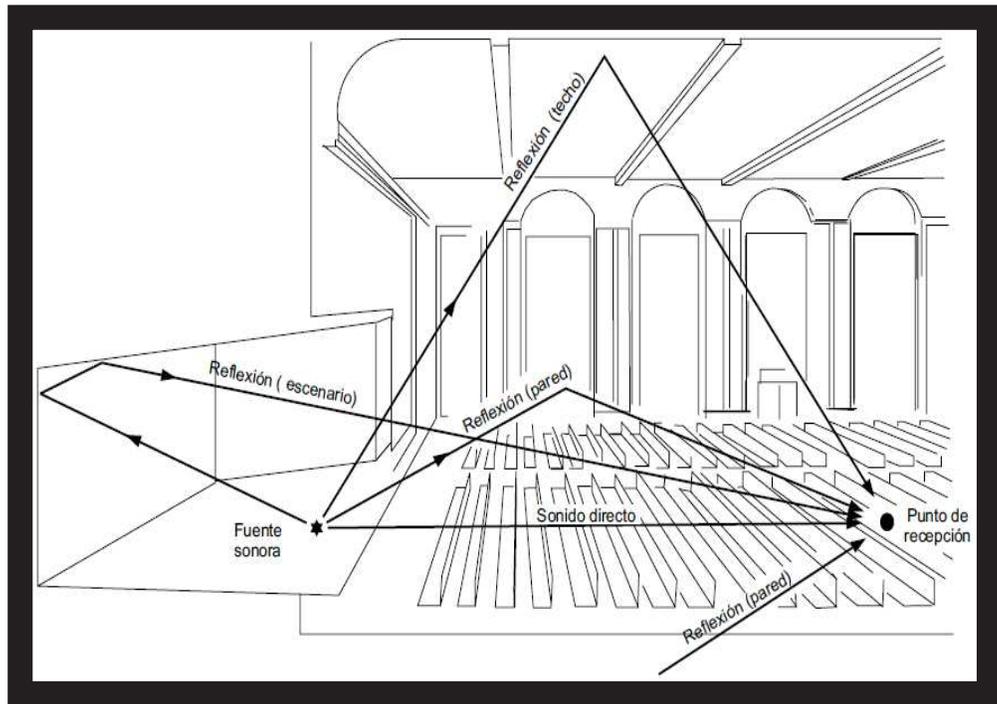
Fuente: CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos".

Elaborado por: El Autor

1.1.1.14. Estudio de las Primeras Reflexiones. Acústica Geométrica

Las primeras reflexiones, por el hecho de depender directamente de las formas geométricas de los recintos, son específicas de cada punto, y por tanto, determina las características propias del mismo, juntamente con el sonido directo.

Figura 2. 3. Ejemplo de llegada del sonido directo y de las primeras reflexiones a un receptor.

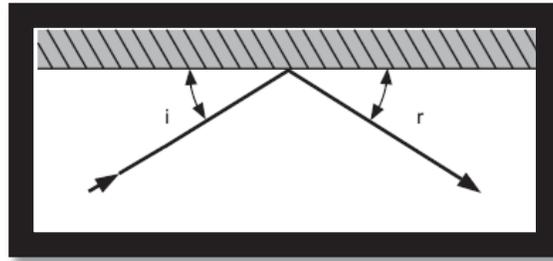


Fuente: CARRION, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos"

Elaborado por: El Autor

La hipótesis elemental de partida para obtener el ecograma asociado a un punto cualquiera, consiste en tratar los rayos sonoros como si se tratase de rayos de luz, es decir, considerando que las reflexiones de los mismos sobre las distintas superficies son totalmente especulares y que, por tanto, verifican la ley de la reflexión regular. El análisis acústico basado en la hipótesis de reflexiones especulares constituye la base de la denominada acústica geométrica. (CARRION, 1998, Pág. 52)

Figura 2. 4. Reflexión especular del sonido sobre una superficie



Elaborado por: El Autor

Dónde:

i = ángulo de incidencia,

r = ángulo de reflexión.

Por el hecho de que la hipótesis de reflexión especular solo en determinadas circunstancias es totalmente veraz, el análisis no es más que un aproximado a la realidad, por lo que es necesario, en lo referente a la superficie de reflexión, que cumplan con los siguientes requisitos: Dimensiones grandes en comparación con la longitud de onda del sonido en consideración; Superficie lisa y muy reflectante (poco absorbente).

Si las dimensiones son menores o similares a la longitud de onda del sonido, se presenta el fenómeno conocido como difracción.

Así mismo, si la superficie presenta irregularidades de dimensiones similares con la longitud de onda, se produce el fenómeno conocido como difusión.

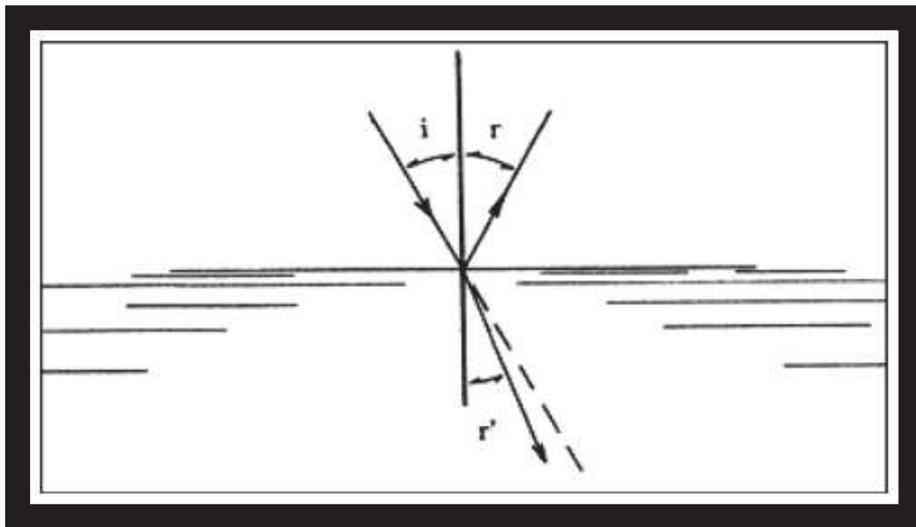
Debido a que la densidad temporal de reflexiones en un punto cualquiera del recinto cerrado aumenta de forma cuadrática con el tiempo, y sabiendo que la cola reverberante está formada por las reflexiones tardías, es necesario efectuar su estudio mediante criterios basados en la denominada acústica estadística, en lugar de la acústica geométrica.

1.1.1.15. Ley de la Reflexión Regular

La ley de la reflexión regular o especular, se basa en la reflexión de la luz. Cuando un rayo de luz que se propaga a través de un medio homogéneo encuentra en su camino una superficie bien pulida (espejo), se refleja en ella siguiendo una serie de leyes.

La ley de la Reflexión Regular, establece que los rayos incidente y reflejado hacen ángulos iguales con el espejo; o con la perpendicular al espejo, que es como suelen medirse estos ángulos. Esta ley, por cierto, también se puede deducir aplicando la ley de variación del tamaño aparente con la distancia para explicar los tamaños aparentes de un objeto y de su imagen en un espejo plano. O, dicho de otra forma, si vemos nuestra imagen en un espejo plano del tamaño que la vemos es porque los rayos incidente y reflejado forman ángulos iguales con el espejo.

Figura 2. 5. Gráfica de la Ley de la reflexión de la luz



Elaborado por: El Autor

Donde:

i = ángulo de incidencia,

r = ángulo de reflexión,

Un rayo luminoso sobre una superficie son iguales; esto es $i = r$.

La ley de la refracción de la luz: el seno del ángulo de incidencia, $\text{sen } i$, y el seno del ángulo de refracción, $\text{sen } r'$, de un rayo luminoso que atraviesa la superficie de separación de dos medios transparentes están en la misma proporción para cualquier valor del ángulo i ; esto es, $\text{sen } i / \text{sen } r' = n$. Si la luz pasa de aire al agua, $\text{sen } i / \text{sen } r' = 4/3$.

1.1.1.16. Reflexiones y Ecos

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

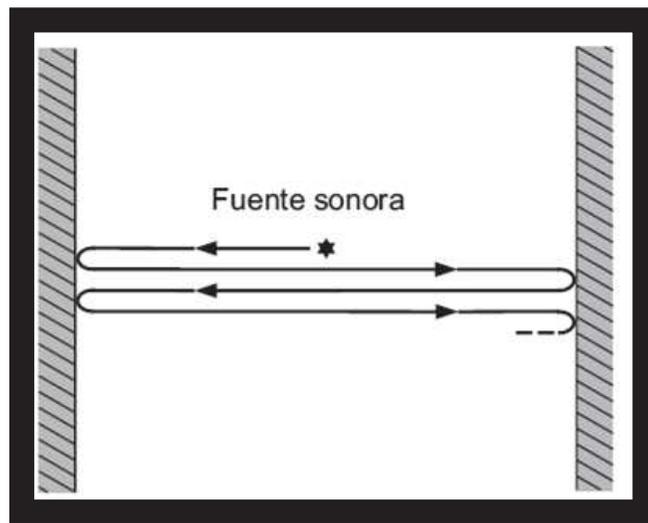
Para el caso del mensaje oral, tales reflexiones contribuyen de manera considerable a mejorar la inteligibilidad o comprensión del mensaje y, al mismo tiempo, producen un aumento de sonoridad (sensación de amplitud del sonido).

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

1.1.1.17. Eco Flotante (FlutterEcho)

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

Figura 2. 6. Eco flotante aparecido al colocar la fuente sonora entre dos paredes paralelas, lisas y muy reflectantes



Fuente: CARRION, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos"

Elaborado por: El Autor

1.1.1.18. Modos Normales de Vibración

Los modos normales son característicos de cada recinto, se generan de combinaciones de ondas incidentes y reflejadas, las mismas que dan lugar a interferencias constructivas y destructivas o, lo que es lo mismo, a la aparición de las denominadas ondas estacionarias. Cada modo va asociado a una frecuencia propia y está caracterizado por un nivel de presión sonora que varía en función del punto considerado dentro del recinto.

Su estudio se lo realiza mediante la denominada acústica ondulatoria que, conjuntamente con la acústica geométrica y la estadística, hacen posible conocer el comportamiento del sonido dentro de un recinto.

Dependiendo de las dimensiones del recinto, los modos normales se los puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$f_{k,m,n}(Hz) = 172.5 \sqrt{\left(\frac{k}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2} \quad (1.8)$$

Dónde:

L_x = Dimensión de la sala en el eje X (en metros)

L_y = Dimensión de la sala en el eje Y (en metros)

L_z = Dimensión de la sala en el eje Z (en metros)

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

Cada combinación de valores k, m, n, da lugar a una frecuencia y modo propio asociado.

El número de modos normales es *infinito*, aunque su distribución a lo largo del eje de la frecuencia es discreta, va incrementando su densidad conforme aumenta la frecuencia. La presencia de los modos provoca una concentración de energía alrededor de las diferentes frecuencias propias, lo cual le da un sonido característico a cada recinto, denominado "coloración". La coloración se pone en manifiesto en recintos de dimensiones relativamente pequeñas.

Las frecuencias de los modos normales por lo general se las encuentra por debajo de los 300 Hz, pero para el caso de recintos grandes como un ágora o un coliseo, la coloración del sonido a causa de los modos normales es prácticamente nula, ya que estos modos caen en frecuencias muy bajas, alrededor de los 40Hz o incluso inferiores, por lo que no se tiene en cuenta en la fase de diseño.

A diferencia de las fórmulas para recintos con geometría regular, las utilizadas para geometría irregular son bastante limitadas, por lo que se utilizará un método basado en el acoplamiento modal (Pope, 1971; Dowell et al., 1977; Fahy, 1985), el cual, consiste en discretizar la cavidad en una serie de subcavidades más pequeñas.

Para encontrar los modos normales de un recinto con forma irregular, vamos a suponer que podemos dividir ese recinto en dos subcavidades cuya solución analítica se conoce. Si expresamos la presión acústica de la cavidad y la velocidad del panel en términos de sus modos normales, tenemos:

$$p(r) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \Psi_n(r)$$

$$v(x) = \sum_{i=1}^{\infty} v_i \Phi_i(x)$$

Donde:

a_n son las fuerzas de fuente generalizadas;

Ψ_n es el modo propio n-ésimo de un panel sin la cavidad;

Φ_i es el potencial acústico del modo normal n-ésimo; y,

B_{ni} es el coeficiente de acoplo entre el modo acústico n-ésimo y el modo estructural i-ésimo.

Las ecuaciones anteriores, referentes a un acoplamiento de cavidades conectadas directamente se las pueden definir de la siguiente manera:

$$\left(\sum_{n=1} a_n^a B_{ni}^a - \sum_{n=1} a_n^b B_{ni}^b \right) = 0 \quad (1.9)$$

Que expresa la condición de continuidad en la frontera.

1.1.1.19. Acústica Estadística

De acuerdo a lo establecido en el apartado anterior; al momento de trabajar con recintos de gran volumen, el número de modos normales aumenta considerablemente, por lo que para su análisis se vuelve muy complicado. En estos casos se vuelve indispensable la acústica estadística la cual se basa en la ecuación de la densidad de energía:

$$D = \frac{(P)^2}{\rho c} \quad (1.10)$$

Dónde:

D = Densidad de Energía

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

ρ = Densidad del aire (1,18 [Kg/m³])

c = Velocidad del sonido (344 [m/s])

1.1.1.20. Inteligibilidad de la Palabra:

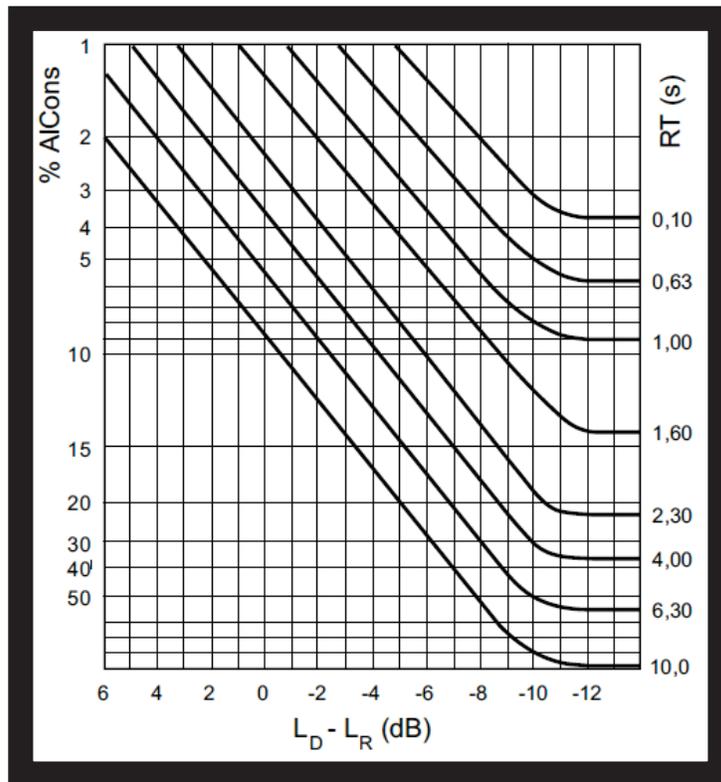
1.1.1.20.1. Porcentaje de pérdida de articulación de consonantes, %ALCons

La comprensión de un mensaje oral, además de tener una estrecha relación con el tiempo de reverberación, depende básicamente de la correcta percepción de sus consonantes.

El %ALCons es un porcentaje que muestra la pérdida de la articulación de Consonantes, el cual, mientras mayor sea, peor será el grado de inteligibilidad existente en un recinto.

Haciendo uso de la acústica estadística, el %ALCons se lo puede encontrar mediante el tiempo de reverberación y la diferencia entre los niveles de presión sonora del campo directo L_D y del campo reverberante L_R en un punto del recinto.

Figura 2. 7. Obtención del %ALCons a partir de RT y $L_D - L_R$



Fuente: CARRION, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos"

Elaborado por: El Autor

Para el cálculo de $L_D - L_R$, la fórmula a utilizar es la siguiente:

$$L_D - L_R = 10 \log \left(\frac{QR}{r^2} \right) - 17 \text{ (en dB)} \quad (1.11)$$

Donde:

Log = Logaritmo decimal

Q = Factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada (Q=2 en el caso de la voz humana, considerando la directividad frontal del orador)

R = Constante de la sala (en m^2)

r = Distancia del punto considerado a la fuente sonora (en m)

Como tanto RT como R dependen del coeficiente medio de absorción $\bar{\alpha}$, su conocimiento, junto con el volumen V y el de la superficie total St, permiten calcular los valores de RT y de $L_D - L_R$.

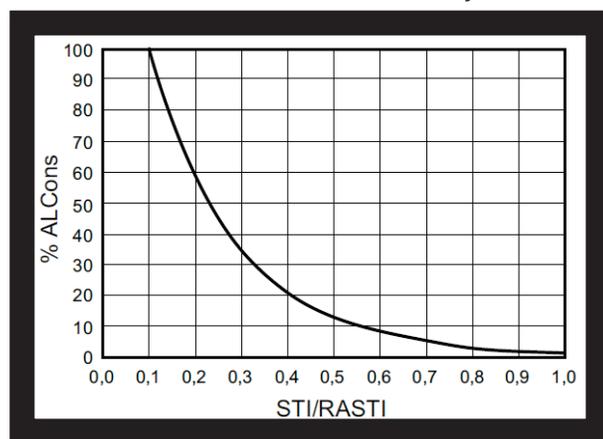
En la práctica, para el cálculo se suele escoger el valor de $\bar{\alpha}$ correspondiente a la banda de 2 kHz, por ser la máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra.

1.1.1.20.2. *Speech Transmission Index / Rapid Speech Transmission Index STI/RASTI*

Otro parámetro alternativo que permite cuantificar el grado de inteligibilidad de la palabra, se denomina STI (“Speech Transmission Index”) y su valor oscila entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad total). Así mismo, existe una versión simplificada del STI denominada RASTI (“Rapid Speech Transmisión Index”), el cual, es el parámetro más utilizado, medido en recinto, debido a su rapidez de cálculo en relación al STI.

El %ALCons y el STI/RASTI, poseen una muy buena correlación para el análisis de un recinto, por lo que, aportan considerablemente en el acondicionamiento acústico.

Figura 2. 8. Correspondencia entre STI / RASTI y %ALCons.



Fuente: CARRION, Antoni, “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”
Elaborado por: El Autor

Tabla 1. 1. Relación entre %ALCons, STI/RASTI y la valoración subjetiva del grado de inteligibilidad.

%ALCons	STI/RASTI	VALORACIÓN SUBJETIVA
1,4% - 0%	0,88 – 1	Excelente
4,8% - 1,6%	0,66 – 0,86	Buena
11,4% - 5,3%	0,50 – 0,64	Aceptable
24,2% - 12%	0,36 – 0,49	Pobre
46,5% - 27%	0,24 – 0,34	Mala

Fuente: CARRIÓN, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos".
Eaborado por: El Autor

1.1.1.20.3. Claridad de la voz, C50

El parámetro C_{50} define la claridad con la que se entiende el mensaje enviado por el emisor y cuyos valores deben situarse por encima de 0 dB para evitar que la inteligibilidad de las sílabas se decremente por debajo del 80%.

Definido de otra manera el parámetro C_{50} representa la claridad tonal y es la relación logarítmica entre la energía que llega a un oyente durante los primeros 50 [ms] de haberse generado el sonido, respecto a la energía que le llega posteriormente. Este parámetro se define mediante la siguiente formula:

$$C_{50} = 10 \log \left[\frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_{0.05}^{\infty} p^2(t) dt} \right] [dB] \quad (1.12)$$

1.1.1.20.4. Clarida musical, C80

El parámetro C_{80} es relevante para el comportamiento temporal del sonido y para determinar la claridad de la representación musical, especialmente en los pasajes más veloces. El margen de valores recomendado depende del tipo de representación musical.

Este parámetro se evalúa únicamente en recintos destinados para representaciones musicales, puesto que está asociado a la claridad con la que se perciben distintos tipos de música. Es recomendable que el nivel C_{80} no supere los 8 dB para una correcta claridad musical general. Este parámetro se define mediante la siguiente formula:

$$C_{80} = 10 \log \left[\frac{E_{0-80}}{E_{80-\infty}} \right] [dB] \quad (1.13)$$

1.1.1.21. Materiales Absorbentes

Los materiales utilizados como revestimientos en las superficies de un recinto, incididos por ondas sonoras, presentan distinto comportamiento dependiendo de la frecuencia y del material que lo constituya. Por este motivo, la correcta elección de los mismos permitirá obtener, la absorción más adecuada en todas las bandas de frecuencia de interés.

Los Materiales absorbentes, absorbentes selectivos o resonadores, son tipos genéricos de elementos diseñados para producir una determinada absorción.

El uso de estos materiales ayuda en la prevención o eliminación de ecos, campos reverberantes, y para la obtención de tiempos de reverberación más adecuados.

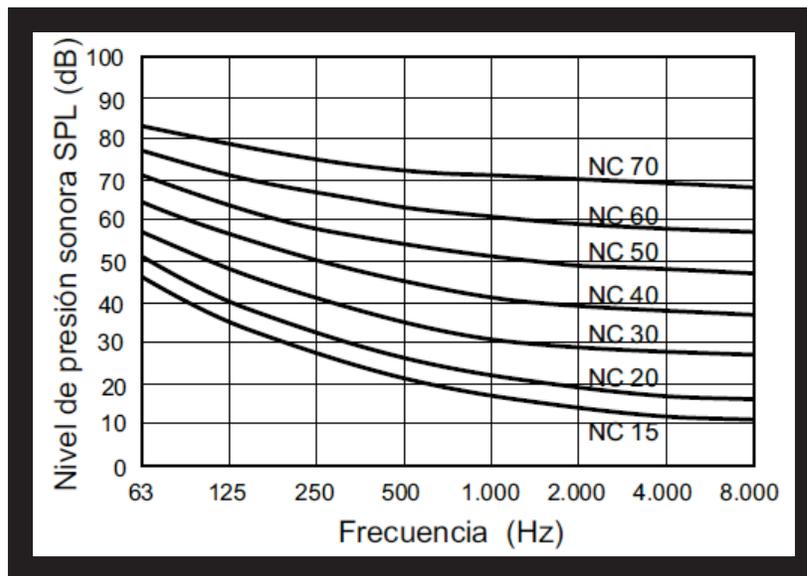
Por lo general presentan un gran número de canales a través de los cuales la onda sonora puede penetrar. La disipación de energía en forma de calor se produce cuando la onda entra en contacto con las paredes de dichos canales. Hay que tomar en cuenta que hasta cierto punto, los canales existentes, brindan un nivel de absorción propio del material, caso contrario, si se exceden en los mismos, estos materiales se vuelven reflectantes debido a que aumenta su rigidez.

Normalmente están formados por sustancias fibrosas o granulares a las que se les confiere un grado suficiente de compacidad a través de un proceso de prensa o tejedura. Los más conocidos a nivel comercial son la lana de vidrio, lana mineral, espuma a base de melamina o la espuma de poliuretano.

1.1.1.22. Curvas Noise Criteria, NC

La evaluación objetiva del grado de molestia que un determinado ruido ambiental provoca en un oyente, se realiza por comparación de los niveles de ruido existentes en un recinto, en cada banda de octava comprendida entre 63 [Hz] y 8 [kHz], con un conjunto de curvas de referencia denominadas NC (“Noise Criteria”)

Figura 2. 9. Curvas NC para evaluación del Ruido de Fondo



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

Elaborado por: El Autor

1.1.2. Conceptos de Acondicionamiento Electro-acústico

1.1.2.1. Electro-Acústica

La electroacústica es la rama de la acústica que se ocupa del estudio, análisis, diseño de dispositivos que convierten energía eléctrica en acústica y viceversa, así como de sus componentes asociados. Entre estos se encuentran las consolas, altavoces, micrófonos, excitadores de compresión, procesadores de señal y demás implementos destinados al mejoramiento acústico de un recinto.

Basándose en los principios físicos del electromagnetismo y la mecánica, se ha podido realizar distintos dispositivos capaces de alterar o modificar las características del sonido, cuando éste está representado por una variable eléctrica.

1.1.2.2. Impedancia Eléctrica

Muchos componentes eléctricos se comportan como si su resistencia variara con la frecuencia de la señal aplicada. En otras palabras, sigue valiendo una

relación similar a la Ley de Ohm, pero el valor de la resistencia depende de la frecuencia. En estos casos estamos en presencia de una Impedancia, simbolizada con Z (MIYARA, 2006, Pág. 80).

1.1.2.3. Adaptación de Impedancias

El concepto de adaptación de impedancia, se desarrolló originalmente para la potencia eléctrica, pero acorde avanzaba la sociedad, se fue generalizando a otros campos de la ingeniería donde cualquier forma de energía (no solo la eléctrica) es transferida entre una fuente y una carga.

La adaptación de impedancias, se refiere a lograr que la impedancia de salida de un dispositivo, como por ejemplo un amplificador, sea igual a la impedancia de entrada de la carga a la cual se conecta.

Esta adaptación, cuando los dispositivos son lineales, se la realiza con el fin de conseguir la máxima transferencia de potencia y así disminuir las pérdidas de potencia por reflexiones desde la carga.

En muchos casos de circuitos eléctricos, en vez de buscar la máxima transferencia de potencia, se busca la máxima transferencia de voltaje, la cual consiste en, encontrar el valor de impedancia donde la impedancia de carga sea mucho más grande que la impedancia de la fuente.

1.1.2.4. Transductor

En *transductor* es un dispositivo, como su nombre lo indica, capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida. Los transductores siempre consumen algo de energía al momento de trabajar, por ese motivo, la señal medida en muchos casos resulta debilitada.

1.1.2.5. Valor eficaz (RMS)

Por el hecho de manejar en dispositivos electrónicos tensión alterna (variable en el tiempo) y sabiendo que, por tal motivo, la potencia y el voltaje también sufren una variación, es necesario encontrar un valor de tensión continua equivalente, es decir, que entregue a la resistencia la misma potencia promedio

que la tensión alterna. Dicho valor se denomina valor eficaz de la tensión, y se abrevia V_{ef} (Root Mean Square, RMS). Con esta definición se puede obtener una fórmula que permita encontrar el valor eficaz:

$$P_{promedio} = \frac{V_{ef}^2}{R} \quad (1.14)$$

Dónde:

$P_{promedio}$ = Potencia promedio

V_{ef} = Valor eficaz

R = Resistencia

1.1.2.6. Micrófonos

El primer elemento de una cadena electro-acústica es el micrófono, el cual, es un *transductor* capaz de convertir vibraciones debidas a la presión sonora en energía eléctrica.

Existen varios mecanismos de conversión de energía sonora a energía eléctrica utilizados en los micrófonos. Los más comunes corresponden a los micrófonos dinámicos y los micrófonos capacitivos.

Cada micrófono posee características propias, por lo que al momento de adquirir uno, es necesario saber identificar parámetros que nos ayudaran a realizar una buena elección.

Estos parámetros son:

- Sensibilidad del Micrófono
- Respuesta de Frecuencia
- Direccionalidad
- Patrón Direccional
- Impedancia
- Ruido
- Distorsión Total Armónica
- Fuente fantasma

1.1.2.7. Amplificadores

El amplificador es el primer dispositivo procesador de señal eléctrica. Tiene como finalidad, aumentar el nivel de las señales provenientes de generadores de bajo nivel, como por ejemplo micrófonos, hasta alcanzar un nivel apto para determinada aplicación.

Al igual que el micrófono, posee ciertas características propias, que hacen de un amplificador la mejor elección al momento de compararlo.

1.1.2.7.1. Ganancia

La Ganancia se define como el cociente entre la tensión de salida y la de entrada, y está representada mediante la siguiente fórmula:

$$G = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}} \quad (1.15)$$

La ganancia se expresa muchas veces en decibeles (dB), y su valor se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$G_{dB} = 20 \log_{10} G = 20 \log_{10} \frac{V_{salida}}{V_{entrada}} \quad (1.16)$$

1.1.2.7.2. Niveles de señal

Otra propiedad fundamental de los amplificadores es el nivel de señal que manejan. Existen tres niveles de señal característicos: bajo nivel, nivel de línea, y nivel de potencia. La señal de bajo nivel pertenece a los transductores. La señal de nivel de línea es el resultado de aplicar preamplificadores a las señales de bajo nivel o también de dispositivos diversos. Finalmente, el nivel de potencia es el requerido para excitar los altavoces.

Para definir claramente el apartado anterior, es necesario conocer brevemente algunos conceptos relacionados a decibeles.

Existen dos tipos de decibeles:

- Aquellos que representan niveles absolutos de alguna variable física, por ende, adopta un valor referencial (decibeles referenciados), por ejemplo el

nivel de presión sonora NPS, cuyo valor de referencia era una presión de 20 μPa .

- Y, aquellos que representan una relación entre dos valores de la variable (decibeles relativos), por ejemplo, la ganancia de un amplificador.

Para el caso de la interconexión entre dispositivos, existen tres decibeles absolutos. Cada uno posee su respectivo valor referencial y expresar un nivel acorde a su necesidad.

Ellos son dBm, el dBu, y el dBV.

El dBm permite expresar niveles de potencia eléctrica, y su potencia de referencia es de 1mW (0,001W).

$$NPS_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{Pot}{Pot_{ref}} \quad (1.17)$$

El dBu permite expresar niveles de tensión, para este caso, la tensión de referencia es de 0,775 V.

$$NPS_{dBu} = 20 \log_{10} \frac{V}{V_{ref}} \quad (1.18)$$

Y, el dBV, de igual manera expresa niveles de tensión, pero a diferencia de la anterior, la tensión de referencia es de 1V.

$$NPS_{dBV} = 20 \log_{10} \frac{P}{V_{ref}} \quad (1.19)$$

Tabla 1. 2. Características de las principales escalas con referencia para expresar niveles de señal.

Unidades	Magnitud	Referencia	Propiedades
dB _{NPS}	Presión Sonora	20μPa	0 dB _{NPS} coincide con el umbral de audición a 1 kHz.
dB _m	Potencia	1mW	Es útil cuando es importante la potencia que entrega una fuente, más que su tensión.
dB _u	Tensión	0.775V	Cuando la tensión se conecta a una resistencia de 600Ω coincide numéricamente con el nivel de potencia en dBm.
dB _v	Tensión	1V	Una tensión expresada en dBV es 2,2 dB menor que expresa en dBu.

Fuente: MIYANA, Federico, "Acústica y Sistemas de Sonido".

Elaborado por: El Autor

1.1.2.7.3. Clasificación de los amplificadores

A los amplificadores se los puede clasificar según la señal que manejan. Existen amplificadores de bajo nivel, o preamplificadores, y los de alto nivel o amplificadores de potencia.

Los preamplificadores llevan la señal de bajo a nivel de línea, este nivel es utilizado a nivel estándar en las entradas y salidas de consolas.

Para el caso de los amplificadores, reciben la señal generada por los preamplificadores, es decir, reciben señal de línea en su entrada y la amplifican hasta el nivel de potencia.

Normalmente, los preamplificadores vienen incorporados en los dispositivos electrónicos, como por ejemplo, una consola, y sus características no se encuentran bajo el control del usuario. En cambio, para el caso de los amplificadores de potencia, se debe prestar debida atención en los parámetros como:

- Potencia máxima de salida
- Sensibilidad de un amplificador
- Relación señal/ruido
- Respuesta de frecuencia
- Distorsión
- Factor de amortiguación

Ya que estos contienen especificaciones diversas de sus características técnicas.

1.1.2.8. Altavoces

Para completar un mínimo sistema electro-acústico que sea funcionalmente completo, a los micrófonos y amplificadores ya descritos, se les debe agregar algún transductor que transforme nuevamente la energía eléctrica en energía acústica. Por ese motivo nos involucraremos en el estudio de los altavoces.

1.1.2.8.1. Clasificación por rangos de frecuencia

Tanto en el sonido de alta fidelidad como en el profesional, es normal utilizar cajas acústicas que incluyen dos o más altavoces, eso con el objetivo de cubrir diferentes rangos de frecuencia.

Tabla 1. 3. Clasificación de los altavoces acorde a su rango de frecuencia.

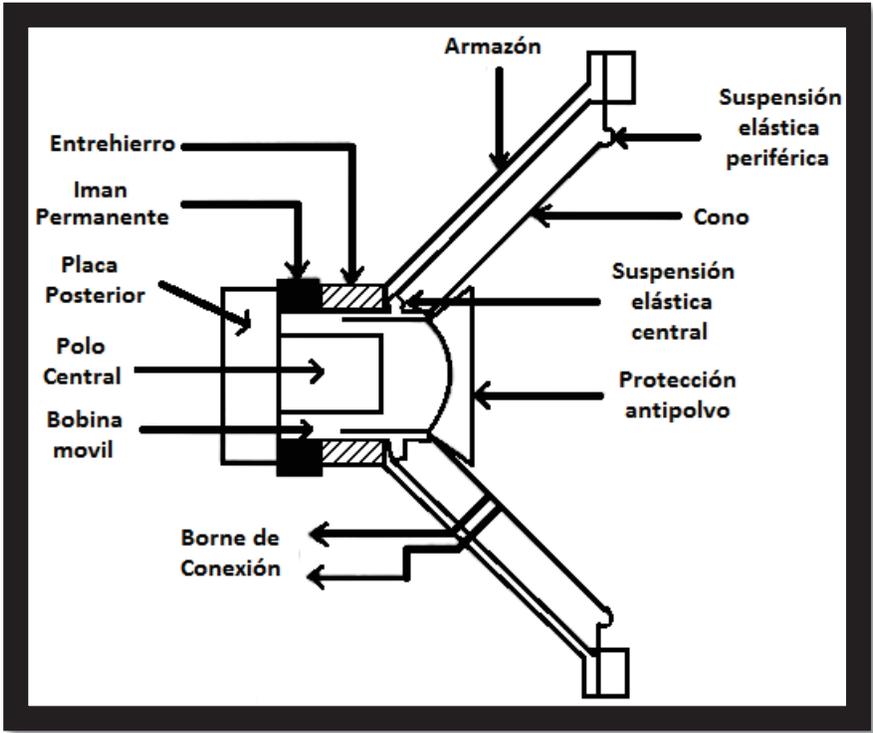
Altavoz	Frecuencia	Rango de frecuencia	Diámetro
Woofers	Baja	Menores a 500 Hz	Entre 12" y 18"
Squawkers	Media	Entre 500 Hz y 6 KHz	Entre 5" y 12"
Tweeters	Alta	Mayores a 1,5 kHz o a 6 kHz	Entre 0,39" y 5"

1.1.2.8.2. Altavoces de bobina móvil

Por el hecho de ser los más utilizados y funcionales en el mercado, tanto para baja como para alta frecuencia, vamos a describir características fundamentales de su funcionamiento.

Está constituido por un circuito magnético, formado a su vez por una base o placa posterior con un núcleo o polo central cilíndrico montado sobre su centro, un imán permanente con forma de toroide, y una placa anterior con forma de arandela más pequeña. Entre el polo central y la placa anterior queda un espacio de aire denominado entrehierro, sobre el cual existe un poderoso campo magnético. En dicho entrehierro se aloja la bobina, la cual se halla montada sobre un tubo de papel que la comunica con el cono. (MIYARA, 2006, Pág. 115.)

Figura 2. 10. Corte transversal de un altavoz de bobina móvil típico, en donde se indican sus partes funcionalmente más importantes.



Elaborado por: El Autor

Como la bobina se encuentra inmersa en un campo magnético, al momento de circular corriente eléctrica, genera una fuerza que le imprime movimiento. Dicho movimiento se transmite al cono o diafragma, y éste actúa como una especie de pistón, impulsando el aire hacia afuera o hacia adentro según la polaridad

de la tensión aplicada a la bobina. Este proceso genera sucesivas ondas de compresión y rarefacción del aire que se propaga como sonido.

1.1.2.8.3. Especificaciones de potencia

Existen varias formas de especificar la potencia, pero la más conocida y válida como estándar a nivel profesional es la potencia media máxima.

La potencia media máxima, relaciona a la potencia que recibe un altavoz con la disipación de calor en la bobina, aumentando su temperatura. El máximo establecido es un valor que asegura que la bobina no se quemé por exceso de temperatura. Esta especificación muchas veces es denominada como potencia RMS, pero no es correcto, ya que, la indicación RMS, equivale a un valor eficaz de una tensión, y no a valores de potencias.

Existen varias características que hacen de un altavoz más eficiente, entre esas esta:

- Impedancia Nominal
- Sensibilidad
- Respuesta de Frecuencia
- Direccionalidad

1.1.2.9. Filtros

Los filtros, a diferencia de los tipos de procesadores ya estudiados, actúan modificando el espectro de una señal.

Su utilización en el equipamiento electro-acústico es muy amplia, ya que son muchas las situaciones en que se requiere acentuar o atenuar determinadas frecuencias. Una característica de los filtros es que permiten separa a una señal en sus componentes espectrales de baja, media y alta frecuencia dentro de altavoces de múltiples vías.

Dependiendo de las necesidades del usuario, podemos mencionar varias aplicaciones de los filtros, por ejemplo, los filtros pasaaltos o pasabajos, pueden encontrarse en consolas para eliminar el ingreso de ruidos de muy baja o alta frecuencia. Las redes divisoras de frecuencias (crossover) se los utiliza

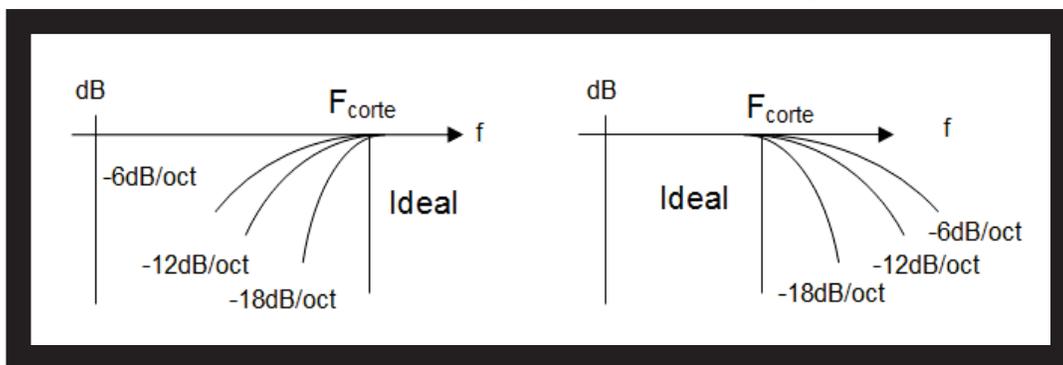
en sistemas de bi o triamplificación, y los ecualizadores, que permiten corregir deficiencias en las respuestas en frecuencia de un sistema.

1.1.2.9.1. *Filtros pasabajos y pasa altos*

Como su nombre lo indica, son dispositivos que permiten pasar todas las frecuencias que están por debajo o por encima de cierta frecuencia, denominada frecuencia, superior o inferior, de corte. En la práctica estos dispositivos no atenúan en su totalidad a las frecuencias, dependiendo del caso y la frecuencia de corte, se atenúa a razón de una cierta cantidad de dB por octava.

Los valores típicos de atenuación son -6 dB/oct., -12 dB/oct., y -18 dB/oct.

Figura 2. 11. Respuesta en frecuencia de un filtro pasaaltos y pasabajos respectivamente, con tres pendientes de corte.



Elaborado por: El Autor

Los filtros pasabajos se utilizan con frecuencias de corte que varían entre 3 kHz y 20 kHz, mientras que los filtros pasaaltos suelen estar entre 20 Hz y 100 Hz.

1.1.2.9.2. *Redes divisoras de frecuencias (Crossover)*

Al estudiar la clasificación de los altavoces, se observó que estos varían de acuerdo a su rango de frecuencia, por lo que, un solo altavoz no sería capaz de cubrir con el rango de frecuencias completo de una señal de audio.

Acústicamente, los altavoces responden a la porción de señal comprendida en su rango de frecuencia, pero eléctricamente responde a todo lo que reciben. Por consiguiente, si se enviara toda la señal a cada altavoz, no solo se estaría desperdiciando potencia eléctrica, sino que además se estaría sometiendo a los altavoces a una gran sobrecarga. Por esta razón se vuelve necesaria la separación de la señal en rangos de frecuencia según la característica del altavoz. Esta separación se la realiza mediante redes divisoras de frecuencia, o redes crossover.

Existen crossover activos y pasivos. Los pasivos son aquellos que realizan su división de frecuencia en el interior del altavoz, mientras que los activos son aquellos que antes de ser amplificados, la señal ya se encuentra dividida para su mejor distribución.

1.1.2.9.3. Ecuallizadores

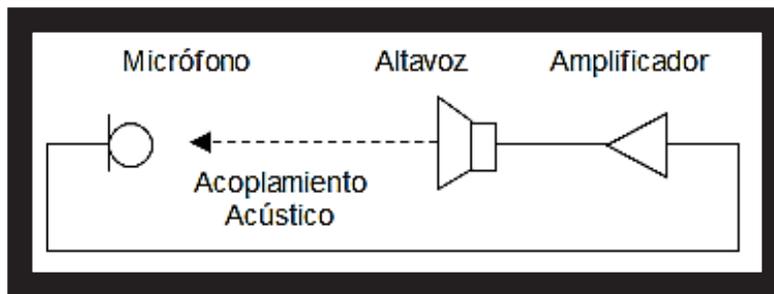
Un ecualizador es un dispositivo electro-acústico que permite aumentar o reducir la ganancia selectivamente en tres o más frecuencias. El ecualizador más sencillo es el de tres bandas fijas de frecuencia, denominadas graves, medios y agudos.

Existen dos tipos de ecualizadores: los ecualizadores gráficos o de bandas, que poseen varias bandas fijas, normalmente entre 5 y 31 bandas, y son muy utilizados para sonido en vivo por la versatilidad que estos presentan al momento de atenuar una frecuencia en particular, y los ecualizadores paramétricos, que poseen una o más frecuencias ajustables, además de otras fijas, y se encuentran por lo general en cada canal de entrada de las consolas.

1.1.2.10. Acoples

Un acople es el resultado de una realimentación electro-acústica positiva, y se suele presentar a manera de zumbido o silbido en los sistemas de sonido en vivo o de monitoreo.

Figura 2. 12. Diagrama de bloques del acoplamiento entre micrófono y parlante, causante de zumbidos o silbidos indeseable en el sistema de sonido.



Elaborado por: El Autor

Para evitar este tipo de inconvenientes habitualmente se suele emplear:

- Reducir la ganancia del amplificador
- Alejar los micrófonos del altavoz
- Cambiar de posición el micrófono
- Cambiar la posición u orientación del altavoz
- Reducir la ganancia en la frecuencia donde aparece el problema por medio de un ecualizador.
- Cambiar el diagrama direccional del micrófono de manera de reducir la ganancia efectiva por efecto de la direccionalidad.

1.1.2.11. Compresores y Limitadores

Nos referimos ahora a un tipo de procesador de señal que actúa modificando el rango dinámico de la señal. Recordemos que el rango dinámico es la diferencia en dB entre el máximo nivel y el mínimo nivel de una señal. Hay varias situaciones en las que es necesario reducir el rango dinámico, siendo probablemente la más representativa aquella en que la señal debe atravesar otro procesador cuya relación señal/ruido es menor que el rango dinámico original.

Un compresor de audio, es un procesador capaz de reducir el rango dinámico de la señal, mientras que, si comprime con una relación infinito a uno, se

denomina limitador, ya que su función pasa de ser la de limitar al crecimiento de la señal de tal modo que no supere el umbral.

1.1.2.12. Consolas de mezcla

Anteriormente, se habló de una serie de dispositivos que cumplían funciones puntuales de procesamiento de señal dentro de un sistema de sonido. En un sistema práctico, es frecuente que intervengan varios de estos dispositivos a la vez, por lo que, para facilitar esta interacción entre dispositivos, se utiliza una mesa de mezcla o consola de mezcla.

Este dispositivo, puede estar conformado de 4 canales hasta una compleja consola digital de 48 ó 56 canales, y tiene por finalidad mezclar las señales provenientes de dispositivos electrónicos, por ejemplo, señal de micrófono, instrumentos musicales, grabadoras, etc.

2. Capítulo II

2.1. Descripción de la Situación Actual

La Iglesia de la Concepción posee varios problemas acústicos como electro-acústicos, principalmente porque sus dimensiones internas y los materiales de recubrimiento existentes, no aportan de manera considerable a una buena distribución de las ondas sonoras, lo que da acogida a diversos efectos acústicos generados por el alto nivel del campo reverberante.

Otro de los problemas que se puede divisar a simple vista en la Iglesia, es que sus paredes laterales son paralelas, por lo cual, está propensa a la generación de ecos flotantes.

La iglesia consta de tres naves, la primera se ubica en pleno centro y es donde se realizan las misas dominicales, la segunda es un pequeño apartado dentro del recinto y la tercera que es donde se ubica el altar.

En sí, la iglesia ha sufrido estructurales más no ha tenido ningún tratamiento para evitar posibles factores acústicos indeseables, por demás, la mayor parte de su infraestructura es de tipo reflectante.

De igual manera, no cuenta con un sistema electro-acústico adecuado para este prototipo de recinto, y el implementado actualmente, no posee ninguna relación técnica, entre los dispositivos existentes y la ubicación de sus fuentes.

2.2. Forma y superficie de la Iglesia

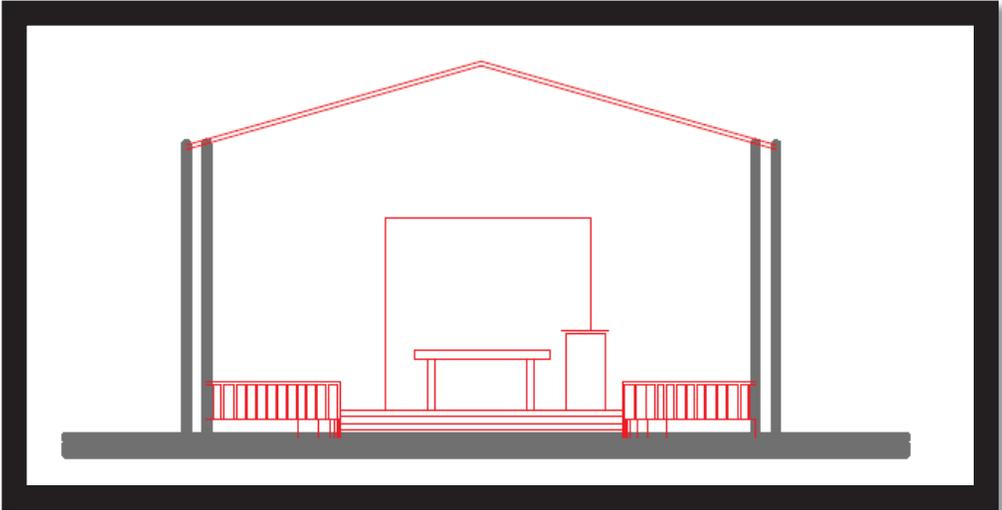
La Iglesia es de forma rectangular con una cubierta inclinada (15°), las paredes de aproximadamente 1 [m] de ancho, son de hormigón enlucido y pintado. Al final de la Nave principal se encuentra la nave del altar. Las paredes de esta, están recubiertas por un arreglo de madera, pero sin ningún material acústico en su interior.

Figura 3. 1. Distribución de la Iglesia desde una vista superior.



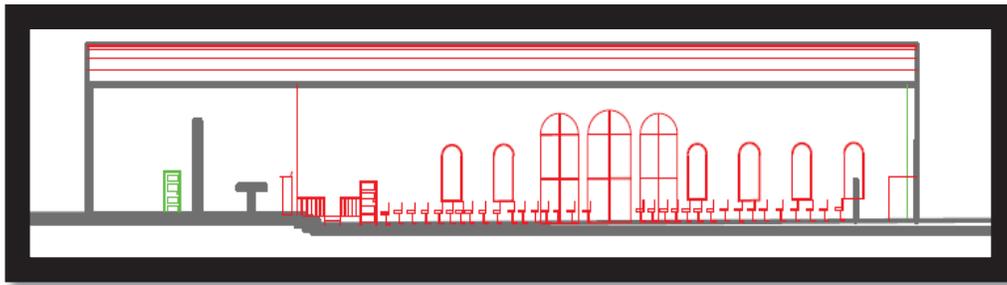
Elaborado por: El Autor

Figura 3. 2. Corte B-B' de la Iglesia



Elaborado por: El Autor

Figura 3. 3. Corte A-A' de la Iglesia



Elaborado por: El Autor

Las superficies del recinto se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 2. 1. Distribución de las Superficies de la Iglesia

SUPERFICIE	S (m²)
Paredes laterales	394.80
Pared Posterior	95.76
Pared Nave	165.48
Techo Capilla	461.21
Techo Nave	78.18
Puertas	9.61
Puertas ingreso	30.24
Ventanas	45.82
Puertas de Hierro	33.81
Piso Capilla	206.38
Piso Nave	78.18
Público	231.98
Superficie Total (m²)	1831.45
Volumen Total (m³)	4370.75

Los coeficientes de absorción, brindados por cada superficie son las siguientes:

Tabla 2. 2. Tabla de coeficientes de absorción por bandas de octava acorde al material de revestimiento.

SUPERFICIE	MATERIAL	S (m ²)	Absorción [Sabines]					
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Paredes laterales	Hormigón pintado	394.80	3.95	3.95	3.95	7.89	7.89	7.89
Pared Posterior	Hormigón pintado	83.72	0.83	0.83	0.83	1.67	1.67	1.67
Pared Nave	Revestimiento de Madera	165.48	16.55	18.20	16.55	13.24	13.24	18.20
Techo Capilla	Madera de 0.3 cm, con 5 cm de cámara de aire	461.21	115.30	156,81	83.01	46.12	46.12	27.67
Techo Nave	Revestimiento de Madera	78.18	7.82	8.60	7.82	6.25	6.25	8.60
Puertas	Madera	9.61	1.44	0.96	0.57	0.77	0.96	0.48
Puertas ingreso	Madera	30.24	4.53	3.02	1.81	2.42	3.02	1.51
Ventanales	Vidrio grueso grandes paños	45.82	8.24	2.75	1.83	1.37	0.91	0.91
Puertas de Barra de Hierro		33.81	--	--	--	--	--	--
Piso Capilla	Mármol	206.38	2.06	2.06	2.06	4.12	4.12	2.06
Piso Nave	Mármol	78.18	0.78	0.78	0.78	1.56	1.56	0.78
Público	Persona en asiento de madera	231.98	34.79	58	81.20	88.15	88.15	81.20

Tomando en cuenta la absorción del aire que puede producir el recinto con un 25% de humedad de obtiene los siguientes datos:

Tabla 2. 3. Tabla de coeficientes de absorción por bandas de octava producida por el aire.

SUPERFICIE	MATERIAL	S (m ²)	Absorción [Sabines]					
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Aire			--	--	--	--	0.30	0.74

Mediante esta tabla y los datos anteriores, se puede obtener la absorción total del recinto para cada banda de octava.

Tabla 2. 4. Tabla de Absorción Total por bandas de octava

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4[kHz]
Absorción Total [m² Sabine]	196.29	255.96	200.41	173.56	174.19	151.71

Con estos valores se realiza el cálculo de tiempo de reverberación teórico para cada banda de frecuencia, mediante la fórmula de Sabine:

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

Donde:

V = Volumen total del recinto en [m³].

A= Absorción total en [m² Sabine].

A continuación se muestra la tabla de los resultados obtenidos:

Tabla 2. 5. Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid) teóricos.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]	RTmid
RT60 [s]	3.58	2.74	3.51	4.05	4.04	4.64	3.78

2.3. Medición In Situ

Las mediciones de tiempo de reverberación en la Iglesia de la Concepción, se llevaron a cabo el día martes 7 de junio del 2011, de 13H00 a 16H00, siguiendo los parámetros que establece la norma ISO-3382, que se refiere a la evaluación de condiciones acústicas de las salas de conciertos.

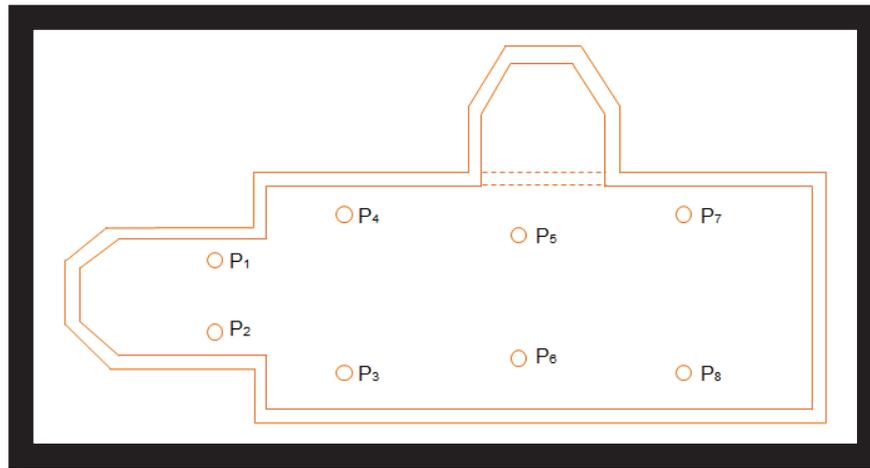
Para esta medición se utilizó un micrófono AUDIX, modelo TR40, una interface digital M-AUDIO, modelo FAST TRACK PRO, el software SPECTRAPLUS 5.0, para análisis de resultados, una potencia CROWN modelo 1200 y una fuente omnidireccional con componentes JBL, diseñada en la Universidad de las Américas.

Hay que tomar ciertas consideraciones al momento de realizar la medición. La fuente debe producir un nivel de presión sonora suficiente para obtener curvas de decaimiento sin la interferencia del ruido de fondo. Se recomienda dos posiciones de la fuente, a una altura mínima de 1,2 [m], a una distancia mínima de 1,5 [m] de cualquier punto de medición y, a 0,50 [m] de cualquier superficie.

El número de puntos de medición depende del tamaño del recinto y deben llevar una línea uniformemente espaciada. Los micrófonos se deben colocar a una distancia mínima de 1 [m] de cualquier superficie reflectante, por ejemplo el piso o paredes, además, la distancia mínima entre micrófonos deber ser de 1,5 [m] y la distancia entre el micrófono y la fuente no debe ser mayor a 2 [m].

Como primer paso, se ubicó los puntos para realizar las mediciones dentro de la Iglesia. Por lo menos se debe realizar tres mediciones en cada punto.

Figura 3. 4. Gráfica de la ubicación de los puntos de medición dentro de la iglesia.



Elaborado por: El Autor

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en la medición:

Tabla 2. 6. Datos del tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RT_{MID}) medidos.

	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4 [kHz]	RT_{MID}
Punto 1	3.08	3.06	2.95	3.67	3.47	2.13	3.31
Punto 2	3.02	2.12	3.94	3.36	3.56	1.91	3.65
Punto 3	2.90	2.78	3.52	3.41	3.14	2.02	3.46
Punto 4	3.13	2.93	4.36	3.51	4.02	2.33	3.93
Punto 5	2.02	3.72	4.49	3.70	3.57	2.26	4.09
Punto 6	1.83	3.61	4.36	4.17	3.45	2.17	4.26
Punto 7	2.17	3.69	4.55	4.13	3.62	2.29	4.34
Punto 8	1.46	2.72	5.04	3.61	4.13	2.34	4.32
	RT_{MID} Total						3.92

Para verificar los datos obtenidos en las mediciones con los teóricos, a continuación se realiza una tabla comparativa de los tiempos de reverberación.

Tabla 2. 7. Comparación entre el tiempo de reverberación (RT) teórico y medido.

	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4 [kHz]	RT _{MID}
Teorico	3.58	2.74	3.51	4.05	4.04	4.64	3.78
Medido	2.45	3.08	4.15	3.70	3.62	2.18	3.92

En la tabla de RT medido y teórico, se puede observar que los datos obtenidos no son del todo homogéneos, aún sabiendo los materiales con los cuales esta conformado un recinto, teóricamente no se puede afirmar que sus datos van a ser los correctos al momento de calcular el RT60, por lo que, es de gran importancia realizar las debidas mediciones in situ.

2.4. Nivel de Ruido de Fondo

La medición de ruido de fondo se realizó el mismo día de las mediciones de tiempo de reverberación RT, mediante la utilización de una interface Fast Track Pro, una laptop con el software Spectra Plus y un micrófono de medición Audix.

Se recopilaron datos en cada punto medido durante un tiempo aproximado de 15 minutos. Para la obtención de estos datos se efectuó una sumatoria logarítmica de los valores de niveles de ruido obtenidos para cada frecuencia de interés.

Los resultados obtenidos en la medición se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. 8. Datos de los Valores del Nivel de Ruido de Fondo medido.

Frecuencia	63[Hz]	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4[kHz]	8[kHz]
Ruido Ambiente [dB]	42.22	44.71	42.67	33.27	31.01	20.18	15.37	11.59

Como se puede observar, existen niveles muy elevados en bajas frecuencias, esto debido al ruido de transmisión producido por los diferentes tipos de transporte pesado que transitan por el lugar, como son: vehículos, buses y aviones.

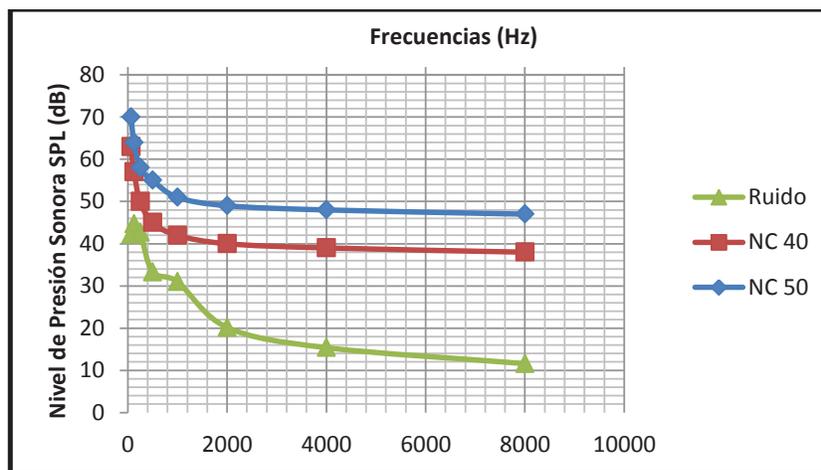
Las frecuencias como por ejemplo en 63 Hz no son de gran alcance para el oído humano, pero en grandes amplitudes son muy fácilmente de percibir y causan un efecto auditivo muy desagradable.

Con los datos obtenidos anteriormente, se realizará una comparación con las curvas NC para ver si se encuentra dentro de los parámetros establecidos para este tipo de recinto.

La curva NC sugerida para una iglesia es la NC 25-35, pero eso tomando en cuenta que es para uso de conferencias y oración, ahora, si bien es cierto, y considerando que este recinto va a ser utilizado para uso múltiple, se tomará en cuenta la curva NC para espacios multifuncional que es la NC 40-50.

La curva NC 40-50 en relación a la NC 25-35, tiene una diferencia oscilante entre ± 10 dB logarítmicos con respecto a su nivel inferior, y es recomendable ya que el nivel de presión sonora en su interior aumentará al momento de activarse los dispositivos electro-acústicos a utilizarse por los grupos musicales.

Figura 3. 5. Curvas NC (40-50) con relación al Ruido de Fondo medido.



Elaborado por: El Autor

Este gráfico muestra que el nivel de ruido de fondo existente en el interior de la iglesia es el adecuado ya que no sobrepasa el límite superior y está por debajo

2.6. Análisis de la situación de recinto

Luego de haber efectuado diversos análisis para visualizar la situación real de la iglesia, se puede empezar a interpretar de manera más clara y precisa los datos adquiridos.

2.6.1. Tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación obtenido en las mediciones, se encuentra por encima aproximadamente en 1.6 segundos de los valores recomendables por Antoni Carrión en su libro “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos” para este tipo de recinto. Esto se debe a que la mayor parte de sus superficies son reflectantes. El techo y piso no poseen ningún tratamiento e incluso el paralelismo entre sus paredes aportan a la aparición de distintos fenómenos acústicos.

Por este motivo, un proyecto de acondicionamiento sería la mejor opción para reducir el T60. Cabe recalcar que, el T60 actual excede al recomendado con casi 1.62 seg., por lo que se debería tomar acciones para su control, las cuales se citarán más adelante.

2.6.2. Análisis del recinto a través de la Acústica Geométrica

Las primeras reflexiones dependen significativamente de la forma geométrica del recinto. Empleando los datos de la iglesia en la fórmula de f_c , se consigue el valor límite inferior correspondiente a 59.98 [Hz].

Esta frecuencia ayudará a marcar un límite inferior a la respuesta del recinto frente a los diversos estímulos causantes de fenómenos acústicos indeseables.

2.6.3. Análisis de los Modos Normales de Vibración

Cuando se considera recintos con geometría irregular, los métodos disponibles son bastante limitados. Por ese propósito, en este trabajo se utilizará un método basado en la teoría de acoplamiento modal, consistente en discretizar la cavidad en una serie de subcavidades más pequeñas, cuya geometría se conoce, y acoplarlas entre sí a través de membranas vibrantes. La

aproximación de la geometría irregular de la cavidad por otras con una solución analítica introduce de forma inevitable errores en los cálculos realizados.

Los primeros veinte modos calculados se encuentran por debajo de los 50 Hz. Estas frecuencias no causan mayor contusión en el oído humano y por lo general pasan desapercibidas.

Por otra parte, tomando en cuando modos superiores se puede observar que en las frecuencias de 70 Hz y 93 Hz, la sala ya empieza a tener problemas en bajas frecuencias. Este dato se lo puede constatar en los datos obtenidos de T60 y es la razón por la cual en la frecuencia correspondiente a 125 Hz existe un nivel muy elevado.

2.6.4. Análisis de la Implementación Electro-acústica

La Iglesia no cuenta con elementos electro-acústicos de buena calidad, pero algunos de ellos como los micrófonos, se los tomará en cuenta para su utilización.

Aunque posee numerosos altavoces distribuidos de manera aleatoria en toda la sala, la respuesta que se obtiene es muy pobre debido al excesivo campo reverberante, además hay que tomar en cuenta que los altavoces ubicados en la iglesia no mantienen la misma relación de impedancias y su conexión se encuentra en serie, por lo que no se comportan óptimamente.

De igual manera, existe un espacio dedicado al grupo de alabanza, pero la iglesia no cuenta con la implementación necesaria para que los instrumentos puedan amplificarse correctamente. Por este motivo, se propone un sistema nuevo de amplificación.

2.6.5. Datos Referenciales para el Análisis de Datos

Tabla 2. 10. Tabla de Porcentajes Comparativos entre %ALCONS y STI/RASTI

% ALCONS	STI / RASTI	VALORACIÓN SUBJETIVA
1,4% - 0%	0,88 – 1	Excelente
4,8% - 1,6%	0,66 – 0,86	Buena
11,4% - 5,3%	0,50 – 0,64	Aceptable
24,2% - 12%	0,36 – 0,49	Pobre
46,5% - 27%	0,24 – 0,34	Mala

Fuente: CARRIÓN, Antoni, “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”.

Elaborado por: El Autor

Para el caso del parámetro C50, es recomendable que el valor supere los 0 dB, y para el parámetro C80 que sea mayor de + 2 dB y menor a 8 dB.

2.6.6. Simulación de la Situación Actual de la Iglesia

2.6.6.1. Simulación Acústica

La simulación del recinto se la realizó en el software EASE, que es un sistema de adecuación arquitectónica, capaz de simular el comportamiento acústico de un recinto antes de su construcción. Ingresando los datos proporcionados en el levantamiento arquitectónico de la iglesia, se empezó a simular obteniendo los siguientes resultados.

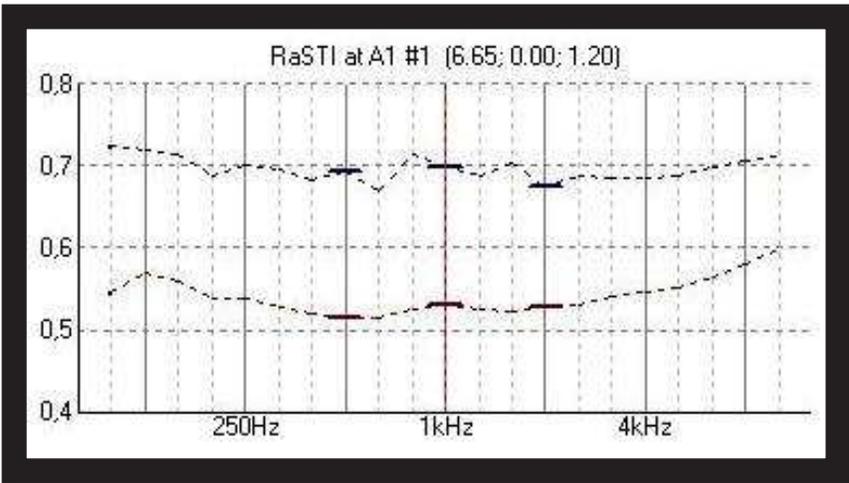
Figura 3. 6. Simulación en EASE, % ALCons



Elaborado por: El Autor

El %ALCons obtenido en la simulación se encuentra alrededor de un 15%, lo cual, acorde a las tablas referenciales para recintos, se encuentra en una calificación “Pobre”.

Figura 3. 7. Simulación en EASE, STI/RASTI



Elaborado por: El Autor

El parámetro RASTI, tomando en cuenta que, 0 completamente ininteligible y 1 inteligibilidad optima, se encuentra oscilando alrededor de 0,56, que es un porcentaje “Aceptable”.

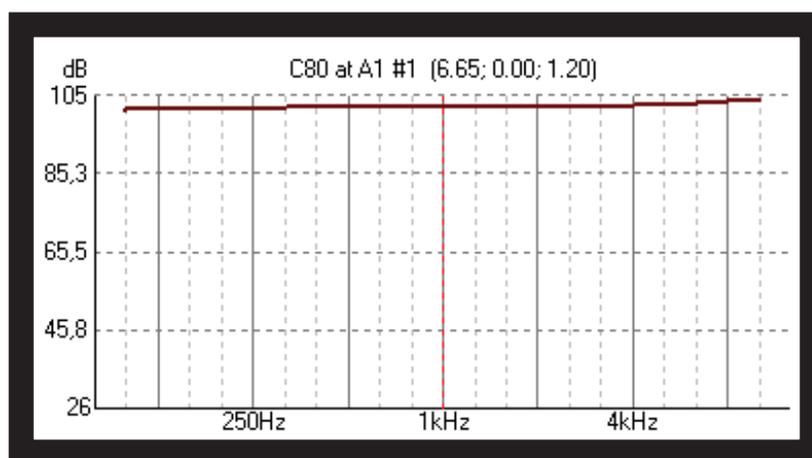
Figura 3. 8. Simulación en EASE, C50



Elaborado por: El Autor

Este parámetro para definir la claridad de la voz, nos indica que el recinto posee una aceptable claridad de la voz. Este parámetro se calcula como complemento al %ALCons en salas que disponen de refuerzo electro-acústico.

Figura 3. 9. Simulación en EASE, C80



Elaborado por: El Autor

Para este parámetro se recomienda que el nivel C₈₀ no supere los 8 dB para una correcta claridad musical, lo cual no se ve reflejado en esta gráfica ya que los valores exceden en gran amplitud.

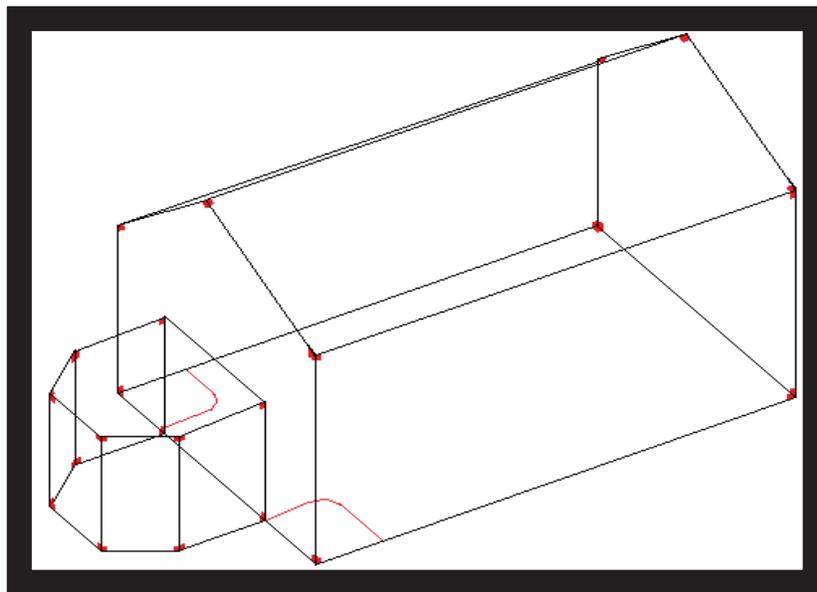
Los parámetros C50, C80, %ALCons y RASTI son tomados especialmente para estudiar salas enfocadas para conferencias, auditorios, teatros o salas de conciertos, por esta razón, es importante cumplir con los parámetros sugeridos y mediante un correcto acondicionamiento mejorar ciertos parámetros que todavía no cumplen con lo estipulado.

2.6.6.2. Simulación Electro-acústica

Ya que la simulación acústica entregó datos notables sobre el comportamiento del recinto ante la excitación de una fuente sonora, también es de importante valor, conocer cuál es el comportamiento electro-acústico que brinda el sistema instalado actualmente.

Para esta simulación se usará el Software de Diseño para formaciones arrays y Simulación "NS-1", el cual se encarga de simular el comportamiento de un altavoz o altavoces, dentro de un recinto, entregándonos datos y parámetros técnicos (NPS, angulaciones, ubicaciones, etc.) del lugar.

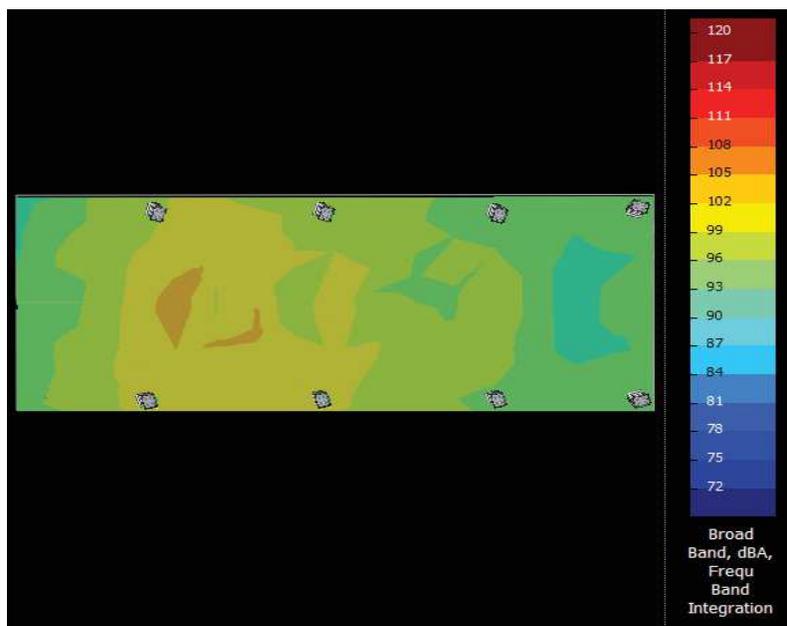
Figura 3. 10. Vista en crudo de la iglesia



Elaborado por: El Autor

Para la gráfica que se obtuvo en la simulación, se tomó en cuenta 8 altavoces, ya que es el caso actual de la iglesia. Los primeros altavoces son de mayor potencia que los altavoces ubicados desde el medio hasta la parte trasera.

Figura 3. 11. Simulación de Nivel de Presión Sonora Existente en La Iglesia con los altavoces Actuales



Elaborado por: El Autor

La gráfica obtenida en la simulación, nos muestra que el NPS de la sala no es del todo constante, y es la causa por la cual en la parte trasera no se puede tener una buena recepción del sonido. Una de las causas más notables es que, los altavoces no poseen la misma impedancia por lo que al momento de distribuir la potencia del amplificador, los altavoces no reciben la impedancia correspondiente generándose un mal acoplamiento electro-acústico.

Este problema se lo podría corregir mediante un estudio de los implementos, la reubicación de los altavoces, una correcta conexión entre dispositivos y sobre todo mediante una evaluación correcta del recinto.

3. Capítulo III

3.1. Propuesta de Diseño

Como el presente proyecto, tiene la finalidad de corregir los problemas acústicos (acondicionamiento e implementación electro-acústico), se han tomado las siguientes consideraciones:

3.1.1. Objetivos Acústicos

Al momento de acondicionar un recinto, se debe llevar un equilibrio estético-económico, en todo lo que se vaya a implementar, basado en esto, se han planteado los siguientes objetivos acústicos para la Iglesia de la Concepción:

- La Iglesia debe brindar un acondicionamiento acústico y electro-acústico adecuado para la realización de misas y/o eventos musicales.
- Los valores referenciales del tiempo de reverberación medio (RT_{MID}) que debe presentar una iglesia, se encuentran entre 2,0 a 3,0 segundos. Y para el caso de recinto destinado a presentaciones de cualquier índole musical, se encuentra hasta 2.3 segundos. Por lo que la misma debería proporcionar un valor de tiempo de reverberación de 1,62 s. menos o un 40% menor que el valor actual medido.
- La inteligibilidad de la palabra en todos los puntos de la iglesia ocupada debe ser, como mínimo, “buena”. Por lo que se deberá verificar que:

$$\%ALCons \leq 4,8\%$$

$$STI/RASTI \geq 0.7$$

$$C50 > 0 \text{ dB}$$

$$8 \text{ dB} > C80 > 2 \text{ dB}$$

Para cumplir con los objetivos acústicos propuestos anteriormente, se tomará muy en cuenta tres aspectos fundamentales:

- Aspectos relacionados con la geometría del recinto.
- Aspectos relacionados al tiempo de reverberación.
- Aspectos relacionados con la implementación electro-acústica.

3.1.2. Aspectos Relacionados con la Geometría del Recinto.

3.1.2.1. Eco Flotante debido a la Geometría del Recinto

Habitualmente este tipo de recinto presenta problemas de eco flotante a causa del paralelismo que existe entre sus paredes laterales. Para evitar este efecto, por lo general, se implementa absorbentes, resonadores, difusores o también es recomendable inclinar una de las paredes.

Este fenómeno acústico, en el proyecto se solucionará mediante la implementación en paredes laterales de un material que cumple con la función de absorber la energía sonora incidente. Este material se denomina “Texturado Class1”, y son placas fonoabsorbentes de origen argentino, perteneciente a la empresa FONAC.

Figura 4. 1. Material FONAC Texturado Class 1



Fuente: FONAC

Elaborado por: El Autor

Para las paredes posterior y frontal, el nivel de energía sonora reflejado, tomando en cuenta que la distancia entre ellas es considerablemente grande,

disminuirá evitando ecos u otros problemas acústicos, por lo que no es necesario aplicar ningún tratamiento.

3.1.2.2. Tiempo de Reverberación

Para conseguir una buena acústica en la Iglesia de la Concepción, es indispensable que esta se someta a un tratamiento acústico (tanto en techo, piso y paredes), ya que los valores obtenidos para el tiempo de reverberación se encuentran por encima de lo establecido referencialmente.

3.1.2.2.1. Tratamiento en Techo.

Para el techo de la iglesia se implementará un material denominado “Class 1” de la empresa FONAC, el cual está fabricado en espuma flexible Class 1 con terminación de cuñas anecoicas de diseño exclusivo, especialmente preparadas para obtener la máxima prestación acústica en frecuencias medias y altas del sonido.

Figura 4. 2. Material FONAC Class 1



Fuente: FONAC

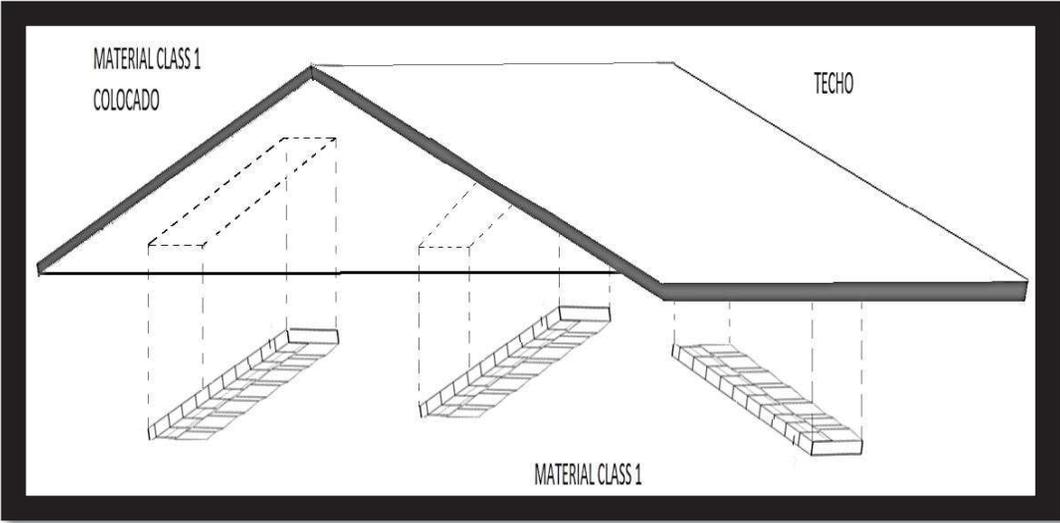
Elaborado por: El Autor

Este tipo de material viene en láminas de 35 y 50 [mm]. Para este proyecto se utilizará la lámina de 35 [mm], aunque no posee la misma absorción que la otra, brinda un coeficiente de absorción aceptable en medias y altas

frecuencias. Está diseñado exclusivamente para lugares de alta concentración de personas y es reconocida internacionalmente por su elevado nivel de seguridad, con excelente comportamiento frente al fuego.

Pueden ser pintadas y cortadas fácilmente. No desprenden partículas nocivas, no toman olor, no se degradan y no se oxidan. Se adhieren fácilmente mediante la utilización de contacto FONAC.

Figura 4. 3. Vista colocación del material en Techo



Elaborado por: El Autor

En la siguiente tabla se muestra el coeficiente de absorción estimado del material conforme al fabricante.

Tabla 3. 1. Coeficiente de absorción sonora estimada del material en el Techo.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4[kHz]
FONAC Class1	0.05	0.14	0.42	0.64	0.81	0.79

La implementación de este material, con relación al existente, ofrece mayor absorción en medias y altas frecuencias. No es recomendable recubrir toda la superficie, por lo que se va a tomar sólo un 20% de la superficie total, esto con la finalidad de conservar la estética y la ubicación de un porcentaje menor en el techo.

3.1.2.2.2. Tratamiento en Paredes Laterales

En las paredes laterales, como se había expuesto anteriormente, se colocará el material "Texturado Class1". Estas son placas fonoabsorbentes de 25 [mm], hechas en espuma flexible con terminación de micro cuñas que ofrecen eficiente absorción sonora con una estética agradable. Las micro cuñas facilitan la penetración del sonido en el material al no ofrecer un ángulo perpendicular a la incidencia del sonido, aumentando así la absorción. Normalmente son utilizados para revestimiento interno.

Figura 4. 4. Material FONAC Texturado Class 1



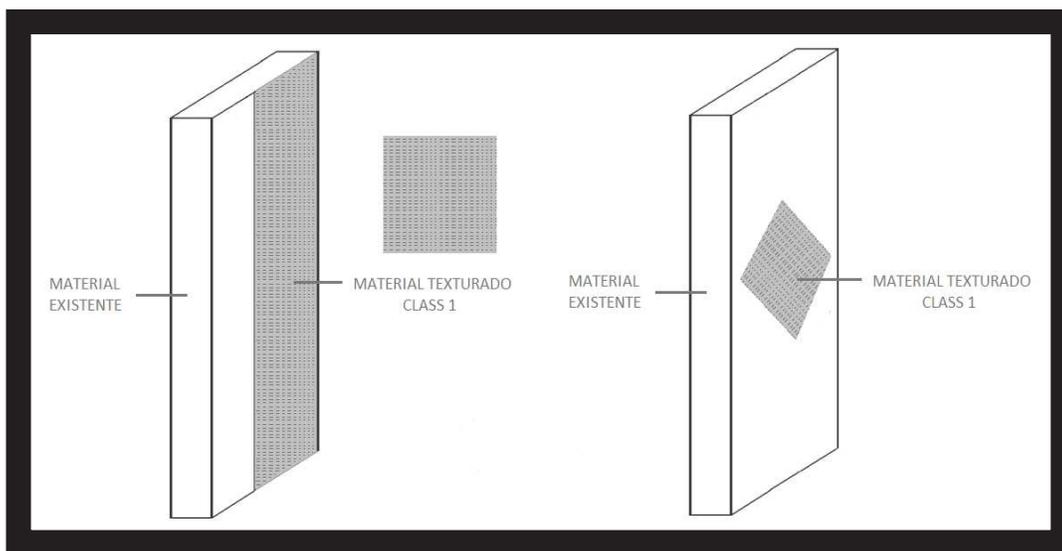
Fuente: FONAC

Elaborado por: El Autor

Se fijan fácilmente con adhesivo de contacto FONAC. No toman olor, no desprenden partículas nocivas, y pueden ser pintadas si así lo quisieran

Este tipo de acondicionamiento podría servir de igual manera para la pared lateral izquierda, y así mantener una estética semejante en su interior.

Figura 4. 5. Vista instalación del material en pared lateral.



Elaborado por: El Autor

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

Tabla 3. 2. Coeficiente de absorción sonora estimada del material en la pared.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4[kHz]
Texturado Class1	0.08	0.14	0.32	0.52	0.80	0.97

De igual manera, se implementará este material en un 15% de la superficie total de sus paredes laterales. Los datos obtenidos con esta implementación se los proporcionará más adelante.

3.1.2.2.3. Tratamiento en Pared Posterior

La pared posterior cuenta con una superficie de 83.72 [m²]. La distancia existente entre esta pared y la frontal, es sumamente grande, pero al momento de instalar la parte electro acústica, a tratar más adelante, puede que los niveles de presión sonora muy elevados, den apertura a molestias de gran nivel. Por este motivo, se va a instalar un material absorbente denominado “Professional”. Está fabricado con espuma de poliuretano poliéster con

terminación de cuñas anecoicas de diseño exclusivo, es ideal al momento de combinar vida útil con desempeño acústico, por lo que es recomendable para los más diversos usos. Al instalarlos se logra disminuir los niveles de ruido interno creando lugares más íntimos y relajados.

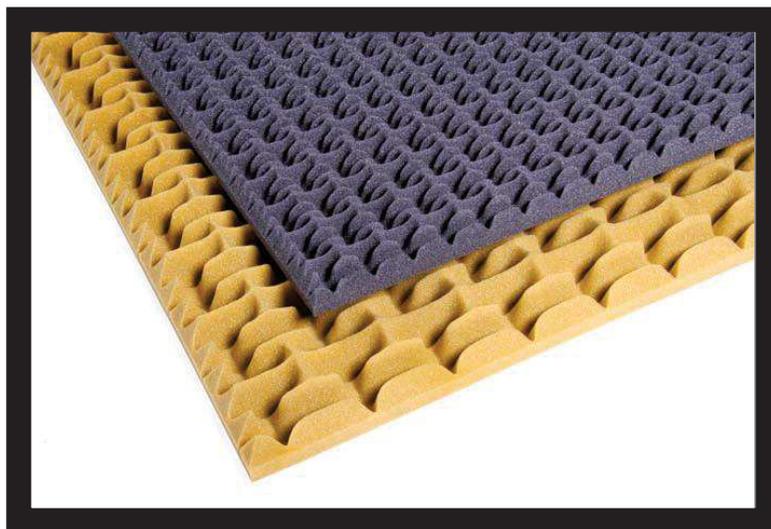
Como su forma de instalación es semejante a la establecida en el apartado anterior, continuaremos con la tabla del coeficiente de absorción del material, con un espesor de 75 [mm], según el fabricante:

Tabla 3. 3. Coeficiente de absorción sonora estimada del material en la pared.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4[kHz]
Professional	0.18	0.60	0.88	0.93	0.76	0.70

Para esta superficie, se implementará un 50% del material fonoabsorbente, su finalidad, proporcionar una absorción mayor en la parte posterior y no dar cabida a molestias acústicas al momento de la implementación electroacústica.

Figura 4. 6. Material FONAC Professional Fonoabsorbente



Fuente: FONAC

Elaborado por: El Autor

3.1.2.2.4. Tratamiento en Puertas de Barra de Hierro

En vista de que esta puerta conduce a la nave 2, su coeficiente de absorción acorde a una puerta o ventana abierta es la unidad (1), guiándonos en esto, obtendremos un nuevo valor de absorción compuesta por la misma.

Tabla 3. 4. Coeficiente de absorción sonora estimada de la puerta abierta.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4[kHz]
Coeficiente de Absorción [m ² Sabine]	1	1	1	1	1	1

Si bien es cierto, al tomar este dato como real, se va a subestimar lo que en verdad sucede en esta nave y cómo su reverberación puede afectar al resto del recinto. Por lo que, tomando en cuenta el hierro de las barras que conformaba la puerta y el área que se encontraba abierta, no se obtuvo casi ninguna diferencia ya que el coeficiente de absorción del hierro es casi nulo.

3.1.2.3. Resultados del Tiempo de Reverberación con los materiales propuestos.

Luego de realizar los cálculos teóricos para solucionar el tiempo de reverberación elevado, y distribuyendo de manera homogénea cada uno de los materiales implementados en el recinto, se obtuvo una nueva tabla de la absorción acorde a los materiales de recubrimiento acústico

Tabla 3. 5. Tabla de coeficientes de absorción por bandas de octava acorde al material de revestimiento propuesto.

SUPERFICIE	MATERIAL	S (m ²)	Absorción [Sabines]					
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Paredes laterales	Hormigón pintado	335.58	3.36	3.36	3.36	6.71	6.71	6.71
	Material Texturado de 25 mm, 15% cubierto	59.22	4.74	8.29	18.95	30.79	47.38	57.44
Pared Posterior	Hormigón pintado	41.86	0.42	0.42	0.42	0.84	0.84	0.84
	Material Profesional de 75 mm, 50% cubierto	41.86	7.53	25.12	36.84	38.93	31.81	29.3
Pared Nave	Revestimiento de Madera	165.48	16.55	18.2	16.55	13.24	13.24	18.2
Techo Capilla	Madera de 0.3 cm, con 5 cm de cámara de aire	368.97	92.24	125.45	66.41	36.9	36.9	22.14
	Material Class 1 de 35 mm, 20% Cubierto	92.24	4.61	12.91	38.74	59.03	74.71	72.87
Techo Nave	Revestimiento de Madera	78.18	7.82	8.6	7.82	6.25	6.25	8.6
Puertas	Madera	9.61	1.44	0.96	0.57	0.77	0.96	0.48
Puertas ingreso	Madera	30.24	4.53	3.02	1.81	2.42	3.02	1.51
Ventanales	Vidrio grueso grandes paños	45.82	8.24	2.75	1.83	1.37	0.91	0.91
Puertas de Barra de Hierro	Puerta abierta	33.81	33.81	33.81	33.81	33.81	33.81	33.81
Piso Capilla	Mármol	206.38	2.06	2.06	2.06	4.12	4.12	2.06
Piso Nave	Mármol	78.18	0.78	0.78	0.78	1.56	1.56	0.78
Público	Persona en asiento de madera	231.98	34.79	58	81.2	88.15	88.15	81.2
Aire							0.30	0.74

Tabla 3. 6. Tabla de Absorción Total por bandas de octava.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4[kHz]
Absorción Total [m ² Sabine]	222.92	303.73	311.15	324.89	350.67	337.59

Tabla 3. 7. Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid).

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]	RTmid
RT60 [s]	3.16	2.32	2.26	2.17	2.01	2.08	2.21

Como se puede observar, los resultados de Tiempo de Reverberación con las soluciones y los materiales propuestos, se encuentra dentro del margen referencial para uso de conciertos.

El T60 obtenido en 125 (Hz) aunque es muy elevado, es un valor obtenido teóricamente, por lo que a continuación mediante el estudio y la simulación de los sistemas propuestos, se demostrará que esta frecuencia no genera molestias al momento de realizar la implementación.

3.1.3. Aspectos Relacionados con la Implementación Electro-acústica.

3.1.3.1. Implementación Electro-Acústica

Existen varios dispositivos electrónicos de tipo analógico y digital, pero los más utilizados actualmente, son los sistemas digitales, esto debido a su versatilidad, tanto en manejo como en traslado. Un sistema analógico básico para sonido en vivo, contiene como mínimo los siguientes implementos:

Tabla 3. 8. Implementos Básicos de un Sistema de Refuerzo Sonoro Analógico.

CANT.	DETALLE
1	Consola Analógica
1	Ecualizador
1	Procesador de Señales
1	Compresor
1	Puerta de ruido
1	Procesador de Efectos
1	Amplificador de potencia
1	Altavoces
1	Micrófonos

En la tabla anterior se muestran sólo los implementos básicos de un sistema de sonido en vivo, pero en la realidad, no se cuenta sólo con uno de cada tipo, por

lo general dependiendo de la magnitud del sistema de amplificación, los dispositivos electrónicos aumentan considerablemente.

Por esta razón, muchas personas dedicadas al sonido en vivo, han cambiado de lo analógico a lo digital. En gustos y estética, es muy variable la obtención de resultados propuestos, ya que, la sonoridad no es la misma al pasar una señal por un sistema analógico que por uno digital.

Un sistema digital, por otra parte, constaría con la siguiente implementación básica:

Tabla 3. 9. Implementos Básicos de un Sistema de Refuerzo Sonoro Digital.

CANT.	DETALLE
1	Consola Digital
1	Amplificador de Potencia
1	Altavoces
1	Micrófonos

Si se compara el sistema digital con el analógico, el sistema digital es más conciso, cuenta con los implementos necesarios para trabajar a nivel profesional y evita el traslado de varios dispositivos a la vez. Por este motivo, este proyecto va a sugerir un sistema digital para su reacondicionamiento electro-acústico.

3.1.3.1.1. Implementos a utilizar en el Acondicionamiento Electro-Acústico

Acorde a lo mencionado en el apartado anterior, vamos a implementar el siguiente sistema de amplificación:

Tabla 3. 10. Tabla de Implementación Electro-acústica

CANT.	DESCRIPCIÓN
1	Consola Yamaha Digital, modelo LS9 de 32 canales
1	Amplificador de Potencia Nexo, modelo NXAMP 4x4 de 4x4000W
12	Altavoces Nexo, modelo GEOS 12
4	Sub bajos Nexo, modelo LS600-1
3	Monitores Activos Yorville, modelo NX55P
3	Micrófonos Shure, modelo SM58
1	Kit de Batería Shure, modelo PGDMK6
3	Micrófonos Shure, modelo SM57
1	Micrófono Shure, modelo KSM 141/SL
5	Cajas Directas Whirlwind Imp 2
1	Amplificador de Guitarra Fender, modelo Frontman 25r
1	Amplificador de Bajo Ibanez, modelo SW35
1	Multipar 32 canales 30(m) Proel
2	Bumper Nexo, modelo GST
16	Cable Plan-PW-MS25
20	Cable GLS Audio Mic XLR, 7.62 m
5	Cable Hosa CSS 10 TRS, 3.1 m

Todos los equipos son muy cotizados a nivel profesional y poseen características de excelente calidad.

Los equipos pueden ser montados y desmontados fácilmente por lo que facilita su traslado de un lugar a otro de manera versátil, incrementando su uso a nivel local. Dispositivos electrónicos como, ecualizadores, aportan al mejoramiento de la inteligibilidad de la palabra, esto debido a que su uso en recintos, ayudan en la obtención de respuestas frecuenciales más planas y por ende con mejores resultados en todas las bandas de frecuencia.

3.1.3.1.2. Incrustación de estructura metálica para colocación de Altavoces

Por el hecho de no constar con una superficie maciza en el techo para que se puedan sujetar los altavoces, se ha sugerido realizar un puente metálico capaz de soportar el peso producido por los altavoces en el aire.

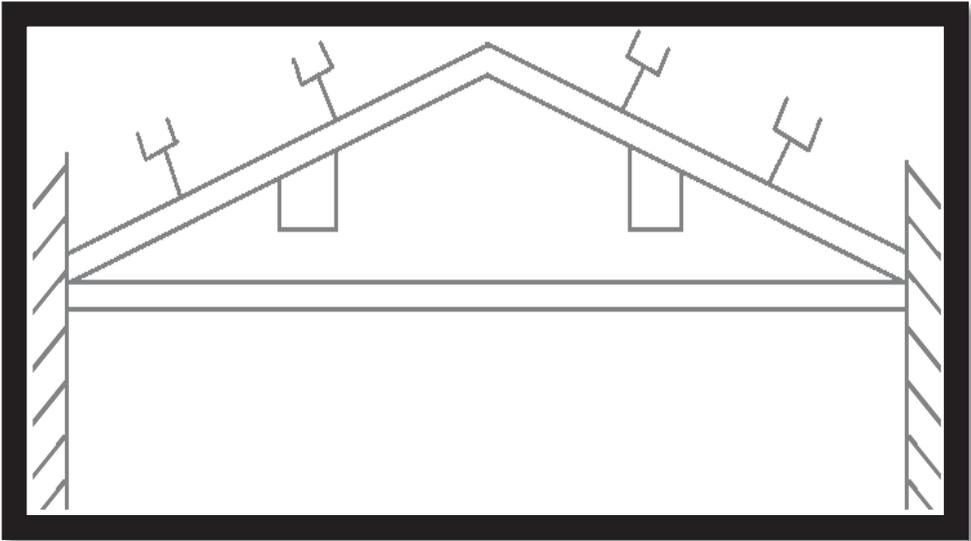
La única superficie firme que existe en el techo es la estructura metálica que se encuentra instalada por encima de los paneles de madera, pero no son lo suficientemente gruesos como para resistir magnitudes de esta índole.

Luego de una revisión técnica, realizada por un ingeniero mecánico, la solución que nos propuso fue la siguiente:

Tabla 3. 11. Características estructura metálica.

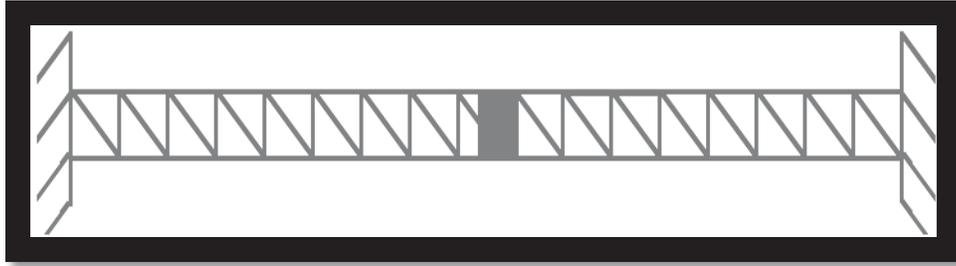
Características
Estructura Metálica con Tubo cuadrado de acero de 50x50x3 mm. Con ángulo de 38x3 mm. Plancha de acero de 6 mm. con pintura Electrostática

Figura 4. 7. Vista frontal de la estructura instalada.



Elaborado por: El Autor

Figura 4. 8. Vista superior de la estructura instalada.



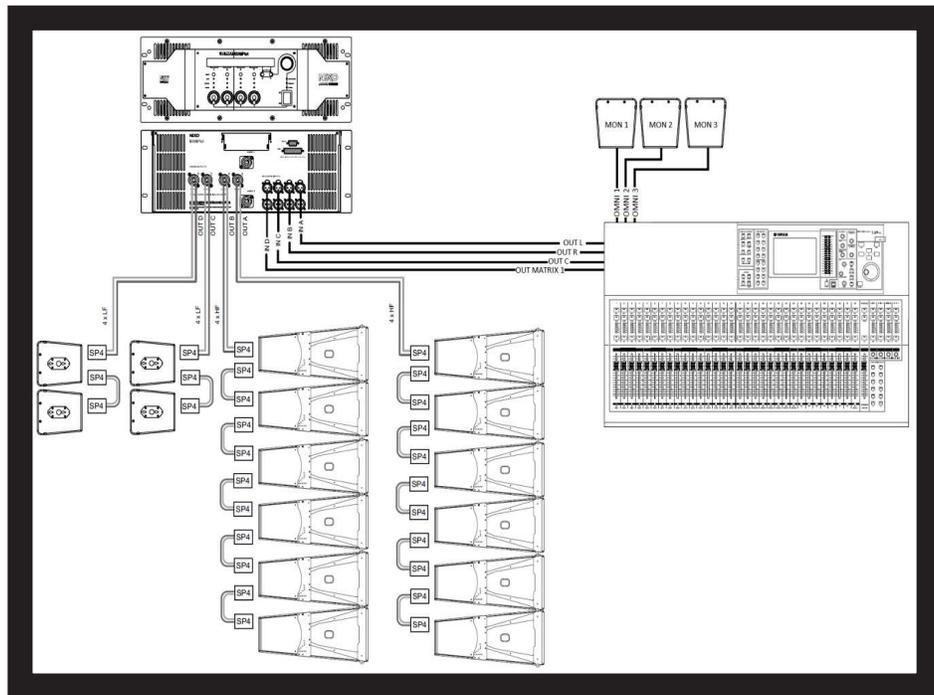
Elaborado por: El Autor

La parte superior se encuentra colocada mediante vinchas metálicas, sujetas a la estructura ya existente, y en las paredes laterales de hormigón, se reforzará con incrustaciones de acero.

3.1.3.1.3. Conexión del sistema de Amplificación

A continuación se presenta un sistema de conexiones para el sistema de amplificación:

Figura 4. 9. Configuración de Conexiones del Sistema de Amplificación.



Elaborado por: El Autor

El amplificador de potencia, trabaja como un sistema procesador de señales, pero con la diferencia que no hay manera de variar la frecuencia de corte. El corte esta prefijado por el sistema mismo y solo permite escoger la distribución por canales.

Los monitores son activos por lo que no necesitan el uso de un amplificador de potencia.

Hay que tomar muy en cuenta sus impedancias y tensiones, para realizar conexiones de este tipo.

3.1.3.1.4. Listado de canales a utilizar en la consola LS9

Esta tabla presenta los canales a utilizarse en la consola, mediante los implementos considerados en la tabla de implementos electro-acústicos.

Tabla 3. 12. Tabla de Distribución de Canales en la Consola

N° Ch	Instrumento	Micrófono/Line	FX o Procesador	Observaciones
1	Bombo	Kit Bombo	Compresor	
2	Caja Up	Kit Caja	Compresor	
3	Caja Down	SM 57		
4	Hit-hat	KSM 141		
5	Tom1	Kit Tom	Gate	
6	Tom2	Kit Tom	Gate	
7	Over L	Kit Over		
8	Over R	Kit Over		
9	Guitarra 1	Line		Caja Directa
10	Guitarra 2	Line		Caja Directa
11	Bajo	Line		Caja Directa
12	Sintetizados L	Line		Caja Directa
13	Sintetizador R	Line		Caja Directa
14	Timbal	SM 57		
15	Conga	SM 57		
16	Voz 1	SM 58	Reverb / Delay	
17	Voz 2	SM 58	Reverb/ Delay	
18	Voz 3	SM 58	Reverb / Delay	

La distribución de canales tiene como objetivo mantener un orden entre elementos, esto quiere decir, percusiones, cuerdas, sintetizadores, voces, con la finalidad de mantener una respuesta versátil mediante la presencia de supuestos accidentes frecuenciales al momento de realizar un concierto.

Este esquema no es el único posible de estructurar, pero es ordenado y recomendable para tener mayor control al momento de realizar una completa utilización de los implementos electro-acústicos.

4. Capítulo IV

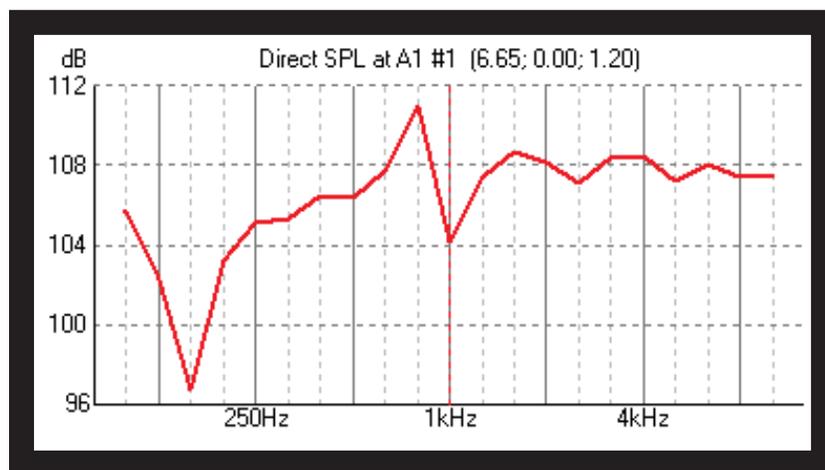
4.1. Simulación de los materiales y sistemas de refuerzo sonoro propuesto para la Iglesia de la Inmaculada Concepción.

Con la finalidad de comprobar la fidelidad de los materiales e implementos propuestos en este proyecto de tesis, es importante comprobar mediante la utilización de un software, cómo va a ser el comportamiento de la Iglesia al momento de implementar lo propuesto en el Capítulo III.

4.1.1. Simulación Acústica de la Iglesia con los materiales propuestos para su recubrimiento mediante el software EASE.

La simulación del recinto se la realizó en el software EASE, y los resultados que se obtuvo son los siguientes:

Figura 5. 1. Simulación en EASE, SPL Directo.

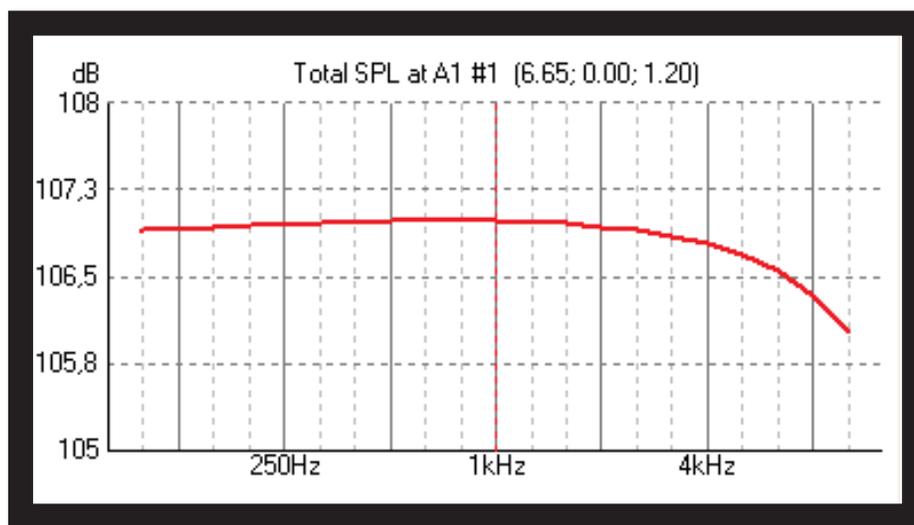


Elaborado por: El Autor

El parámetro SPL o NPS, no se lo tomó en consideración anteriormente, ya que el sistema instalado en la sala no generaba niveles de presión sonora muy

elevados, pero para la nueva recopilación de datos, este análisis es necesario, ya que nos permite visualizar mediante la utilización de un sistema similar al propuesto, resultados más cercanos a la realidad; y, como la sala se va a comportar al momento de implementar el sistema electro-acústico. Además nos permite observar que en la frecuencia de 125 (Hz), la cual tenía un nivel de T60 elevado, posee un decaimiento abrupto, esto quiere decir que la sala no presenta problemas en la frecuencia antes mencionada.

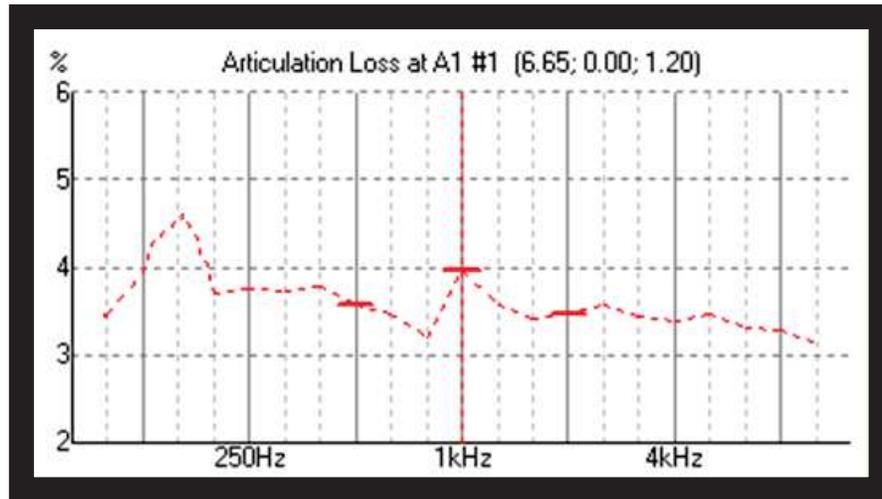
Figura 5. 2. Simulación en EASE, SPL Total.



Elaborado por: El Autor

El NPS total, nos muestra que la respuesta de la sala es casi plana, pero posee un decaimiento muy pronunciado a partir de los 4 kHz y mantiene su nivel alrededor de los 107 dB, este dato de igual manera se lo podrá comparar con el NPS que se obtendrá al momento de realizar la simulación del sistema de refuerzo sonoro.

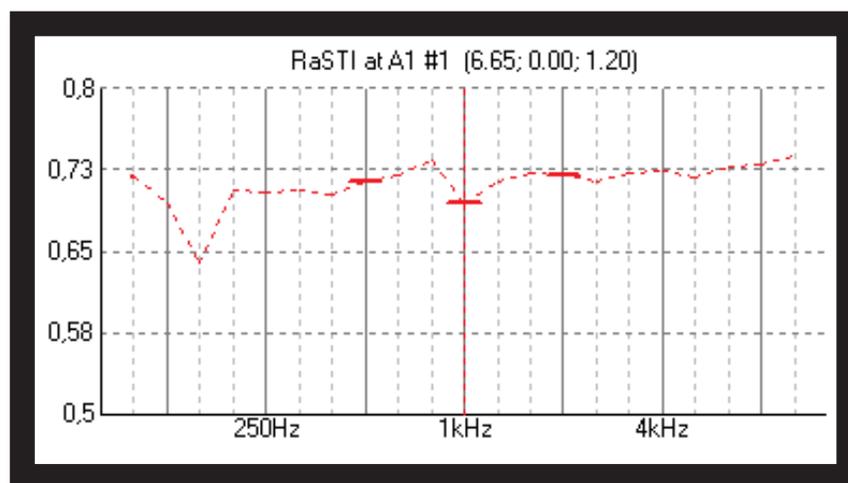
Figura 5. 3. Simulación en EASE, % ALCons.



Elaborado por: El Autor

El % ALCons se encuentra oscilando entre 3 y 4%, que acorde a la tabla de valores referenciales se encuentra en una calificación “BUENA”, aunque existe un pico en los 125 Hz, el software no lo toma como importante y marca su punto máximo en 4% y su punto mínimo en 3.5%. Este valor nos muestra que el acondicionamiento acústico está aportando al mejoramiento de la inteligibilidad de la palabra.

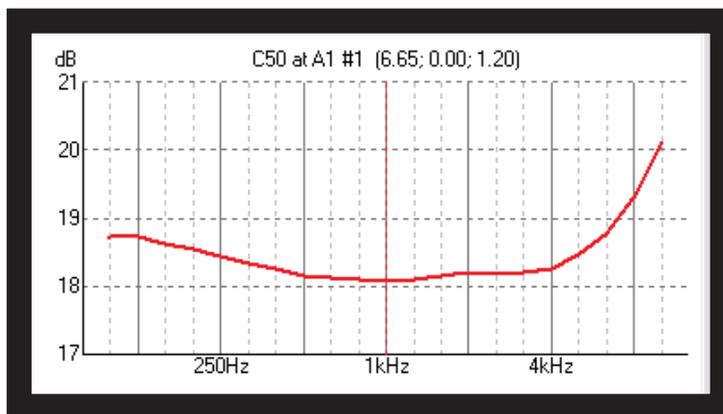
Figura 5. 4. Simulación en EASE, STI/RASTI



Elaborado por: El Autor

El parámetro RASTI, se encuentra entre 0,73 y 0,65, en este parámetro existe un decaimiento alrededor de los 200 Hz, pero el software no lo toma como dato importante, por lo que, marca su punto máximo en 0.73 y su punto mínimo en 0.68 aproximadamente, para este caso el valor obtenido en la simulación se encuentra en calificación “BUENA”.

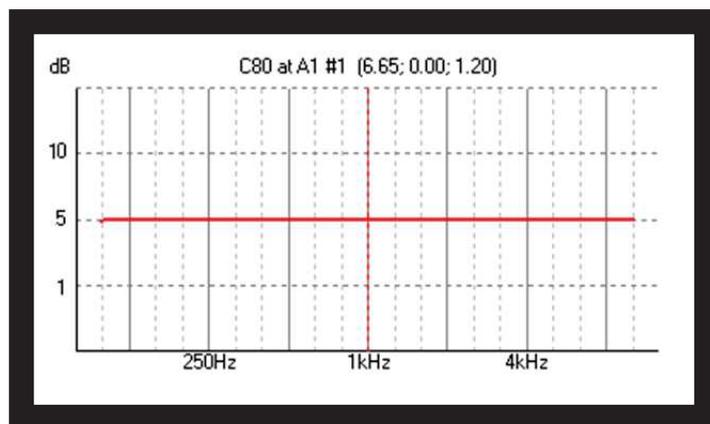
Figura 5. 5. Simulación en EASE, C50



Elaborado por: El Autor

El parámetro C_{50} obtenido en la simulación se encuentra por encima de los 0 dB. Un valor de C_{50} mayor a 2 (dB) es el recomendado para una buena claridad del discurso. Por lo cual se puede asegurar que la sala va a tener una buena claridad tonal.

Figura 5. 6. Simulación en EASE, C80



Elaborado por: El Autor

Para este parámetro como se había expuesto anteriormente, se recomienda que el nivel no sea inferior a los 2 dB y no supere los 8 dB para una correcta claridad musical. El dato que nos entrega la simulación para el parámetro C_{80} se encuentra en los 5 dB, que es un valor acorde al margen correspondiente a lo “CORRECTO” técnicamente.

En relación a los parámetros calculados, se puede divisar claramente que los valores obtenidos en la simulación acústica mediante el software EASE, se encuentran en una calificación “BUENA” que es recomendable para un adecuado acondicionamiento acústico.

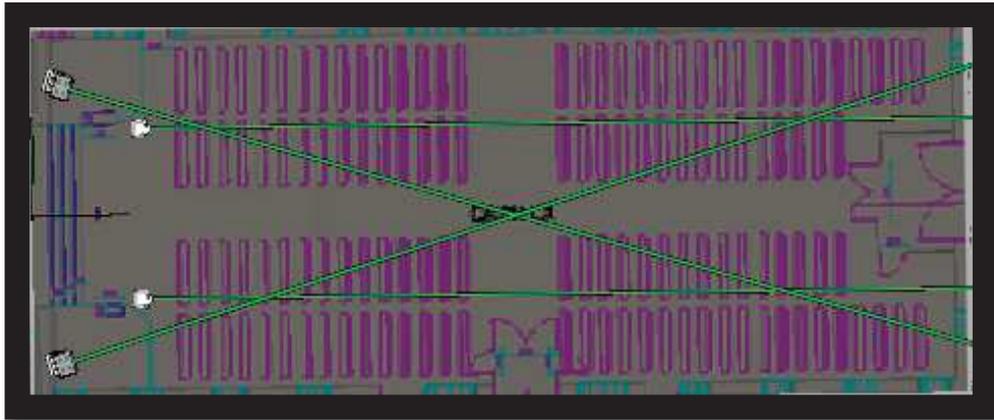
4.1.2. Simulación Electro-acústica del sistema de refuerzo sonoro mediante el Software NS-1.

Como los altavoces se van a ubicar en la zona de la capilla, vamos a analizar el comportamiento de los altavoces específicamente en esa zona.

Se tomarán 6 altavoces, acompañados con 2 sub bajos desfasados uno con respecto del otro (efecto cardioide). Lo propuesto anteriormente con respecto a los altavoces, está destinado para cada lado de la iglesia, esto quiere decir que, vamos a tener un total de 12 altavoces y 4 sub bajos ubicados linealmente en la iglesia.

El sistema de altavoces es un sistema array tangencial, muy preciso a la hora de radiar energía sonora, por lo cual, su ubicación es muy importante.

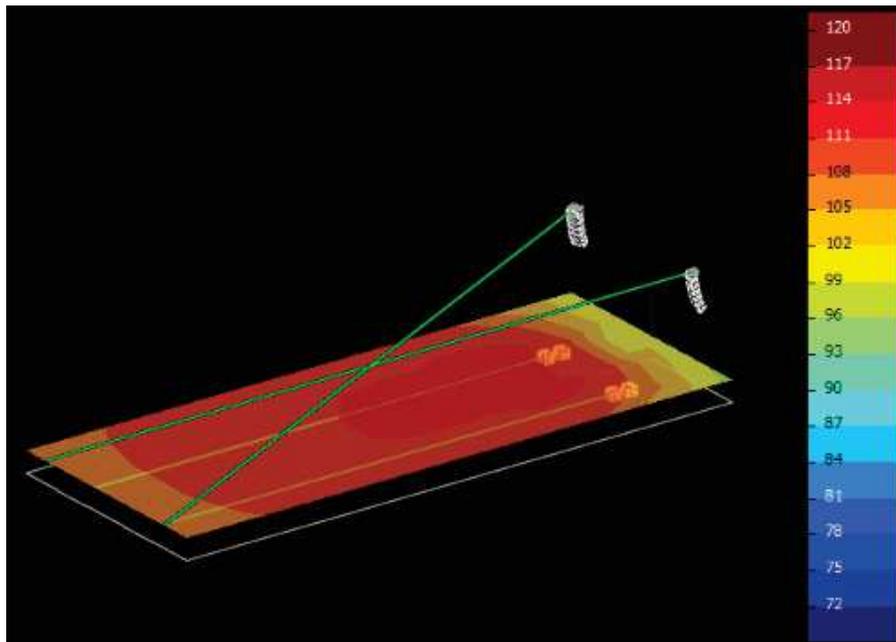
Figura 5. 7. Vista superior de la capilla y los altavoces.



Elaborado por: El Autor

En la figura se puede visualizar la ubicación de los altavoces con un cierto ángulo de inclinación tanto horizontal como verticalmente. Su finalidad, sabiendo que este tipo de altavoces son muy direccionales, es radiar de manera uniforme en todo el recinto.

Figura 5. 8. Simulación en NS-1 de la radiación sonora de los altavoces en la superficie de la Iglesia.



Elaborado por: El Autor

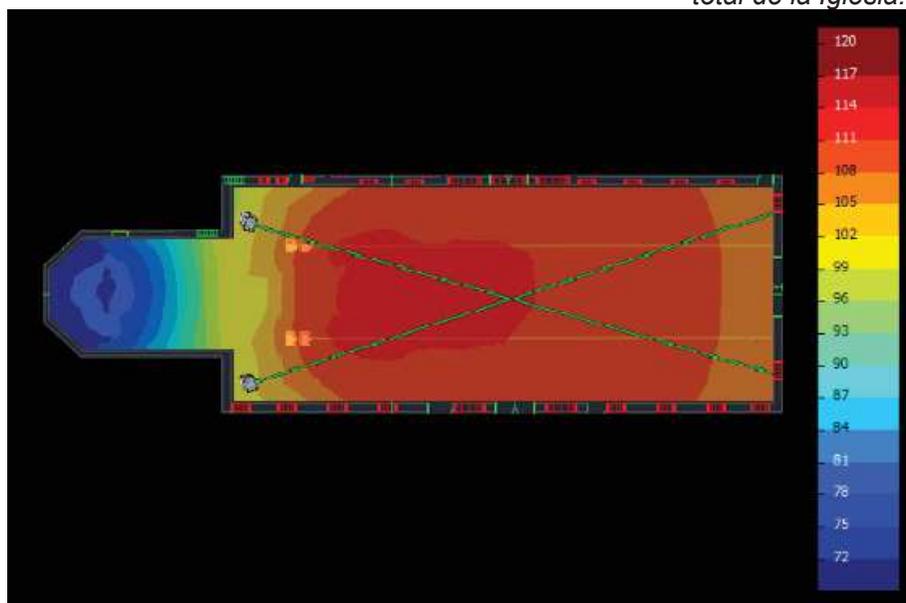
Los niveles de presión sonora en el espacio de estudio, se encuentran entre 96 [dB] a 114 [dB]. Si se observa detenidamente, en la parte trasera de los altavoces el decrecimiento es más notorio, esto se debe a la ubicación de los altavoces y a su efecto cardioide, lo cual, ayuda en gran parte a la disminución y formación de diversos fenómenos acústicos en la zona del altar.

En vista de que la iglesia tiene como meta ser utilizada como recinto para conciertos y presentaciones, este nivel de presión sonora es muy aceptable para la realización de eventos en vivo, y no se aleja de lo estipulado en la simulación acústica mediante el software EASE, que se encontraba alrededor de los 107 dB.

Los altavoces a utilizar son de la marca NEXO, modelo GEO S12-1, y para obtener la radiación sonora establecida, esta debe cumplir con ciertos requerimientos.

Inicialmente, la altura de ubicación con respecto al primer altavoz se encuentra a 6.5 [m] con relación al piso, y 4.8 [m] con relación al centro-sur de la misma.

Figura 5. 9. Acople de Simulación en NS-1 de radiación sonora con la ubicación propuesta para los altavoces en la superficie total de la Iglesia.



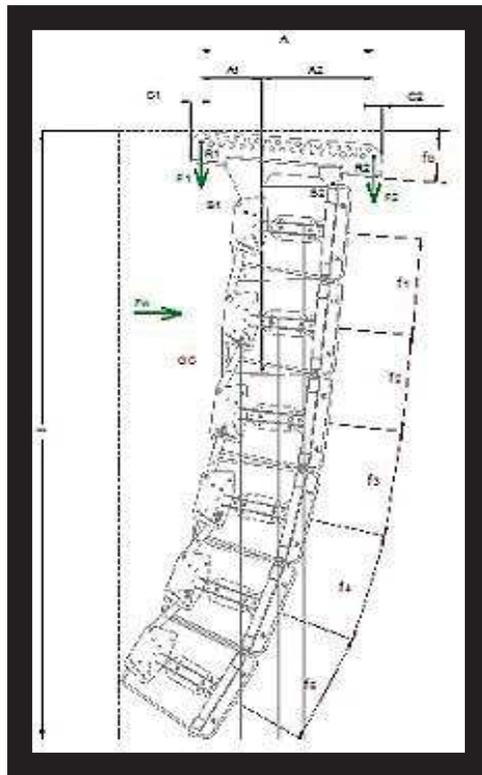
Elaborado por: El Autor

Los altavoces, evaluados mediante el software, para obtener esta respuesta, deben tener la siguiente Angulación.

Tabla 4. 1. Ángulos de inclinación en grados para los altavoces propuestos en el Software de Simulación NS-1.

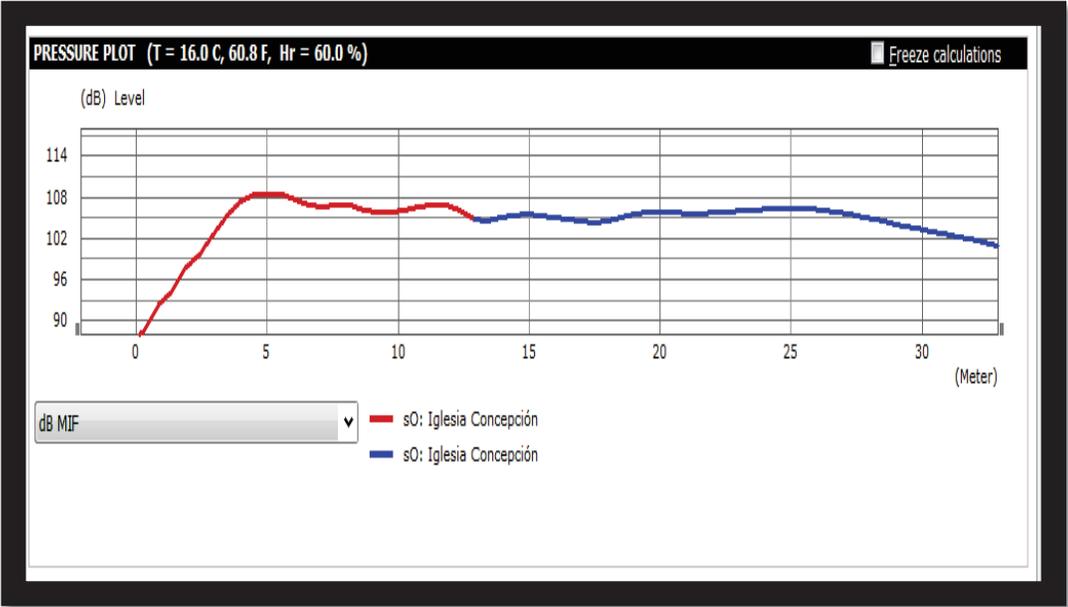
N° Speaker	Angulación
1	-9
2	0.31
3	5.4
4	7.1
5	5.8
6	5.0

Figura 5. 10. Gráfico de ubicación de los Altavoces acorde a los ángulos propuestos en el software NS-1.



Elaborado por: El Autor

Figura 5. 11. Gráfica de la Presión Sonora de los altavoces en relación a la distancia, Software de Simulación NS-1.

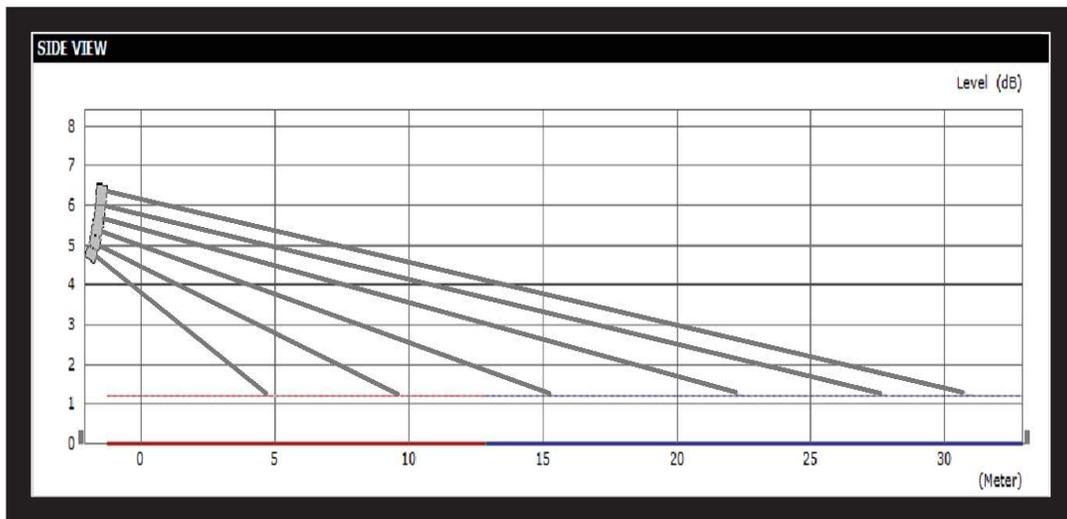


Elaborado por: El Autor

La gráfica posee dos colores relacionados a la presión-distancia. La línea roja indica que hasta los primeros 13 a 14 m. la presión sonora se encuentra en su máximo nivel, mientras que la línea azul es una disminución en el nivel acorde a la distancia.

La presión sonora obtenida en la simulación, es considerada muy buena técnicamente, tomando en cuenta la magnitud de la iglesia, mantiene una uniformidad sonora que oscila entre ± 5 dB.

Figura 5. 12. Directividad obtenida por los altavoces acorde al Software de Simulación NS-1.



Elaborado por: El Autor

Esta gráfica de directividad nos proporciona el punto exacto y la distancia a la que la onda sonora producida por cada altavoz, va a colisionar con el suelo. El primer altavoz, ubicado en la parte inferior del arreglo, va a tener su mayor nivel a los 5 m desde la pared del altar, mientras que el último está direccionado para llegar hasta el muro posterior de la iglesia.

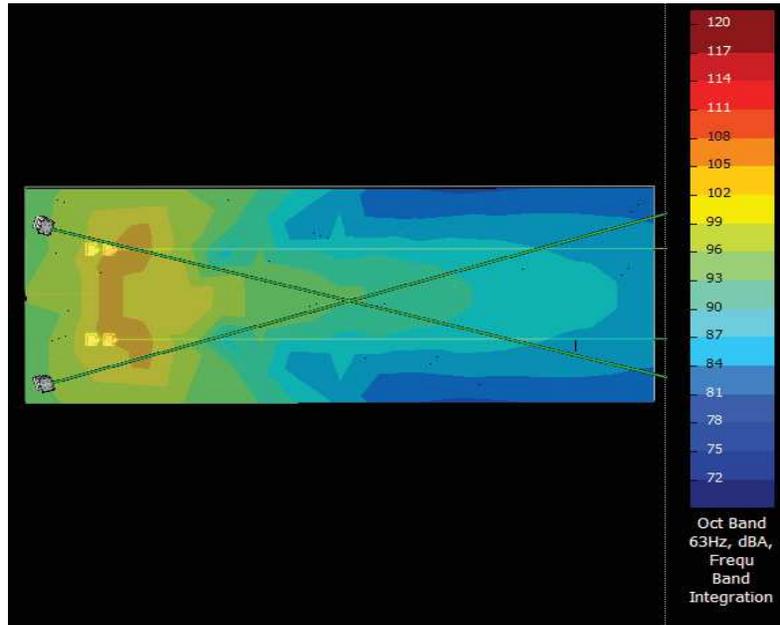
Para el caso de los sub bajos, su ubicación va a ser en el suelo, justo por debajo de los altavoces suspendidos, pero a una distancia con relación a la pared de 4.64 [m] el uno y 3.7 [m] el otro.

4.1.3. Simulación Electro-acústica por Frecuencias

Debido a los niveles de T60 obtenidos en la frecuencia de 125 Hz, es necesario realizar un análisis del sistema propuesto y su comportamiento en diversas frecuencias dentro del recinto.

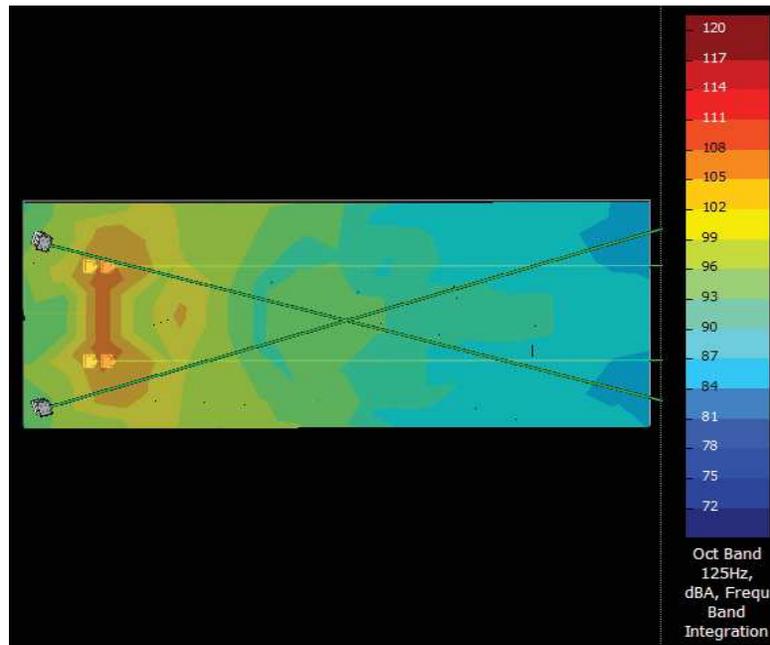
A continuación se muestran las gráficas obtenidas:

Figura 5. 13. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 63 Hz.



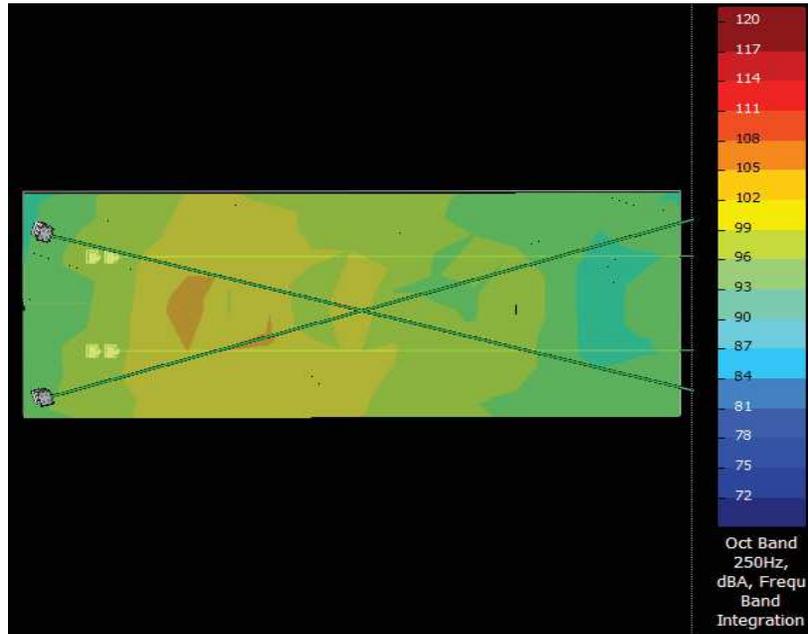
Elaborado por: El Autor

Figura 5. 14. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 125 Hz.



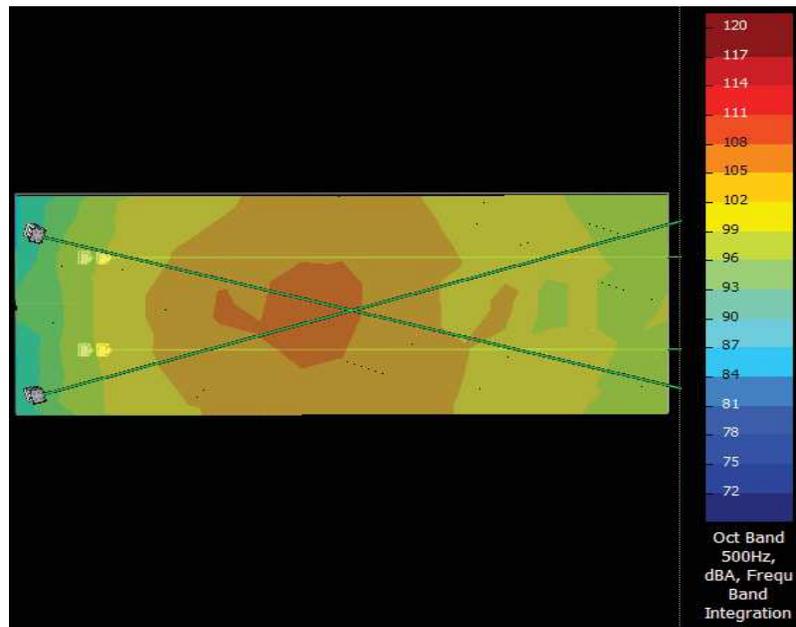
Elaborado por: El Autor

Figura 5. 15. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 250 Hz.



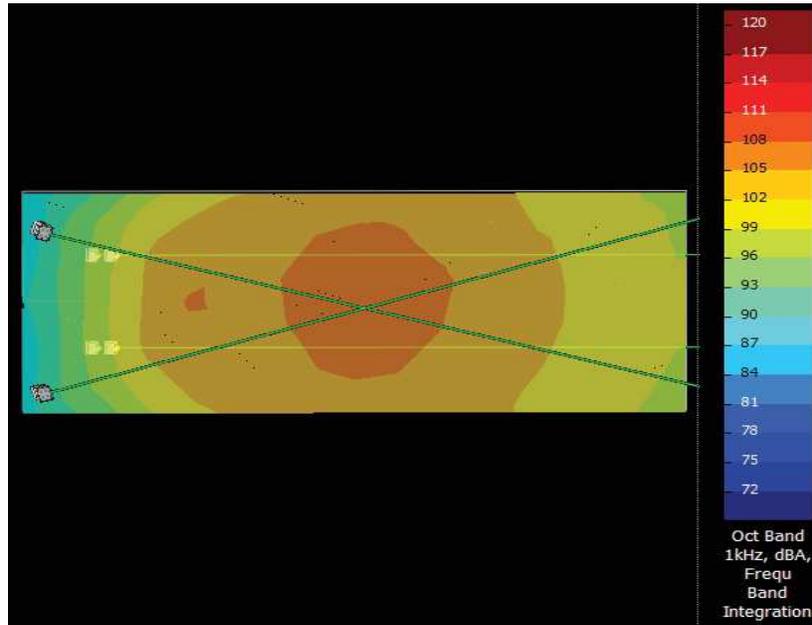
Elaborado por: El Autor

Figura 5. 16. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 500 Hz.



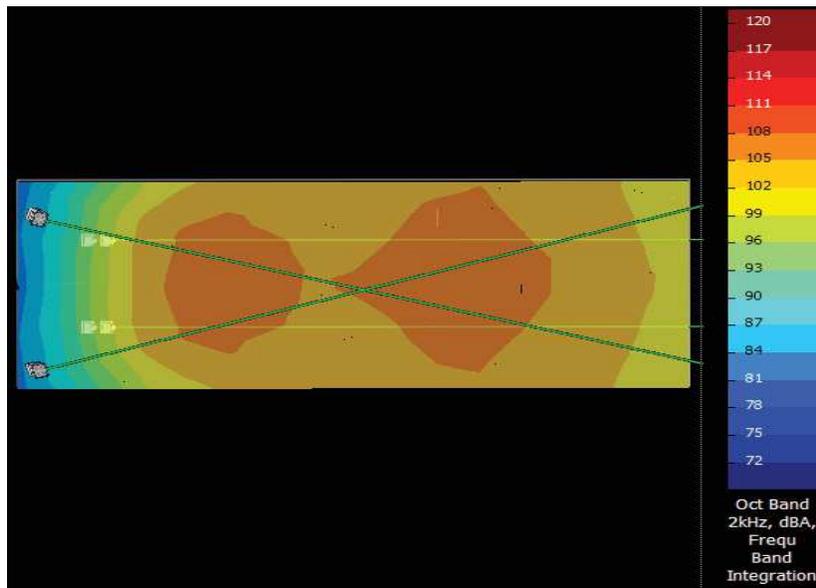
Elaborado por: El Autor

Figura 5. 17. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 1 kHz.



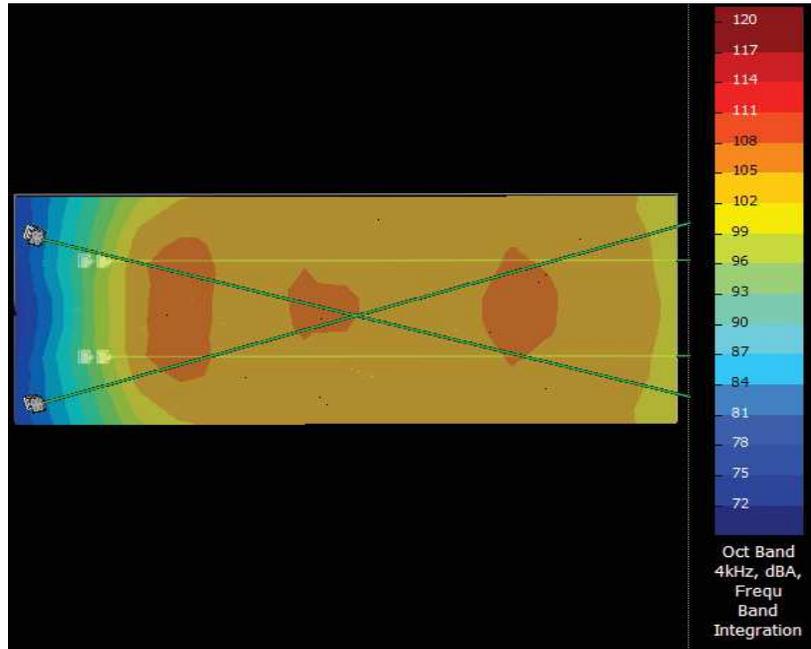
Elaborado por: El Autor

Figura 5. 18. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 2 kHz.



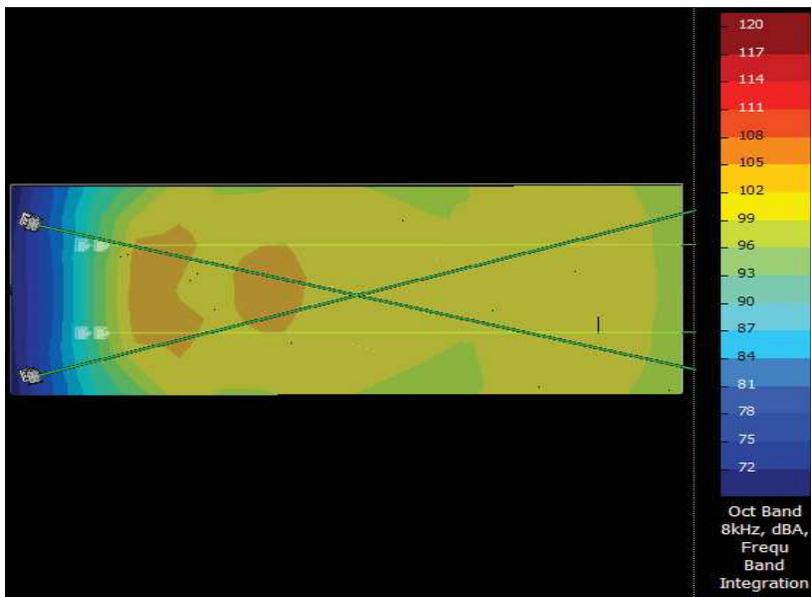
Elaborado por: El Autor

Figura 5. 19. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 4 kHz.



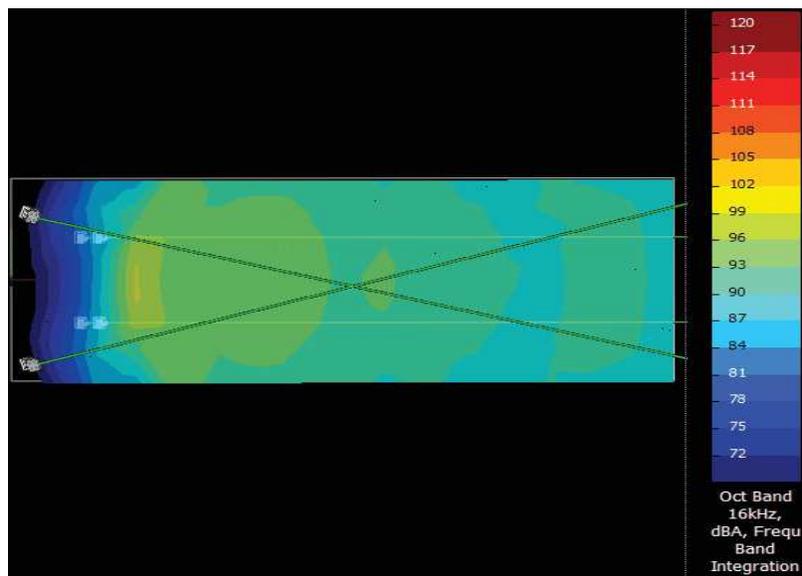
Elaborado por: El Autor

Figura 5. 20. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 8 kHz.



Elaborado por: El Autor

Figura 5. 21. Gráfica de Nivel de Presión Sonora simulado en NS-1 del sistema propuesto en la frecuencia de 16 kHz.



Elaborado por: El Autor

Luego de observar las gráficas obtenidas mediante el software de simulación NS-1, se puede observar que, las frecuencias con mayor sonoridad o nivel sonoro, son las frecuencias medias y altas. Las frecuencias bajas no tienen un nivel muy elevado de presión sonora, por lo que, al momento de ingresar el sistema propuesto al recinto, y tomando en cuenta que el T60 de frecuencias bajas medido teóricamente es elevado, acorde a las gráficas de 125 Hz y 250 Hz, su nivel por ser muy bajo en relación a las otras frecuencias, no permitirán que estas se disparen generando efectos acústicos indeseables en las frecuencias menores a 125 Hz, además hay que tomar en cuenta que los subgraves propuestos no son de mucha potencia y se los consideró, más que un refuerzo sonoro en bajas frecuencias, como un ligero aporte a la presencia sonora de algunos instrumentos.

5. Capítulo V

5.1. Análisis Costo/Beneficio

En todo proyecto es necesario analizar los costos relacionados a la implementación propuesta, ya que, nos permite observar la viabilidad del mismo.

En la tabla se detallan los precios de los implementos necesarios para el acondicionamiento acústico y electro-acústico, es decir, lo que se necesita invertir para su realización. Es recomendable considerar un 10% del monto total para gastos imprevistos.

Tabla 5. 1. Tabla de Costos para la Implementación Electro-Acústica del Proyecto

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Consola Yamaha LS9	U	1	9.800,00	9.800,00
Amplificador de Potencia Nexo NXAMP	U	1	9.267,96	9.267,96
Altavoces Nexo GEOS 12	U	12	2.900,00	34.800,00
Sub bajos Nexo LS600-1	U	4	3.200,00	12.800,00
Monitores Yorville NX55P	U	3	1.421,56	4.264,68
Micrófonos Shure SM58	U	3	120,00	360,00
Kit Shure PGDMK6	U	1	498,99	498,99
Micrófonos Shure SM57	U	3	125,00	375,00
Micrófono KSM 141	U	1	450,00	450,00
Cajas Directas Whirlwind Imp 2	U	5	80,00	400,00
Amplificador de Guitarra Fender Frontman 25r	U	1	110,00	110,00
Amplificador de Bajo Ibanez SW35	U	1	225,68	225,68
Multipar 32 Ch. Proel	U	1	450,99	450,99
Bumper Nexo GST	U	2	1.020,60	2.041,20
Cable Plan-PW-MS25	U	16	29,00	464,00
Cable GLS Audio Mic XLR, 7.62 m	U	20	18,99	378,80
Cable Hosa CSS 10 TRS, 3.1 m	U	5	8,25	41,25
Estructura metálica	U	1	850,00	850,00
			TOTAL	77.578,55

Tabla 5. 2. Tabla de Costos para la Implementación Acústica del Proyecto

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Material "Class 1" 35 mm	m ²	92.24	12,20	1.125,33
Material "Texturado Class 1" 25 mm	m ²	59.22	12,60	746,17
Material "Profesional" 75 mm	m ²	41.86	15,80	661,38
			TOTAL	2.532,88

La inversión a realizar es de valor muy elevado como para una iglesia, pero si se toma en cuenta que, sería la primera iglesia católica en el Ecuador que cuente con una implementación acústica y electro-acústica de este tipo, la Conferencia Episcopal, encargada de proveer económicamente para su mejoramiento y cuidado, podría considerar válida la viabilidad de este proyecto, recordando que su objetivo a nivel mundial, es congregar más y más creyentes. Este proyecto les facilitará, además de brindarles una apertura a la música católica, la disposición de contar con un lugar adecuado para realizar eventos de manera óptima característica de ellos.

Existen fundaciones que ayudan económicamente a todo tipo de proyecto fundamentado correctamente, y, la organización de eventos como comidas, mañanas deportivas o convivencias, también sería una fuente de ingreso económico.

Normalmente, un equipo de esta magnitud, tiene un costo de alquiler en el mercado de \$2.000,00 (dos mil dólares). Realizando por lo menos dos eventos musicales al mes, al año se tendría un gasto de \$ 48.000,00 (cuarenta y ocho mil dólares), por lo que si se invierte adecuadamente no sólo aminoraría el gasto económico de la iglesia a futuro, sino que ofrecería la capacidad de seguir realizando eventos de alta calidad, beneficiando así a la comunidad.

6. Capítulo VI

6.1. Conclusiones

Las mediciones realizadas demostraron la falta de acondicionamiento acústico en la Iglesia de la Inmaculada Concepción. Los tiempos de reverberación muy elevados, por encima de los establecidos para este tipo de recinto, aportan a la mala inteligibilidad de la palabra y a una ausente intimidad acústica.

Los implementos electrónicos utilizados en la actualidad, no brindan un confort acústico adecuado como para que las personas que asisten, entiendan con claridad la palabra del orador, e incluso la ubicación de los altavoces en todo el recinto, en vez de reforzar al sonido directo, crean múltiples reflexiones y confusión por el tiempo de llegada, además, hay que tomar en cuenta que cada vez que se incrementa el campo directo mediante el aumento de fuentes, se incrementa en la misma proporción el campo reverberante.

La utilización de un software para simulación, puede ser de gran ayuda siempre y cuando se tome en consideración, que los datos ingresados en el mismo, sean lo más exactos posibles. En este caso el software nos proporcionará datos más allegados a la realidad, facilitando el estudio de un recinto de manera más rápida y eficaz.

Se puede concluir que el acondicionamiento acústico sugerido, brindará mejores resultados al momento de implementarlo en el recinto. Hay que darse cuenta que, la colocación de los materiales propuestos es de fácil manejo e instalación. Esto es de gran ayuda ya que aminora el tiempo que la iglesia debe estar cerrada para su reparación o adecuación. Para el caso del acondicionamiento electro-acústico, pueden demorarse un poco más en su instalación, debido a la necesidad de la estructura metálica para su correcta colocación.

El material absorbente no es muy recomendable para tratamiento acústico, pero en la actualidad, empresas como FONAC, han evolucionado la capacidad

absorbente de los materiales, brindando excelentes coeficientes de absorción. Para el caso de la iglesia, su uso proporcionará una absorción adecuada en el campo de interés y brindará una estética agradable a la misma ya que es fácilmente manipulable y se la puede decorar acorde al recinto.

En lo referente a Tiempo de Reverberación, C_{50} , C_{80} , %ALCons y STI/Rasti, aunque actualmente son deficientes, mediante la simulación de la sala con los materiales propuestos en el proyecto, obtuvieron valores con calificación "BUENA" que era uno de los propósitos fundamentales, brindando así una excelente inteligibilidad de la palabra, claridad tonal y musical, a la Iglesia.

La simulación electro-acústica mostró que el NPS actual es deficiente y que mediante la implementación del nuevo sistema, se obtendrá valores de NPS mucho mejores y adecuados para una presentación grupal, coral o cualquiera que sea el caso, dando apertura a nuevos grupos y eventos.

Los implementos electro-acústicos, son de suma importancia para una correcta radiación sonora. Su ubicación y características van a definir parámetros esenciales al momento de instalarlos en la Iglesia, por lo que, se debe realizar una adecuada selección para que su funcionamiento y desempeño sean lo más convenientes para la iglesia y la comunidad.

La relación costo beneficio que se plantea en el proyecto, es viable, si se toma en cuenta que brindará apertura a actividades como convivencias, presentaciones corales, veladas sinfónicas y conciertos católicos, incluyendo y familiarizando así a la comunidad, lo cual es un patrocinio primordial para la Iglesia Católica.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda que al momento de realizar las mediciones, conociendo adecuadamente todos los dispositivos electrónicos a utilizar y sus posibles ventajas y desventajas, se calibren correctamente, ya que la obtención de los datos medidos, es primordial para un excelente análisis del recinto.

Al momento de seleccionar materiales para el acondicionamiento de un recinto se debe verificar que el mismo cumpla con normas de calidad y de seguridad, principalmente, los índices de inflamabilidad del material deben proporcionar altos niveles de protección contra incendios.

En la implementación electro-acústica, se debe tomar en cuenta, que los dispositivos estén correctamente emparejados, ya que esto aumentará la vida útil de los equipos y mejorará su rendimiento en un 100%.

La utilización de un software para la simulación, puede ser de gran ayuda, ya que permite comparar datos obtenidos en las mediciones con los de la simulación, comprobando así su rendimiento al momento de la ejecución.

Es recomendable extender el presente estudio a todas las iglesias y templos que tengan este tipo de problema, ya que optimizarían sus sistemas, mejorarían la respuesta acústica del recinto y brindaría apertura a nuevas fuentes de trabajo.

7. Bibliografía

TESIS

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

LIBROS

- MIYARA, Federico. Control de ruido. Rosario, 1999.
- CARRIÓN, Antoni, “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”, Primera Edición, Edición de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 1998
- RECUERO, Manuel, “Ingeniería Acústica”. Editorial Paraninfo, Primera Edición, Madrid – España, 1999.
- SOMMERHOFF, Jorge, “Acústica de Locales”, 2005.
- HARRIS, Cyril, “Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido”, Vol. I y II, Mc-Graw.Hill, Tercera edición, Madrid – España.
- ARAU, Higinio, “ABC de la Acústica Arquitectónica”, Ediciones CeaC, Barcelona – España, 1999
- SABINE, Wallace, “Collected papers on Acoustic”, Peninsula Publishing, California – Estados Unidos, 1964.

- DOWELL, E., Gorman I. G. y Smith, D., 1977. Acoustoelasticity: General Theory, Acoustic Natural Modes and Forced Response to Sinusoidal Excitation, Including Comparisons with Experiments. *Journal of Sound and Vibration*, 52 (4), 519-542.
- Fahy, F. 1985. *Sound and Structural Vibration: Radiation, Transmission and Response*. Academic Press, London.
- Pope, L., 1971. On the Transmission of Sound Through Finite Closed Shells: Statistical Energy Analysis, Modal Coupling and Non-Resonant Transmission. *Journal of the Acoustical Society of America*, 50 (3), 1004-1018.

ANEXOS

1. ANEXO DE MEDICIONES

Mediciones realizadas en la Iglesia de la Concepción



Vista desde el altar de la Iglesia



Fuente omnidireccional



Fuente omnidireccional ubicada en un punto de medición



Micrófono utilizado en la medición



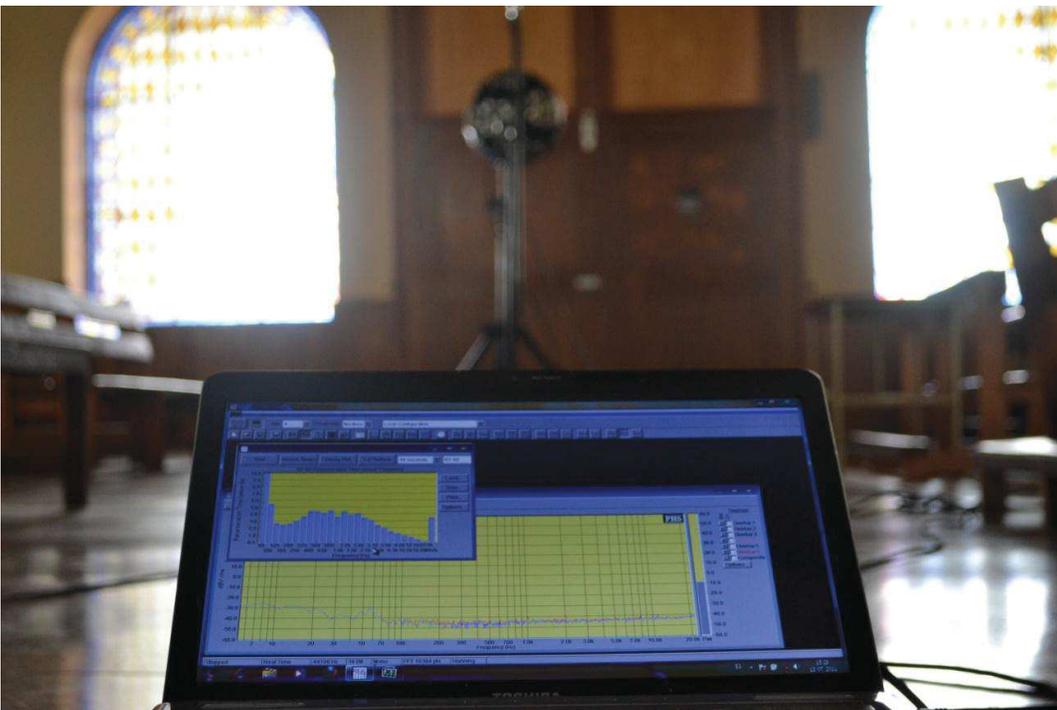
Vista de una de las plataformas para la ubicación del grupo coral



Fuente omnidireccional en el centro de la Iglesia



Vista del software ejecutándose al momento de la medición



2. ANEXO DE EQUIPAMIENTO ELECTRO- ACÚSTICO

Subwoofer NEXO LS600



Especificaciones Técnicas Subwoofer NEXO LS600

LS600 PRODUCT FEATURES

Components:	LF 1 x 15" (38cm) long excursion Neodymium 8Ω driver.
Height x Width x Depth	435mm x 688mm x 528 mm (17.12" x 27.09" x 20.79").
Weight	30 kg (66 Lbs) net.
Connectors	2 x NL4MP SPEAKON 4 pole.
Construction	Baltic Birch Ply & textured, polyurethane black coating.
Fittings	Handles 2 Metal recessed pockets.
Flying Points	One plate connecting with external accessories.
Stand fittings	Internal Steel Stand Fitting on Top (35mm, 1 3/8") allows pole mounting for 1 PS10-R2.

SYSTEM SPECIFICATIONS LS600 with PS10 TDController-R2

Frequency Response [a]	40 Hz - 110 Hz ±3dB.
Usable Range @-6dB [a]	38 Hz - 120 Hz.
Sensitivity 1W @ 1m [b]	101 dB SPL Nominal.
Nominal Peak SPL @ 1m [b]	135 to 138 dB Peak.
Crossover Frequencies	120 Hz Active through PS10 TD Controller-R2.
Nominal Impedance	8 Ohms.
Recommended Amplifiers	1000 to 2000 Watts / 8 Ohms.

SYSTEM OPERATION

Electronic Controller	The LS600 Subwoofer must be used with a Nexo Controller (PS10TD -R2, NX242, or NXAMPS). Use without a properly connected Controller will result in poor sound quality and may damage the components.
Subbass	The LS600 Subwoofer provides optional VLF extension for PS10R2 Loudspeakers. Active two-way operation with the PS10-R2 is included in the PS10TD-R2, NX242 or NXAMPS. One LS600 matches 2 x PS10-R2, additional LS600 may be used for enhanced effect.
Speaker Cables	The PS10R2 is wired 2- & 2+ on Speakon connectors, LS600 on 1- & 1+. Loop through Speakons are present on both products. Single identical cables can thus be used to loop through combinations of up to 2 x PS10R2 & 1 x LS600 in no particular order. As part of a policy of continual improvement, NEXO reserves the right to change specifications without notice.

SHIPPING & ORDERING

Packaging	LS600 is packaged as a single product.
Shipping Weight & Volume	29.4 kg (64.68 lbs) / 0.265 cubic metres.

As part of a policy of continual improvement, NEXO reserves the right to change specifications without notice.

[a] Response curves & data : Anechoic Far Field for the PS10-R2 + PS10TDCController-R2. Half-Space Anechoic radiation for the LS600 + PS10 TDCController-R2.

[b] Sensitivity & Peak SPL data : these will depend on spectral distribution and crest factor of program material. Measured with band limited Pink Noise. Nominal refers to Voice Decade (300 Hz - 3 kHz), Wideband to the specified ± 3 dB range. Data are for speaker + processor + recommended amplifier combinations.

Peak SPL is at clipping of recommended amplifier.

[c] Directivity curves & data : obtained by computer treatment on off axis response curves.

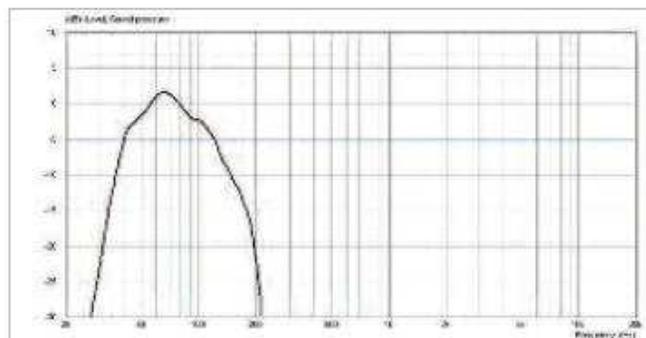
E&OE September 2009.

Architectural and Engineering Specifications

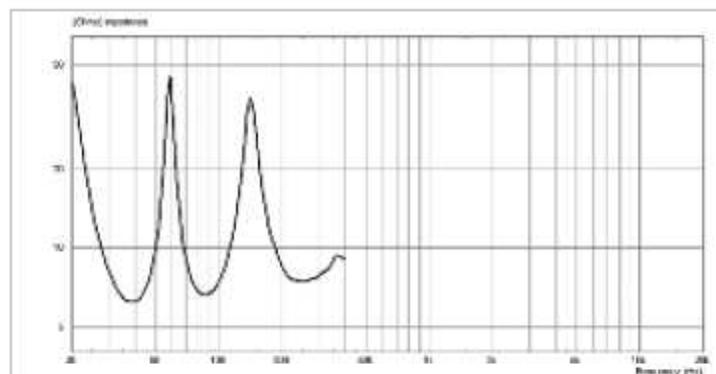
The sub-bass loudspeaker system shall have one 15 inch shielded Neodymium 8 Ω long excursion cone transducer. Nominal Sensitivity shall be 101dB. When driven by a NEXO NXAMP 4x1, NXAMP 4x4 a PS10 TDCController-R2 or by a NX242 properly-connected to amplification capable of delivering 1000 to 2000 Watts into a 4 Ω (nominal) load the system shall be capable of 135dB to 138dB peak SPL, with a frequency response of 40Hz to 110Hz ± 3 dB (38Hz to 120kHz -6dB). The system shall include an active crossover. Electrical connections shall be made via one of two 4-pole NL4MP SPEAKON connectors.

The system shall have a tuned ported rectangular enclosure constructed of 18ply Baltic birch, finished in either black or white textured coating and having exterior dimensions no greater than 435mm H x 688mm W x 528mm D (16.9in H x 27.1in W x 20.8in D); the system shall weigh 30 kg (66lbs). Exterior hardware shall include 1 metal plate, 2 attachment points and 1-pole socket. Interior components shall be protected by a powder coated perforated steel grille. The system shall be the NEXO LS 600 with the PS10 TDCController-R2, NXAMP 4x1, NXAMP 4x4 or NX242.

Gráfica de Respuesta de Frecuencia e Impedancia del Altavoz NEXO LS600



LS600 response



LS600 impedance

Altavoces GEOS 12 suspendidos



Características Técnicas del Altavoz GEOS 12

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO	
Componentes	HF: 1 x motor de bobina de 3", garganta de 1,4" y 16 Ohmios con fuente de onda reflectante hiperboloide de 5°. LF: 1 x altavoz de cono de 12" (30cm) de alta excursión, imán de neodimio y 16 Ohmios.
Altura x Anchura x Profundidad	344 x 675 x 376 mm (13 ^{5/8} x 26 ^{5/8} x 14 ^{7/8}) excluyendo accesorios
Forma	Trapezoidal de 10°.
Peso: neto	28.05 kg (61.8 lbs) incluyendo sistema de ensamblado de array.
Conectores	2 x NL4MP SPEAKON 4 pines (entrada y puenteo)
Construcción	Madera contrachapada báltica acabada en capa negra estructurada.
Acabado frontal	Rejilla metálica negro oscuro.
Puntos de colgado	Dos placas a las que se fijan accesorios externos. Ajustes de ángulo entre cajas = 0,2°, 0,315°, 0,5°, 0,8°, 1,25°, 2,0°, 3,15°, 5°, 6,3°, 8,0°, 10,0° (pasos logarítmicos)
ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	
GEO S1210 con tarjeta NX-tension en el NX242 TDcontroller	
Respuesta en frecuencia [a]	53 Hz – 19 kHz ± 3 dB
Banda eficaz @-6dB [a]	50 Hz – 20 kHz
Sensibilidad 1W @ 1m [b]	103 dB SPL nominal
SPL de pico @ 1m [b]	Dependiente de la configuración [d]
Dispersión [c]	Plano acoplado: Dependiente de la configuración [d] Plano no-acoplado: Configurable 80° / 120°.
Frecuencias de cruce	LF-HF: 1.1 kHz Pasivo o Activo (configurable internamente)
Impedancia nominal	HF: 16 Ohmios; LF : 16 Ohmios;
Amplificación recomendada	HF: 875 a 1550 vatios a 4 Ohmios
3 GEO S1210 en paralelo	LF: 1750 a 3100 vatios a 4 Ohmios
4 GEO S1210 en paralelo	HF: 1000 a 1800 vatios a 4 Ohmios
	LF: 2000 a 3600 vatios a 4 Ohmios
6 GEO S1210 en paralelo	HF: 1650 a 3000 vatios a 4 Ohmios
	LF: 3300 a 6000 vatios a 4 Ohmios

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	
Controlador electrónico	Las memorias de configuración de los TDcontrollers NEXO tienen ajustes precisos para la serie GEO S12 e incluyen sofisticados sistemas de protección. El uso de cajas de la serie GEO S12 sin un TDController conectado apropiadamente tendrá como resultado un mal sonido y pueden dañarse los transductores.
Diseño de arrays	Los arrays de menos de 4 x GEO S1210 proporcionarán un control pobre de la dispersión y ni se recomiendan ni recibirán soporte.
Sub-bajo	Los CD18 / GEO SUB / S2 extienden la respuesta de frecuencia de bajos hasta 32 Hz / 38 Hz / 32 Hz
Cables de caja acústica	Activo: 171":LF; 272": HF Pasivo: 171": Sin conectar; 272":LF + HF.
Accesorios	Consulte el manual del usuario del GEO S12 antes de su uso.

Como parte de una política de mejora continua, NEXO se reserva el derecho a cambiar las especificaciones sin previo aviso.

[a] Curvas de respuesta y datos: anecoicas en campo lejano por encima de 200 Hz, anecoicas en medio espacio por debajo de 200 Hz.

[b] Sensibilidad y SPL pico: dependerán de la distribución espectral. Medidos con ruido rosa en banda limitada.

Referido a la banda especificada de ± 3 dB. Los datos reflejan combinaciones de caja + procesador + amplificador recomendado.

[c] Curvas de directividad y datos: respuesta en frecuencia con suavizado de 1/3 octava, normalizado respecto de la respuesta en el eje. Datos obtenidos por procesamiento matemático de las curvas de respuesta fuera del eje.

[d] Consulte el manual del usuario del GEO S12.

Datos de banda útil de frecuencias: respuesta en frecuencia con pendientes de cruce anuladas en controlador TD.

Amplificador de Potencia NXAMP 4x4



Ajustes de Salida

Asignación de salidas

Ajustes del NX / Canal del NX	1	2	3	4
GEOS12 Pasivo 4 Canales	GEO S12 Ch1	GEO S12 Ch2	GEO S12 Ch3	GEO S12 Ch4
RS15 Omni Estéreo - GEOS12 Pasivo Estéreo	RS15 Izquierdo	RS15 Derecho	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
RS15 Cardio Mono - GEOS12 Pasivo Estéreo	RS15 Trasero	RS15 Frontal	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
S2 Estéreo - GEOS12 Pasivo Estéreo	S2 Izquierdo	S2 Derecho	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
CD18 Mono - GEOS12 Pasivo Estéreo (1)	CD18 Trasero	CD18 Frontal	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
GEO SUB Mono - GEOS12 Pasivo Estéreo (1)	GEO SUB Trasero	GEO SUB Frontal	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
GEOS12 Activo 2 Canales	GEO S12 LF Izdo.	GEOS12 HF Izquierdo	GEO S12 LF Dcho.	GEO S12 HF Dcho.
RS15 Cardio - GEOS12 Activo Mono	RS15 Trasero	RS15 Frontal	GEO S12 LF	GEOS12 HF
CD18 - GEOS12 Activo Mono	CD18 Trasero	CD18 Frontal	GEO S12 LF	GEOS12 HF
GEO SUB - GEOS12 Activo Mono	GEO SUB Trasero	GEO SUB Frontal	GEO S12 LF	GEOS12 HF

Parámetros de salida

Etiqueta de Salida	Ganancia de amplificador (2)	Potencia de amplificador (2)	Ganancia global	Retardo global	Ganancia de sensado	EQ de Array (3)	Techo dinámico (4)
Todos los canales	26 dB	Especificaciones del amplificador	0 dB	0 ms	0 dB	0	5 barras

Características Técnicas Amplificador de Potencia NXAMP 4x4

POWER SPECIFICATIONS FOR NXAMP4x1		POWER SPECIFICATIONS FOR NXAMP4x4	
Number of amplifiers channels	4x channels, 2 by 2 bridgeable	4x channels, 2 by 2 bridgeable	
Max. output voltage (no load)	4 x 105Volts	4 x 200Volts	
Max. output power (8Ω)	4 x 600W	4 x 1900W	
Max. output power (4Ω)	4 x 900W	4 x 3300W	
Max. output power (2Ω)	4 x 1300W	4 x 4000W	
Power consumption (Standby)	10W	20W	
Power consumption (Idle)	100W	150W	
Power consumption (1/8 Power)	1100W	3000W	

COMMON NXAMP SPECIFICATIONS FROM ANALOG IN TO POWER OUT	
Analog Inputs channels	4x channels, analogue inputs on XLR 3 with a second XLR 3 for linking
Frequency response	±0.5dB from 10Hz to 20KHz
Input Impedance	20KΩ
Max Input Level	+28dBu
Dynamic Range	All Channels = 105dB unweighted
THD + Noise	Typical 0.1% flat setup
Latency time	500us on a flat setup
Power Supply	Dedicated version for 100 ~ 120Volts or 220 ~ 240Volts

COMMON NXAMP FEATURES	
Audio Inputs	<ul style="list-style-type: none"> • 4x balanced analogue inputs on XLR3 with a second XLR3 for linking, using 24bit converters. • 4x digital inputs via the optional network card slot at the back.
Power Outputs	4x Speakon outputs using internal power relay for automatic output assignment regarding setup.
RS232 port	Allow firmware upgrade for software improvement and new cabinet setups.
GPIO port	5x Global Purpose Inputs and 8x Global Purpose Outputs for simple remote control and monitoring.
Processing	Two DSPs, 24bit data with 48bit accumulator. 700MIPS.
Front Panel	On/Off Mains switch, Select Wheel, Menu A and Menu B buttons, 40 characters by 2 lines display. Amp protect, Stand-by and power LED's. Then for each channel: volume indicator (15x LEDs), Individual Mute buttons and red LED, output current signal green led, Speaker Protection yellow LED, Amp. Peak red LED.
Rear Panel	1 (NXAMP4x1) or 2 (NXAMP4x4) mains socket; RS232 serial communications connector; GPIO port, Expansion slot for networking audio extension card, 4 XLR inputs with link and 4 Speakon 4 outputs.
Dimensions & Weight	NXAMP4x1: 3U 19" Rack - 457 mm (18") Depth - 16.5kg (33lbs) net NXAMP4x4: 4U 19" Rack - 457 mm (18") Depth - 24.5kg (49lbs) net

COMMON NXAMP FEATURES	
Audio Inputs	<ul style="list-style-type: none"> • 4x balanced analogue inputs on XLR3 with a second XLR3 for linking, using 24bit converters. • 4x digital inputs via the optional network card slot at the back.
Power Outputs	4x Speakon outputs using internal power relay for automatic output assignment regarding setup.
RS232 port	Allow firmware upgrade for software improvement and new cabinet setups.
GPIO port	5x Global Purpose Inputs and 8x Global Purpose Outputs for simple remote control and monitoring.
Processing	Two DSPs, 24bit data with 48bit accumulator. 700MIPS.
Front Panel	On/Off Mains switch, Select Wheel, Menu A and Menu B buttons, 40 characters by 2 lines display. Amp protect, Stand-by and power LED's. Then for each channel: volume indicator (15x LEDs), Individual Mute buttons and red LED, output current signal green led, Speaker Protection yellow LED, Amp. Peak red LED.
Rear Panel	1 (NXAMP4x1) or 2 (NXAMP4x4) mains socket; RS232 serial communications connector; GPIO port, Expansion slot for networking audio extension card, 4 XLR inputs with link and 4 Speakon 4 outputs.
Dimensions & Weight	NXAMP4x1: 3U 19" Rack - 457 mm (18") Depth - 16.5kg (33lbs) net NXAMP4x4: 4U 19" Rack - 457 mm (18") Depth - 24.5kg (49lbs) net

NXAMP USER CONTROLS

System Selection	Allows control across all NEXO ranges.
System Set-up	Within the selected range, if possible, allows cabinets to be set for passive or active mode, wideband or crossover mode, choose among available crossover point, cardioid or supercardioid mode.
Protection	Multiple Peak Limiters fitted for both selected cabinet and amplifier. Multiple Acceleration, Displacement and Temperature protections on every channel. Inter-channel regulation.
Delay	Up to 150m (330 ft.) of delay in 10cm (.4in) steps
Input Patching	Allows any of the 4x analogue (or digital) inputs combination to be routed on each output.
Output Gain	Global and inter-channel gain ± 6 dB in 0.5dB steps.
Volume control	Each channel with 16x steps from $-\infty$ dB to 0dB.
Save/Recall	Set-up Stores up to 40x user set-ups; On- the-fly recall, without mute or glitches for instant comparison.
Array EQ	LF or HF shelving filters to compensate ground or stacking effects, ± 6 dB, frequency factory tuned.
Security Mode	Password protected for Read-Only or Remote-Only Mode.
Remote control	Full remote control via the Ethersound protocol and ESmonitor software.
Certification	UL, SEMKO (CE), CCC, KOREA, TSS, PSE
Green status	Compliant with ROHS and WEEE directive

Especificaciones Técnicas Consola Yamaha LS9

Especificaciones generales

Retraso de señal	Menos de 2,5 ms (de INPUT (Entrada) a OMNI OUT (Salida OMNI) @Fs=48 kHz)
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundidad)	LS9-16: 480 x 220 x 500 mm LS9-32: 884 x 220 x 500 mm
Peso neto	LS9-16: 12,0 kg LS9-32: 19,4 kg
Requisitos de alimentación eléctrica	LS9-16: 95 W, 110-240 V, 50/60 Hz LS9-32: 170 W, 110-240 V, 50/60 Hz
Rango de temperaturas	Funcionamiento: de +10°C a +35°C Almacenamiento: de -20°C a +60°C
Accesorios incluidos	Manual de instrucciones, Cable de alimentación de CA, Guardapolvo (sólo LS9-32)
Accesorios opcionales	Tarjetas mini-YGDAI, lámpara de cuello de cisne LA1L (para LS9-32), kit de montaje en bastidor RK1
Longitud del cable de alimentación de CA	250 cm

		Condiciones	Mín.	Tipo	Máx.	Unidad
Frecuencia de muestreo Reloj externo	Rango de frecuencias		39,69		50,88	kHz
	Demora de PLL * * La demora del reloj de entrada es inferior a 1 ns.	Entrada digital Fs= 44,1 kHz o 48 kHz Entrada digital Fs = 39,69-50,88 kHz			10 20	ns
Frecuencia de muestreo Reloj interno	Frecuencia	Reloj: Interno 44,1 kHz Reloj: Interno 48 kHz		44,1 48		kHz
	Precisión	Reloj: Interno 44,1 kHz o 48 kHz			50	ppm
	Demora	Reloj: Interno 44,1 kHz o 48 kHz			5	ns
	Trayecto (Recorrido)	Resolución: 1,024 incrementos, de +10 a -138, ∞ dB para todos los deslizadoros			100	
Deslizador	Error de posición				$\pm 1,5$	
	Tiempo de desplazamiento	De extremo a extremo, bajo control de software normal			0,3	seg

Características de entrada/salida

Características de entrada analógica

Terminales de entrada	GAIN (Ganancia)	Impedancia de carga real	Para utilizar con nominal	Nivel de entrada			Conector
				Sensibilidad *1	Nominal	Máx. antes de cortar	
INPUT 1-16 <LS9-16> INPUT 1-32 <LS9-32>	-62 dB	3 kΩ	Micrófono de 50-600Ω y líneas de 600Ω	-82 dBu (61,6 μV)	-62 dBu (0,616 mV)	-42 dBu (6,16 mV)	Tipo XLR-3-31 (balanceado) *2
	+10 dB			-10 dBu (245 mV)	+10 dBu (2,45 V)	+30 dBu (24,5 V)	

*1. La sensibilidad es el nivel más bajo que producirá una salida de +4dBu (1,23V) o el nivel de salida nominal cuando la unidad se ha establecido en una ganancia máxima. (Todos los deslizadores y controles de nivel están en posición máxima.)

*2. Los conectores de tipo XLR-3-31 están balanceados. (1=TIERRA, 2=ACTIVO, 3=INACTIVO)

* En estas especificaciones, 0 dBu = 0,775 Vrms.

* Todos los convertidores de entrada analógica a digital (AD) son lineales de 24 bits, con sobremuestreo de 128 tiempos.

* Se suministran +48 V de CD (alimentación fantasma) a los conectores de tipo INPUT XLR a través de cada conmutador controlado por software de forma individual.

Características de salida analógica

Terminales de salida	Impedancia de origen real	Para utilizar con nominal	Conmutador de ganancia *3	Nivel de salida		Conector
				Nominal	Máx. antes de cortar	
OMNI OUT 1-8 <LS9-16> OMNI OUT 1-16 <LS9-32>	75 Ω	Líneas de 600 Ω	+24 dB (predeterminado)	+4 dBu (1,23 V)	+24 dBu (12,3 V)	Tipo XLR-3-32 (balanceado) *1
			+18 dB	-2 dBu (616 mV)	+18 dBu (6,16 V)	
PHONES OUT (Salida de auriculares)	15 Ω	Auriculares de 8 Ω	—	75 mW *4	150 mW	Toma de auriculares estéreo (TRS) (sin balancear) *2
		Auriculares de 40 Ω	—	65 mW *4	150 mW	

*1. Los conectores de tipo XLR-3-32 están balanceados. (1=TIERRA, 2=ACTIVO, 3=INACTIVO)

*2. La toma de auriculares estéreo PHONES OUT no está balanceada. (Punta=IZQUIERDO, Anillo=DERECHO, Cuerpo=TIERRA)

*3. Hay conmutadores incluidos en el cuerpo para ajustar el nivel de salida máximo.

*4. La posición del control de nivel se encuentra 10 dB por debajo del valor máximo.

* En estas especificaciones, 0 dBu = 0,775 Vrms.

* Todos los convertidores de salida analógica a digital (AD) son de 24 bits, con sobremuestreo de 128 tiempos.

Características de entrada digital

Terminal	Formato	Longitud de los datos	Nivel	Conector	
ZTR IN DIGITAL (Entrada digital ZTR)	Coaxial	IEC-60958	24 bits	0,5 Vpp/75 Ω	Toma de clavija RCA

Características de salida digital

Terminal	Formato	Longitud de los datos	Nivel	Conector	
ZTR OUT DIGITAL (Salida digital ZTR)	Coaxial	IEC-60958 Uso de consumidor	24 bits	0,5 Vpp/75 Ω	Toma de clavija RCA

Consola Digital Yamaha LS9



Micrófono SM 58 Vocal



Características Técnicas SM58 Vocal

Tipo	Dinámico (bobina móvil)
Respuesta de frecuencia	50–15.000 Hz
Patrón polar	Cardioide
Impedancia de salida	clasificado por EIA a 150Ω (300Ω real)
Sensibilidad (a 1 kHz, voltaje en circuito abierto)	–54,5 dBV/Pa (1,85 mV)*
Polaridad	Una presión positiva en el diafragma del micrófono produce un voltaje positivo en la clavija 2 con respecto a la clavija 3
Peso	<i>Neto:</i> 0,298 kg (0,656 lb)
Conector	Conector de audio de tres clavijas profesional (tipo XLR), macho
Estuche	Metal troquelado esmaltado de color gris oscuro; rejilla esférica de acero con acabado mate de color plateado

Micrófono SM 57



Caratteristiche Tecniche SM 57

Tipo	Dinamico (a bobina mobile)
Risposta in frequenza	40 a 15.000 Hz
Diagramma polare	Cardioide
Impedenza di uscita	310 Ω
Sensibilità (a 1 kHz, tensione a circuito aperto)	-56,0 dBV/Pa (1,6 mV) 1 Pascal=94 dB di SPL
Polarità	Una pressione positiva sul diaframma produce una tensione positiva sul piedino 2 rispetto al piedino 3.
Peso	Netto: 0,284 kg (0,625 lbs)
Connettore	Tipo audio, professionale, a tre piedini (XLR), maschio
Involucro	Acciaio pressofuso, smaltato, grigio scuro, con griglia in policarbonato e schermo in acciaio inossidabile.

Micrófonos Shure Kit PGDMK6



Características Técnicas de los Micrófonos PGDMK6

Micrófonos para tambores		
	<h3>PG52</h3> <p>Micrófono para tambor bombo</p> <p>Un micrófono de alto desempeño afinado especialmente para captar los tonos graves.</p>	<p>Aplicaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> Tambor bombo Amplificador de bajo
	<h3>PG56</h3> <p>Micrófono para tambor repicador/tom</p> <p>Un micrófono compacto para tambor para captar sonido a poca distancia. Se incluye el soporte para montar en el tambor.</p>	<p>Aplicaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> Tambor repicador Tambores tom de piso/soporte Percusión
	<p>Cardioide Dinámico Personalizado</p>	
	<h3>PG81</h3> <p>Micrófono para instrumento</p> <p>Un micrófono sensible, de respuesta plana, ideal para usar con instrumentos acústicos.</p> <p><i>* Requiere batería o alimentación fantasma (1-52V dc)</i></p>	<p>Aplicaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> Guitarra acústica Platillos Piano Otras aplicaciones: Cuerdas Instrumentos de viento de madera Conjuntos
	<p>Cardioide Condensador Plano</p>	

Micrófono KSM 141/SL



GRAFICAS DE RESPUESTA DE CARDIOIDE

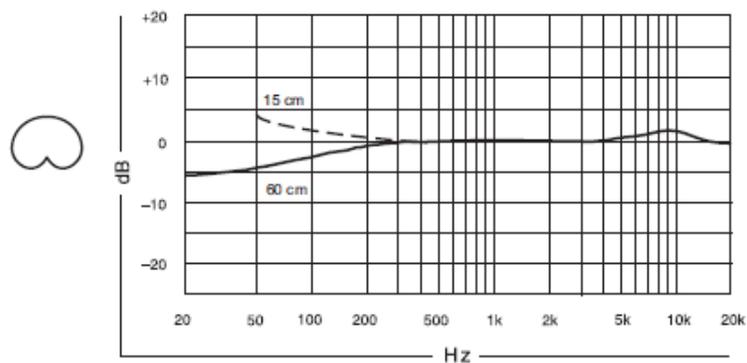


FIGURA 3. RESPUESTA DE FRECUENCIA TIPICA

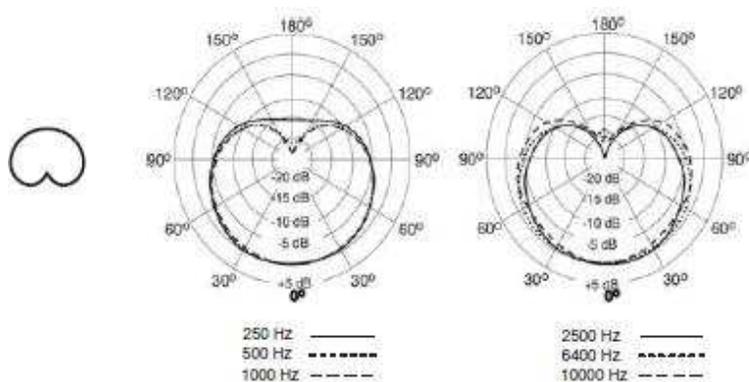


FIGURA 4. PATRONES DE CAPTACION POLAR TIPICOS

Especificaciones Técnicas del Micrófono KSM 141/SL

Tipo de cápsula	Condensador de polarización permanente
Respuesta de frecuencia	20-20.000 Hz (vea la Figuras 3 y 5)
Patrón polar de captación	Cardioide/omnidireccional (vea la Figuras 4 y 6)
Impedancia de salida	150 Ω (real)
Interruptor de atenuación	0, 15 ó 25 dB de atenuación
Interruptor de respuesta de frecuencias bajas	Respuesta uniforme, -6 dB/octava a menos de 115 Hz, -18 dB/octava a menos de 80 Hz
Alimentación Phantom	48 \pm 4 VCC (IEC-268-15/DIN 45 596), positivo en clavijas 2 y 3
Consumo de corriente	4,65 mA típico a 48 VCC
Rechazo en modo común	\geq 50 dB, 20 Hz hasta 20 kHz
Polaridad	Una presión positiva sobre el diafragma produce un voltaje positivo en la clavija 2 de salida con respecto a la clavija 3
Dimensiones y peso	20 mm de diámetro, 146 mm de largo; 155,9 gramos (vea la Figura 7)
Sensibilidad (típica, a 1000 Hz; 1 Pa = 94 dB SPL)	-37 dBV/Pa
Ruido autógeno (típico, SPL equivalente con ponderación A, IEC 651)	14 dB
Nivel de presión acústica (SPL) máx. a 1 kHz 5000 Ω de carga (atenuador conectado) 2500 Ω de carga (atenuador conectado) 1000 Ω de carga (atenuador conectado)	45 (160, 170) dB 39 (154, 164) dB 34 (149, 159) dB
Nivel de limitación de salida* 5000 Ω de carga 2500 Ω de carga 1000 Ω de carga	15 dBV 9 dBV 3 dBV
Rango dinámico 5000 Ω de carga 2500 Ω de carga 1000 Ω de carga	131 dB 125 dB 120 dB
Relación de señal a ruido**	80 dB

*20 Hz hasta 20 kHz; distorsión armónica total (THD): < 1%. THD del preamplificador del micrófono cuando la señal de entrada que se aplica es equivalente a la señal de salida de la cápsula para el SPL que se especifica.
** La relación señal / ruido es la diferencia entre 94 dB SPL y el SPL equivalente del ruido inherente con ponderación A.

Caja de Impedancia Whirlwind Imp 2



Características de la Caja de Impedancia Whirlwind Imp 2

1/4 inch parallel wired in and out jacks
Ground Lift switch to help isolate hum and buzz
Uses Whirlwind's TRHL transformer
Response: 20Hz-20kHz \pm 1dB
Impedance Ratio (input to output): 133:1

Formulario

1.1. Absorción

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

1.2. Coeficiente de Absorción

$$\alpha = \frac{\text{Energía Absorbida}}{\text{Energía Incidente}}$$

1.3. Absorción Total

$$A_{tot} = \alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2 + \dots + \alpha_n A_n$$

1.4. Coeficiente de Absorción Medio

$$\bar{\alpha} = \frac{A_{tot}}{S_t}$$

1.5. Tiempo de Reverberación RT

$$RT = \frac{0,161 V}{\bar{\alpha} S_t} \text{ (s)}$$

1.6. Tiempo de Reverberación con un factor de absorción

$$RT = \frac{0,161 V}{A + 4mV} \text{ (s)}$$

1.7. Distancia Crítica

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

1.8. Modos Normales de Vibración

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

1.9. Modos Normales de Vibración en Cavidades Continuas

$$\left(\sum_{n=1} a_n^a B_{ni}^a - \sum_{n=1} a_n^b B_{ni}^b \right) = 0$$

1.10. Densidad de Energía

$$D = \frac{(P)^2}{qc}$$

1.11. Calculo LD – LR, del %ALCons

$$L_D - L_R = 10 \log \left(\frac{QR}{r^2} \right) - 17 \text{ (en dB)}$$

1.12. Claridad de la Voz C50

$$C_{50} = 10 \log \left[\frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_{0.05}^{\infty} p^2(t) dt} \right] \text{ [dB]}$$

1.13. Claridad Musical C80

$$C_{80} = \log \left[\frac{E_{0-80}}{E_{80-\infty}} \right] \text{ [dB]}$$

1.14. Valor Eficaz (RMS)

$$P_{promedio} = \frac{V_{ef}^2}{R}$$

1.15. Ganancia del Micrófono

$$G = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}}$$

1.16. Nivel de Ganancia del Micrófono en decibeles

$$G_{dB} = 20 \log_{10} G = 20 \log_{10} \frac{V_{salida}}{V_{entrada}} \text{ (dB)}$$

1.17. NPS dBm

$$NPS_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{Pot}{Pot_{ref}} \text{ (dBm)}$$

1.18. NPS dBu

$$NPS_{dBu} = 20 \log_{10} \frac{V}{V_{ref}}$$

1.19. NPS dBV

$$NPS_{dBV} = 20 \log_{10} \frac{P}{V_{ref}}$$

Glosario

Armónico.- En una onda periódica, cualquiera de sus componentes sinusoidales, cuya frecuencia sea un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

Decibel.- Unidad empleada para expresar la relación entre dos potencias eléctricas o acústicas; es diez veces el logaritmo decimal de su relación numérica. Su símbolo es [dB].

Energía.- Capacidad para realizar un trabajo. Se mide en joules y su simbología es [J].

Frecuencia.- Número de veces que se repite un proceso periódico por unidad de tiempo.

Normativa.- Conjunto de normas aplicables a una determinada materia o actividad.

Omnidireccional.- Irradia o recibe perturbaciones de ondas desde cualquier punto a su alrededor.

Onda.- Perturbación que se propaga en un fluido.

Oscilar.- Efectuar movimientos de vaivén a la manera de un péndulo o de un cuerpo colgado de un resorte o movido por él.

Período.- Tiempo que algo tarda en volver al estado o posición que tenía al principio.

Perturbar.- Inmutar, trastornar el orden y concierto, o la quietud y el sosiego de algo o de alguien.

Propagar.- Hacer que algo se extienda o llegue a sitios distintos de aquel en que se produce.

Resonancia.- Fenómeno que se produce al coincidir la *frecuencia* propia de un sistema mecánico, eléctrico, etc., con la frecuencia de una excitación externa.

Sensibilidad.- Capacidad de respuesta a muy pequeñas excitaciones, estímulos o causas.

Transductor.- Dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.