

UNIVERSIDAD TECNICA PRIVADA COSMOS
“UNITEPC”

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Carrera de Ingeniería en Sonido



ANÁLISIS DE ACONDICIONAMIENTO
ACÚSTICO DE UNA SALA DE GRABACIÓN
ACONDICIONADO CON REVESTIMIENTO
DE “MDF”

Proyecto de grado presentada para optar al título de Ingeniería en Sonido

Postulante: Sergio Martin Terán Gamarra

Tutor: Ing. Rafael Alarcón.

Cochabamba – Bolivia

2014

AGRADECIMIENTOS

En Primer lugar agradecer a mis papás que me dieron la vida y confiaron en mí al escoger mi camino en la vida, a mis hermanos Héctor, Tito y Jorge por guiarme y estar a mi lado en todo momento a pesar de la distancia, a mi esposa Kari y mi Hija Raquel por ser la inspiración y el refugio en los momentos difíciles, a mi tía Dalcy por el apoyo, a mi Tío Javier Gumiel por mostrarme el camino de la música a la Familia Vacaflor Colquechambi y Colquechambi Farías por el Cariño y apoyo, a mis hermanos de la Música Gonzalo, Ernesto y Carlos por su apoyo incondicional y finalmente a la Música por enseñarme disciplina y Valores.

Asimismo, agradezco al Ing. Rafael Alarcón, quien me brindó el tiempo, la voluntad y los consejos necesarios para este trabajo, Al Ing. Isaías Lizarazu, al Lic. Mario Bustamante, Ing. René Herrera, por su comprensión y motivación, al Lic. Eduardo Mancilla e Ing. Pablo López, por su apoyo en la revisión del presente trabajo.

A mis Amigos del alma Killer, Damián, Polo y Jack D.

DEDICATORIA

A Héctor, Corina y Zonia Gamarra, Eliodoro, Julia y Julieta Terán, José Vacaflor
A, Que desde el Cielo nos guían y Cuidan día a día.

Para mi Familia que amo y que sin ella no existo.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCION	
CAPÍTULO I ANTEDECENTES:	1
1. Situación Problemática.....	1
2. Problemática.....	2
3. Justificación	1
Objetivos General.....	1
Objetivo Especifico	1
3. Planteamiento de la hipótesis.....	2
CAPÍTULO II MARCO TEORICO	4
2.1 Definición del sonido.....	4
2.2 Características de una onda sonora	5
2.2.1 Rapidez Sonora.....	5
2.3 Onda sonora.....	6
2.4 Propiedades del Sonido	7
2.4.1 Amplitud	7
2.5 Definición de Decibel	7
2.6 Frecuencia	8
2.6.1 Rango de Frecuencias Audibles	8
2.6.2 Respuestas del oído en relación a las frecuencias	8
2.7 Longitud de Onda	9
2.8 Tono y Timbre	10
2.9 Propagación del Sonido en el aire	10
2.10 Campo libre y Campo reverberante	11
2.11 Velocidad del Sonido	14

2.12. Flujo de energía sonora en una superficie	15
2.12.1 Reflexión.....	16
2.12.1.1 Reflexiones Tempranas	16
2.12.1.2 Coeficiente de reflexión	17
2.12.2 Absorción	17
2.12.2.1 Coeficiente de absorción.....	17
2.12.2.2. Absorción de Sabine	20
2.13 Ondas estacionarias	21
2.14 Modos Normales de vibración	22
2.15 Eco	23
2.16 Reverberación.....	24
2.17 Ambiencia	24
2.18 Resonancia	25
2.19 Parámetros de medición de la calidad en el diseño acústico	27
2.19.1 RT, T10, T20 ,T3' Y EDT	27
2.19.2 Intangibilidad de la palabra (D50 y STI).....	28
2.19.3 Calidad de la interpretación musical (BR, Br, y C80)	30
2.20 Aislamiento Acústico	32
2.21 Pérdida de transmisión PTo TL	33
2.22 Clase de transmisión sonora (STC)	33
2.23 Estado de la técnica en el diseño de las salas de control acústico	35
2.24 Non Enviroment	35
2.25 Lede Mejoradas	38
2.26 Análisis comparativo entre salas Non Enviroment y Lede.....	42
2.27 Elección del emplazamiento	43
2.28 Condiciones Geométricas	44
2.29 Volumen Condiciones Mininas	44
2.30 Dimensiones Tamaño mas favorables	44
2.31 Simetría de la Sala de Control.....	45

2.32 Cielos Falsos	46
2.33 Puertas	47
2.34 Trampas para bajos multidimensionales	48
2.35 Acerca del MDF	49
2.35.1 Características Principales	49
2.35.2 Densidad	51
2.35.3 Homogeneidad Aspecto de sus caras Densidad.....	51
2.36 El Estudio de Grabación propuesto	52

CAPÍTULO III : DISEÑO METODOLOGICO INGENIERIA

DEL PROYECTO	53
3.1 Diseño Metodologico.....	53
3.2Requerimientos del Proyecto	55
3.3Optimización de la Estructura Disponible	57
3.41er paso Estudio y análisis de la infraestructura existente.....	58
3.4.1 Sala de Grabación Tratamiento Acústico	58
3.52do paso determinación de elementos de acondicionamiento acústico apropiados para la sala a tratar.....	63
3.63er paso calculo de material y costos necesarios para la implementación del acondicionamiento acústico	63
3.74to paso construcción de la nueva estructura.....	65
3.7.1 Acondicionamiento Acústico de la sala de grabación	68
3.7.2 Puerta	76
3.7.3 Vidrios y Visores.....	78
3.7.4 Cielo falso en la sala de grabación	79
3.7.5 Piso	81
3.8 5to paso Análisis acústico tomando en cuenta parámetros relacionados al acondicionamiento acústico.....	85
3.9 Análisis espectral de la sala de grabación con tratamiento acústico ..	88

3.10 6to paso Presupuesto Análisis espectral de la sala de grabación con tratamiento acústico	89
3.10.1 Tabla de presupuestos comparativas con diferentes materiales utilizados en el medio	90
3.10.1.1 Presupuesto para acondicionamiento realizado con paredes de drywall.....	90
3.10.1.2 Presupuesto para acondicionamiento realizado con revestimiento de madera.....	91
3.10.1.3 Presupuesto para acondicionamiento realizado con placas de esponja común	92
3.10.1.4 Presupuesto para acondicionamiento realizado con placas de esponja acústica tipo Sonex	93
3.10.1.4 Presupuesto para acondicionamiento realizado con placas de cartón (cajas de huevo)	95
3.10.2 Tabla comparativa de precios tomando en cuenta diferentes materiales de revestimiento.....	95
3.11 Comparación del MDF y los diferentes materiales en el medio	96
3.11.1 Tabla comparativa de materias de revestimiento en salas de grabación.....	96
RECOMENDACIONES.....	99
CONCLUSIONES	100
APORTE	101
BIBLIOGRAFÍA	102

ANEXOS

INDICE ANEXOS

ANEXO 1

Acondicionamiento acústico de la sala de control	I
Piso en la sala control	IV
Cielo Falso en la sala de control.....	V
Sistema de Monitoreo	VI
Análisis acústico al interior de la sala de control	IX

ANEXO 2

Instalaciones complementaria a la sala de grabación.....	XI
Instalación Eléctrica	XI
Climatización y ventilación	XII
Iluminación	XIII
Cableado de Audio.....	XIV

ANEXO 3

Cadena Electroacústica.....	XVI
Consolas Mezcladoras	XVI
Computadora PC.....	XVI
Monitor	XVI
Interface Análogo Digital	XVII
Monitoreo.....	XVII
Amplificador de Audífonos	XVII
Micrófonos.....	XVIII
Audífonos	XIX
Pedestales	XIX
Procesadores de señal	XIX
Preamplificador a lámparas	XIX

ANEXO 4

Salas complementarias	XXI
Sala de Baño.....	XXII
Mini Bar	XXIII
Sala de recepción y descanso	XXIV

ANEXO 5

Aislamiento acústico Sala de recepción y descanso	XXV
--	------------

ANEXO 6

ELEMENTOS USADOS PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS RELACIONADOS AL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LA SALA REVESTIDA CON MDF

Ordenador	XXVI
Interface Análogo Digital	XXVII
Micrófono de Medición	XXVIII
Sonómetro	XXVIX
Ficha Técnica del Sonometro	XXX

ANEXO 7

FOTOS REALIZADAS DURANTE EL PROCESO DE MEDICION

Fotos realizadas durante el proceso de medicion **XXXI**

ANEXO 8

NORMA ISO 3382

NORMA ISO 3382 **XXV**

INDICE FIGURAS

Figura N°1 Desplazamiento de un punto Sobre la cuerda.....	4
Figura N° 2 Representación gráfica de la forma de onda de un sonido sinusoidal. El periodo de la onda se representa por “ t ” y su frecuencia por $1/t$	8
Figura N°3 Flujo de Energía Sonora Sobre una Superficie.....	15
Figura N°4 Speech Transmission Index.....	30
Figura N°5 Norma Non Enviroment.....	35
Figura N°6 Técnica de anulación de primeras reflexiones ideados por Schröder.	40
Figura N°7 Diagramación al interior y Orientación al Interior de la sala de Control.	41
Figura N° 8 Grado de Atenuación de Nivel de Reflexiones.....	42
Figura N° 9 Simetría en la Sala de Control	46
Figura N°10 Vista Frontal.....	47
Figura N° 11 Niveles de TL Pérdida de Transmisión.....	48
Figura N°12 Trampas para Bajo Bidimendcionales	49
Figura N°13 Esquema de la Estructura Interna	65
Figura N°14 Plano de Sala de grabación con tratamiento Acústico.....	67
Figura N°15 Corte superior de estructura Interna de la superficie de Paredes Falsas.	I
Figura N°16 Estructura del piso en sala de control.....	IV
Figura N°17 Plano de sala de control	VIII
Figura N°18 Plano de Ubicación de Luces	XIII
Figura N°19 Cadena Electroacústica con la utilización de 8 Micrófonos	XX
Figura N°20 Curvas de Nivel de Aislamiento	XXV

INDICE TABLAS

Tabla 1 Coeficientes de Absorción.	19
Tabla 2 Modos normales de Vibración	22
Tabla 3 Resultados Tiempo de Absorción Sala de Grabación sin Tratamiento Acústico.....	61
Tabla 4 Resultados de Tiempo de reverberación mediante las técnicas de Sabine y Eyring	61
Tabla 5 Resultados Modos Normales de Vibración Sala rectangular sin tratamiento Acústico	62
Tabla 6 Resultados obtenidos con la Implementación de paredes Falsas y trampas para Bajos construidas con MDF en Sala de Grabación Tiempo de Reverberación según diferentes bandas de frecuencia	85
Tabla 7 Resultados Tiempo de Reverberación Sala de Grabación Con Tratamiento Acústico de MDF	85
Tabla 8 Valores Energéticos.....	80
Tabla 9 Valores ISO 3382.....	80
Tabla 10 Niveles IRN y G.....	80
Tabla 11 Tiempo de Reverberación	81
Tabla 12 Intangibilidad de la palabra	81
Tabla 13 Reflexiones Tempranas	81
Tabla 14 Tabla de resultado parámetro STI.....	94
Tabla 15 Corte superior de estructura interna de la superficie de paredes falsas	94
Tabla 16 Valores Energeticos.....	IX
Tabla 17 Valores ISO 3382.....	IX
Tabla 18 Niveles INR y G Valores Energéticos	IX
Tabla 19 Tiempo de Reverberación.....	X
Tabla 20 intangibilidad de la Palabra	X
Tabla 21 Reflexiones Tempranas	X

INDICE FOTOS

Foto N°1 Area Circundante de las Instalaciones	56
Foto N°2 Area Circundante de las Instalaciones	56
Foto N°3 Area Circundante de las Instalaciones	57
Foto N°4 Instalación de Listones de Estructura para Placas de MDF	65
Foto N°5 Vista de Pared N° 1 Trampa de Bajo Bidimensional N° 1	69
Foto N°6 Vista de Pared N° 2 (Visor).....	71
Foto N°7 Vista de Pared N° 3 Trampa de Bajo Bidimensional N° 2.....	72
Foto N°8 Vista de Pared N° 4 Trampa de Bajo Bidimensional N° 3.....	73
Foto N°9 Vista General.....	74
Foto N°10 Vista Frontal de La Puerta de Ingreso.....	76
Foto N°11 Vista Externa de La Puerta de Ingreso.....	77
Foto N°12 Vista Frontal del Interior Puerta de Ingreso	77
Foto N°13 Vista Frontal del Visor de Comunicación Lado Sala de Control	78
Foto N°14 Vista Frontal del Visor de Comunicación Lado Sala de Grabación ...	79
Foto N°15 Vista Frontal N° 1 del Cielo Falso	80
Foto N°16 Vista Frontal N° 2 del Cielo Falso	80
Foto N°17 Aislante del Piso	81
Foto N°18 Placas de Piso flotante.....	82
Foto N°19 Vista de la instalación del piso flotante	82
Foto N°20 Vista del proceso de la Instalación del piso flotante.....	83
Foto N°21 Vista del proceso de la Instalación del piso flotante.....	83
Foto N°22 Vista del Piso Concluido en su Instalación.....	84
Foto N°24 Vista Pared 1, Sala de Control	II
Foto N°25 Vista de Pared 2, sala de control.....	II
Foto N°26 Vista Pared 3, Sala de Control	III
Foto N°27 Vista Pared 4, Sala de Control.....	III
Foto N°28 Vista Frontal del Cielo Falso en Sala de Control.....	V
Foto N°29 Vista Posterior del Cielo Falso en Sala de Control.....	VI
Foto N°30 Vista Frontal de Nichos para Sistema de	

Monitoreo de campo medio	VI
Foto N°31 Soportes del Sistema de Monitoreo de Campo	
Cercano Construidos de MDF	VII
Foto N°32 Instalación del Multipar de Audio	XV
Foto N°33 Sala de Baño	XXII
Foto N°34 Mini Bar	XXIII
Foto N°35 Vista Posterior del Cielo Falso en Sala de Control.....	XXIV

INDICE GRAFICOS

Grafico N°1 Tiempo de reverberación Eyring y Sabine	62
Grafico N°2 Tiempo de reverberación Eyring y Sabine	72
Grafico N°3 Visualización gráfica de la Curva de Respuesta Mediante análisis espectral.....	90
Grafico N°4 Visualización gráfica de la Curva de Respuesta Mediante análisis espectral adjunto a la Señal de referencia.....	91
Grafico N°5 plano de Instalación de Tomas Eléctricas en Sala de Grabación ...	XI

RESUMEN

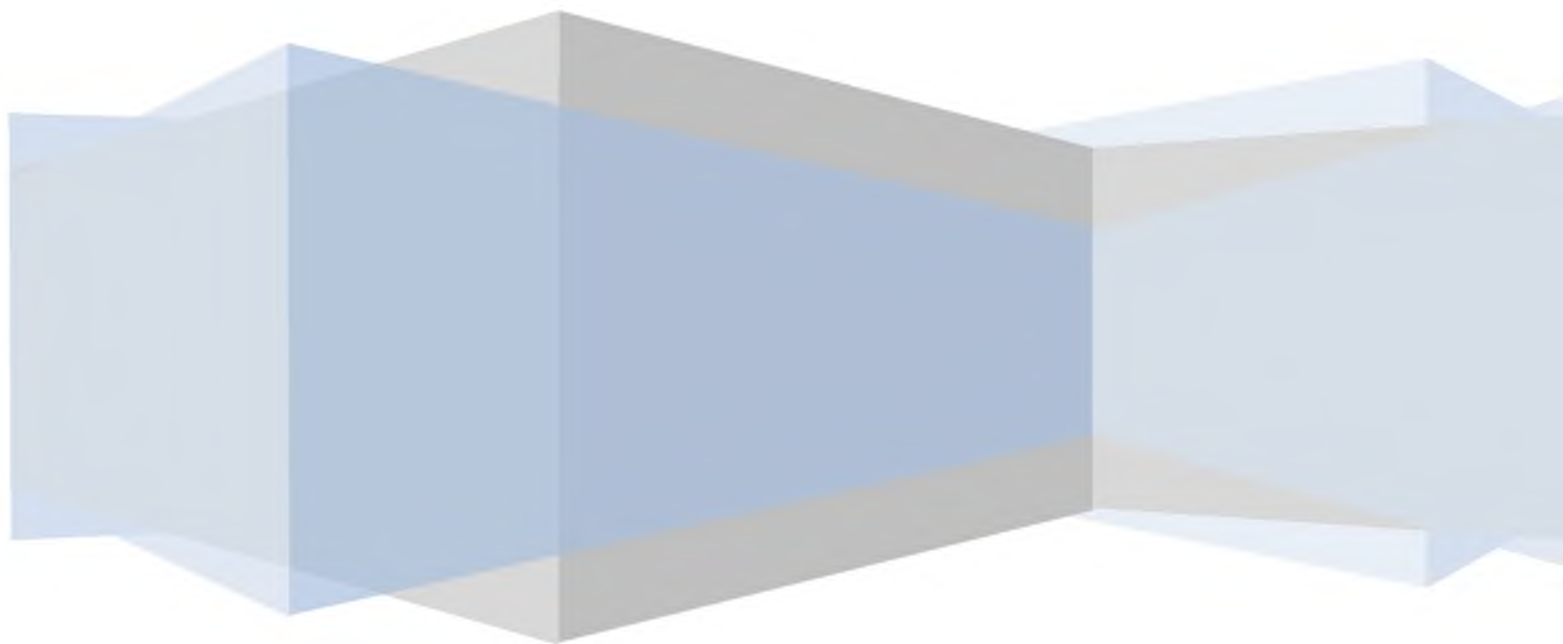
En este trabajo se demuestra tanto la aplicación como el análisis acústico de la aplicación del MDF como material principal empleado en el acondicionamiento y revestimiento de las paredes de salas de grabación. Teniendo en cuenta que un gran porcentaje de salas en el medio están compuestas por formas rectangulares debido a que fueron inicialmente concebidas con otro propósito no precisamente el de ser una sala de grabación, teniendo así serios problemas ante ondas estacionarias y modos normales de vibración, producidas precisamente por el paralelismo entre las paredes.

Es de esta manera que la Utilización del MDF como material de revestimiento en las paredes nos proveerá la capacidad de construir trampas para bajos Bidimensionales con óptimos resultados, debido a su gran capacidad de moldear y óptima resistencia.

El propósito de usar el MDF como material como un material Acústico se debe principalmente a que es un material que cuenta con coeficientes de absorción muy uniformes teniendo variaciones máximas de un 2% entre sus bandas estándar de frecuencia. De esta manera la absorción será uniforme y el sonido al interior de la sala será natural sin coloraciones excesivas ni absorciones exageradas, además de contar con un piso flotante de madera además de cielo falso acústico USG de fibra de vidrio con recubrimiento de PVC micro perforado, que aportarán para tener un tiempo de reverberación acorde a una sala de grabación con un tiempo de reverberación acorde a los estándares internacionales y normas establecidas

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES



CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCION

Dicho proyecto promete bastante en lo que a salas de grabación de vanguardia se refiere puesto de que el MDF es un material bastante nuevo en relación a otros que ya están en el mercado hace mucho tiempo.

En el medio local existe un gran porcentaje de Estudios de grabación que toman el asunto de la Acústica como algo sin importancia y desconocen por completo los dos factores primordiales para concebir una sala Acústica debidamente tratada, el Proceso del Aislamiento acústico y el Acondicionamiento Acústico, conformándose con simplemente emprender un trabajo relacionado al aislamiento utilizando materiales en su gran mayoría absorbentes como el cartón o la esponja común, de esta manera si bien se consigue aislar en cierta medida el ruido Externo y el ruido Interno se lo hace de manera poco uniforme en relación a las Frecuencias aislando bastante el contenido de Frecuencias Altas y Medias y dejando de lado por completo el aislamiento de frecuencias Bajas debido a su extensa Longitud de Onda y a ser al mismo tiempo consideradas Frecuencias de transmisión Estructural, todo esto debido a que estos materiales presentan niveles muy bajos en lo que se refiere a los coeficientes de absorción de Frecuencias Bajas, de esta manera el objetivo de Aislar no se cumple de manera Eficaz.

Por otro lado el trabajo de Acondicionamiento Acústico queda completamente Ignorado, siendo este aspecto de vital importancia para conservar la sonoridad propia de cada instrumento o voz, teniendo como resultado producciones que carecen de Naturalidad en los diferentes instrumentos, debido a que se recurre a un excesivo proceso Digital de las señales para corregir los defectos producidos por la absorción poco uniforme es por ello que se induce a la señal Original grandes cantidades de ruido.

Otra Problemática observada en el medio local referido a estudios de grabación es el hecho de contar con muy poco espacio para el desarrollo de los mismos y en la mayoría de los casos adaptar viviendas o habitaciones destinadas a otro propósito diferente al de un estudio de grabación, teniendo como un común denominador salas con forma Rectangular aún después de un mediocre aislamiento acústico, de esta manera propiciando un ambiente ideal para la generación de ondas estacionarias presentes por la concentración de energía acústica en las esquinas de Superficies paralelas en este caso las paredes, así como en el Cielo Falso en Relación al Piso.

Es por eso que esta sala promete bastante puesto de que propone la implementación de Materiales apropiados para un trabajo óptimo de tratamiento acústico tomando en cuenta primeramente aspectos relacionados al Aislamiento acústico priorizando la instalación de Trampas Para Bajo Bidimensionales que estarán apropiadamente sujetas por una estructura interna que utilizará únicamente aire para lograr el aislamiento apropiado y una absorción uniforme en relación a las diferentes Bandas de Frecuencias eso en el caso de las Paredes y Cielo Falso teniendo en el piso sistemas anti vibratorios compuestos por el desplazamiento de tubos PVC al interior del piso conservando así una cantidad considerable de aire al interior del piso sin alterar la consistencia necesaria en el Piso.

Así mismo el proceso del Acondicionamiento Acústico será en esencia el alma de este proyecto debido a que se eligió el uso de el MDF como material de revestimiento en las Paredes de dicho estudio debido a que su absorción es bastante uniforme en relación a las diferentes bandas de frecuencia teniendo fluctuaciones de un de 0,01 máximo entre las mismas, de esta manera el sonido producido al interior de estas salas será Bastante Natural teniendo un ambiente bastante estable en términos de Coeficientes de Absorción, complementando la acción del material de revestimiento de las paredes se escogerá la implementación de Cielo Falso Acústico de Fibra de Vidrio Revestido de PVC

micro perforado instalado en una estructura de perfiles de Aluminio y acero Galvanizado, de igual manera el piso estará revestido con un parquet de alta calidad que aportará a una absorción pareja. Debido a la Forma irregular de las Paredes y la eliminación por completo de superficies paralelas entre sí, la presencia de ondas estacionarias será prácticamente inexistente, todo esto gracias a la instalación de Paredes Falsas que tendrán la forma de Trampas Para bajo que cumplirán con las medidas requeridas para evitar ondas estacionarias con un contenido de frecuencia de hasta 20 Hz.

1.2 SITUACION PROBLÈMICA.

En el medio local de producción de Audio en todos sus ámbitos existen un sin número de estudios de grabación la gran mayoría de ellos no cuentan con las condiciones básicas de tratamiento acústico.

Por otro lado las salas que si cuentan con tratamiento acústico no utilizan materiales apropiados, el material más común de revestimiento son las cajas de huevo que no tiene ninguna propiedad acústica teniendo coeficientes de absorción bastante inestables absorbiendo frecuencias agudas y en frecuencias medias y graves nada en lo absoluto, otro material bastante usado es la esponja común que tiene un comportamiento acústico similar al del cartón en términos de absorción carecen de rigidez por lo tanto al igual que las cajas de cartón necesitan de una estructura sólida internamente ya sea una pared sólida o una pared Falsa.

En el medio local existen muy pocas empresas que se dedican a la instalación y diseño de salas acústicas la mayoría de ellas sin tener los conocimientos suficientes para realizar el trabajo de manera apropiada y bajo las normas y parámetros que están establecidos mundialmente, en muchos casos se recurre a

la utilización de esponja acústica la cual es de un precio considerablemente elevado y difícil de encontrar.

La Utilización de madera natural en el revestimiento de salas acústicas sería en teoría una excelente alternativa pero en nuestro país no se cuenta con maquinaria apropiada para el secado de la madera, además de ir en contra de la Naturaleza.

1.3 PROBLEMÁTICA:

En el medio local y nacional no existen salas que cuenten con un material que sea económico y cumpla con los parámetros necesarios para realizar un Revestimiento que brinde resultados óptimos en cuanto al acondicionamiento Acústico.

1.4 JUSTIFICACIÓN.

Dicho proyecto aportará a la comunidad de manera que dará una opción más al momento de elegir un material para la construcción y acondicionamiento de dichas instalaciones y aportar al medio profesional demostrando la particularidad de la técnica referente a trampas Acústicas revestidas de MDF.

1.5 OBJETIVOS:

- **Objetivo General:**

Realizar un análisis acústico de la aplicación del MDF como material empleado en el acondicionamiento de salas de grabación.

- Objetivos Específicos:

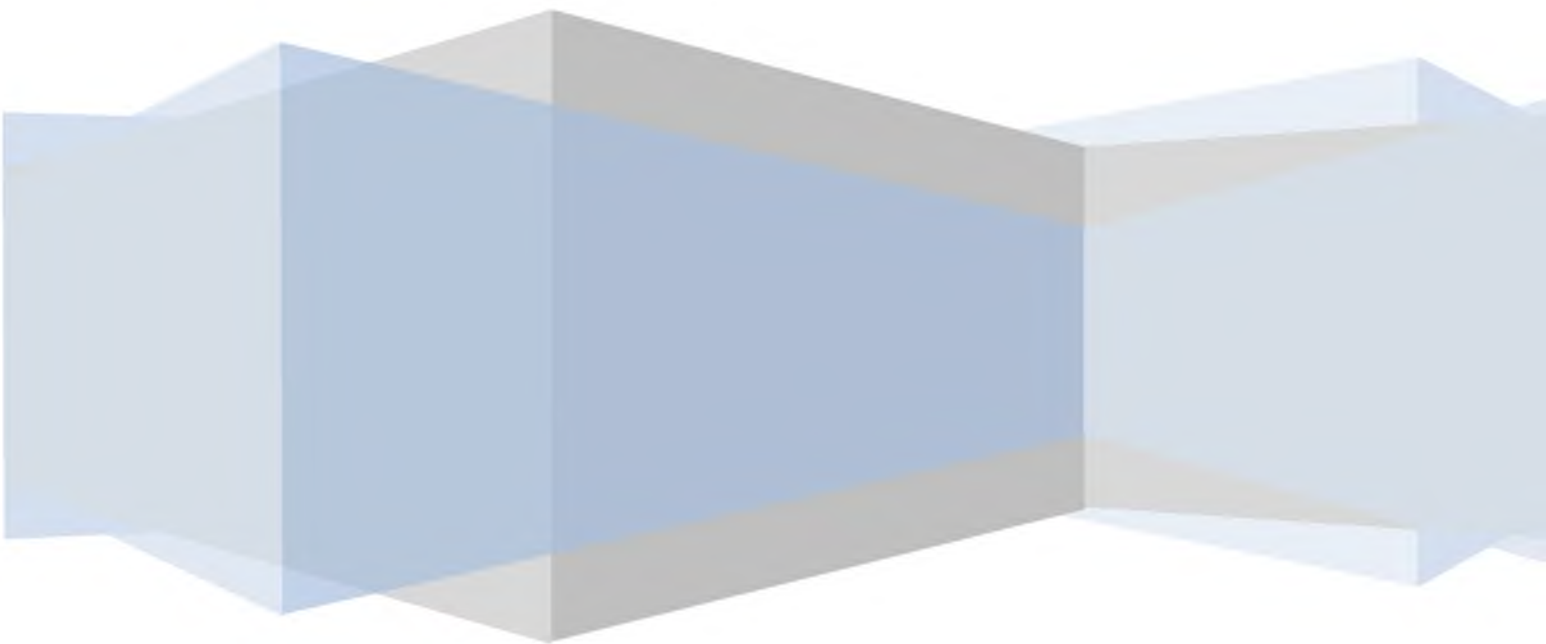
- Realizar un estudio detallado de las características de la sala que va a ser tratada acústicamente.
 - Realizar un cálculo acerca de la cantidad de material que va ser utilizado para el revestimiento.
 - Determinar el tipo de estructura que se va utilizar para soportar las placas de MDF.
 - Realizar un cálculo preciso para determinar Tiempo de Reverberación y otros parámetros relacionados a la inteligibilidad, T60, T10, D50, SNR, EDT, STI MASCULINO Y FEMENINO.
 - Demostrar las virtudes del MDF 12 mm. verificando coeficientes de absorción, Grado de reflectividad ST (early), ST (late), ST (Total).

1.6 JUSTIFICACIÓN.

Dicho proyecto aportará a la comunidad de manera que dará una opción más al momento de elegir un material para la construcción y acondicionamiento de dichas instalaciones y aportar al medio profesional demostrando la particularidad de la técnica referente a trampas Acústicas revestidas de MDF.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO



CAPITULO II MARCO TEORICO

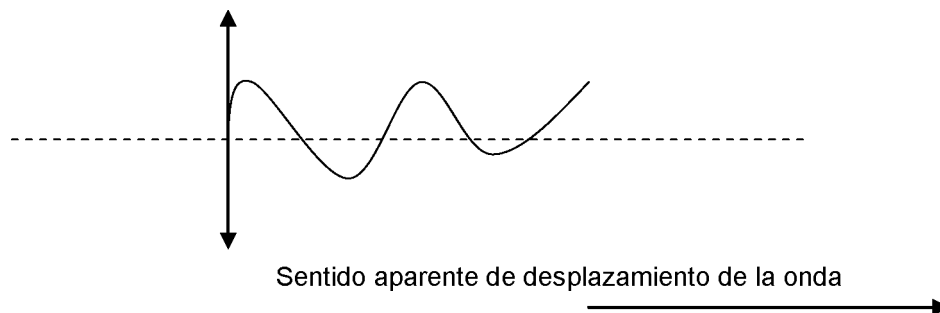
2.1 DEFINICIÓN DEL SONIDO.

El Sonido se produce cuando un objeto (fuente Sonora) vibra y origina un movimiento en el aire que lo rodea. Consideremos la esfera de la Figura N° 1 se trata de una esfera pulsante, que vibra de tal forma que su tamaño oscila y pasa a ser ligeramente más grande de lo normal a ligeramente más pequeño de lo normal. Con esta pulsación, en el aire que le rodea, se originarán alternativamente compresiones y descompresiones. (SETO WILLIANS 1975: 47)

Irán alejándose de la esfera como si se tratara de una versión tridimensional de las ondulaciones que produce una piedra al caer sobre un estanque. Esta se conocen como “ondas longitudinales”, puesto de que las partículas de aire se mueven en la misma dimensión que la dirección en que viaja la onda. Como alternativa al movimiento longitudinal está el movimiento “Transversal” de la onda. . (SETO WILLIANS 1975: 47)

Este es el que tiene una cuerda que vibra cuando está sujeta por ambos extremos; el movimiento de la cuerda forma ángulos rectos con la dirección del movimiento aparente de la onda.

Figura N° 1: Desplazamiento de un punto Sobre la cuerda.



Fuente: BERANECK: Acústica, Pág. 39

El movimiento de cualquier punto sobre una onda transversal forma ángulos rectos con la dirección aparente del desplazamiento de la misma.

Las ondas sonoras en el aire están producidas por las variaciones de presión por encima y por debajo del valor estático de la presión atmosférica de acuerdo con las propiedades físicas del medio elástico a través del cual se transmiten estas variaciones (SETO WILLIANS 1975: 48)

Cuando un cuerpo vibrante avanza desde su posición de equilibrio estático, impulsa al aire hacia delante y lo comprime, de la misma manera se presenta un enrarecimiento en la parte inmediata posterior al cuerpo, siendo que el aire se precipita al llenar el vacío. De tal manera, que la compresión del aire se transfiere a partes distantes y el aire se pone en movimiento teniendo como resultado las ondas sonoras, lo cual desemboca en el sonido o ruido.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA ONDA SONORA.

2.2.1 RAPIDEZ SONORA.

La velocidad del sonido es la velocidad a la que se desplazan las ondas sonoras. A una temperatura de 20°C, la velocidad del sonido en el aire es de aproximadamente 344 m/s. La temperatura del aire tiene un efecto significativo sobre la velocidad del sonido. La velocidad aumenta en aproximadamente 0,61m/s por cada aumento de un grado centígrado en la temperatura: Se puede asumir que la velocidad del sonido es independiente de la frecuencia y de la humedad. (MANUAL DE MEDIDAS ACUSTICAS Y CONTROL DE RUIDO 1995 16.1)

Luego de diferentes estudios se pudo establecer que la velocidad del sonido a mayor temperatura será mayor su velocidad pero a menor temperatura la velocidad disminuye utilizando la siguiente fórmula:

$$C = 332 \sqrt{1 + \frac{^{\circ}\text{C}}{273.15}}$$

C = Rapidez Sonora

°C = Temperatura en Grados Centígrados.

La velocidad con la que oscila la fuente es la frecuencia de la onda de sonido que dicha oscilación produce, y se mide en hercios (Hz), o ciclos por segundo. El valor 1000 hercios denomina 1 Kilohercio (1KHz). El grado de compresión y descompresión del aire, resultado del movimiento de la esfera, es la amplitud de la onda de sonido, y tiene que ver con el nivel sonoro cuando es percibido finalmente por el oído.

La distancia entre dos picos adyacentes de la compresión o descompresión, conforme la onda viaja por el aire, se conoce con el nombre de longitud de onda, y se representan normalmente con la letra griega Lambda (λ). La longitud de onda depende de lo rápido que viaje el sonido, puesto que, dado un tiempo fijo entre picos de compresión, una onda que se desplaza rápidamente producirá una distancia entre picos, mayor que la de una onda de desplazamiento lento.

2.3 ONDA SONORA.

La onda sonora es producida por vibraciones mecánicas que producen una perturbación en las partículas de aire produciendo la compresión y rarefacción de las mismas y de esta manera es que el sonido puede llegar a propagarse.

Las características de una onda de sonido pueden representarse gráficamente mediante un eje vertical para la amplitud y un eje horizontal que representa el

tiempo. Vemos que tanto los valores positivos como los negativos se dibujan en el eje vertical: esto indica compresiones (+) y descompresiones (-) del aire.

Este gráfico representa por tanto, la forma de onda del sonido. Supondremos por el momento que la fuente vibra de forma elemental y regular, lo que se denomina movimiento armónico simple. El resultado de este movimiento es una onda simple conocida como onda "sinusoidal". Los sistemas vibrantes más sencillos, como es el caso de una masa suspendida de una cuerda o el de un péndulo balanceándose sobre un punto de apoyo.

2.4 PROPIEDADES DEL SONIDO

2.4.1 AMPLITUD.

Amplitud es lo que se conoce comúnmente como Volumen y se mide en Decibeles, y esta expresada en términos de Nivel de Presión sonora. También podemos decir que es la distancia que existe entre el pico más alto y el pico más bajo de una oscilación completa. El Valor máximo que toma la perturbación se llama Amplitud (ACÚSTICA DE LOCALES, SOMMERHOFF, PÁG. 8).

2.5 DEFINICIÓN DE DECIBEL

El decibelio está basado en el logaritmo del cociente de dos números, Indica cuanto es mayor o menor un valor que el otro, puede utilizarse también como unidad absoluta de medida, siempre y cuando el valor de referencia sea fijo y conocido. El número de decibelios es igual a diez veces el logaritmo en base diez de la relación entre la potencia de las dos señales:

$$\underline{dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)}$$

dB = decibelio

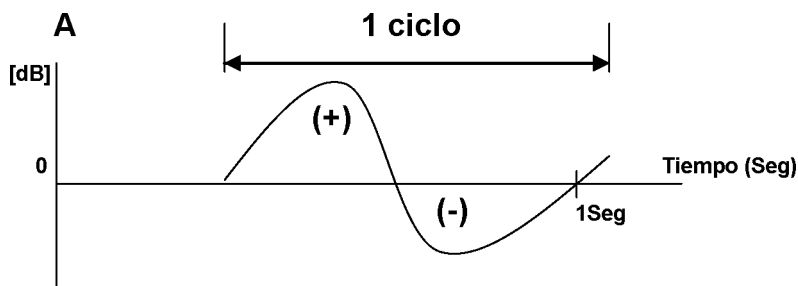
P1 = Potencia 1

P2 = Potencia 2

2.6 FRECUENCIA.

La frecuencia (f) es la inversa del tiempo entre transiciones de la onda ($f = 1/t$). Así cuanto más corto es el espacio de tiempo entre oscilaciones de la fuente, mayor es la frecuencia.

Figura N° 2: Representación gráfica de la forma de onda de un sonido sinusoidal. El periodo de la onda se representa por “ t ” y su frecuencia por $1/t$.



Fuente: SAVIOLLI: Acústica Práctica, Alsina Buenos Aires, 1992, Pág. 46.

2.6.1 RANGO DE FRECUENCIAS AUDIBLES

El oído humano es capaz de percibir sonidos con frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 kHz, aproximadamente; esto es lo que se conoce como Rango de frecuencias Audibles o espectro de audio.

2.6.2 RESPUESTA DEL OIDO EN RELACION A LAS FRECUENCIAS.

El oído Humano tiene la característica de responder mejor a las frecuencias medias, debido a que la voz humana tiene un contenido de frecuencias compuesto por frecuencias medias coincidentemente.

2.7 LONGITUD DE ONDA

La longitud de onda y la frecuencia se relacionan entre sí muy fácilmente, siempre que se conozca la velocidad del sonido representada normalmente por la letra (c).

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

λ = *Longitud de onda*

c = *Velocidad del Sonido*

f = *Frecuencia*

En el caso de una temperatura ambiente normal, la longitud onda en el aire de un sonido de 20 Hz (el límite de frecuencias bajas, BF, en el espectro de audio), sería igual a 17 metros.

Mientras que la longitud de onda de 20 kHz (límite de frecuencias altas, AF, en el espectro de audio), sería igual a 1,7 cm. según esto da la impresión de que la longitud de onda del sonido varía entre ser muy grande para frecuencias bajas, en relación con la mayoría de los objetos de nuestro entorno, y muy pequeña comparado con los mismos objetos para frecuencias altas.

Esto es importante cuando se analiza el comportamiento del sonido al toparse con un objeto, el objeto puede actuar como una barrera para el sonido, o bien hacer que este se curve alrededor del objeto. Es también importante conocer las magnitudes que se manejan debido a la referencia de tamaño de una onda y su desplazamiento.

2.8 TIMBRE Y TONO

Si la frecuencia representa el aspecto Físico del Fenómeno, su aspecto psicofisiológico subjetivo se expresa a través del concepto de Altura Tono o Tonía. Para el oído la variación de altura tonal se denomina Tonía y su unidad es el “mel”. (HIGINI ARAU: ABC DE LA ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA, CEAC S.A. 1999, PÁG. 78.)

Otra cualidad Asociada a la Frecuencia, de peculiar importancia es denominada Timbre. Esta propiedad del sonido se basa en que se puede distinguir fácilmente una nota tocada por un piano de la misma nota tocada por una flauta u otro instrumento musical.

Todos los cuerpos vibran con más de una frecuencia, por lo que originan siempre ondas complejas, compuestas por una frecuencia fundamental y sus respectivas frecuencias armónicas que a su vez se dividen en dos frecuencias Armónicas pares y Frecuencias armónicas Impares o “nones”.

Las Frecuencias armónicas pares van estar relacionadas a un sonido claro abierto y cálido. Por otra parte las Frecuencias armónicas impares estarán relacionadas a un sonido cerrado Chillón, cortante.

2.9 PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN EL AIRE

El aire se compone de moléculas de gas y tiene la propiedad de la elasticidad (por ejemplo si uno taponar con el dedo pulgar la salida de aire de una bomba de bicicleta, y comprimes el aire que hay dentro: el aire es elástico). Las ondas de sonido longitudinales viajan a través del aire de manera análoga a como cae una fila de fichas de dominó, colocadas de pié una lado a la otra, cuando se empuja la primera de ellas.

El semi - ciclo de compresión creado por la fuente vibratoria hace que se produzca un efecto de choque entre partículas de aire contiguas. A esto sigue normalmente una descompresión del mismo calibre, que provoca un desplazamiento similar de partículas en sentido opuesto.

Podemos ver que el efecto neto resultante es que las partículas individuales no viajan realmente oscilan alrededor de un punto fijo pero el resultado es que se genera una onda que parece moverse alejándose de la fuente. La velocidad a la que se aleja depende de la densidad y elasticidad de la sustancia que se atraviesa.

En el aire esta velocidad es relativamente baja, comparada con la velocidad que el sonido a través de la mayoría de los sólidos. La velocidad del sonido en el aire es aproximadamente 340 metros por segundo (m/s), aunque ello depende de la temperatura del aire, a temperatura de congelación la velocidad reduce hasta estar próxima a los 330 m/s. En el acero, para dar un ejemplo de sólido, la velocidad del sonido está alrededor de los 5100 m/s.

2.10 CAMPO LIBRE Y CAMPO REVERBERANTE.-

El campo libre, en términos acústicos, es un área de la que no hay reflexiones. Los campos completamente libres son difíciles de encontrar en la práctica, puesto que siempre existe algún tipo de reflexión próxima aunque sea de nivel muy bajo. Si una persona es capaz de imaginar la sensación de estar al aire libre, suspendido por encima del suelo y lejos de los edificios o cualquier otra superficie, tendrá entonces la idea de lo que puede ser la experiencia del campo libre.

El resultado es un resultado acústicamente “muerto“. Los experimentos acústicos se llevan a cabo a veces en cámaras anecóicas, que son recintos tratados de forma especial para que se elimine casi por completo las reflexiones a cualquier frecuencia sus superficies son totalmente absorbentes. De esta forma se pretenden crear condiciones semejantes a las del campo libre.

En el campo libre toda la energía sonora de la fuente se radia desde la propia fuente: no hay energía reflejada, así pues la ley cuadrática inversa determina completamente el nivel sonoro a cualquier distancia de la fuente. Por supuesto, la fuente puede ser direccional, en cuyo caso deberá tenerse en cuenta el factor de directividad.

Una fuente con un factor de directividad 2 en su eje de radiación máxima radia en esa dirección el doble de potencia de la que tendría si estuviese radiando de forma omnidireccional.

El índice de directividad de una fuente se mide en dB, correspondiendo al ejemplo anterior un índice de directividad de 3dB. Si se calcula la intensidad a una distancia dada de una fuente direccional, debe tenerse en cuenta su factor de directividad en el eje en cuestión.

Esto se hace multiplicando la potencia de la fuente por el factor de directividad y dividiendo por $4\pi r^2$. En cualquier recinto están presentes tanto el sonido directo como el reflejado.

A una cierta distancia de una fuente situada dentro de un recinto se dice que el campo acústico es difuso o reverberante, puesto que la energía del sonido reflejado predomina sobre el sonido directo.

Un instante después de que la fuente haya empezado a generar sonido se habrá formado dentro un recinto un modelo difuso de reflexiones, y la energía del sonido reflejado será prácticamente constante en cualquier punto de la sala.

En las proximidades de la fuente el sonido directo tiene aún un nivel bastante alto, de forma que el reflejado contribuye mínimamente en el total. Esta región del espacio se denomina campo próximo.

La distancia exacta a una fuente para la cual la energía reverberante comienza a dominar sobre la directa depende del tiempo de reverberación del recinto este a su vez, depende de la absorción y del volumen del propio recinto, así mismo se nos muestra para tres tipos de recintos cómo varía el SPL a medida que aumenta la distancia a la fuente.

Puede verse claramente que en la sala “muerta” las condiciones se aproximan a las del campo libre (con una intensidad sonora que tiene pérdidas cercanas a los esperados 6dB cada vez que se dobla la distancia) puesto que la cantidad de energía reverberante es muy pequeña. La distancia crítica, para la cual se igualan los niveles del sonido directo y del sonido reflejado, es mayor que en el caso de una sala muy reverberante.

En un reverberante el nivel de presión sonora no varía mucho con la distancia a la fuente, puesto que la energía del sonido reflejado es predominante a partir de poca distancia.

Esto es importante a la hora de diseñar un determinado recinto o sala, puesto que, aunque en un control de grabación, por ejemplo, puede ser deseable un tiempo de reverberación corto, ello tiene el inconveniente que la variación del SPL con la distancia será bastante brusca, siendo necesarios amplificadores de mucha potencia y altavoces de alto rendimiento para proporcionar el nivel adecuado.

Un tiempo de reverberación ligeramente mayor hace que la sala sea menos desconcertante para trabajar, al mismo tiempo que rebaja los requerimientos en cuanto a potencia del altavoz.

2.11 VELOCIDAD DEL SONIDO:

El aire puede verse afectado por cambios de presión, temperatura y humedad; estos cambios influyen en la velocidad del sonido que se produce en su seno.

En función de la presión a que está sometido el aire, la velocidad viene dada por la fórmula:

$$\underline{V = \sqrt{1.4 \times \frac{P}{D}}}$$

V = Velocidad del Sonido

P = Presión del gas

D = Densidad del gas

Pero según la ley de Boyle, los volúmenes son inversamente proporcionales a las presiones son directamente proporcionales a las densidades. Por tanto, el cociente P/D permanecerá constante; por lo que V será invariable.

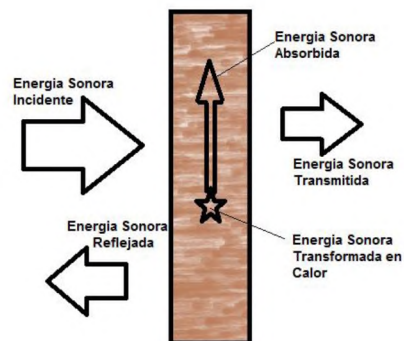
La presión no va a exceder en mucho a la atmosférica, pues si se comprime mucho el aire, sus moléculas sufren una aproximación notable; y aparecen entonces las llamadas fuerzas de Van der Waals, el aire deja de comportarse como gas perfecto y se pierde la proporcionalidad entre aumento de presión e incremento de densidad. Por lo demás los cambios de presión no afectan a la velocidad del sonido.

Las variaciones de temperatura, por el contrario, sí que la afectan. Las moléculas que constituyen cualquier materia están en constante oscilación, siendo la velocidad de este movimiento molecular proporcional a la temperatura absoluta a que se halle dicha materia. Por tanto, cuando las moléculas del aire se les imprime un movimiento oscilatorio, éste se superpone a las oscilaciones térmicas propias que tiene el gas por su temperatura; resultando que para el mismo estímulo la velocidad de propagación será tanto mayor cuanto más intensa sea la oscilación térmica. Esto es, su temperatura.

2.12 FLUJO DE ENERGÍA SONORA SOBRE UNA SUPERFICIE.

El sonido al ser un tipo de energía tiene un comportamiento particular al hacer incidencia sobre una superficie, la energía sonora Incidente sobre una superficie se convierte en 4 tipos de energía sonora diferentes, Energía sonora Reflejada, Energía Sonora Absorbida, Energía Sonora Transformada en Calor y energía sonora transmitida.

Figura N° 3 Flujo de Energía Sonora Sobre una Superficie



Fuente: Elaboración Propia

2.12. 1 REFLEXIÓN.

El tamaño de un objeto en relación con la longitud de onda de un determinado sonido es importante para conocer si la onda sonora le rodeara o será reflejada por él. Cuando un objeto es grande en relación a la longitud de onda se comportará como una barrera parcial para el sonido, mientras que cuando el sonido se curvará o difractará alrededor a él.

Puesto que las longitudes de onda en el aire varían entre aproximadamente 18 metros para frecuencias bajas y algo más de un centímetro para frecuencias altas, pero tendrán un efecto despreciable en las frecuencias bajas.

2.12.1.1 REFLEXIONES TEMPRANAS.

Cuando la fuente sonora está rodeada por varias superficies (piso, paredes, techo) un oyente recibirá el sonido directo, y además el sonido reflejado en cada pared. Las primeras reflexiones recibidas, que se encuentran bastante separadas en el tiempo, se denominan reflexiones tempranas.

En salas de medianas dimensiones, las primeras reflexiones están bastante cerca en el tiempo unas de otras, de manera que no se lleva a percibir el eco.

2.12.1.2 COEFICIENTE DE REFLEXIÓN

El coeficiente de Reflexión es un número adimensional que permite cuantificar la cantidad de energía sonora que se refleja en una determinada Superficie dependiendo el tipo de material de la misma y está definida por la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{I_R}{I_I}$$

σ = *Coeficiente de Reflexión.*

I_R = *Energía Sonora Reflejada.*

I_I = *Energía Sonora Incidente.*

Dicho Coeficiente es un número que fluctúa entre 0 y 1; Teniendo como máximo coeficiente de Reflexión igual a 1 y Mínimo Coeficiente de Reflexión = 0.

2.12.2 ABSORCIÓN.

Se Refiere a la Cantidad de Energía Sonora Incidente que es Absorbida por el Material de la Superficie donde hace Incidencia la Energía Sonora.

2.12.2.1 COEFICIENTE DE ABSORCIÓN.

La cantidad de Energía Sonora absorbida está cuantificada en un coeficiente de Absorción que tiene como Máximo de Absorción de una superficie 1 y 0 su mínimo coeficiente de Absorción siendo un coeficiente dicho resultado es un número adimensional por lo tanto no está cuantificado en una unidad específica. Es posible hallar dicho coeficiente calculando los siguientes datos.

$$\alpha = \frac{I_A}{I_I}$$

α = Coeficiente de Absorción.

I_A = Energía Sonora Absorbida.

I_I = Energía Sonora Incidente.

El coeficiente de Absorción fluctúa en un rango de 1 y 0, siendo 1 el máximo de Energía Sonora absorbida y 0 el mínimo de Energía Sonora absorbida.

Es muy importante tomar en cuenta que el coeficiente de absorción es fundamental para establecer parámetros relacionados al acondicionamiento acústico principalmente debido a que serán de vital importancia para el cálculo de la absorción de Sabine, debido a que para su cálculo se tomará en cuenta el material de su superficie y la cantidad de su superficie expresada en m².

El coeficiente de absorción se lo obtiene mediante un experimento denominado el tubo de Khun el cual obtiene resultados según los diferentes materiales de las diferentes superficies a diferentes frecuencias actualmente se toma en cuenta seis bandas de frecuencia establecidas 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000Hz, 2000 Hz y 4000 Hz.

Tabla N°: 1 Coeficientes de Absorción.

Material	Coeficiente de absorción α a la frecuencia					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Hormigón sin pintar	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04
Hormigón pintado	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Ladrillo visto sin pintar	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
Ladrillo visto pintado	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Revoque de cal y arena	0.04	0.05	0.06	0.08	0.04	0.06
Placa de yeso (Durlock) 12 mm a 10 cm	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Yeso sobre metal desplegado	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.03
Mármol o azulejo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10
Madera aglomerada en panel	0.47	0.52	0.50	0.55	0.58	0.63
Parquet	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Parquet sobre asfalto	0.05	0.03	0.06	0.09	0.10	0.22
Parquet sobre listones	0.20	0.15	0.12	0.10	0.10	0.07
Alfombra de goma 0,5 cm	0.04	0.04	0.08	0.12	0.03	0.10
Alfombra de lana 1,2 kg/m ²	0.10	0.16	0.11	0.30	0.50	0.47
Alfombra de lana 2,3 kg/m ²	0.17	0.18	0.21	0.50	0.63	0.83
Cortina 338 g/m ²	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35
Cortina 375 g/m ² francida al 50%	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0.11	0.14	0.36	0.82	0.90	0.97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0.15	0.25	0.50	0.94	0.92	0.99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0.17	0.44	0.99	1.03	1.00	1.03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0.06	0.20	0.45	0.71	0.95	0.89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0.07	0.32	0.72	0.88	0.97	1.01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0.13	0.53	0.90	1.07	1.07	1.00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 25 mm	0.15	0.25	0.40	0.50	0.65	0.70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 50 mm	0.25	0.45	0.70	0.80	0.85	0.85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 25 mm	0.20	0.40	0.80	0.90	1.00	1.00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 50 mm	0.30	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00
Ventana abierta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vidrio	0.03	0.02	0.02	0.01	0.07	0.04
Panel cielorraso Spanacoustic (Manville) 19 mm	-	0.80	0.71	0.36	0.68	-
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4 mm	-	0.72	0.61	0.68	0.79	-
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	-	0.70	0.61	0.70	0.78	-
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	-	0.72	0.62	0.69	0.78	-
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) 5/8"	0.34	0.36	0.71	0.85	0.68	0.64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWD) 5/8"	0.31	0.32	0.51	0.72	0.74	0.77
Asiento de madera (0,8 m ² /asiento)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08
Asiento tapizado grueso (0,8 m ² /asiento)	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
Personas en asiento de madera (0,8 m ² /persona)	0.34	0.39	0.44	0.54	0.56	0.56
Personas en asiento tapizado (0,8 m ² /persona)	0.53	0.51	0.51	0.56	0.56	0.59
Personas de pie (0,8 m ² /persona)	0.25	0.44	0.59	0.56	0.62	0.50

Fuente: BERANECK: Acústica, Pág. 56

2.12.2.2 ABSORCIÓN DE SABINE.

La absorción de Sabine es un método que se utiliza para obtener la capacidad que tiene un material de absorber energía acústica tomando en cuenta parámetros como ser la Superficie y el coeficiente de Absorción utilizando la siguiente fórmula:

$$A_n = \alpha_n \times S_n$$

A_n = Absorción de Sabine.

α_n = Coeficiente de Absorción.

S_n = Superficie en m^2

Y una vez obtenido este resultado determinaremos mediante la fórmula de Sabine (Si el coeficiente de absorción es < 0.2 Utilizamos esta fórmula) Eyring (Si el coeficiente de absorción es > 0.2 utilizamos esta fórmula) cual es la fórmula del tiempo de reverberación que debemos utilizar para este tipo de sala Para determinar la condición acústica de la habitación o cuarto si es demasiado reverberante o absorbente.

Formula de Sabine:

$$T_{60} = 0.161 \times \frac{V}{S_T \times \alpha}$$

Si el coeficiente de absorción es < 0.2

T_{60} = Tiempo de Reverberación

V = Volumen de la sala.

S_T = Superficie total de la sala

α = Coeficiente de Absorción Promedio.

Formula de Eyring:

$$T_{60} = 0.161 \times \frac{V}{S_T \ln(1-\alpha)}$$

Si el coeficiente de absorción es > 0.2

T_{60} = Tiempo de Reverberación

V = Volumen de la sala.

S_T = Superficie total de la sala

α = Coeficiente de Absorción Promedio.

2.13 ONDAS ESTACIONARIAS:

Es un fenómeno relacionado con la [reflexión del sonido](#). Dependiendo de cómo coincidan las fases de la onda incidente y de la reflejada, se producirán modificaciones del sonido (aumenta la amplitud o disminuye), por lo que el sonido resultante puede resultar desagradable.

Cuando la longitud de la onda estacionaria es igual a una de las dimensiones de una sala (largo, alto o ancho), se dice que la sala está en [resonancia](#). El efecto es aún más desagradable si cabe. Hay puntos donde no llega ningún sonido ([interferencia destructiva](#)) y otros donde la amplitud se dobla ([interferencia constructiva](#)). Gráficamente, si se viese la onda se vería que la [sinusoide](#) ha desaparecido y la onda ha adquirido forma de dientes de sierra. Las ondas estacionarias también se llaman eigentonos o [modos de la sala](#). Y es posible identificarlas inicialmente con las siguientes fórmulas. (HIGINI ARAU: ABC DE LA ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA, CEAC S.A. 1999, PÁG. 109.)

$$O_e = \frac{C}{2 \times \text{ancho}}$$

O_e = Onda Estacionaria

C = Velocidad del Sonido

Ancho = Ancho de la sala

Las Ondas Estacionarias tienen la característica de formarse dentro de salas que tienen en su interior superficies Paralelas, Paredes, Cielo Falso y piso, tienden especialmente a concentrar la energía acústica de frecuencias Bajas en las esquinas y uniones de las superficies, de esta manera amplifican dichas frecuencias causando al interior de la sala ondas que permanecen resonando y que en algunos casos enmascaran a sonidos que son emitidos posteriormente.

2.14 MODOS NORMALES DE VIBRACIÓN

Debido a la longitud de Onda que tienen las frecuencias bajas combinadas a paralelismo entre las superficies se producen distintos fenómenos acústicos entre ellos los modos normales de vibración que pueden llegar a conseguir cancelaciones y enmascaramientos de diferentes frecuencias y sonidos. Por ejemplo si tenemos una frecuencia de 80 Hz. Que se mantiene resonando en la sala de lado a lado y también de arriba hacia abajo también producirá un modo normal de vibración de una octava arriba es decir 160 Hz. Es por eso que es posible identificar dichas frecuencias mediante el uso de la siguiente tabla y fórmula. (SOMMERHOFF, *ACÚSTICA DE LOCALES ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO INTERIOR DE SALAS*, PAG. 141).

Tabla 2. Modos normales de Vibración

Modo	X	Y	Z
1	1	0	0
2	0	1	0
3	1	1	0
4	0	0	1
5	1	0	1
6	0	1	1
7	2	0	0
8	2	0	1
9	1	1	1
10	0	2	0

Fuente: SOMMERHOFF: Acondicionamiento Acústico al Interior de Salas, Santiago Chile, 1987, pág. 57.

$$F = \frac{c}{2} \times \sqrt{\frac{(n_x)^2}{(l_x)^2} + \frac{(n_y)^2}{(l_y)^2} + \frac{(n_z)^2}{(l_z)^2}}$$

F = Frecuencia del Modo Normal de Vibración.

C = Velocidad del Sonido.

n_x, n_y, n_z = Datos asignados por la tabla de modos normales de Vibración.

l_x = Largo de La Sala en m.

l_y = Ancho de la Sala en m.

l_z = Alto de la Sala en m.

Posteriormente tenemos que realizar el cálculo de las superficies de las paredes, puertas y ventanas del salón posteriormente se debe sacar el volumen total de la sala para lo cual usaremos las siguientes formulas para las superficies y el volumen.

2.15 ECO.

El fenómeno más sencillo que tiene lugar en un ambiente con superficies reflectoras de sonido es el eco, consiste en una única reflexión que retorna al punto donde se encuentra la fuente unos 100 ms. (o más) después de emitido el sonido. Se produce después de un tiempo t relacionado con la distancia "d" a la superficie más próxima por la expresión.

Donde c es la velocidad del sonido, es decir 345m/s. el factor 2 se debe a que el sonido recorre de ida y de vuelta la distancia entre la fuente sonora y la superficie. De esta fórmula se deduce que para tener un eco la superficie más próxima debe estar a unos 17m. Cuando hay dos paredes paralelas algo distantes se puede producir un eco repetitivo.

2.16 REVERBERACION.

La reverberación es el tiempo que tarda una señal en atenuarse 60 dB, dicho de otro modo la Reverberación es el tiempo que tarda una señal en atenuarse por completo, la reverberación está condicionada a diferentes factores principalmente relacionados a las superficies que componen un recinto, mientras se tenga mayor cantidad de superficies reflectantes mayor será el tiempo de reverberación por otro lado si el material de las paredes es de material absorbente el tiempo de reverberación será menor.

2.17 AMBIENCIA.

La distribución en el tiempo de las reflexiones tempranas crea la sensación de ambiencia, es decir la sensación que permite al oyente identificar auditivamente el espacio en donde se encuentra. Las personas no videntes desarrollan una especial habilidad para interpretar la información espacial contenida en la ambiencia.

Arquitectónicamente, el control de la ambiencia se puede lograr mediante un cuidadoso diseño que involucra trazar, sobre un plano de sala, "rayos" acústicos sin medir cuidadosamente sus recorridos, y de allí determinar los tiempos de llegada de las correspondientes reflexiones hoy en día este trabajo se realiza con el auxilio de computadoras digitales y programas adecuados.

2.18 RESONANCIA.

En las salas pequeñas, aparece tener un elemento que incide en la calidad acústica, que son las resonancias o modos normales de vibración.

Esto sucede como consecuencia de las reflexiones sucesivas en paredes opuestas. Si en una habitación se genera una onda sonora que viajara perpendicularmente a dos paredes enfrentadas, al reflejarse en una de ellas lo hará también perpendicularmente, de modo que volverá sobre sí misma y posteriormente se reflejara en la pared opuesta.

Así, se generara lo que se denomina una onda estacionaria, es decir una onda que va y vuelve una y otra vez en las paredes, esta onda es, de hecho, una onda sonora que se escuchara precisamente como un sonido.

Dicha señal corresponde al si bemol casi 3 octavas por debajo de la central (362 Hz.) Esta es solo una de las muchas frecuencias de resonancia que puede tener esta sala. Otras corresponden a los armónicos de esta nota (es decir los múltiplos de 57,5 Hz, como 115Hz, 172,5.)

Las consecuencias tiene esto para las condiciones acústicas del recinto puede ser que Las resonancias se ponen en manifiesto cuando aparece un sonido igual o similar frecuencia.

Por ejemplo, si un bajo ejecuta esta nota, la acústica de la habitación parecerá amplificar dicho sonido, en desmedro de los otros sonidos. A esto se agrega que para las frecuencias se prolongara más que las otras.

Esto se considera un defecto acústico importante. Entre las posibles soluciones están:

a) evitar las superficies paralelas, que favorecen las resonancias.

b) agregar absorción acústica que reduzca el tiempo de reverberación.

c) ecualizar el sistema de sonido de modo atenuar las frecuencias próximas a la resonancia o resaltar otras frecuencias.

Otra consecuencia de las resonancias es que la difusión del sonido no es satisfactoria, es decir que la distribución espacial del mismo no es uniforme: en algunos puntos el nivel sonoro es mucho mayor que en otros siendo la diferencia mayor a la que atribuye al campo directo.

A medida de que carece el tamaño de una habitación, las resonancias tienden a estar cada vez más próximas entre sí, y se transforman en reverberación, mejorando también la difusión. Lo mismo sucede cuando la forma de sala es irregular.

Es el diseño de pequeñas salas o estudios de grabación o ensayo es primordial prestar atención a los problemas de difusión y resonancias. Las siguientes son algunas recomendaciones.

1) Evitar las simetrías. Si la habitación tiene forma rectangular, las aristas deberán ser todas de diferente longitud (la forma cúbica de algunas habitaciones particularmente deficiente desde el punto de vista acústico). Algunas proporciones satisfactorias son 1 : 1,14 : 1,39, 1 : 1,28 : 1,54 y 1 : 1,6 : 2,23

2) Si es posible, evitar los paralelismos. Esto se puede lograr inclinado una o dos paredes, e incluye el cielorraso

3) En casos severos, recubrir con material absorbente una de cada las paredes paralelas, o mejor aun (aunque es una solución más costosa), colocar algunas baldosas difusoras disponibles comercialmente.

2.19 PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD EN EL DISEÑO ACÚSTICO

2.19.1 RT, T10, T20, T30 y EDT

El tiempo de reverberación fue definido por Wallace Clement Sabine como el tiempo desde que cesa la emisión sonora hasta que el nivel de presión sonora (NPS) decae 60 dB con respecto a su valor inicial o una millonésima de la energía. El RT se utiliza para tener noción del campo reverberante, la prolongación del sonido y la modificación que este recibe por efecto de la sala, a través del tiempo y luego de emitido. Se obtienen los valores del RT mediante el cálculo de la pendiente de la linealización de la curva de decaimiento energético obtenida desde el cese de la emisión.

Una forma de estimar, en forma teórica, el RT de una sala es mediante la fórmula de Sabine presentada. Donde V es el volumen del recinto [m^3], α es el coeficiente de absorción promedio y S_T total [m^2] es la superficie total de la sala, a la que está expuesta la fuente sonora.

Este cálculo es sólo aplicable a salas con campo de reflexiones lo suficientemente homogéneo, geometría regular, α menor a 0,4 y distribución uniforme de revestimientos.

$$T_{60} = 0.161 \times \frac{V}{S_T \times \alpha}$$

T_{60} = Tiempo de Reverberación

V = Volumen de la sala.

S_T = Superficie total de la sala

α = Coeficiente de Absorción Promedio

Debido a que ciertas veces se presentan dificultades para conseguir una curva de decaimiento energético adecuada para el cálculo del RT, se suele trabajar con los valores de T10, T20 y T30. El T10 se calcula sobre la curva de decaimiento energético, a partir de su valor en -5 dB respecto del máximo, con su respectiva linealización en -15 dB, extrapolando el cálculo hasta alcanzar un decaimiento de 60 dB. El T20 y el T30 son calculados de forma similar pero el tramo de curva de decaimiento tomado es de -5 a -25 dB y de -5 a -35 dB respectivamente.

Mediante el análisis del conjunto T10, T20 y T30 se puede identificar el progreso y el grado de percepción subjetiva del decaimiento energético.

Otro parámetro que determina el campo reverberante es el Early decay time (EDT). Este parámetro otorga información únicamente sobre el campo de reverberaciones tempranas. Su cálculo se basa, al igual que el T10, T20 y T30, pero en la extensión de la curva de decaimiento energético a partir de 0dB hasta -10 dB, extrapolando el cálculo hasta alcanzar un decaimiento de -60 dB.

A continuación se definen los parámetros derivados del RT y que definen la acústica específica de una sala. Éstos se pueden diferenciar en dos tipos, los dedicados a otorgar información sobre la inteligibilidad de la palabra (D50 y STI) y los dedicados a la calidad de interpretación musical (BR, Br y C80).

2.19.2 INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA (D50 Y STI)

La Definición, D50, es la relación entre la energía de los primeros 50 ms y la energía total desde la recepción del sonido directo, calculado esto sobre la respuesta al impulso del recinto, expresado analíticamente en la ecuación.

Los primeros 50 ms del decaimiento energético serían integrados en una única información incrementando la definición del sonido emitido. A partir de estos 50 ms se empieza a percibir el decaimiento energético como reverberación. Por ello es que esta relación denota la definición de la palabra en una sala.

$$D_{50} = \int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) dt / \int_0^{\infty} p^2(t) dt$$

D₅₀ = Relación entre la energía de los primeros 50 ms y la energía total desde la recepción del sonido directo.

P = Presión

t = Periodo.

d = Distancia.

El Speech Transmission Index, STI, indicará la pérdida de percepción de las consonantes debido a la pérdida de la profundidad de la modulación de los mensajes en los puntos de escucha, fundamentalmente debido al tiempo de reverberación y al ruido de fondo.

Este parámetro corresponderá a un cero cuando la inteligibilidad en la sala sea nula y a un uno cuando la inteligibilidad sea óptima. Debido a su largo proceso de cálculo y falta de relevancia en el análisis éste no será explicado en este trabajo pero se podrá encontrar esta información en la bibliografía de referencia.

Así mismo dicho Parámetro puede calcularse mediante dos variaciones dependiendo el Género: STI Masculino y STI Femenino. También es posible hallar dicho Parámetro utilizando un software de medición acústica y el resultado se verá de esta manera.

Figura N° 4 Speech Transmission Index

STI female	0.91 : Excelente	% ALC	1.2	MTE...
STI male	0.91 : Excelente	% ALC	1.2	More...

Fuente: Obtenida de Software de Medición Acústica.

2.19.3 CALIDAD DE LA INTERPRETACIÓN MUSICAL (BR, Br Y C80)

La Calidez acústica, BR, (Bass Ratio) es la relación entre los tiempos de reverberación de las bandas de bajas frecuencias y los de las bandas medias, presentada analíticamente en la ecuación. En valores apropiados, esta relación denota la suavidad de la respuesta de la sala a la interpretación musical.

$$BR = \frac{RT(125Hz) + RT(250Hz)}{RT(500Hz) + RT(1kHz)}$$

BR = Análisis del comportamiento del tiempo de reverberación de las frecuencias Bajas y Medias Bass Ratio.

RT = Tiempo de Reverberación.

El Brillo, Br, es el parámetro equivalente al BR pero dedicado al análisis del comportamiento de los tiempos de reverberación de las frecuencias altas en el recinto.

Se define mediante la ecuación como la relación entre los tiempos de reverberación de las bandas de frecuencias altas y los de las bandas medias. Denota el predominio temporal de los agudos.

$$Br = \frac{RT(2kHz) + RT(4kHz)}{RT(500Hz) + RT(1kHz)}$$

Br = Análisis del comportamiento del tiempo de reverberación de las frecuencias alta (Brillo)
RT = Tiempo de Reverberación.

La Claridad musical, C80, se define como la relación energética, expresada en dB, entre los primeros 80 ms del decaimiento sonoro y el decaimiento restante, siempre evaluado sobre la respuesta al impulso del recinto.

Esta relación se expresa analíticamente mediante la ecuación. El C80 presenta una noción sobre la definición de cada sonido que participa en la interpretación musical [5]. Se suele utilizar el C80 (music average) o C80 (3) siendo estos el promedio entre el C80 de las bandas de 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz.

$$C_{80} = 10 \text{ Log} \left(\frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} \right)$$

C₈₀ = Claridad Musical.
P = Presión.
d = distancia.
t = Periodo

2.20 AISLAMIENTO ACÚSTICO.

Aislar acústicamente un recinto significa impedir que los sonidos generados dentro del mismo trasciendan hacia el exterior y recíprocamente, que los ruidos externos no se perciban en su interior.

El aislamiento acústico o aislamiento sonoro es muy importante en todo lo que tenga que ver el sonido profesional. Si el recinto es una sala de concierto o de espectáculos en la cual se ejecuta o propala música a alto nivel sonoro, es preciso evitar los sonidos trasciendan convirtiéndose en ruidos molestos al vecindario.

Si se trata de una sala de grabación o estudio radiofónica, cualquier ruido proveniente del exterior contaminara el sonido que se va a difundir o grabar, en desmedro de su calidad, lo cual también debe evitarse.

En una primera aproximación al problema, podemos observar que el aislamiento sonoro se logra interponiendo una pared o tabique entre la fuente sonora y los receptores.

Esta es la razón por la cual las paredes gruesas y por lo tanto pesadas ofrecen mayor aislamiento que las delgadas. También explica porque la música de una casa contigua se escucha mucho más la base rítmica de la percusión grave (baja frecuencia) que las melodías, por lo general más agudas (alta frecuencia).

Un análisis más detallado indica que es posible obtener un mayor aislamiento acústico por medio de tabiques dobles, o más, generalmente múltiples. En otras palabras, dada una cantidad material (por ejemplo 20cm de espesor de hormigón) podemos sacarle mayor nivel de aislamiento. Para catalogar el aislamiento sonoro de diferentes materiales y estructuras se usan dos parámetros: la pérdida de transmisión, PT, y la clase de transmisión sonora, STC, (Estados Unidos), o el índice de reducción acústica, RW (Europa y Argentina).

2.21 PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN PT O TL

La pérdida de transmisión PT o TL, es un parámetro expresado en dB que depende de la frecuencia e indica en cuanto se atenúa la energía incidente al atravesar el tabique. Al otro lado es 40dB menor que la incidente.

Obsérvese que se está hablando de la energía sonora, que no es lo mismo que la presión sonora. Si un tabique tiene $PT = 40\text{dB}$, y del lado de la fuente hay un nivel de presión sonora de 90dB , no es válido afirmar que el otro lado hay $90\text{dB} - 40\text{dB}$, es decir 50dB . Pude haber menos o más de 50dB , según las circunstancias.

Por ejemplo, si el lado receptor es muy reverberante, habrá más de 50dB y si el tabique es muy pequeño, por ejemplo una ventanilla en el medio de una pared muy gruesa, entonces del lado receptor habrá probablemente menos de 50dB .

2.22 CLASE DE TRANSMISIÓN SONORA (STC)

La clase de transmisión sonora (en inglés, sound transmission class), STC, es una especie de valor promedio de la pérdida de transmisión a varias frecuencias. Es un valor único que permite evaluar rápidamente la calidad del aislamiento sonora que ofrece un tabique, especialmente en lo referido a la privacidad de la palabra. Así un valor STC, inferior a 25 implica que la voz normal alta casi no percibe. El índice de reducción sonora RW es la versión europea, puede referir hasta 1dB.

Se han considerado los materiales y estructuras actuando en condiciones casi ideales. No se ha tenido en cuenta, por consiguiente, la denominada transmisión por flancos, es decir el sonido que se filtra a través de fisuras, intersticios o juntas mal selladas, o que se propaga por la estructura en forma de vibraciones, o que se transmite por tuberías de ventilación o aire acondicionado, o por lo menos caños de distribución de energía eléctrica.

En todo proyecto de aislamiento acústica deben tenerse en cuenta todos los detalles, ya que de lo contrario se corre el riesgo de invertir grandes sumas de dinero sin lograr resultados esperados.

Es importante saber que intersticio de una puerta puede llegar a empeorar perimetrales en las puertas y masilla con silicona (es provechoso si se divide en dos partes) (en este caso dos paredes de 10cm cada una) y los separamos con un espacio de aire. Si el espacio de aire se rellena con algún material absorbente (típicamente, lana Mineral)

Este tipo de estructura se utiliza mucho con placas de roca de yeso (Durlock, o placa Pladur). Estas placas están formadas por yeso recubierto a ambos lados cubiertos por celulosa (cartón). El espesor es normalmente, unos 12mm, y se suelen usar de a 2 separadas 50, 70 o 90mm mediante perfiles de chapa. El espacio entre ambas placas se rellena con lana de vidrio.

El aislamiento que logra sorprendente párale espesor y el peso total. Se puede obtener mayor aislamiento aun utilizando dos placas de roca de yeso de cada lado y montándoles sobre perfiles independientes para evitar las conexiones rígidas propensas a transmitir las vibraciones.

También se utiliza el concepto tabique doble para construir ventanas de gran aislamiento sonoro, como las “peceras” que se separan de la sala de control de la sala de grabación de los estudios.

En este caso se utilizan dos hojas de vidrio gruesos de distintos espesores (por ejemplo de 6mm y 8mm), fijados al marco mediante masillas no endurecibles de silicona. En los bordes interiores (en forma más o menos oculta) se coloca el material absorbente, como la lana de vidrio o espuma de poliuretano.

Para evitar que por diferencias de temperatura se produzcan condensaciones por dentro, lo cual empañaría los vidrios, se colocan granulas de silica gel, un poderoso des humectante decir, no endurecible en toda fisura, grieta o junta.

2.23 ESTADO DE LA TÉCNICA EN EL DISEÑO DE SALAS DE CONTROL ACÚSTICO.

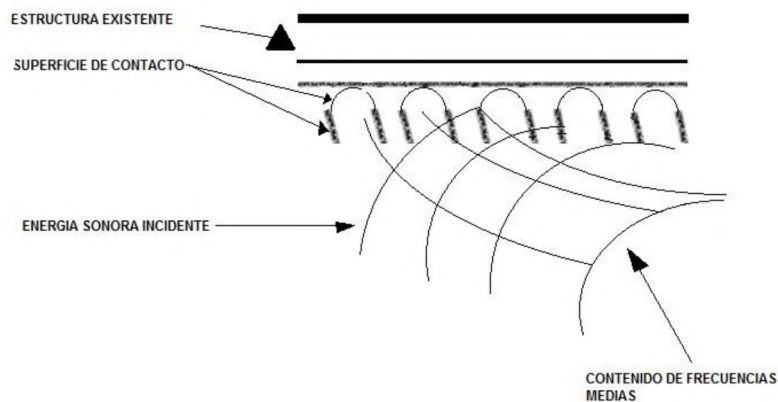
El presente título puede ser representado también como el "Estado del arte" ya que el diseño de salas de Control es una ciencia inacabada y en la que la subjetividad de la percepción sonora juega un papel predominante. Dicho esto las dos principales tendencias actuales en el diseño de estudios de grabación. Non-Environment y LEDE.

2.24 NON - ENVIRONMENT.

Primeramente el sistema menos extendido de los dos. El concepto Non-Environment fue desarrollado por Tom Hidley a mediados de los 80.

Tras incluirlo como un proyecto de postgraduación del "Institute of Sound and Vibration Research" de la Universidad de Southampton en 1980 (codirigido por el propio T. Hidley y Philip Newell), se presentó como ponencia en la décima conferencia del Institute of Acoustics (UK) en 1994.

Figura N° 5 Norma Non Enviroment



Fuente: Synergy Group Hand Book. Pág. 38.

El concepto es bastante simplista. Se trata de realizar una sala semianecóica de forma que la única pared reflectante sea la que soporte los altavoces.

De esta forma el Q de los modos propios en baja frecuencia es tan ancho que prácticamente desaparecen y la respuesta tonal de la sala es más uniforme. La pared rígida que soporta los altavoces es necesaria para una correcta radiación hemisférica de los altavoces.

Para conseguir gran absorción a bajas frecuencias, sin tener que emplear grosores exagerados de absorbente, se utiliza un sistema a base de "guías de onda" formado por paneles absorbentes alineados en la dirección de propagación.

Para mejorar la efectividad del sistema, los paneles absorbentes contienen una lámina (normalmente un elastómetro) de gran masa que actúa como barrera anti-retorno.

Además, se construye una triple pared de densidad creciente: madera - lámina de alta densidad - placa de yeso (tipo Pladur) que mejora la adaptación de impedancias antes de llegar al muro estructural (se presupone que éste es rígido y de gran masa).

La madera y el Pladur añaden absorción en bajas frecuencias por vía diafragmática (resonancia). Con todo esto se consigue un doble efecto.

En primer lugar, los paneles junto con la triple pared actúan como un adaptador de impedancias (al igual que las cuñas de una cámara anecóica) ya que el frente de ondas va perdiendo energía progresivamente conforme avanza.

Primero pierde muy poca, ya que los paneles están separados entre sí, a continuación cede un poco más al atravesar 2 veces - antes y después del rebote - la triple pared.

Por último, la onda reflejada, que se encuentra ahora propagándose perpendicularmente a los paneles, se ve obligada a atravesar varios de estos paneles antes de conseguir volver a la sala prácticamente sin energía.

En segundo lugar el doble recorrido del frente de ondas sobre los paneles duplica la profundidad efectiva de los mismos con lo que se consigue que la absorción resistiva se pueda producir a frecuencias bastante bajas.

En definitiva el sistema emplea todos los sistemas disponibles para disipar la energía acústica posible. Evidentemente, si lo consigue para bajas frecuencias por medios básicamente disipativos, también lo hará para el resto de frecuencias.

Para los precursores del concepto Non-Environment el sistema presenta bastantes ventajas. La escucha es más consistente entre diversos estudios (en el sentido de

que la misma grabación suena aproximadamente igual con independencia del estudio) y los graves son más potentes que los de grabaciones realizadas en estudios menos absorbentes, ya que en éstos últimos existe exceso de energía acústica en bajas frecuencias que el ingeniero de sonido tiende a contrarrestar mediante ecualización.

Además, los controles diseñados con este sistema son mucho más tolerantes respecto a su forma geométrica, detalle que se debe cuidar sobremanera si emplean técnicas LEDE mejoradas. El sistema puede funcionar en salas de control entre 40 m³ y 1000 m³.

2.25 LEDE- MEJORADAS.

El concepto LEDE (LIVE END - DEAD END) fue desarrollado por Don Davis y Chips Davis que aunque comparten apellidos no tienen vínculos familiares hacia 1978. La idea básica consiste en evitar que la llegada de reflexiones con excesivo nivel produzca el típico efecto de filtrado en peine (comb-filter) que se genera cuando a una señal se le suma la réplica suya retardada, con la consiguiente alteración de la respuesta frecuencia.

Desde un punto de vista temporal, imaginemos que estamos grabando una voz solista en nuestra sala de grabación y que a cierta distancia de ésta hay una superficie reflectante.

El sonido de la voz rebotará en esta superficie y regresará al micrófono con un pequeño retardo de tiempo y con un nivel inferior.

Si en la sala de control tenemos alguna superficie reflectante a una distancia más cercana que la del estudio al micro, ésta nos producirá una reflexión con un retardo inferior.

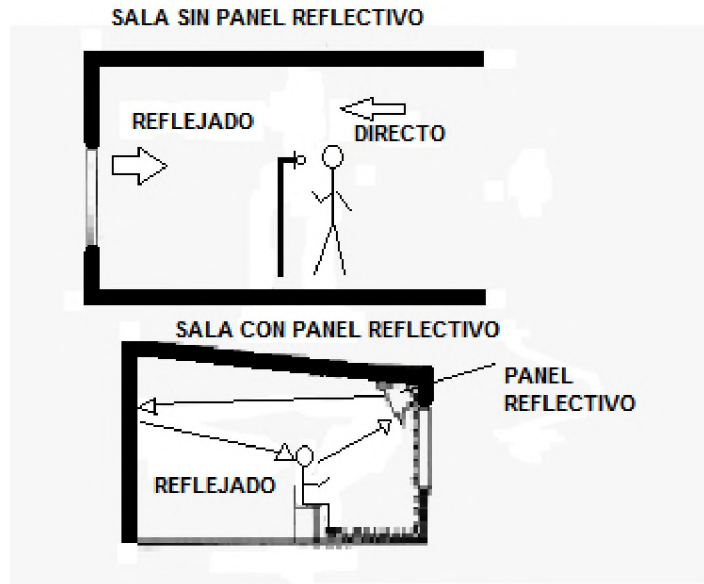
Inicialmente la solución más simple para evitar estas reflexiones enmascaradas en la sala de control, fue hacer la parte frontal del control muy absorbente (Dead end), de tal forma que no hubieran reflexiones enmascaradas.

La parte trasera de la sala se hace lo más difusora posible para poder crear un tiempo de retardo inicial (ITD) de unos 20ms., que es la condición descubierta por Leo Beranek para tener la sensación acústica de sala grande en una sala de dimensiones reducidas.

A mediados de los 80 Peter D' Antonio y John H. Konnert, mejoran el concepto LEDE al aplicar los avances realizados por M.R. Schröder en materia de difusión y prescindir del frontal absorbente gracias a su concepto de zona sin reflexiones (RFZ).

La anulación de primeras reflexiones se consigue ahora dando al frontal de la sala de control una forma geométrica tal que las posibles primeras reflexiones son enviadas directamente hacia la pared trasera, donde son "troceadas" por los difusores acústicos de alta eficiencia ideados por Schröder

Figura N° 6 Técnica de anulación de primeras reflexiones ideados por Schröder.

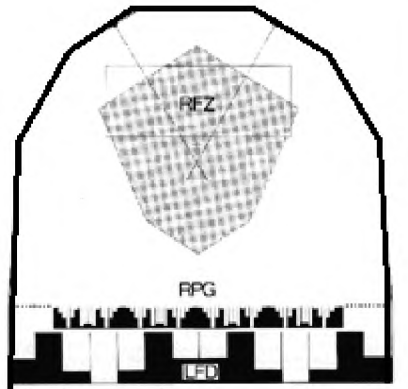


Fuente: Synergy Group Hand Book. Pág. 42.

El control de las primeras reflexiones mediante el modelado de las superficies frontales, se realiza con paneles relativamente ligeros (madera o yeso) que forman una estructura interna dentro de una habitación mayor (normalmente paralelepípeda) que la contiene.

Para el estudio del comportamiento en baja frecuencia, la estructura interna se considera inexistente y se aplican las leyes de acústica ondulatoria al recinto externo (se presupone que el recinto envolvente es de paredes suficientemente sólidas).

**Figura N° 7 Diagramación al interior y Orientación al Interior
de la sala de Control.**



RFZ: Zona de Reflexiones Tempranas.

RPG: Superficie del Difusor.

LFD: Difusor de Baja Frecuencia.

Fuente: Synergy Group Hand Book. Pág. 53.

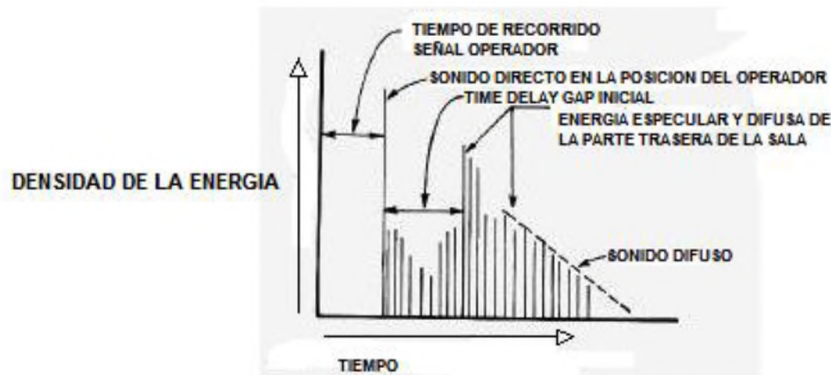
Para un correcto funcionamiento del sistema, el ITD de los monitores de la sala de control en la posición del operador debe ser, por lo menos, 3ms. mayor que el ITD de la sala de grabación asociada.

Asimismo el nivel sonoro durante el tiempo de eliminación de primeras reflexiones, debe ser inferior a -20dB respecto del sonido directo.

Si se cumplen todas estas condiciones tendremos una sala de control que en régimen transitorio se comporta prácticamente como una sala anecóica y que en régimen estacionario se comporta como una sala mayor que su tamaño real.

En consecuencia, tendremos una sala de control que nos permitirá oír la acústica de la sala de grabación y que nos dará una agradable sensación de amplitud e intimidad a pesar de sus reducidas dimensiones.

Figura N° 8 Grado de Atenuación de Nivel de Reflexiones.



Fuente: Synergy Group Hand Book. Pág. 55.

2.26 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SALAS NON- ENVIROMENT Y LEDE

El sistema Non-Environment ha sido bastante criticado por su empirismo y poca base científica. Desde mi punto de vista, aunque la escucha sea más homogénea entre distintos estudios, lo cierto es que el resultado final de las grabaciones se suele escuchar en salas de estar domésticas pequeñas y poco absorbentes.

En estas condiciones, el nivel de bajas frecuencias tiene que resultar excesivo, ya que la grabación se supervisó en condiciones prácticamente anecóicas mientras que la escucha se está realizando, para bajas frecuencias, en compresión (dimensiones del recinto inferiores a las longitudes de onda de las bajas frecuencias).

Otro inconveniente del sistema **Non-Environment** es el efecto negativo de la interferencia de dos fuentes cuando emiten la misma señal.

En las condiciones prácticamente anecóicas de un control realizado con este sistema y con los dos altavoces emitiendo un mismo tono, el nivel de escucha dependerá de la ubicación del oyente, ya que las sucesivas interferencias constructivas y destructivas de las señales provenientes de los altavoces generan un patrón que varía en función de la posición.

Este defecto se ve minimizado en una sala de control tipo LEDE gracias al empleo de difusores que tienden a homogeneizar el campo acústico.

Por todo lo anterior, y teniendo también en cuenta que el sistema **Non-Environment** consume mucho volumen disponible en la colocación de cantidades ingentes de absorbente.

En Conclusión el sistema LEDE- mejorado es la mejor opción disponible actualmente para el diseño de salas de control con alta calidad de escucha.

2.27 ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.

En general para las salas de grabación, se encojen espacios alejados de las autopistas, calles de tráfico denso para evitar ruidos, mejor si en las calles están flanqueadas por otros edificios o por una densa vegetación.

Los lugares tranquilos simplifican el problema de aislamiento acústico, reducen costos y realza el valor de la utilidad de la obra arquitectónica.

2.28 CONDICIONES GEOMÉTRICAS.

De acuerdo con las necesidades se analizará el volumen, dimensiones y forma del local sometido a diseño, para lo que tendrá en cuenta recomendaciones para cada uno de los tipos de recinto, considerando las condiciones acústicas así como las de utilización.

2.29 VOLUMEN – CONDICIONES MÍNIMAS.

Se elige el volumen en función del uso que se vaya hacer del recinto, será aceptable con una aproximación a los 100m³ una buena audición crítica en la sala de control, esta tendrá que estar alrededor de los 70m³. (BERANECK: ACUSTICA, PAG 234).

2.30 DIMENSIONES – TAMAÑO MÁS FAVORABLE.

Las dimensiones de un recinto serán tales que permitan una respuesta en frecuencia que sea lo más natural posible, según la tabla 4.2 (extraída de la grafica Bolt), se aconseja unas proporciones de 1: 1. 2:1.7 para la sala de grabación y 1: 1.8:2 para la sala de control. (BERANECK: ACUSTICA, PAG 235).

Así entonces el tamaño favorable o aproximado para una sala de grabación es de 8.5 metros de altura por 10 de ancho y 14.5 de profundidad, para la sala de control, 3 metros de altura por 5.5 de ancho de profundidad.

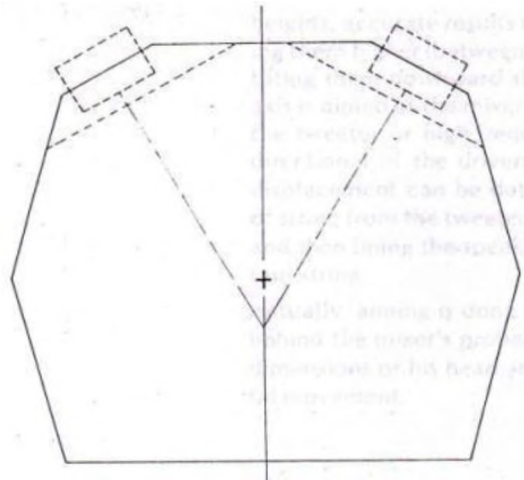
2.31 SIMETRÍA DE LA SALA DE CONTROL.

Cuando las ondas sonoras de fuentes idénticas, tienen diferentes reflexiones varios puntos de la sala de control, la audición critica varia constantemente, este fenómeno, altera la percepción de ecualización, como también altera la imagen espacial, logrando una ejecución estereofónica o cuadrafonía pobre.

El problema se resuelve construyendo una sala de control simétrica, teniendo en cuenta las tres dimensiones y proporcionando al ingeniero el pleno cetro de sala.

La superficie donde se encuentra el vidrio reflejante al frente de la sala de control presenta un problema equilibrado la simetría de la sala, y ya que no es practico crear una superficie similar en la parte posterior de la sala, se puede resolver el problema incorporando una cortina pagable de alta absorción que recubra la superficie de vidrio.

Figura N° 9 Simetría en la Sala de Control



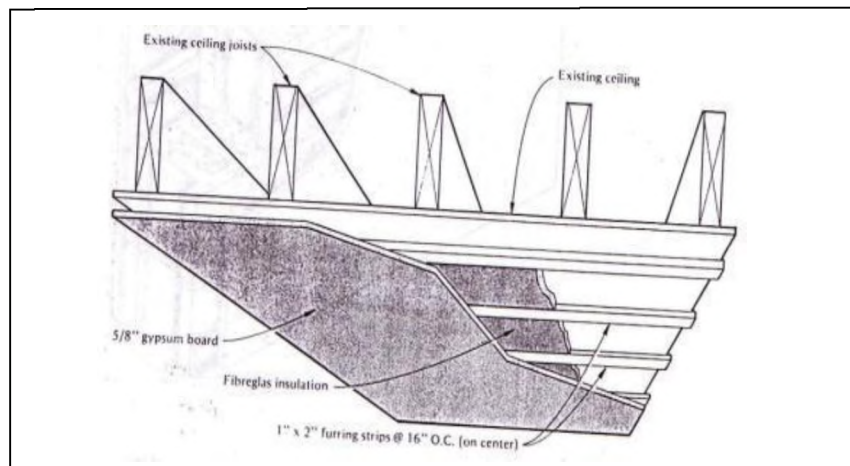
Fuente: Synergy Group Hand Book. Pág. 63.

2.32 CIELOS FALSOS.

Un techo sus pendido elásticamente o un cielo flotante es excelente forma de atenuación de la transmisión tanto del aire como de la estructura. El techo se cuelga de la estructura mediante colgadores elásticos, que reducen la transmisión de vibraciones de la estructura del techo.

En el cielo raso de la sala de control, un cielo en expansión es la mejor opción para obtener la Figura N° 9, una baja interferencia de fase y una excelente imagen, gracias a que las reflexiones con disciplinadas por encima del punto de percepción del ingeniero, se eliminan reflexiones molestas.

Figura N° 10 Técnica de Instalación de Cielos Falsos



Fuente: Synergy Group Hand Book. Pág. 73.

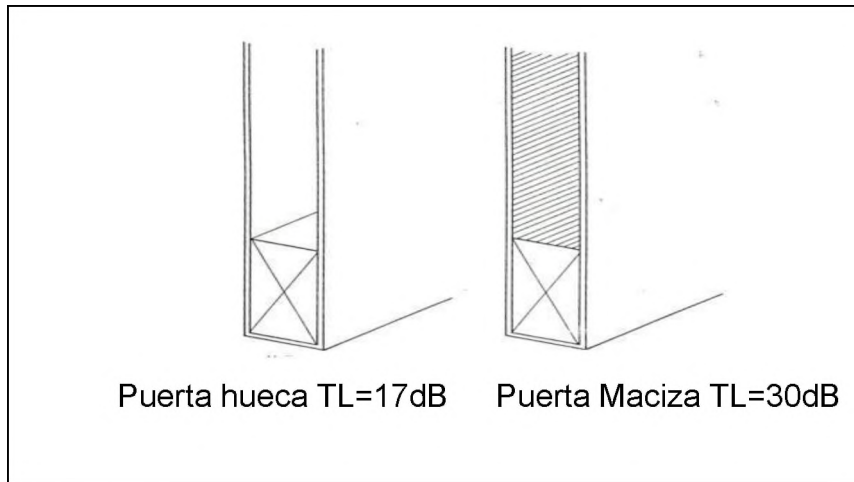
2.33 PUERTAS.

En principio, una puerta sólida es mucho más efectiva que una hueca, una puerta de metal resulta incluso mejor, la puerta es ideal es la que posee los sellos magnéticos.

Añadir una segunda puerta, con un espacio de aire entre ambas, es la alternativa más barata y más efectiva acústicamente. Si se añade algún absorbente poroso entre las puertas en uno de los lados de las puertas que dan el espacio intermedio, puede obtenerse buenos valores STC.

Lo más importante es sellar las puertas de manera que cierre el recinto herméticamente, es decir, sin la posibilidad de que el aire traspase de un recinto a otro. La forma más efectiva de lograr esto, es colgando un reborde de caucho o neopreno alrededor del marco de la puerta, y material absorbente poroso en las superficies límites de la puerta.

Figura N° 11 Niveles de TL Pérdida de Transmisión



Fuente: Synergy Group Hand Book. Pág. 82.

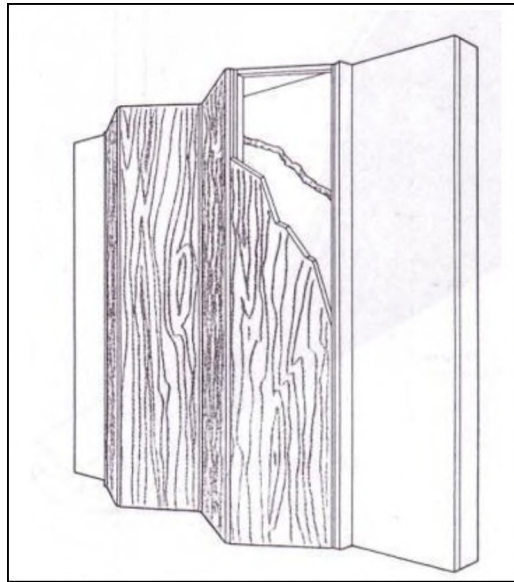
2.34 TRAMPAS PARA BAJOS MULTIDIMENSIONALES.

En un proyecto de Estudio de grabación profesional el uso de la acústica como herramienta de la creación de ambientes acústicos, es así que ahora enunciamos una de las trampas para bajos más eficientes, ideal para eliminar por completo las ondas estacionarias y trabajar como difusor acústico. (Figura N° 12).

Dicha trampa para bajo es útil en los siguientes 4 puntos.

- Absorbe Frecuencias bajas desde los 15 Hz
- Ayuda a romper Ondas estacionarias creando paredes no paralelas.
- Distribuye y Difunde de los Campos sonoros del estudio
- Elimina el Cálculo de las magnitudes numéricas debido a su versatilidad a lo largo de las frecuencias bajas.

Figura N° 12 Trampas para Bajo Bidimendcionales



Fuente: Synergy Group Hand Book. Pág. 94

El cálculo de las dimensiones para la implementación de trampas Para Bajo de este tipo tienden a ser sencillo, primeramente se establece la longitud de onda de la frecuencia más baja al interior de la sala, el siguiente paso es calcular la cuarta parte de dicho monto y luego ese monto debe coincidir con la longitud total de la trampa para bajo triangular a construir.

2.35 ACERCA DEL MDF

2.35.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

El término de MDF proviene de sus siglas en Inglés que significan Tableros de fibra de densidad media.

Los tableros MDF son producidos usando troncos de pino Radiata, seleccionados y descortezados, provenientes de plantaciones manejadas bajo el concepto de una continua y permanente forestación.

Los tableros MDF tienen por condición natural un color claro, característica muy apreciada en la industria del mueble. Debido al hecho de que el pino radiata es de fibra larga, MDF es excepcionalmente fácil de trabajar y es el producto perfecto para moldurar, su superficie suave y uniforme lo hace bastante práctico.

El MDF es considerado como un material relativamente nuevo y surge de la necesidad de encontrar alternativas el momento de elegir un material similar a la madera, MDF es un tablero de fibras de madera que se caracteriza por su composición homogénea a través de todo su espesor y por su superficie suave, sin imperfecciones.

Lo anterior, unido a su resistencia y estabilidad hacen de MDF el producto ideal para la industria del mueble y la carpintería de terminación. Y su versatilidad como material le permite ser un óptimo material de revestimiento, el cual tiene un comportamiento aceptable en situaciones adversas como la humedad, temperatura, pudrición, insectos o ruidos, defectos contra los cuales la madera no resistiría ninguno de estos.

Teniendo en cuenta todos los anteriores conceptos sin duda importantes podemos ya sacar una conclusión de lo que es una sala acústica y se dice que: Se conoce a una sala acústica como aquella que reúne todas las condiciones para contrarrestar todo tipo de defectos de diseño acústico como ser Eco, Eco Flotante, concentración del sonido, reflexiones molestas, distorsión, poca difusión sonora, ondas estacionarias, ruido externo.

Y tomando en cuenta las buenas características acústicas del MDF y seguir fielmente las fórmulas para determinar características de una trampa acústica se puede lograr un acondicionamiento acústico favorable

2.35.2 DENSIDAD:

La Norma UNE – EN 622-1 especifica que su densidad debe ser igual o superior a 450 kg/m³, y la norma UNE – EN 622 – 1 que la tolerancia sobre la densidad media en el interior del tablero será más o menos 7%.

Los Tableros MDF Standard tienen el siguiente gradiente de densidades:

Densidad Media	700 – 800 kg / m ³
Densidad Media	600 – 700 kg / m ³
Densidad Media	1,000 – 1,100 kg / m ³

El peso por unidad de superficie en función del espesor es, aproximadamente, el siguiente:

Espesor 6.5 mm	5.0 kg/m ²
Espesor 9.0 mm	6.3 kg/m ²
Espesor 12.0 mm	8.4 kg/m ²
Espesor 16.0 mm	11.0 kg/m ²
Espesor 19.0 mm	14.0 kg/m ²

2.35.3 HOMOGENEIDAD Y ASPECTO DE SUS CARAS:

Es un material dimensionalmente estable, más que la madera maciza, que los tableros de fibras duros y semiduros y que los de partículas debido a que es más compacto. Es una calidad especialmente apreciada en carpintería y mobiliario ya que evita los conocidos movimientos de la madera natural. Y sonidos molestos que se producen ante cambios de temperatura.

Esta estabilidad, junto con su capacidad de maduración hacen que haya desplazado al tablero de partículas y la madera maciza en muchos usos de interior, En la tabla siguiente se recogen los valores de su estabilidad dimensional para variaciones unitarias de su contenido de humedad.

Variaciones Dimensionales de los de los tableros de Fibras MDF

Tipo	Variación dimensional (Aumentos Disminuciones de 1%)		
	Longitud	Ancho	Espesor
MDF	0.15	0.05	0.7

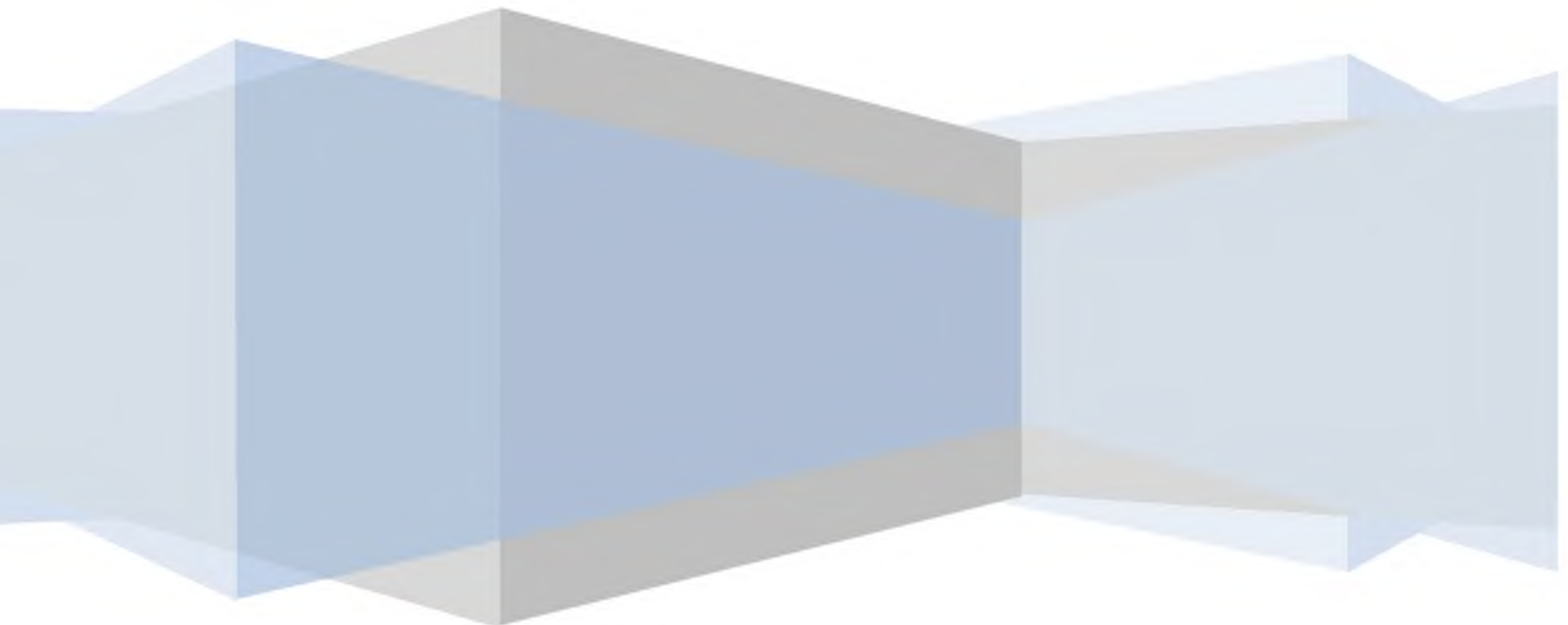
Variaciones Dimensionales de los de los tableros de Fibras MDF

2.36 EL ESTUDIO DE GRABACIÓN PROPUESTO.

Temple Records es una discográfica independiente que basa su filosofía de empresa en condensar las diversas etapas de la Producción y Distribución discográfica en una única empresa.

La mayoría de sus producciones son de Grupo de Rock o de bandas de jazz o Música Folklórica que utilizan fundamentalmente instrumentos acústicos. Para atender sus necesidades de grabación musical se disponía de un infraestructura ya existente. En otro orden de cosas, el estudio es también en cierto sentido la imagen de marca de la empresa, así que existe un doble motivo para mejorar la infraestructura.

CAPÍTULO III
DISEÑO
METODOLÓGICO
INGENIERIA DEL
PROYECTO



CAPITULO III

DISEÑO METODOLOGICO

INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

El MDF es un material compuesto de residuos de pino blanco y óleos especiales para permitir una buena conservación del material libre plagas inmune a la humedad y la aparición de hongos en su superficie, es un material ecológico puesto de que esta hecho de un material reciclable, y su costo en relación a otros productos es bastante competitivo, por el hecho de que es un material que proviene de la madera y a pesar de que este no es un material fielmente igual a la madera conserva esa calidez y brillo característico acústicamente hablando.

La acústica con el paso del tiempo se ha ido constituyendo en una herramienta fundamental para los ingenieros de sonido a través de todo el mundo puesto que se vuelto a tomar mucho en cuenta el grado de naturalidad en todo aspecto las tendencias actuales han vuelto a las raíces exigiendo un sonido más natural y menos procesado y esto solamente se obtiene con salas de grabación acondicionadas apropiadamente tratando de que el sonido esté libre de ondas estacionarias, Enmascaramiento, eco pulsatorio y excesiva reverberación entre otros defectos.

En la actualidad existen salas acústicas con un sin fin de características en cuanto a la utilización de materiales, lo más importante es tener una idea clara para la construcción de una sala, en el exterior las salas acústicas están conformadas de una manera muy distinta a lo que vemos en nuestro medio, podemos mencionar de que son estudios de grabación los cuales cuentan con un mínimo de tres salas distintas en su tratamiento acústico por ejemplo una sala muerta hecha con materiales absorbentes será para grabar voces, una sala de madera de un tamaño mediano será para grabar todo lo que es percusión y otra sala de grandes

dimensiones y tratada con materiales mixtos y paneles de refuerzo todo esto para grabar los demás tipos de instrumentos y hasta grabar todos juntos en vivo ubicados en la misma sala todos. En cuanto a salas acústicas de grabación revestidas de MDF esta sería la única hasta ahora registrada oficialmente.

En el desarrollo de la puesta en marcha de dicho proyecto se realizarán diversas actividades a continuación se hará una breve descripción de los pasos a seguir:

1er. Paso. Determinar características propias del recinto donde se va a realizar el acondicionamiento tomando en cuenta sus dimensiones, su forma, los materiales con los que fue construida la edificación, coeficientes acústicos de los mismos.

2do. Paso. Determinar las características de las trampas acústicas que se utilizarán y su distribución dentro la sala, tanto en cielo falso como en muros.

3er. Paso. Tomando como parámetro las dimensiones ya obtenidas realizar un cálculo del material que se va a requerir.

4to. Paso colocar el cielo falso con rieles de aluminio y paneles de fibra de vidrio según la forma del diseño de trampa acústico, Empezar con el montaje de las estructuras internas que servirán de soporte a para las Láminas de MDF, Paso. Colocar las láminas previamente ranuradas y disponerlas según el diseño de trampas acústica que se esté trabajando, instalar el piso Flotante, la puerta y el visor de la sala

3.2 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO.

El espacio disponible para la instalación del estudio es parte de un garzonier en el mismo espacio contiguo existe un domicilio residencial compuesto por tres plantas. A ambos lados de la Construcción existen domicilios residenciales de igual manera.

En estas condiciones del entorno resulta evidente que el aislamiento del estudio deberá ser cuidado al máximo ya que los niveles de presión sonora en condiciones de Trabajo podrían molestar al vecindario.

Por otra parte la posible influencia de ruido dentro la sala de grabación será debido al tráfico vehicular de las calles vecinas que, aún siendo de baja densidad de tráfico, suponen la principal fuente externa de ruido.

Foto N° 1 Área Circundante de las Instalaciones



La Imagen corresponde a la Construcción principal y domicilio,
Particular existente en el mismo terreno de la sala de grabación.

Fuente: Elaboración propia

Foto N° 2 Área Circundante de las Instalaciones



Vista externa de la construcción existente que
Que posteriormente será la sala de grabación

Fuente: Elaboración propia

Foto N° 3 Área Circundante de las Instalaciones



La Imagen corresponde a la Construcción principal y domicilio,
Particular existente en el mismo terreno de la sala de grabación.

Fuente: Elaboración propia

3.3 OPTIMIZACIÓN DE LA SUPERFICIE DISPONIBLE.

El espacio disponible para la infraestructura del estudio es relativamente pequeño por lo que se deberá priorizar la optimización de la superficie disponible.

La sala dispone de una ventana que da a la fachada trasera, orientación noroeste. La ubicación de estos elementos inamovibles, junto con los condicionamientos acústicos, deberá también ser tenida en cuenta para la Distribución de espacios.

Se considera necesario maximizar el área dedicada a la interpretación musical (estudio) frente a la dedicada al control y grabación, ya que suele grabar grupos de Rock o corales cuyos miembros no podrían interpretar su voz o instrumento por separado puesto que perderían naturalidad.

3.4 1er PASO ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Para realizar este proyecto contamos inicialmente con una estructura base de Forma rectangular en dos ambientes separados, uno vendrá a ser la sala de grabación y la otra la sala de Control, primeramente se realizará una medición de la superficie y luego un análisis acústico para su posterior comparación.

Es también necesario asignar a estas salas ya existentes la función que van a desempeñar de ahora en adelante vamos llamar a la sala 1 Sala de Control, y a la sala 2 Sala de Grabación.

3.4.1 SALA DE GRABACION SIN TRATAMIENTO ACÚSTICO

DATOS GENERALES:

DIMENSIONES:

Alto: 2.06 m

Largo: 4.96 m

Ancho: 2.44 m

Superficie del Techo: 12. 10 m²

Superficie del Piso: 12. 10 m²

Volumen total de la Sala: 24.93 m³

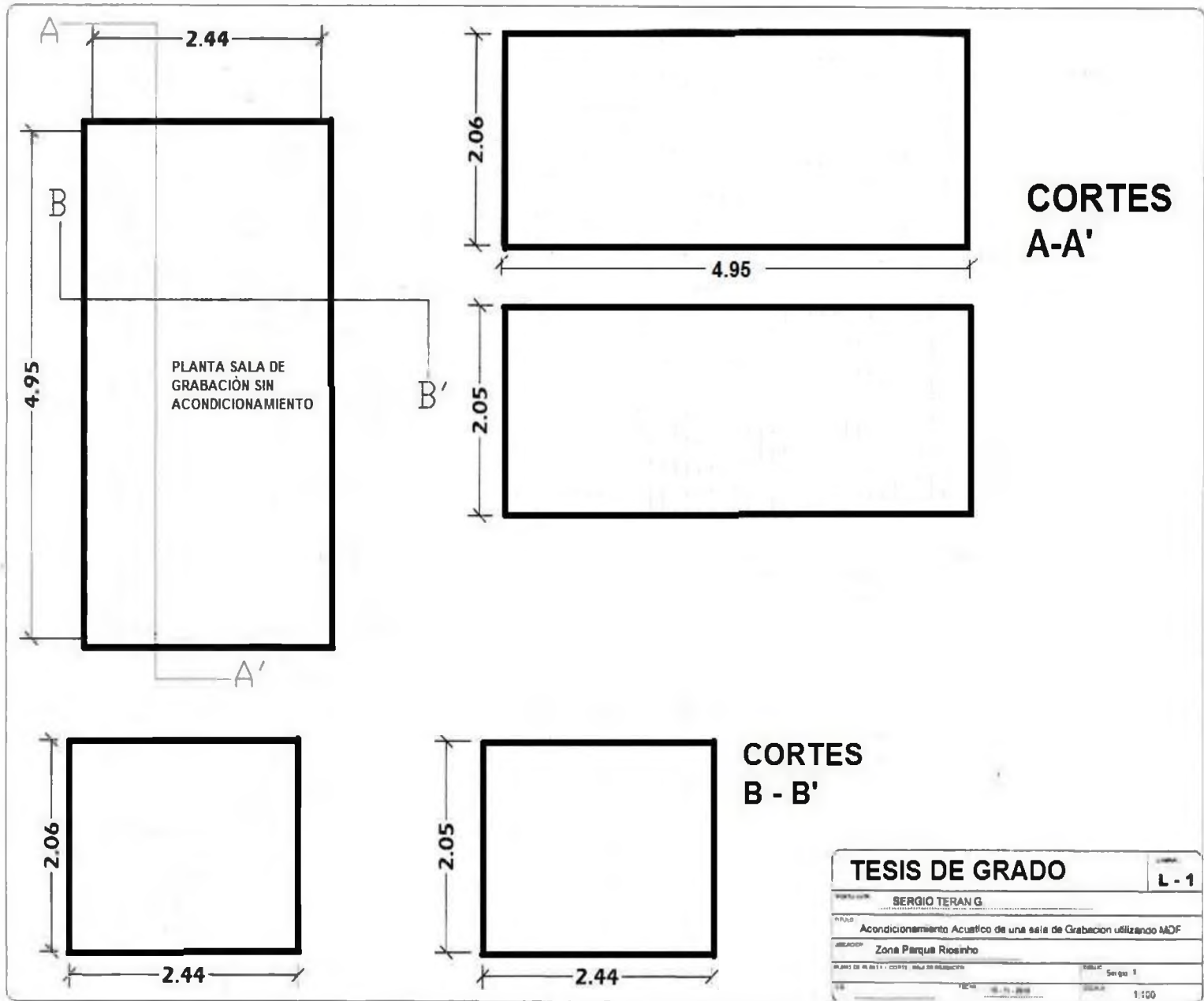
MATERIALES:

Paredes: Ladrillo macizo.

Techo: Cielo Raso de Yeso

Piso: Cemento.

Puerta: Madera.



**TABLA 3 Resultados Tiempo de Absorción
Sala de Grabación sin Tratamiento Acústico**

ITEM	MATERIAL	S _n m ²	α _n 125	α _n 250	α _n 500	α _n 1000	α _n 2000	α _n 4000	A _n =S _n α _n 125	A _n =S _n α _n 250	A _n =S _n α _n 500	A _n =S _n α _n 1000	A _n =S _n α _n 2000	A _n =S _n α _n 4000
Pared 1	Pared de ladrillo c/ revoque de yeso Puerta de Madera Ventana	7.94	0.01	0.01					0.074	0.794	0.02	0.03	0.04	0.05
		1.8 0.75	0.28 0.35	0.04 0.04					0.504 0.2625	0.03 0.072	0.05 0.03	0.03 0.03	0.03 0.02	0.02 0.03
Pared 2	Pared de ladrillo c/ revoque de yeso	5.17	0.01	0.01					0.517	0.0517	0.02	0.03	0.04	0.05
Pared 3	Pared de ladrillo c/ revoque de yeso	10.49	0.01	0.01					0.1049	0.1049	0.02	0.03	0.04	0.05
Pared 4	Pared de ladrillo c/ revoque de yeso	5.17	0.01	0.01					0.0517	0.0517	0.02	0.03	0.04	0.05
Cielo Falso	Enlucido de yeso	12.10	0.03	0.03					0.363	0.363	0.02	0.03	0.04	0.07
Piso	Cemento	12.10	0.02	0.02					0.242	0.242	0.02	0.08	0.04	0.05
	SUPERFICIE TOTAL	55.52m ²						A_T=	1.6021	0.9947	1.172	2.2706	2.1773	2.9595

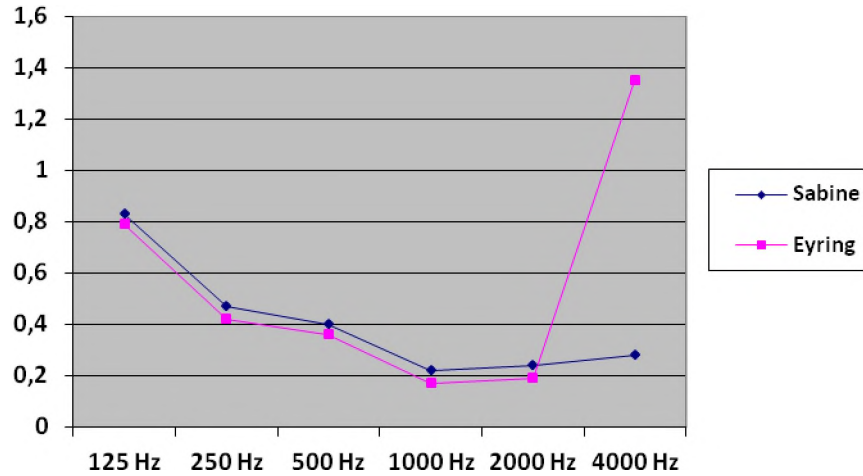
Dichos Resultados corresponden al cálculo de Absorción de las diferentes superficies que se encuentran al interior de la sala de grabación sin Tratamiento Acústico.

Tabla 4 Resultados de Tiempo de reverberación mediante las técnicas de Sabine y Eyring

Fórmula de T60	125 Hz	250 Hz	500Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
T60 Sabine [s]	2.57	4.15	3.52	1.89	1.89	1.39
T60 Eyring [s]	2.54	4.11	3.48	1.85	1.86	1.35

Los resultados de la Tabla corresponden a el cálculo de los diferentes tiempos de reverberación según la utilización de dos fórmulas la de Eyring y Sabine en las diferentes bandas de Frecuencia.

Gráfico N° 1 Tiempo de reverberación Eyring y Sabine



La Tabla Corresponde a una comparación entre los resultados de ambas fórmulas Sabine y Eyring

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5 Resultados Modos Normales de Vibración Sala rectangular sin tratamiento Acústico

nx	Ny	nz	f [Hz]
1	0	0	76.92
0	1	0	110.11
2	0	0	109.33
1	1	0	134.34
2	1	0	154.78
0	0	1	118
1	0	1	140.9
3	0	0	133.9

Los resultados de dicha tabla fueron obtenidos mediante una fórmula que toma en cuenta parámetros como las dimensiones de la sala y la velocidad del sonido.

3.5 2do. PASO DETERMINACION DE ELEMENTOS DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICOS APROPIADOS PARA LA SALA A TRATAR

Luego de una evaluación de los datos obtenidos en el análisis acústico de la sala sin acondicionamiento acústico y tomando en cuenta las dimensiones de la sala se recomienda la utilización de trampas acústicas Bidimensionales en tres de las cuatro paredes.

El diseño de las mismas y su construcción está detallado en el punto 3.8.

3.6 3er. PASO CÁLCULO DE MATERIAL Y COSTOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACION DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Luego de una evaluación exhaustiva de los resultados del diseño de las trampas acústicas bidimensionales a instalar se escogió como material de las superficies placas de MDF de 12mm de espesos por sus considerables ventajas en relación a otros materiales. A continuación una tabla de costos y cantidades de material requeridos para el acondicionamiento de la sala de grabación.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placas de MDF 12 mm.	7 placas 31.24 m ²	Bs. 237, Placa de 2.75m x 1.84m, 5.06m ² , 12mm espesor	Bs. 1659
Placas de aglomerado Rústico para soportes internos	4 Placas	Bs. 215 , Placa de 2.75m x 1.84m, 10mm de espesor	Bs. 1160
Vidrio Templado 10 mm	1	Bs. 450	Bs. 450
Vidrio Templado 8 mm.	1	Bs. 400	Bs. 400
Tornillos para madera	5 cajas de 1000 unidades	Bs. 50	Bs. 250
Cielo falso acústico USG, Fibra de Vidrio con recubrimiento de PVC micro perforado.	26.21 m ²	Bs. 160 m ²	Bs. 4193.6
Lámparas de luz tipo reflector	3	Bs.160	Bs. 480
Cable de luz N° 21	30 m.	Bs. 34	Bs. 1020
Tubos Pvc y abrazaderas	24 m.	Bs. 12	Bs. 288
Abrazaderas	35	Bs. 1,50	Bs. 52,5
Chapa de seguridad	1	Bs. 410	Bs. 410
Fibra Mineral	3 m.	Bs. 54	Bs. 162
Silicona en tubo	1 tubo	Bs. 36	Bs. 36
Piso Flotante	26.21 m ²	Bs. 110 m ²	Bs. 2883
Zócalos	31.24m ²	Bs. 50 m ²	Bs.1562
Cornisas	31.24m ²	Bs. 70 m ²	Bs.2186.8
Mano de Obra	-	Bs. 5600	Bs. 5600
		TOTAL	Bs. 22792.9

3.7 4to. PASO CONSTRUCCIÓN DE LA NUEVA ESTRUCTURA.

La separación entre los ambientes se realiza mediante paredes de ladrillo macizo con revoque de yeso para tapar posibles rendijas. Esto nos proporciona un aislamiento inicial teórico de unos 40dB_A para un grosor de pared de unos 12cm. Una vez hechas las particiones, se construyen habitaciones flotantes en la sala de control y en el estudio.

Foto N° 4 instalación de Listones de Estructura para Placas de MDF



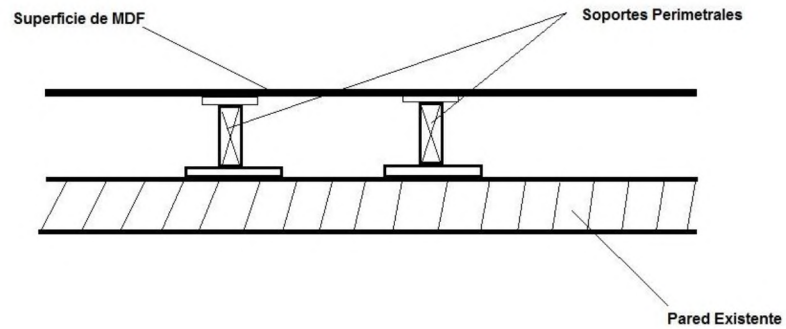
La imagen corresponde al emplazamiento de las estructuras internas cada una con una separación de 30 cm. Entre si construidas cada una con placas de aglomerado rústico.

Fuente Elaboración Propia

Los Listones se realizan con doble tabiquería ligera de Aglomerado Rústico Las placas de 12mm, están unidas con perfilería pre fabricada de Aglomerado Rústico de 46mm.

El espacio entre cada perfil de Aglomerado será de 35 a 37 cm. De esta manera se construye una estructura de perfiles paralelamente entre si y de esta manera haciendo una estructura interna para las Trampas Acústicas que estará explicando individualmente.

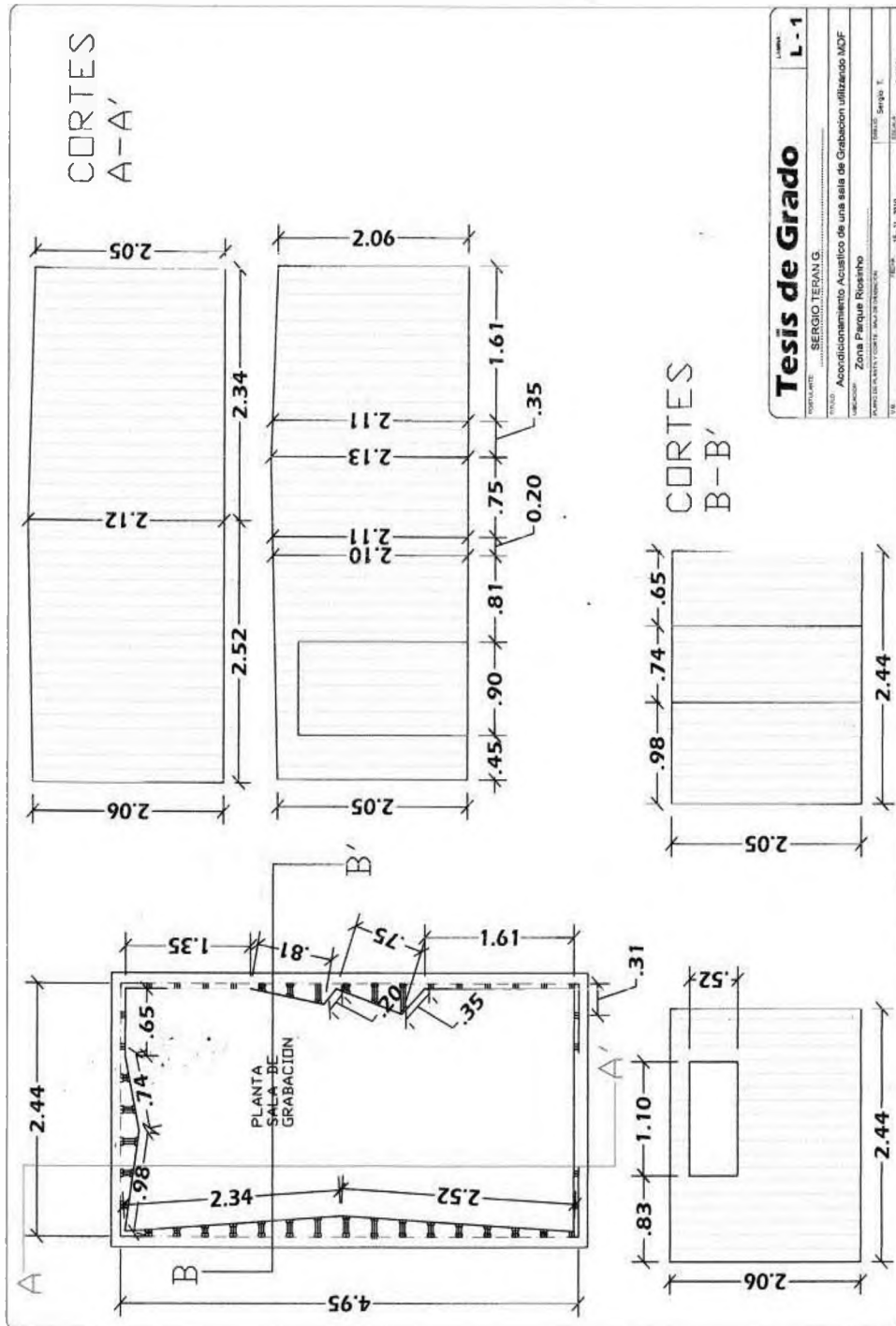
Figura N° 13 Esquema de la Estructura Interna



El gráfico representa a los elementos que componen los diferentes soportes
Que sujetan las placas de MDF brindando así solidez y estabilidad

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 14 Plano de Sala de grabación con tratamiento Acústico



3.7.1 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE LA SALA DE GRABACIÓN.

La absorción básica para el estudio viene dada por el techo acústico que evita Además la formación del modo axial techo - suelo..

Para evitar la posible formación de un modo axial y/o ecos de corta duración (flutter) entre el de la ventana y la pared contraria, se cubre la ventana con fibra mineral absorbente.

Además de contar con una trampa para bajos multidimensionales. construidos con el Material predominante en esta sala, las placas ranuradas de MDF.

En el extremo de la sala correspondiente al ventanal, se dispone otra estructura absorbente para reducir las reflexiones del ventanal y para aumentar la absorción.

El sistema de Construcción es mismo que en el caso anterior. La parte inferior de la estructura se aprovecha como caja de registro para el Paso de cables entre el control y el estudio.

El cálculo de las dimensiones de cada una de las paredes que componen la sala de grabación fue realizado tomando en cuenta la técnica de Construcción de trampas para bajo multidimensionales mencionadas en el marco teórico las cuales indican calcular la longitud de onda de la frecuencia más baja a reproducir en el interior de la sala y hacer coincidir dicha magnitud con la longitud total que abarca la trampa para bajo.

Es así que tenemos las siguientes dimensiones:

Pared N°1 Donde tenemos el visor de comunicación tenemos una pared lisa sin ninguna alteración.

Pared N° 2 Está situada la primera trampa para bajo con una longitud de 4.86 m. de Largo.

Pared N° 3 Está Instalada la segunda trampa para Bajo con una Longitud de 1.72 m. de largo.

Pared N° 4 Dicha Superficie cuenta con una trampa para Bajo que tiene un total de 2.31 m. De Largo.

Foto N° 5 Vista de Pared N° 1 Trampa de Bajo Bidimensional N° 1



La imagen muestra la Pared N°1 la cual en la cual se encuentra

Ubicada la puerta así como una trampa para bajo triangular.

Fuente: Elaboración Propia

Foto N° 6 Vista de Pared N° 2 (Visor)



En la presente imagen puede advertirse la pared N°2 la cual lleva

Incluido el visor de comunicación{on como el multipar de audio.

Fuente: Elaboración Propia

Foto N° 7 Vista de Pared N° 3 Trampa de Bajo Bidimensional N° 2



En Dicha imagen se puede advertir la pared N° 3 la cual es la que tienen
Mayor longitud en relación al resto por lo tanto es la trampa para bajo de

Mayores al interior de la sala.

Fuente: Elaboración Propia

Foto N° 8 Vista de Pared N° 4 Trampa de Bajo Bidimensional N° 3



La Imagen corresponde a la pared N° 4 de la sala la cual cuenta con una trampa

Para Bajo Bidimensional Triangular la cual evita por completo el paralelismo

Con la pared opuesta al interior de la sala.

Fuente: Elaboración Propia

Foto N°9 Vista General



La imagen Muestra una vista general de la Sala de Grabación

Fuente: Elaboración Propia

La Sala de Grabación También contará con la presencia de elementos de Acústica Variable cuando así se lo necesite.

De esta forma será posible realizar diversas configuraciones acústicas en función de las necesidades de grabación.

Una vez extraídos de la estructura los módulos pueden ser apilados o dispuestos Según interese.

Los módulos están compuestos por una estructura de madera la cual da forma y rigidez a la estructura que tiene un revestimiento de esponja acústica tipo difusor de la marca Acustec de Fabricación Argentina.

3.7.2 PUERTA.

Las puertas, como las ventanas, son puntos críticos en el aislamiento acústico. Para poder mantener un elevado aislamiento entre el control y el estudio, se dispuso una puerta aparte de esta manera el ingreso a la sala de grabación es por fuera de la infraestructura.

La puerta del control tiene un aislamiento superior a 45dB a 1KHz.

Evidentemente el aislamiento se reduce conforme se baja en frecuencia

La Puerta de la sala de grabación tiene la particularidad de que está construida por un lado con una placa de 12mm. de MDF adosada a una capa de 5mm. de fibra mineral, estos pegados a una puerta maciza de madera, lo cual brinda un aislamiento Superior a 70 dB.

Las puertas de las salas auxiliares son un poco menos exigentes, 40dB a 1KHz para el , y disponen de un sistema de bisagras de cierre rápido.

Foto N° 10 Vista Frontal de La Puerta de Ingreso



La imagen corresponde a la puerta vista interna.

Fuente: Elaboración Propia

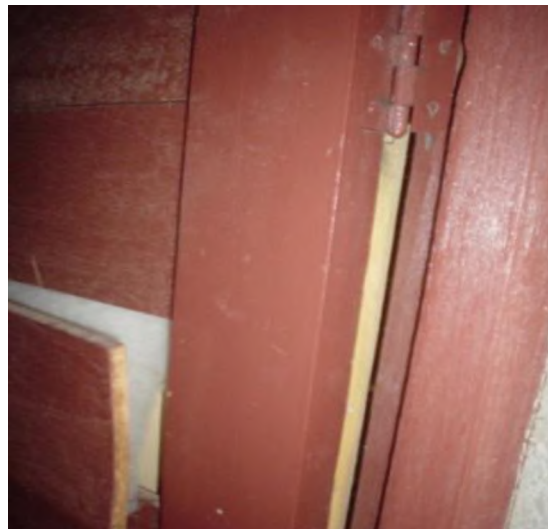
Foto N° 11 Vista Externa de La Puerta de Ingreso



La Imagen muestra una vista de la puerta desde el exterior de la sala

Fuente: Elaboración Propia

Foto N° 12 Vista Frontal del Interior Puerta de Ingreso



La Imagen corresponde a una vista de los materiales que componen

La puerta un Placa de MDF, Lana Mineral y una puerta maciza.

Fuente: Elaboración Propia

3.7.3 VIDRIOS Y VISORES.

Los acristalamientos son el punto más crítico en el aislamiento por lo que se ha tenido especial cuidado con los detalles de Construcción.

Los visores acústicos entre control y estudio se han realizado a medida con marcos de madera y cristales gruesos de diferentes calibres utilizando vidrios templados para mayor seguridad.

Existe una separación de 7,5 cm entre sí en la base puesto que en el cristal de adentro tiene una inclinación de unos 60° en la parte superior.

El aislamiento mínimo queda configurado con un doble acristalamiento de 8-10-10mm. con una Cámara de aire intermedia de unos 7.5cm. lo que nos da un aislamiento teórico superior a 50dB a 500Hz (según M. Rettinger).

De hecho, las pruebas de aislamiento realizadas posteriormente dieron como resultado un aislamiento apropiado entre control y estudio superior a 70dBA . El ruido de fondo medido tanto en el control como en el estudio fue de 29,7dBA , con lo que se cumple el objetivo en cuanto al criterio de ruido NC20 propuesto.

Foto N° 13 Vista Frontal del Visor de Comunicación Lado Sala de Control



La imagen corresponde a la vista interna del visor desde la sala de control.

Fuente: Elaboración Propia

Foto N° 14 Vista Frontal del Visor de Comunicación Lado Sala de Grabación



La Imagen corresponde a la vista interna del visor en contacto con la sala de grabación.

Fuente: Elaboración Propia

El Marco interior de dicha ventana está construido con madera maciza recubierta de MDF.

3.7.4 CIELO FALSO EN LA SALA DE GRABACIÓN:

Dicho Cielo falso está construida en base a una Estructura de Aluminio angular que sostiene paneles acústicos USG Orion 210 con una medida NRC de 65 ideal para estudios de Grabación, resistente a temperaturas de hasta 40°C a 90% de humedad relativa, sin modificar su forma. También tiene una forma No Paralela con relación al piso para evitar Ondas estacionarias y reflexiones innecesarias.

Cumple también gracias a su diseño disipar las reflexiones no deseadas conduciendo a través de una especie de trampa para Bajos pero en el techo. Existe una cámara de aire de 10 cm en su punto más alto el cual entre el cielo falso USG y el revocado de yeso del ya existente cielo falso. Lo cual reduce sustancialmente el ruido externo.

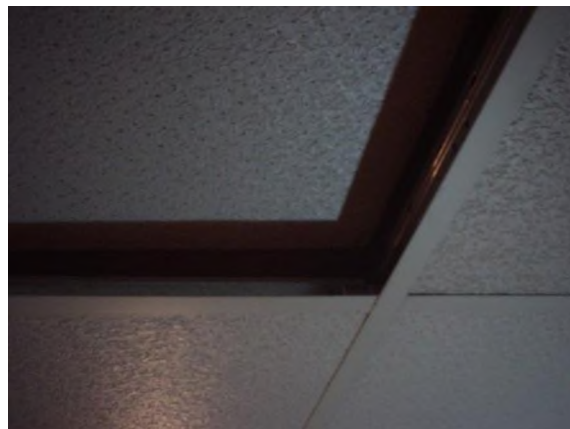
Foto N° 15 Vista Frontal N° 1 del Cielo Falso



La imagen corresponde al cielo falso USG modelo Orion
Sujetado por la estructura de aluminio.

Fuente: Elaboración propia

Foto N° 16 Vista Frontal N° 2 del Cielo Falso



La imagen corresponde al cielo falso USG modelo Orion Sujetado
por la estructura de aluminio y la parte interna del cielo falso revocado con yeso

Fuente: Elaboración propia

3.7.5 PISO.

El piso en esta sala de grabación será implementado usando piso flotante de la marca Estado Unidense CMS Flooring modelo Dijhami, que cumple con las Normas ISO 9001 Referida al standard en el Manejo y administración de la calidad y la Norma ISO 14001 referido al Sistema de Protección Ambiental.

La Técnica de instalación consta inicialmente de un material Aislante Anti Vibratorio y Controlador de niveles altos de Humedad que es instalado sobre el piso original de la sala.

Foto N° 17 Aislante del Piso



Manta aislante que se utiliza para Aislar las placas del piso flotante del suelo existente.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se da paso la instalación del material de revestimiento que está compuesto por un entablonado de material pre fabricado que cuenta con una cara interna provista de una capa de aislante rígido adjunto a la placa con una cara visible de enchapado de madera con acabado de pino, cada placa tiene un espesor de 8 mm un largo de 80 cm. Y un ancho de 15 cm.

Foto N° 18 placas de Piso flotante.



La Imagen Corresponde a las placas de piso flotante.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realiza la instalación de las placas formando entre sí una superficie lisa y uniforme, que brinda solidez y un acabado perfecto acorde al diseño e incluso el color de las paredes de la sala.

Foto N° 19 Vista de la instalación del piso flotante.



La imagen corresponde a una vista lateral en la cual se puede ver claramente la manta aislante por debajo de la placa de piso flotante.

Fuente: Elaboración propia

Foto N° 20 Vista del proceso de la Instalación del piso flotante.



La Imagen muestra el armado de las placas de piso flotante.

Fuente: Elaboración propia

Foto N° 21 Vista del proceso de la Instalación del piso flotante.



La Imagen Muestra el proceso de instalación en el cual no es necesario el atornillamiento de las placas de piso flotante al suelo.

Fuente: Elaboración propia

Foto N° 22 Vista del Piso Concluido en su Instalación.



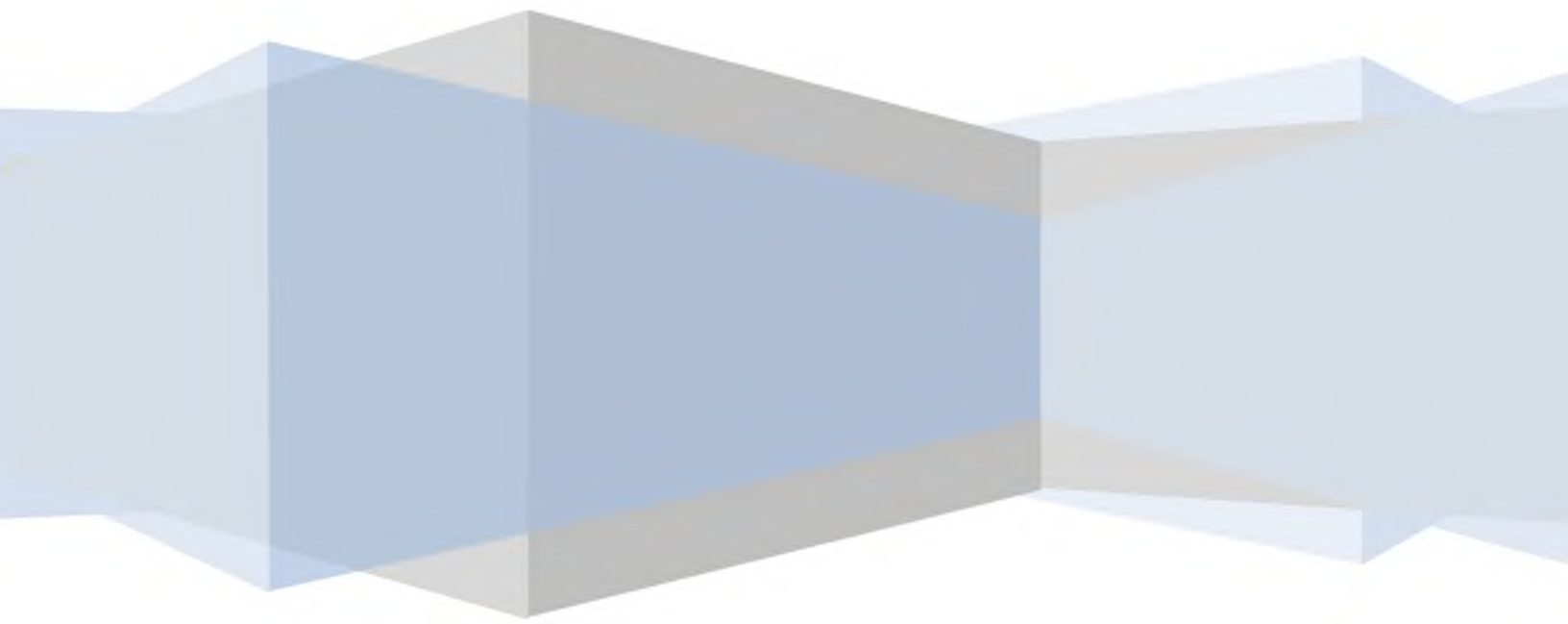
La imagen muestra el piso flotante instalado completamente con un acabado impecable, combinado a las paredes de MDF

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

PRESENTACION DE

RESULTADOS



CAPITULO IV

PRESENTACION DE RESULTADOS

En el presente capítulo se expondrán los resultados de las pruebas y mediciones que se realizaron cumpliendo con estándares y procedimientos actuales vigentes para la comprobación de las virtudes o defectos relacionadas al comportamiento acústico del MDF como material de revestimiento en paredes de una sala de grabación así como las ventajas o desventajas económicas en relación a los demás materiales presentes en el medio local.

4.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ACÚSTICO TOMANDO EN CUENTA PARÀMETROS RELACIONADOS AL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

Tabla N°6 Resultados obtenidos con la Implementación de paredes Falsas y trampas para Bajos construidas con MDF en Sala de Grabación Tiempo de Reverberación según diferentes bandas de frecuencia.

ITEM	MATERIAL	S _n m ²	α _n 125	α _n 250	α _n 500	α _n 1000	α _n 2000	α _n 4000	A _n -S _n α _n 125	A _n -S _n α _n 250	A _n -S _n α _n 500	A _n -S _n α _n 1000	A _n -S _n α _n 2000	A _n -S _n α _n 4000
Pared 1	MDF	10.79	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	1.079	1.079	1.079	3.237	3.237	3.237
Pared 2	MDF Vidrio Templado	3.86 0.57	0.10 0.18	0.10 0.06	0.10 0.04	0.30	0.30	0.30	0.388 0.1026	0.388 0.0342	0.388 0.0228	1.164 0.0171	1.164 0.0171	1.164 0.0114
Pared 3	MDF	10.01	0.10	0.10	0.10	0.03	0.30	0.02	1.001	1.001	1.001	3.003	3.003	3.003
Pared 4	MDF	4.86	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.486	0.486	0.486	1.458	1.458	1.458
Cielo Falso	Fibra de Vidrio con recubrimiento de PVC Perforado	11.86	0.14	0.53	0.63	0.91	0.78	0.53	1.6604	6.2858	7.4718	10.79	9.2508	6.2858
Piso	Parquet	11.86	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07	0.4744	0.4744	0.8302	0.7116	0.7116	0.8302
		S_{Total}	53.83					A_T=	5.1914	9.7484	11.2788	20.3833	18.8415	15.9894

La tabla corresponde a los resultados obtenidos mediante el cálculo de Absorción de Sabine en las diferentes bandas de Frecuencia tomando en cuenta los materiales de cada una de las superficies.

**TABLA 7 Resultados Tiempo de Reverberación
Sala de Grabación Con Tratamiento Acústico de MDF**

Fórmula de T60	125 Hz	250 Hz	500Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
T60 Sabine [s]	0.83	0.47	0.40	0.22	0.24	0.28

La tabla muestra los resultados del Tiempo de Reverberación en las 6 diferentes bandas de Frecuencia obtenidos mediante un cálculo teórico utilizando el Procedimiento de Sabine.

**Tabla 8
VALORES ENERGÉTICOS**

Parámetro	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1KHz	2 KHz	4 KHz
Ts [ms]	162,7	181,4	118,6	110,6	86,3	44,0	28,0
C80[dB]	-4,48	-5,01	-0,15	-0,16	2,05	6,76	9,94
D50	0,09	0,19	0,41	0,43	0,55	0,76	0,84

Tabla de Resultados relacionados a Valores Energéticos obtenidos Mediante El Software de Medición DIRAC.

**Tabla 9
Valores ISO 3382**

Parámetro	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1KHz	2 KHz	4 KHz
EDT [s]	0,10	0,22	0,46	0,24	0,37	0,29	0,43
Ts[s]	162,7	181,4	118,6	110,6	86,3	44,0	28,0
C80	-4,48	-5,01	-0,15	-0,16	2,05	6,76	9,94
D50	0,09	0,19	0,41	0,43	0,55	0,76	0,84

Tabla de Resultados relacionados a Valores ISO 3382 obtenidos Mediante El Software de Medición DIRAC.

Tabla 10
Niveles INR y G

Parámetro	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1KHz	2 KHz	4 KHz
INR[dB]	5	<4	12	15	<13	<18	<23
G[dB]	-153,55	-154,22	-150,50	-146,96	-141,73	-135,06	-197,21

Tabla de Resultados relacionados a Niveles obtenidos Mediante El Software de Medición DIRAC.

Tabla 11
Tiempo de Reverberación

Parámetros	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz	16 KHz
EDT [s]	2,563	0,097	0,064	0,460	0,240	0,372	0,291	0,428	0,392	0,261
Cc	-0,384	-0,615	0,001	-0,894	-0,978	-0,966	-0,989	-0,994	-0,989	-0,943
T10 [s]	27,570	0,005	0,005	0,005	0,263	0,506	0,374	0,343	0,352	0,270
Cc	-0,024	-0,963	0,001	-0,987	-0,956	-0,971	-0,991	-0,997	-0,996	-0,989
T20 [s]	2,118	0,004	0,005	0,006	1,055	0,684	0,319	0,359	0,360	0,351
Cc	-0,197	-0,853	0,001	-0,974	-0,927	-0,953	0,983	-0,998	-0,999	-0,998
T30 [s]	1,556	0,004	0,005	0,006	1,048	0,673	0,303	0,328	0,396	0,249
Cc	-0,226	-0,853	0,001	-0,974	-0,925	-0,938	-0,962	-0,992	-0,997	-0,999

Tabla de Resultados relacionados a Tiempo de Reverberación obtenidos Mediante El Software de Medición DIRAC.

Tabla 12

Inteligibilidad de la Palabra

Parámetros	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
SNR	-100	-4	-1	2	6	11	19
EDT	0,064	0,460	0,240	0,372	0,291	0,428	0,392
D50	0,19	0,41	0,43	0,55	0,76	0,84	0,93

Tabla de Resultados relacionados a la Inteligibilidad de la Palabra, obtenidos Mediante El Software de Medición DIRAC.

Tabla 13 Tabla de resultado Parámetro STI.



Resultado del STI Masculino y Femenino Obtenido por el Software DIRAC que como resultado tiene 0.91 Cercano al resultado óptimo de dicho parámetro.

Tabla 14 Tabla de Resultado de parámetros relacionados al la inteligibilidad de la Palabra

Parámetro	Resultado					
RASTI	0,64 (Good)					
%ALC	5,2					
STITEL	0,63 (Good)					
%ALC	5,7					
WEIGHT	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1KHz	2KHz	4KHz
	0,900	1,000	0,800	0,800	1,200	1,300
STI	0,64 (Good)					
%ALC	5,3					

Resultado Parámetros relacionados a la Inteligibilidad de la palabra y porcentaje ALCONS (Pérdida de Articulación de consonantes) Obtenido por el Software DIRAC

Tabla 15

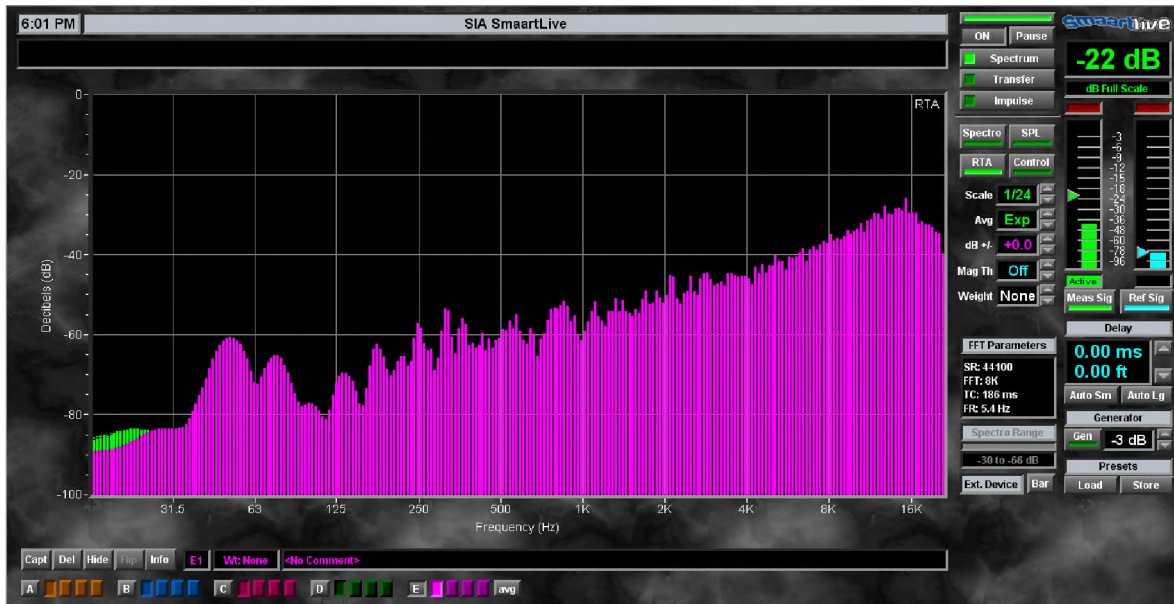
Reflexiones Tempranas

Parámetro	63 Hz	125Hz	250 Hz	500 Hz	1KHz	2KHz	4KHz
ST (Early) [dB]	14.17	11.84	3.15	-0.57	-2.20	-3.63	2.74
ST (Late) [dB]	16.37	17.21	6.58	2.37	-0.32	-5.61	-9.27
ST (Total) [dB]	18.59	18.33	8.20	4.16	1.84	-1.50	-1.87

Resultado de Reflexiones Obtenido por el Software DIRAC

4.2 ANÁLISIS ESPECTRAL DE SALA DE GRABACIÓN CON TRATAMIENTO ACÚSTICO.

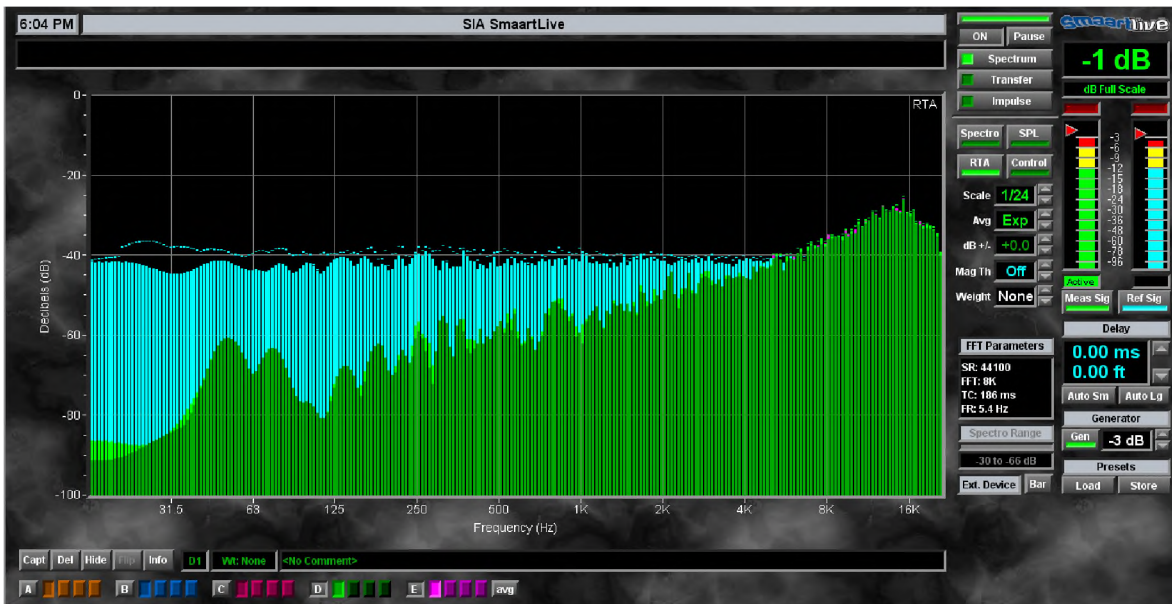
Grafico N°3 Visualización gráfica de la Curva de Respuesta mediante análisis espectral



Resultado de la curva de respuesta de la Sala Obtenido por el Software SMAARTLIVE

Dicho Gráfico denota un comportamiento interesante de la sala en relación a su respuesta en frecuencias al interior evidenciando una curva que evita resonancias de frecuencias graves y medias y tiene una curva ascendente en bandas de frecuencias altas lo cual significa que la sala agrega un brillo sutil a los sonidos instrumentos y voces presentes al interior de la sala.

Grafico N°4 Visualización gráfica de la Curva de Respuesta mediante análisis espectral adjunto a la Señal de referencia.



Resultado de la curva de respuesta de la Sala Obtenido por el Software SMAARTLIVE.

Dicho Gráfico denota un comportamiento interesante de la sala en relación a su respuesta en frecuencias al interior evidenciando una curva que evita resonancias de frecuencias graves y medias y tiene una curva ascendente en bandas de frecuencias altas lo cual significa que la sala agrega un brillo sutil a los sonidos instrumentos y voces presentes al interior de la sala.

Así mismo la comparación de la respuesta de la sala en color verde comprueba su característica al ser comparado al ruido rosa representado en color celeste.

4.3 TABLAS DE PRESUPUESTOS DE DIFERENTES MATERIALES PARA LA IMPLEMENTACION DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN SALAS DE GRABACION.

**Tabla 16
PRESUPUESTO CON MDF**

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placas de MDF 12 mm.	7 placas 31.24 m ²	Bs. 237, Placa de 2.75m x 1.84m, 5.06m ² , 12mm espesor	Bs. 1659
Placas de aglomerado Rústico para soportes internos	4 Placas	Bs. 215 , Placa de 2.75m x 1.84m, 10mm de espesor	Bs. 1160
Vidrio Templado 10 mm	1	Bs. 450	Bs. 450
Vidrio Templado 8 mm.	1	Bs. 400	Bs. 400
Tornillos para madera	5 cajas de 1000 unidades	Bs. 50	Bs. 250
Cielo falso acústico USG, Fibra de Vidrio con recubrimiento de PVC micro perforado.	26.21 m ²	Bs. 160 m ²	Bs. 4193.6
Lámparas de luz tipo reflector	3	Bs.160	Bs. 480
Cable de luz Nº 21	30 m.	Bs. 34	Bs. 1020
Tubos Pvc y abrazaderas	24 m.	Bs. 12	Bs. 288
Abrazaderas	35	Bs. 1,50	Bs. 52,5
Chapa de seguridad	1	Bs. 410	Bs. 410
Fibra Mineral	3 m.	Bs. 54	Bs. 162
Silicona en tubo	1 tubo	Bs. 36	Bs. 36
Piso Flotante	26.21 m ²	Bs. 110 m ²	Bs. 2883
Zócalos	31.24m ²	Bs. 50 m ²	Bs.1562
Cornisas	31.24m ²	Bs. 70 m ²	Bs.2186.8
Mano de Obra	-	Bs. 5600	Bs. 5600
		TOTAL	Bs. 22792.9

Tabla 17
Presupuesto para Acondicionamiento realizado con placas de Drywall.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placas de Drywall con estructura interna de perfiles de Acero galvanizado.	31.2m ²	Bs. 360 m ²	Bs. 11232
Vidrio Templado 10 mm	1	Bs. 450	Bs. 450
Vidrio Templado 8 mm.	1	Bs. 400	Bs. 400
Tornillos para Drywall	1 caja de 1000 unidades	Bs. 50	Bs. 50
Cielo falso acústico USG, Fibra de Vidrio con recubrimiento de PVC micro perforado.	12.5 m ²	Bs. 160 m ²	Bs. 2000
Lámparas de luz tipo reflector	3	Bs.160	Bs. 480
Cable de luz Nº 21	30 m.	Bs. 34	Bs. 1020
Tubos Pvc y abrazaderas	24 m.	Bs. 12	Bs. 288
Abrazaderas	35	Bs. 1,50	Bs. 52,5
Chapa de seguridad	1	Bs. 410	Bs. 410
Fibra Mineral	3 m.	Bs. 54	Bs. 162
Silicona en tubo	1 tubo	Bs. 36	Bs. 36
Piso Flotante	12.9 m ²	Bs. 180 m ²	Bs. 2322
Zócalos	31.24m ²	Bs. 50 m ²	Bs. 1562
Cornisas	31.24m ²	Bs. 70 m ²	Bs. 2186.8
Mano de Obra	-	Bs. 4000	Bs. 4000
		TOTAL	Bs. 26413.3

Tabla 18

Presupuesto para Acondicionamiento realizado con Revestimiento de Madera.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placas de Madera	31.22 m ²	Bs. 350 m ²	Bs. 10927
Placas de aglomerado Rústico para soportes internos	4	Bs. 215 , Placa de 2.75m x 1.84m, 10mm de espesor	Bs. 868
Vidrio Templado 10 mm	1	Bs. 450	Bs. 450
Vidrio Templado 8 mm.	1	Bs. 400	Bs. 400
Tornillos para madera	1 caja de 1000 unidades	Bs. 50	Bs. 50
Cielo falso acústico USG, Fibra de Vidrio con recubrimiento de PVC micro perforado.	12.5 m ²	Bs. 160 m ²	Bs. 2000
Lámparas de luz tipo reflector	3	Bs.160	Bs. 480
Cable de luz N° 21	30 m.	Bs. 34	Bs. 1020
Tubos Pvc y abrazaderas	24 m.	Bs. 12	Bs. 288
Abrazaderas	35	Bs. 1,50	Bs. 52,5
Chapa de seguridad	1	Bs. 410	Bs. 410
Fibra Mineral	3 m.	Bs. 54	Bs. 162
Silicona en tubo	1 tubo	Bs. 36	Bs. 36
Piso Flotante	12.9 m ²	Bs. 180 m ²	Bs. 2322
Zócalos	33.22 m ²	Bs. 50 m ²	Bs.2325.4
Cornisas	33.22 m ²	Bs. 70 m ²	Bs.1661
Mano de Obra	-	Bs. 4000	Bs. 5600
		TOTAL	Bs. 29051.9

Tabla 19

Presupuesto para Acondicionamiento realizado con placas de Esponja Común.

Obs. Dicho revestimiento necesita una estructura interna sólida para fijar las placas de esponja e esta caso sería una estructura de drywall.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placas de Drywall con estructura interna de perfiles de Acero galvanizado.	31.22m ²	Bs. 360	Bs. 11232
Placas de Esponja Común	11 Placas	Bs. 125, placas de 2m x 1,5m, espesor de 5cm	Bs. 1375
Vidrio Templado 10 mm	1	Bs. 450	Bs. 450
Vidrio Templado 8 mm.	1	Bs. 400	Bs. 400
Tornillos de encarne	1 caja de 1000 unidades	Bs. 50	Bs. 50
Cielo falso acústico USG, Fibra de Vidrio con recubrimiento de PVC micro perforado.	12.5 m ²	Bs. 160 m ²	Bs. 2000
Lámparas de luz tipo reflector	3	Bs.160	Bs. 480
Cable de luz N° 21	30 m.	Bs. 34	Bs. 1020
Tubos Pvc y abrazaderas	24 m.	Bs. 12	Bs. 288
Abrazaderas	35	Bs. 1,50	Bs. 52,5
Chapa de seguridad	1	Bs. 410	Bs. 410
Fibra Mineral	3 m.	Bs. 54	Bs. 162
Silicona en tubo	1 tubo	Bs. 36	Bs. 36
Piso Flotante	12.9 m ²	Bs. 180 m ²	Bs. 2322
Zócalos	31.22m ²	Bs. 50 m ²	Bs. 1561
Cornisas	31.22m ²	Bs. 70 m ²	Bs. 2185.4
Mano de Obra	-	Bs.7000	Bs. 4850
		TOTAL	Bs. 28873

Tabla 20
Presupuesto para Acondicionamiento realizado con placas de Esponja
Acústica Tipo Sonex.

Obs. Dicho revestimiento necesita una estructura interna sólida para fijar las placas de esponja Acústica tipo Sonex e esta caso sería una estructura de drywall.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placas de Drywall con estructura interna de perfiles de Acero galvanizado.	31.22 m ²	Bs. 360	Bs. 11232
Placas de Esponja Tipo Sonex.	32	Bs. 200, placas de 1mx 80cm, espesor de 35mm	Bs. 6400
Vidrio Templado 10 mm	1	Bs. 450	Bs. 450
Vidrio Templado 8 mm.	1	Bs. 400	Bs. 400
Tornillos de encarne	1 caja de 1000 unidades	Bs. 50	Bs. 50
Cielo falso acústico USG, Fibra de Vidrio con recubrimiento de PVC micro perforado.	12.5 m ²	Bs. 160 m ²	Bs. 2000
Lámparas de luz tipo reflector	3	Bs.160	Bs. 480
Cable de luz N° 21	30 m.	Bs. 34	Bs. 1020
Tubos Pvc y abrazaderas	24 m.	Bs. 12	Bs. 288
Abrazaderas	35	Bs. 1,50	Bs. 52,5
Chapa de seguridad	1	Bs. 410	Bs. 410
Fibra Mineral	3 m.	Bs. 54	Bs. 162
Silicona en tubo	1 tubo	Bs. 36	Bs. 36
Piso Flotante	12.9 m ²	Bs. 180 m ²	Bs. 2322
Zócalos	31.22 m ²	Bs. 50 m ²	Bs. 1561
Cornisas	31.22 m ²	Bs. 70 m ²	Bs. 2185.4
Mano de Obra	-	Bs.7000	Bs. 5600
		TOTAL	Bs. 34648.9

Tabla 21

**Presupuesto para Acondicionamiento realizado con placas de Cartón
(Cajas de Huevo).**

Obs. Dicho revestimiento necesita una estructura interna sólida para fijar el Cartón (Cajas de Huevo) de esponja e esta caso sería una estructura de drywall.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placas de Drywall con estructura interna de perfiles de Acero galvanizado.	31.22	Bs. 360	Bs. 11232
Cartón (cajas de huevo).	125	Bs. 8	Bs. 1000
Vidrio Templado 10 mm	1	Bs. 450	Bs. 450
Vidrio Templado 8 mm.	1	Bs. 400	Bs. 400
Tornillos de encarne	1 caja de 1000 unidades	Bs. 50	Bs. 50
Cielo falso acústico USG, Fibra de Vidrio con recubrimiento de PVC micro perforado.	12.5 m ²	Bs. 160 m ²	Bs. 2000
Lámparas de luz tipo reflector	3	Bs.160	Bs. 480
Cable de luz N° 21	30 m.	Bs. 34	Bs. 1020
Tubos Pvc y abrazaderas	24 m.	Bs. 12	Bs. 288
Abrazaderas	35	Bs. 1,50	Bs. 52,5
Chapa de seguridad	1	Bs. 410	Bs. 410
Fibra Mineral	3 m.	Bs. 54	Bs. 162
Silicona en tubo	1 tubo	Bs. 36	Bs. 36
Piso Flotante	12.9 m ²	Bs. 180 m ²	Bs. 2322
Zócalos	31.22 m ²	Bs. 50 m ²	Bs. 1561
Cornisas	31.22 m ²	Bs. 70 m ²	Bs. 2185.4
Mano de Obra	-	Bs.7000	Bs. 5600
		TOTAL	Bs. 29248.8

Tabla 22
Tabla comparativa de Precios tomando en cuenta diferentes material de revestimiento.

MATERIAL DE REVESTIMIENDO USADO	PRECIO TOTAL
MDF	Bs. 22792.9
DRYWALL	Bs. 26413.3
MADERA	Bs. 29051.9
ESPONJA COMUN	Bs.28873.9
ESPONJA ACÚSTICA	Bs. 34648.9
CARTON	Bs. 29248.8

4.4 COMPARACION DE EL MDF Y LOS DIFERENTES MATERIALES EN EL MEDIO

En el medio local es posible encontrar diferentes materiales y técnicas para realizar el revestimiento de salas de grabación: en las siguientes tablas comparativas se determinarán las ventajas del MDF frente a los demás materiales.

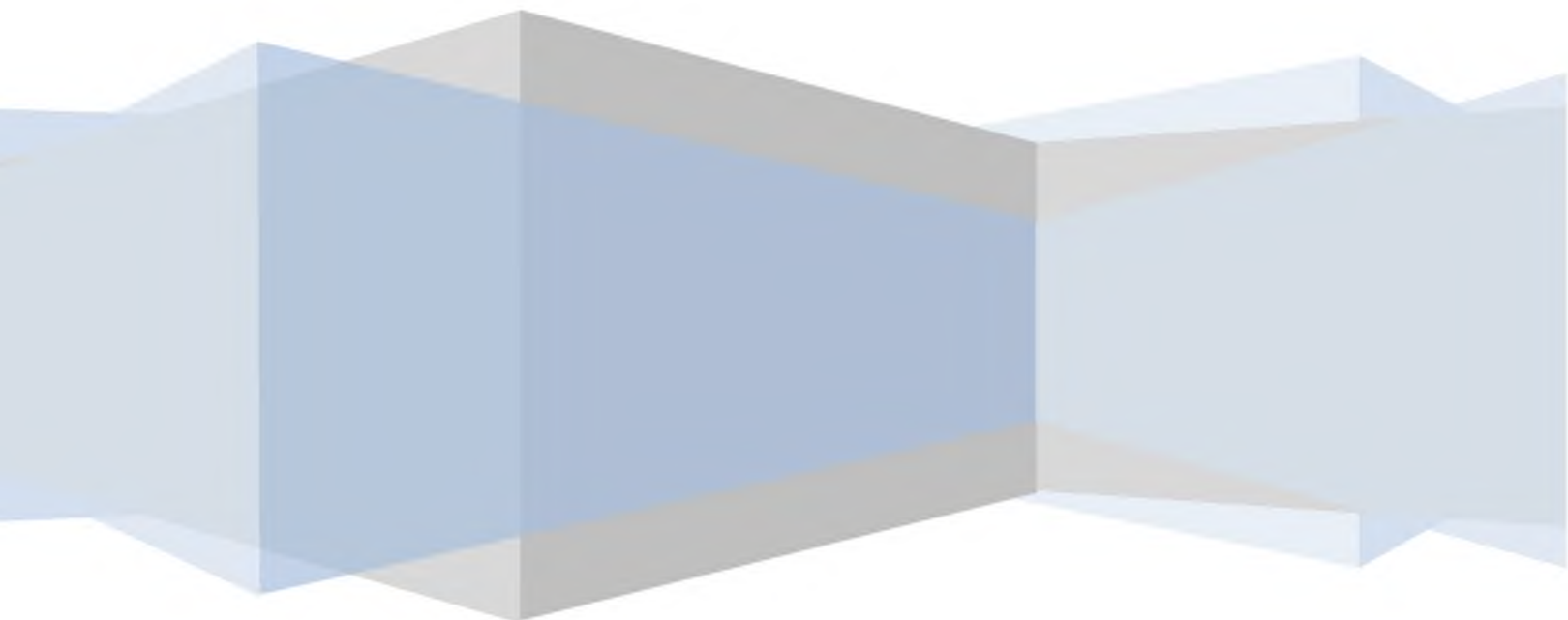
Tabla 23
Tabla comparativa de materias de revestimiento en salas de grabación

MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MDF	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficientes de absorción uniformes en las diferentes Bandas de frecuencia. -Niveles de aislamiento bruto favorables. - Uniformidad en la superficie - Facilidad de cortado y moldeado de las placas. - Alta resistencia a la Humedad y los diferentes hongos. - Ruido producido por cambio de temperatura Inexistente. - Fácil Instalación. Acabado uniforme. - Retardante a la acción del fuego. - Alta resistencia a Golpes y Raspaduras - Alta disponibilidad en el mercado. -Acabado estético. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja Resistencia al contacto prolongado con el Agua.
DRYWALL	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil Instalación - Placas relativamente livianas. - Fácil Instalación. - Cortado Sencillo. - Retardante a la acción del fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> -Coeficientes de Absorción poco uniformes y con altas deficiencias de absorción en frecuencias bajas. - Bajos niveles de aislamiento Bruto.

	<ul style="list-style-type: none"> - Alta disponibilidad en el mercado. Acabado Uniforme en la superficie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja Resistencia a la Humedad. - Baja resistencia a Golpes y Raspaduras. - Alto costo. - Baja resistencia al contacto directo con el Agua.
ESPONJA ACÚSTICA	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficientes de absorción relativamente Uniformes en las diferentes bandas de frecuencias.. - Fácil Instalación. - Cortado Sencillo - Acabado estético. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita estructura Interna para sujetar las placas. - Baja Disponibilidad en el mercado. - Alto costo. - Baja Resistencia a exposición a la Humedad y Hongos. Baja Resistencia a la Acción del Fuego.
MADERA COMÚN	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficientes de Absorción Uniforme. - Acabado estético - Fácil Instalación. - Fácil Cortado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja Resistencia a Hongos y la acción de la humedad. - Alta Inflamabilidad. - Produce Ruidos al efectuarse cambios de temperatura. - Alto Costo. - Baja Disponibilidad en el mercado.
ESPONJA COMÚN	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo Costo. - Alta Disponibilidad en el mercado. - Fácil Cortado. - Fácil Instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficientes de Absorción muy poco uniformes, Bajísima absorción de frecuencias Bajas. - Necesita estructura Interna para sujetar las placas. - Baja Resistencia a la Humedad y Hongos. - Altísima Inflamabilidad. - Acabado poco estético.
CARTÓN (CAJAS DE HUEVO)	<ul style="list-style-type: none"> - Alta disponibilidad en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficientes de Absorción muy poco

	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil cortado. - Fácil Instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> uniformes, Bajísima absorción de frecuencias Bajas. - Necesita estructura Interna para sujetar las placas. - Baja Resistencia a la Humedad y Hongos. - Altísima Inflamabilidad. - Acabado poco estético.
TELA	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo Costo. - Acabado relativamente Estético. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficientes de Absorción muy poco uniformes, Bajísima absorción de frecuencias Bajas. - Necesita estructura Interna para sujetar las placas. - Baja Resistencia a la Humedad y Hongos. - Altísima Inflamabilidad. - Acabado poco estético
ALFOMBRA	Bajo Costo	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficientes de Absorción muy poco uniformes, Bajísima absorción de frecuencias Bajas. - Necesita estructura Interna para sujetar las placas. - Baja Resistencia a la Humedad y Hongos. - Altísima Inflamabilidad. - Acabado poco estético

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES:

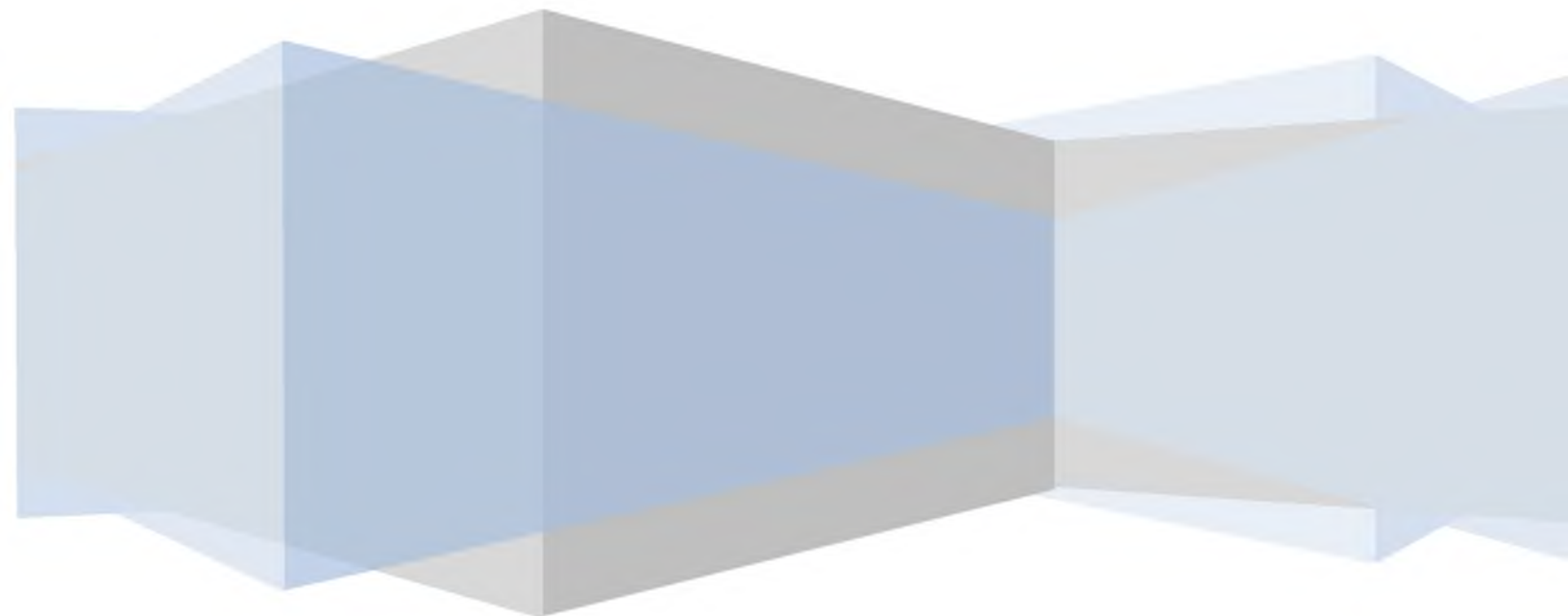
- Se realizaron los diferentes Análisis acústicos para determinar las características iniciales de la sala sin ningún tratamiento acústico llegando a la conclusión de que dicha sala tenía un tiempo de reverberación excesivo además de carecer de las condiciones mínimas de inteligibilidad de la palabra.
- Se realizó un cálculo preciso de la cantidad de material requerido y sus respectivos costos.
- Se diseñaron los soportes apropiados para sujetar las placas de MDF que darán forma a las respectivas trampas para bajo.
- Se realizó el cálculo respectivo del tiempo de reverberación y parámetros relacionados a la inteligibilidad de la palabra en la sala de grabación con la ayuda de Cálculos precisos de manera escrita y también con la ayuda de un software.
- Se comprobaron las virtudes del MDF12 mm comprobando claramente su absorción uniforme en las diferentes bandas de frecuencias y de esta manera su grado uniforme de reflectividad.

Una vez que se han realizado todas las pruebas necesarias para evidenciar las grandes ventajas en la implementación de el acondicionamiento acústico utilizando el MDF como material de revestimiento, se pudieron realizar diferentes grabaciones a diferentes instrumentos y voces llegando a la conclusión de que el MDF como material de revestimiento en combinación con los otros materiales utilizados, respeta la tonalidad y sonoridad propia de los instrumentos teniendo como resultado un sonido natural en el momento de la grabación.

En base a un estudio comparativo se ha podido evidenciar que el MDF es un material de revestimiento relativamente económico en relación a los demás materiales que se puede encontrar en el medio, evidenciando las también diferentes ventajas como ser: Su facilidad en el corte de las placas, la rapidez en el proceso de instalación, su resistencia ante la temperatura y la humedad, su efecto retardante al efecto producido por el fuego. La Rigidez del material y su composición homogénea presenta gran solidez en la superficie de revestimiento, resistiendo golpes y facilidad en el momento de implementar y construir las trampas para bajo, así mismo presenta un acabado agradable y con la posibilidad de realizar trabajos de pintura al agua sobre su superficie.

Debido a las características de absorción uniforme en las diferentes bandas de frecuencia el MDF puede combinarse con otros materiales de similares características de absorción para obtener tiempos de reverberación y niveles de Inteligibilidad de la Palabra bastante favorables.

RECOMENDACIONES



RECOMENDACIONES

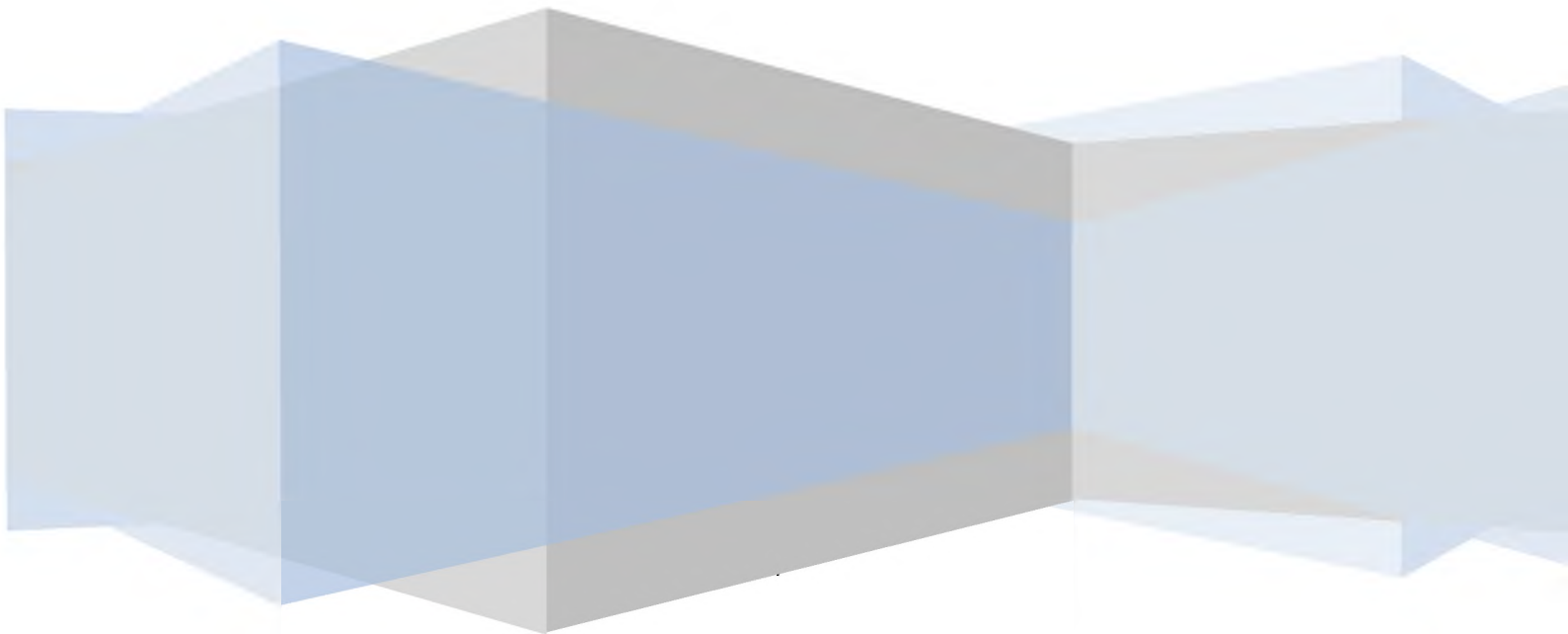
En Vista de los resultados obtenidos en el presente proyecto y tomando en cuenta la realidad del medio actual de las Salas Acústicas:

Se recomienda el uso del MDF como material e revestimiento en las diferentes salas de grabación para la construcción de trampas para bajo Unidimensionales y bidimensionales debido ya que el MDF es un material apropiado por su facilidad de manejo ensamblado y corte, además de sus grandes virtudes en relación a las plagas, hongos pero principalmente por el hecho de que es una superficie que absorbe la energía sonora de Manera Uniforme es decir que desde las frecuencias bajas hasta las frecuencias agudas su coeficiente de absorción no tiene significativas variaciones y por lo tanto no tendrá ningún efecto de coloración sobre los diferentes Sonidos, Instrumentos y Voces que se registrarán al interior de las salas con revestimiento de MDF.

Es por esto que se recomienda la combinación de distintos materiales para obtener un tiempo de reverberación controlado.

Así mismo en vista de que generalmente las diferentes salas no cuentan con el espacio suficiente para la implementación de trampas para bajos se podría recurrir a la utilización del MDF para la construcción de resonadores Acústicos tipo QRD.

APORTE

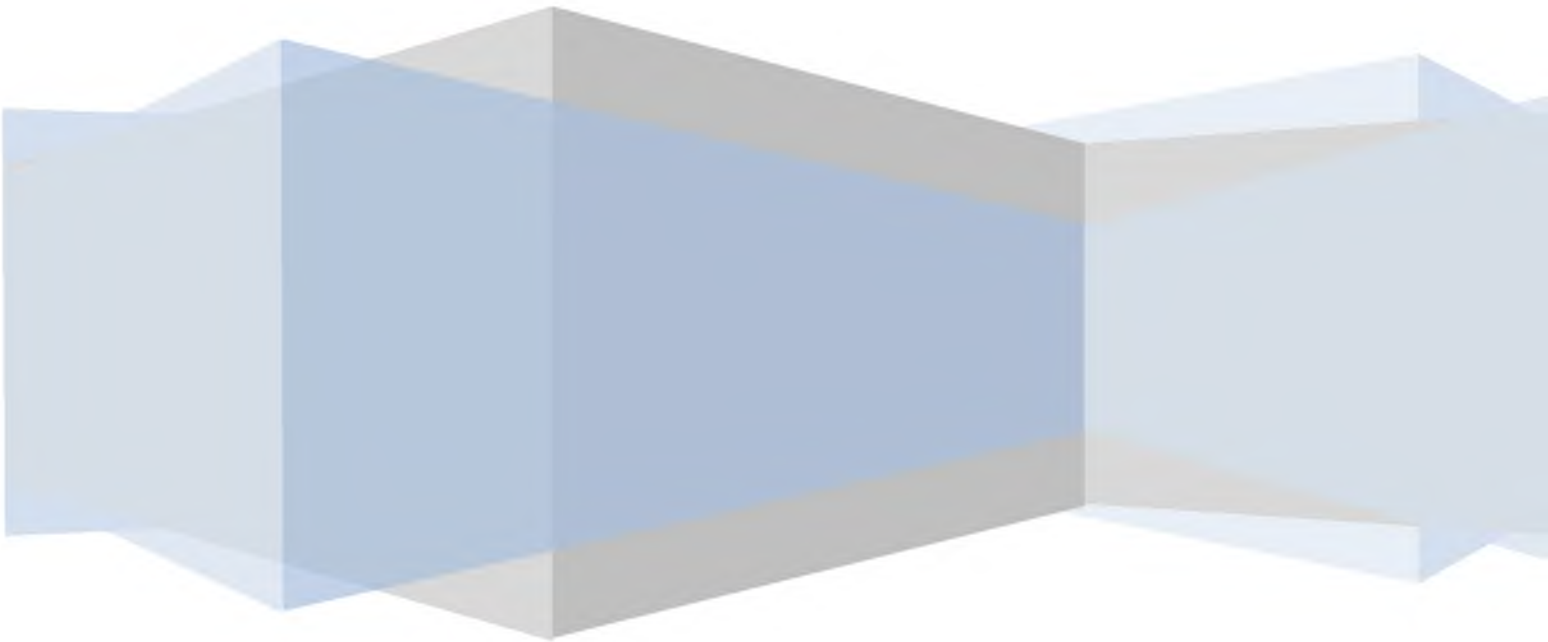


APORTE.

Una vez concluido el trabajo de acondicionamiento acústico de una sala utilizando MDF como material para la construcción de trampas para bajo multidimensionales y tomando en cuenta los resultados de los diferentes análisis podemos decir que el MDF es un excelente material que podrá ser usado perfectamente en trabajos de revestimiento así como trabajos de construcción de resonadores cuadráticos, difusores acústicos, debido a su facilidad de cortado, precio razonable y fácil instalación, por todo esto el hecho de haber construido una sala con MDF como material de revestimiento en las paredes se constituye en un aporte al medio local de construcción debido a que se ha demostrado las virtudes de este material en relación a los que se usa actualmente en el medio.

Es importante mencionar que al ser un material que tiene la capacidad de conservar la sonoridad y tonalidad propia de los instrumentos el resultado es un sonido Natural, que en el proceso de la Mezcla de audio no precisará gran cantidad de procesos realizados con procesadores tanto digitales como analógicos.

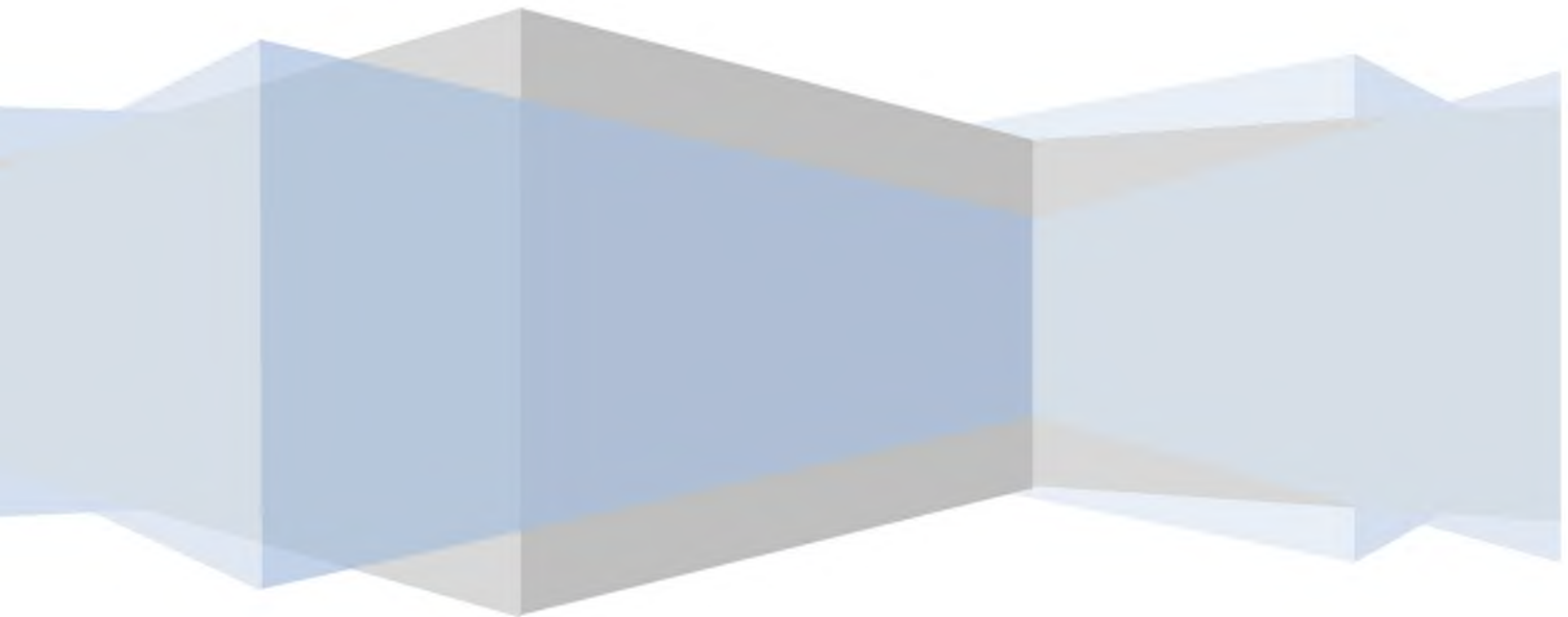
BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFIA

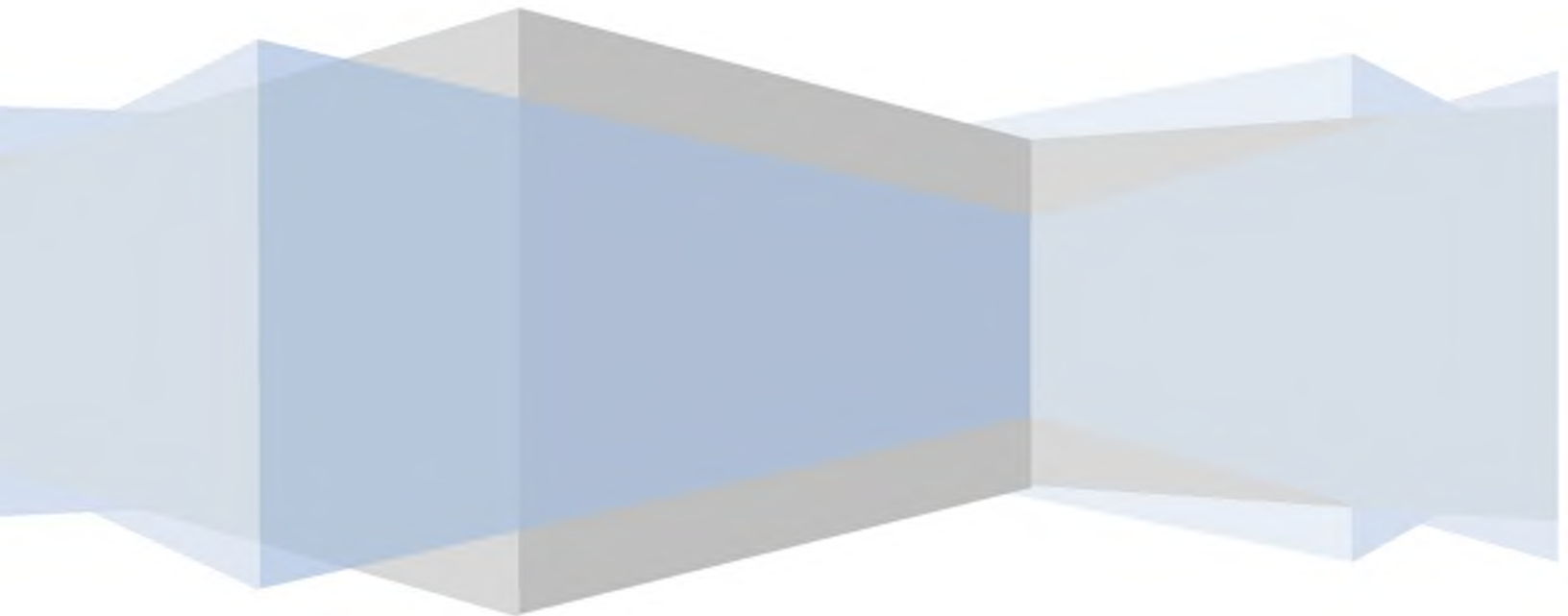
1. BAENA Paz, Guillermina *Manual para elaborar trabajos de investigación documental* México: Editores Mexicanos Unidos, 1997
2. COOPER, Jeff *Building a Recording Studio* Estados Unidos: Synergy Group, Inc. 1984
3. HARRIS CIRYL *Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido (Vol I Vol II)* 1971
4. HUNTER Stark, Scott *Live Sound Reinforcement* Estados Unidos: Mix Pro Audio Series, 1999
5. HUNTLY Parsons, Mark *The Drummer's Studio Survival Guide* Estados Unidos: Modern Drummer Publications 1996
6. PEREZ MIÑANA, José *Compendio Práctico de acústica España*: Editorial Labor, 1969
7. TREMAINE, Howard *Audiociclopedia Volumen 1* España: Boixareu Editores. 1977
8. TRIBALDOS, Clemente *Sonido Profesional España*: Editorial Paraninfo 1992
9. SOMMERHOFF, Jorge *Acústica de Locales Acondicionamiento Acústico Interior de Salas* Chile: Universidad Austral de Chile 1987

ANEXOS



ANEXO 1

ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO EN SALA DE CONTROL



ANEXO 1

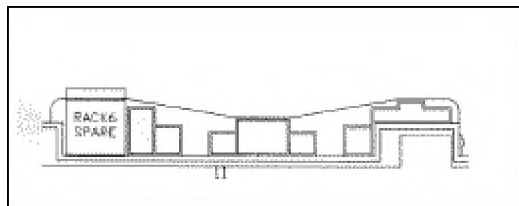
Acondicionamiento acústico de la sala de control.

Como se explicó anteriormente la sala de control es del tipo LEDE-mejorado pero con la particularidad de que las paredes de obra que delimitan la sala también siguen por economía de espacios las inclinaciones apropiadas para evitar las primeras reflexiones. La absorción acústica básica necesaria para la sala de control es la aportada por el Cielo falso acústico flotante de Fibra de vidrio USG, sostenida por una perfilera de Aluminio.

Para mejorar la absorción de bajas frecuencias y evitar la posible aunque poco probable formación de algún modo propio, se añade absorción en los dos extremos traseros de la sala y en el hueco bajo el visor acústico que hay entre los altavoces, configurándose esta última en forma de Trampa para Bajo cumpliendo con las especificaciones previstas.

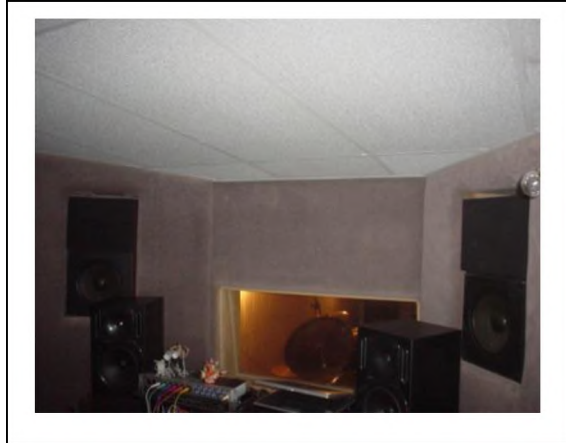
La pared trasera se cubre con una pared absorbente construida con el mismo material compuesto de toda la sala.

Figura 15 Corte superior de estructura Interna de la superficie de Paredes Falsas.



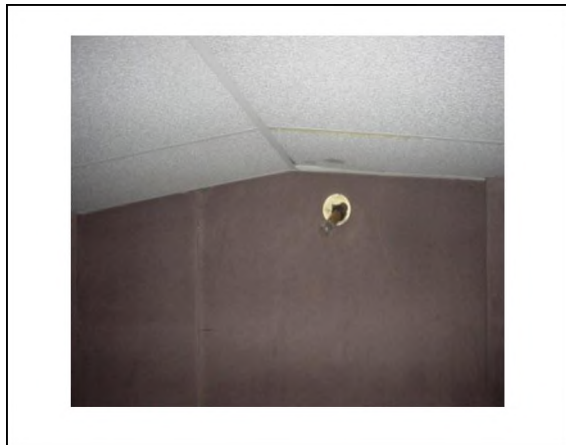
Fuente: COOPER, Jeff Building a Recording Studio, Pag: 32

Foto 24 Vista Pared 1, Sala de Control



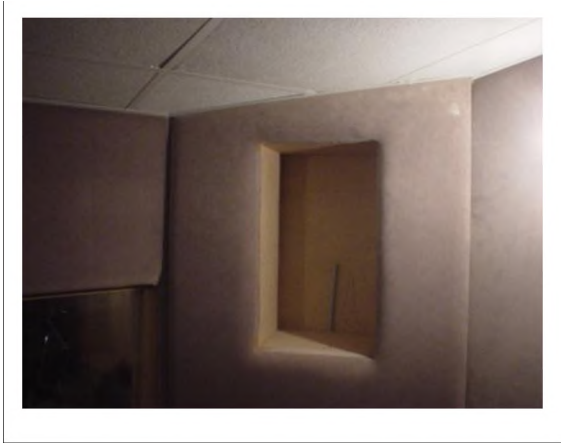
Fuente: Elaboración propia

Foto 25 Vista Pared 2, Sala de Control



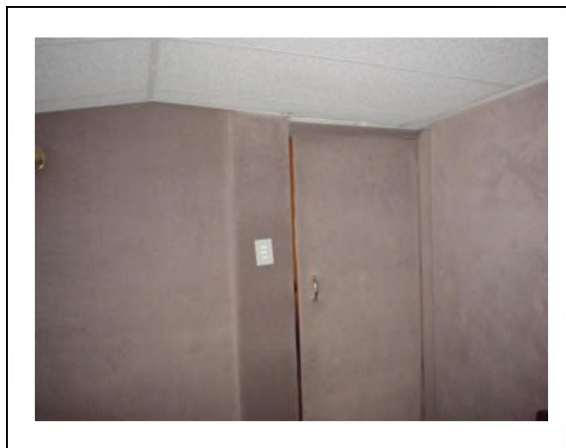
Fuente: Elaboración propia

Foto 26 Vista Pared 3, Sala de Control



Fuente: Elaboración propia

Foto 27 Vista Pared 4, Sala de Control



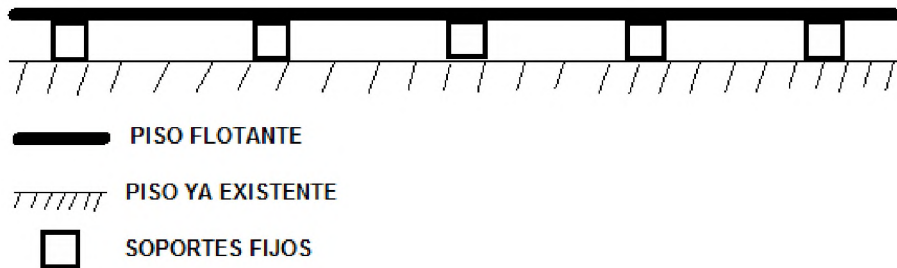
Fuente: Elaboración propia

Dada la poca profundidad de la sala, se tiene especial cuidado en cubrir la máxima superficie trasera posible y hacerlo con materiales absorbentes que funcionen en el máximo margen de frecuencias posible. que cubre una banda media - alta (430Hz. - 4300Hz.) y los de los extremos la más alta (1230Hz. - 8600Hz.) de forma que se mejora la percepción estereofónica.

Piso en Sala De control

El piso en esta sala será construido con un armazón de madera utilizando listones de 2.5cm x 2cm. Espaciados entre si cada 12 cm. Los cuales formaran una estructura base para que encima vaya apoyada primeramente una placa de Plywood o madera prensada de 10mm. De espesor, para luego se cubierta con madera de acabado con un grosor no mayor a los 15mm.

Figura N° 16 Estructura del piso en sala de control



Debido a que la sala de control está a una altura de 1,10 m con relación a la sala de grabación el aislamiento del piso es óptimo

Cielo Falso en Sala De Control

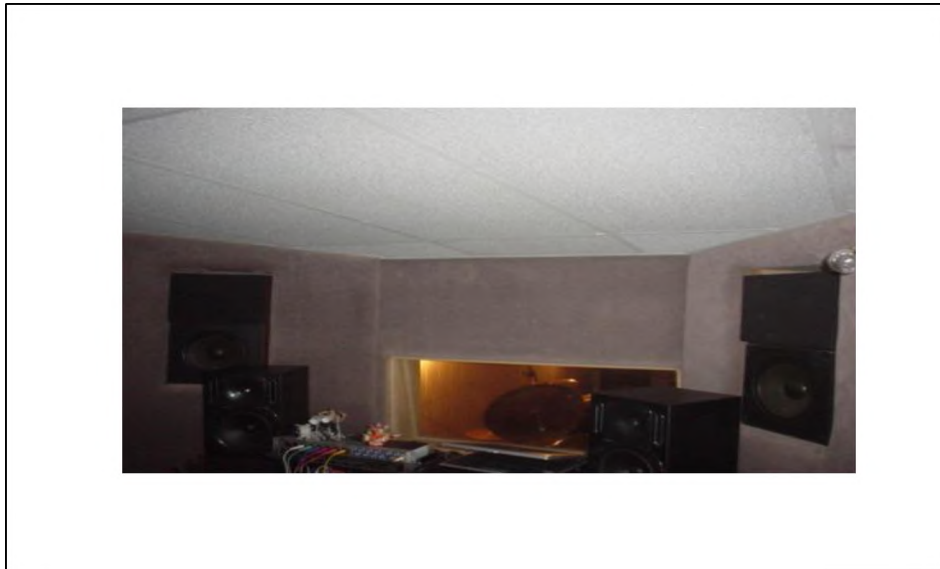
De igual manera cuenta con una Estructura de Aluminio angular que sostiene paneles acústicos USG Orion 210 con una medida NRC de 65 ideal para estudios de Grabación resistente a temperaturas de hasta 40°C a 90% de humedad relativa, sin modificar su forma.

También tiene una forma No Paralela con relación al piso. Para evitar Ondas estacionarias y reflexiones innecesarias.

Cumple también gracias a su diseño disipar las reflexiones no deseadas conduciendo a través de una especie de trampa para Bajos pero en el techo.

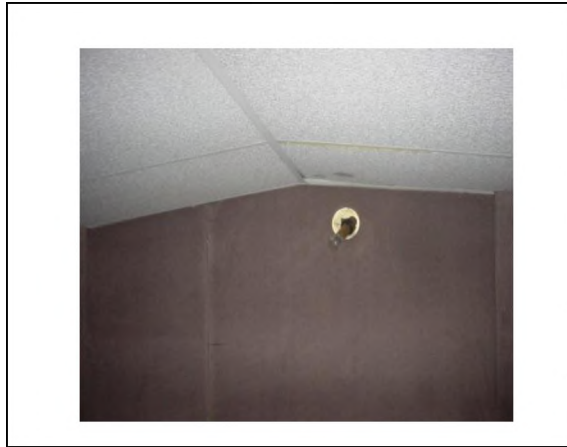
Existe También una cámara de aire de 15 cm en su punto mas alto el cual entre el cielo falso USG y el revocado de yeso del ya existente cielo falso. Lo cual reduce sustancialmente el ruido externo.

Foto 28 Vista Frontal del Cielo Falso en Sala de Control



Fuente: Elaboración Propia

Foto 29 Vista Posterior del Cielo Falso en Sala de Control



Fuente: Elaboración Propia

Sistema de Monitoreo.

Como se explicó anteriormente, el monitoreo es un punto clave del estudio por lo que se ha realizado una importante inversión económica para poder disponer del mejor sistema disponible para estudios de estas características. En la foto 6 puede verse un despliegue del frontal del estudio.

Foto N° 30 Vista Frontal de Nicho s para Sistema de Monitoreo de campo medio



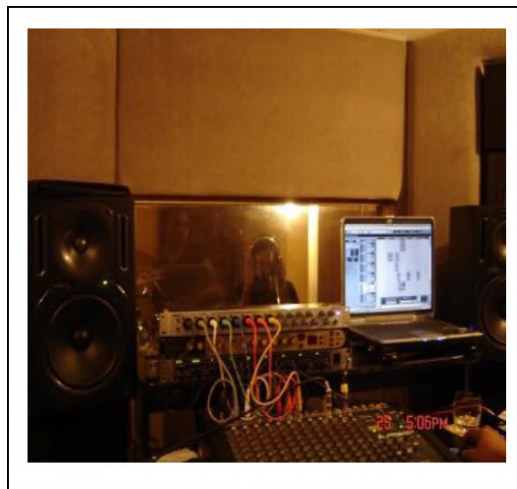
Fuente: Elaboración Propia

El sistema de monitoreo esta compuesto por dos tipos de Monitores de Campo cercano y de campo medio para poder comparar entre ambas cualidades.

El sistema de Monitoreo a campo Cercano consta de un par de Monitores Pre Amplificados Marca Behringer Modelo Truth 2031A, los cuales son utilizados en estudios de Grabación alrededor de todo el mundo, debido a su gran calidad y resistencia. Apto Principalmente para el proceso de Grabación y Mezcla.

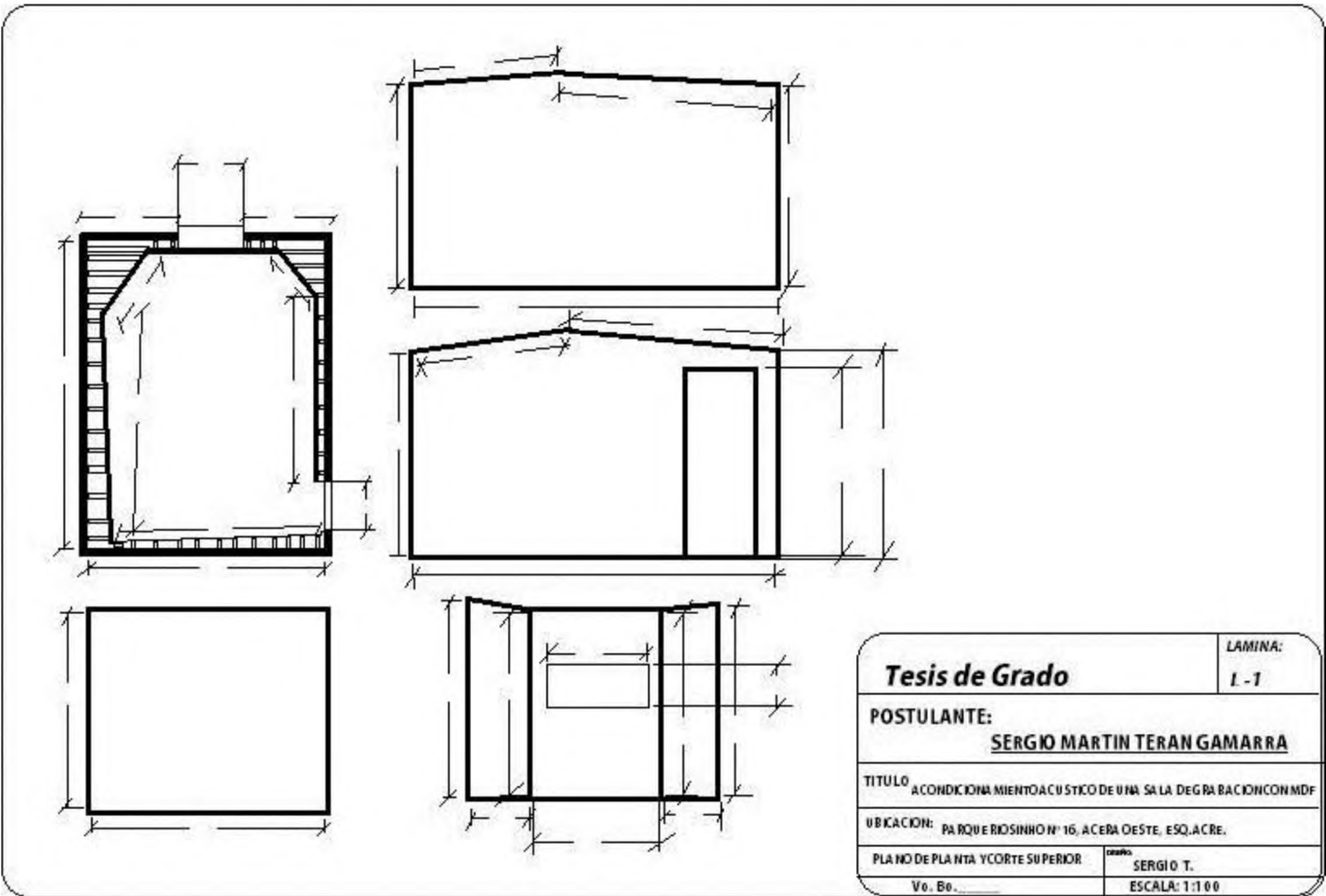
El Sistema de monitoreo de Campo medio Cuenta con una estructura empotrada en la Pared que sostiene los mismos, los parlante son de marca Pioneer, Modelo S-TK678, debido a que son parlantes de dimensiones mas grandes, brindan una imagen auditiva diferente y mas homogénea. Apto para el proceso de Masterización.

**Foto N° 31 Soportes del Sistema de Monitoreo de Campo Cercano
Construidos de MDF**



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 17 PLANO DE SALA DE CONTROL



Análisis acústico al Interior de la Sala de Control.

Dicho análisis fue realizado mediante el uso de dos Softwares especializados en el análisis acústico de salas el Dirac y Smart Live V5. Los cuales cumpliendo con la norma ISO 3382, dio como resultado los siguientes números.

Tabla 24

VALORES ENERGÉTICOS

Parámetro	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1KHz	2 KHz	4 KHz
Ts [ms]	162,7	181,4	118,6	110,6	86,3	44,0	28,0
C80[dB]	-4,48	-5,01	-0,15	-0,16	2,05	6,76	9,94
D50	0,09	0,19	0,41	0,43	0,55	0,76	0,84

Fuente: Resultados obtenidos mediante Software, Elaboración Propia

Tabla 25

Valores ISO 3382

Parámetro	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1KHz	2 KHz	4 KHz
EDT [s]	0,10	0,22	0,46	0,24	0,37	0,29	0,43
Ts[s]	162,7	181,4	118,6	110,6	86,3	44,0	28,0
C80	-4,48	-5,01	-0,15	-0,16	2,05	6,76	9,94
D50	0,09	0,19	0,41	0,43	0,55	0,76	0,84

Fuente: Resultados obtenidos mediante Software, Elaboración Propia

Tabla 26

Niveles INR y G

Parámetro	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1KHz	2 KHz	4 KHz
INR[dB]	5	<4	12	15	<13	<18	<23
G[dB]	-153,55	-154,22	-150,50	-146,96	-141,73	-135,06	-197,21

Fuente: Resultados obtenidos mediante Software, Elaboración Propia

Tabla 27

Tiempo de Reverberación

Parámetros	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz	16 KHz
EDT [s]	2,563	0,097	0,064	0,460	0,240	0,372	0,291	0,428	0,392	0,261
Cc	-0,384	-0,615	0,001	-0,894	-0,978	-0,966	-0,989	-0,994	-0,989	-0,943
T10 [s]	27,570	0,005	0,005	0,005	0,263	0,506	0,374	0,343	0,352	0,270
Cc	-0,024	-0,963	0,001	-0,987	-0,956	-0,971	-0,991	-0,997	-0,996	-0,989
T20 [s]	2,118	0,004	0,005	0,006	1,055	0,684	0,319	0,359	0,360	0,351
Cc	-0,197	-0,853	0,001	-0,974	-0,927	-0,953	0,983	-0,998	-0,999	-0,998
T30 [s]	1,556	0,004	0,005	0,006	1,048	0,673	0,303	0,328	0,396	0,249
Cc	-0,226	-0,853	0,001	-0,974	-0,925	-0,938	-0,962	-0,992	-0,997	-0,999

Fuente: Resultados obtenidos mediante Software, Elaboración Propia

Tabla 28

Inteligibilidad de la Palabra

Parámetros	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
SNR	-100	-4	-1	2	6	11	19
EDT	0,064	0,460	0,240	0,372	0,291	0,428	0,392
D50	0,19	0,41	0,43	0,55	0,76	0,84	0,93

Fuente: Resultados obtenidos mediante Software, Elaboración Propia

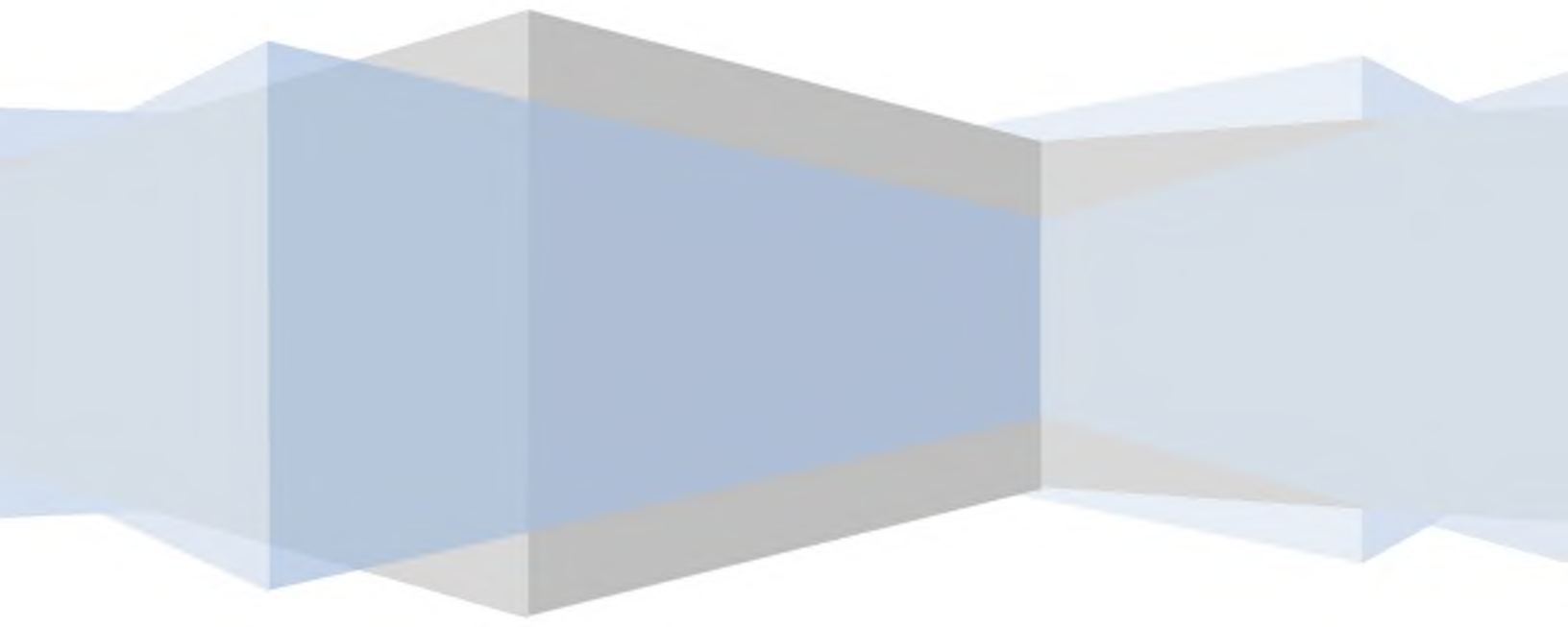
Tabla 29

Reflexiones Tempranas

Parámetro	63 Hz	125Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4KHz
ST (Early) [dB]	14.17	11.84	3.15	-0.57	-2.20	-3.63	2.74
ST (Late) [dB]	16.37	17.21	6.58	2.37	-0.32	-5.61	-9.27
ST (Total) [dB]	18.59	18.33	8.20	4.16	1.84	-1.50	-1.87

Fuente: Resultados obtenidos mediante Software, Elaboración Propia

ANEXO 2
INSTALACIONES
COMPLEMENTARIAS EN
SALA DE GRABACIÓN



ANEXO 2

INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS SALA DE GRABACIÓN

Instalación Eléctrica.

En la instalación eléctrica se han tenido en cuenta dos factores fundamentales: una sectorización por servicios y el empleo de un estabilizador para el sector correspondiente a los equipos electroacústicos. Dada la falta de garantía de un suministro eléctrico en condiciones óptimas, tanto en constancia de la tensión nominal como en la pureza de la forma de onda, se considera imprescindible el uso de un estabilizador.

Gráfico N° 5, plano de Instalación de Tomas Eléctricas en Sala de Grabación



⊕ Punto de Toma de Corriente

Fuente: Elaboración Propia

Climatización y ventilación.

La climatización se realiza mediante intercambio de fluido entre unidades exteriores e interiores.

Este sistema evita problemas de cortocircuitos acústicos entre estancias y entre éstas y el exterior, a la vez que resulta económico y relativamente silencioso (se ha buscado la marca y modelo de menor ruido).

Sin embargo, al no existir renovación del aire interior, y siendo el estudio una sala prácticamente hermética en la que puede llegar a haber muchas personas simultáneamente durante periodos de tiempo relativamente extensos, se dispondrá de un sistema de ventilación forzada regulable para el estudio.

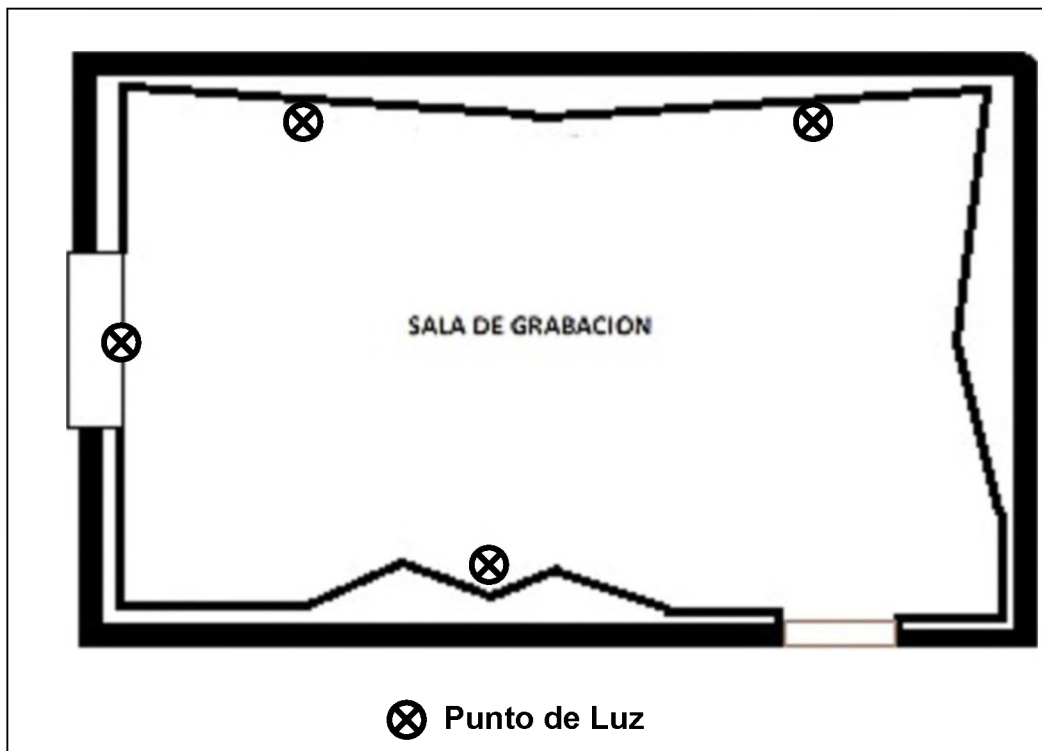
La unidad climatizadora correspondiente tanto a la sala técnica como a la de Grabación se dotará con control de condensación. Esto es necesario para poder refrigerar continuamente en invierno en condiciones de frío y humedad elevada.

Iluminación

La iluminación artificial, tanto en el control como en el estudio, se compone de una iluminación distribuida por zonas mediante focos de baja temperatura y alta luminosidad, todo el sistema eléctrico de el estudio incluyendo la Iluminación corresponden a una instalación de 220 Voltios a 10 A y 50 Hz.

Con un Alambre conductor de Cobre N° 8, Cada punto es una instalación independiente hacia la matriz. A manera de evitar bajas de tensión y proveer de seguridad al sistema. A su vez dicho sistema está protegido de una guía de tubos PVC de media $\frac{3}{4}$ de Pulgada adozados a la pared mediante abrazaderas metálicas. (figura 15)

Figura N° 18 Plano de Ubicación de Luces.



Fuente: Elaboración Propia

Cableado de Audio

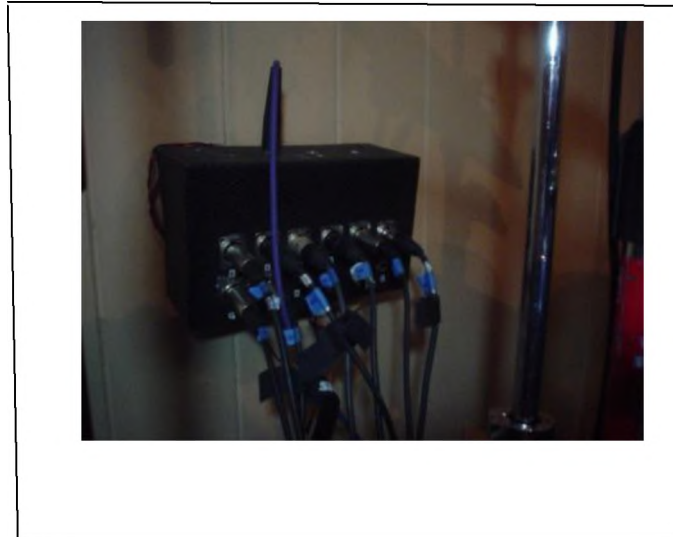
Todo el cableado se ha instalado procurando acortar al máximo los recorridos y llevando la alimentación eléctrica por conductos blindados independientes para optimizar la relación señal-ruido del sistema.

Los cables de los altavoces tienen un recorrido distinto completamente alejado del resto de cables ya que por ellos pueden circular picos de corriente muy considerables que producirían diafonía.

La excepción se ha hecho con los transportes de señal de micrófono y de audio digital. Tanto las señales de micrófono como las de audio digital van por cables independientes de alta calidad.

Para el audio digital se emplean cables según normas AES/EBU ($Z=110\Omega$) y Fire Wire. El cableado transcurre por canaletas internas de forma que se facilita al máximo tanto la instalación como las posibles modificaciones de la misma.

Foto N° 32 Instalación del Multipar de Audio.



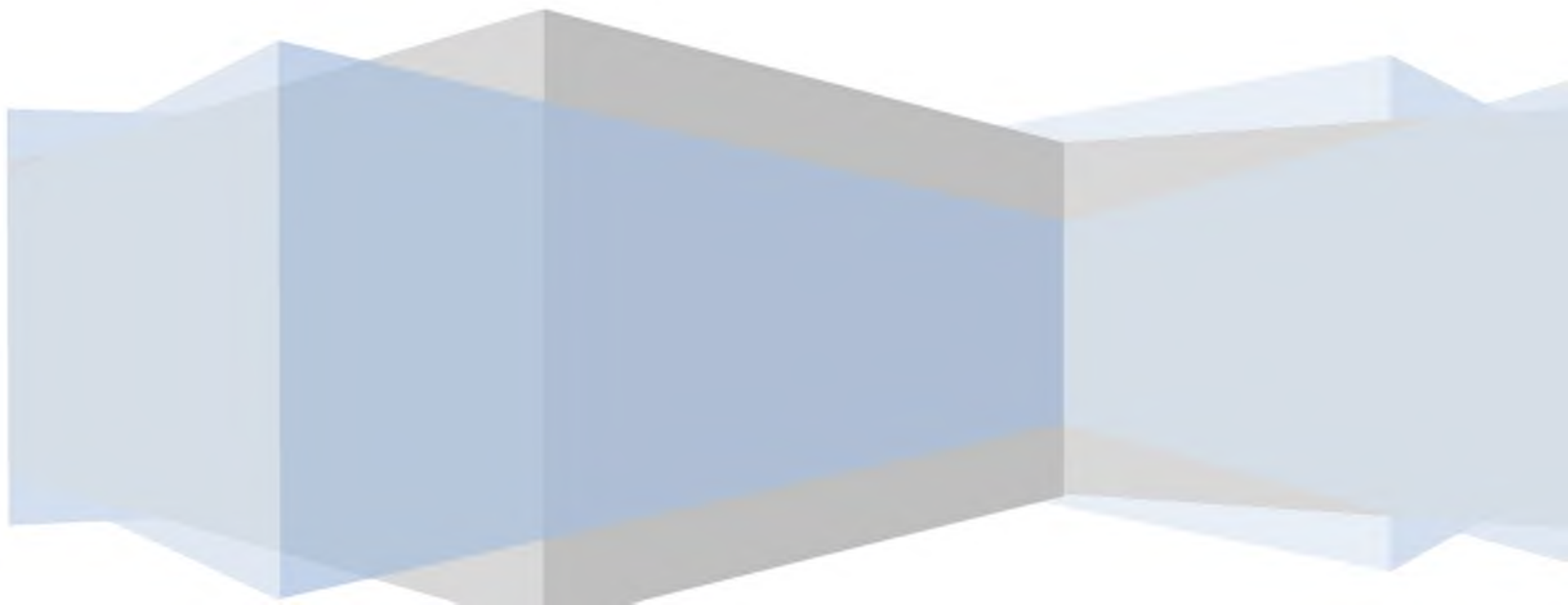
Fuente Elaboración Pròpia

El Paso de cables entre control y el estudio se realiza a través de un tubo PVC de 5 pulgadas con un diseño en forma de J para poder mantener el aislamiento acústico y facilitar la instalación.

En el estudio los cables salen a través de una caja de registro situada en la parte media de la pared sud y son llevados a una caja de conexiones precanalizada.

ANEXO 3

CADENA ELECTROACÚSTICA



ANEXO 3

CADENA ELECTROACÚSTICA.

Consola Mezcladora

Marca: Peavey

Modelo: RQ2316

Nro. de Canales de entrada: 16 Canales

Nro. de Auxiliares: 2 Auxiliares.

Nro. de Envíos de Monitoreo: 2 envíos de Monitoreo.

Phantom: 48 V

Puerto de salida a Tarjeta de Sonido: Salida directa (Direct Out)

COMPUTADORA PC

Marca placa Madre: ASUS.

Modelo: P5KPL.

Procesador: 2.4 MHz. Core Duo.

Disco Duro: 500 Gbytes

Memoria Ram: 4Gbytes.

Puerto de Comunicación de Hardware: Fire Wire.

Monitor

Marca: Samsung.

Modelo: LD 4553.

Tipo: Monitor con tecnología LED. 19"

Interface Análogo Digital

Marca: Pre Sonus.

Modelo: Firepod.

Velocidad de Muestreo: 44 MHz a 96 KHz.

Nivel de Cuantificación: 24 Bits

Puerto: Fire Wire.

MONITOREO

Monitores de Campo cercano

Marca: Behringer

Modelo: B2031A

Fuente de poder: Incorporada al Parlante.

Monitores de Campo medio

Marca: Pioneer

Modelo: S - TK678 Pro.

Fuente de Poder: Externa - Optimus Mod. STA – 795

AMPLIFICADOR DE AUDÍFONOS

Marca: Behringer.

Modelo: HA 8000

Nº de Canales de salida: 8 canales estereo.

MICRÓFONOS:

Marca: Shure

Modelo: Beta G 2.0

Tipo: Dinámico, Hipercardioides.

Cantidad: 3 unidades

Marca: Shure

Tipo: Dinámico, Cardioide

Modelo: SM 57

Marca: Shure

Tipo: Dinámico, Cardioide

Modelo: BetaG 3.0

Marca: Shure.

Modelo: KSM - 27

Tipo: Condensador, Cardioide.

Marca: Shure.

Modelo: Beta 52^a

Tipo: Dinámico, Supercardioides.

Marca: Marshall

Modelo: MXL 990

Tipo: Condensador, Cardioide.

Marca: Marshall

Modelo: MXL 991

Tipo: Condensador, hipercardioides.

Set de Micrófonos para Batería

Marca: Samson

Modelo: Q Series.

Tipo: Dinámicos e Hipercardioides.

5 Unidades.

AUDÍFONOS

Marca: Nady

Modelo: QH560

Respuesta en frecuencias: 20 Hz. a 22KHz.

3 unidades

PEDESTALES.

15 unidades tipo Boom.

2 unidades Tipo Single.

PROCESADORES DE SEÑAL

Marca: Zoom.

Modelo: STUDIO 1204.

Tipo: Multiprocesador de Voces.

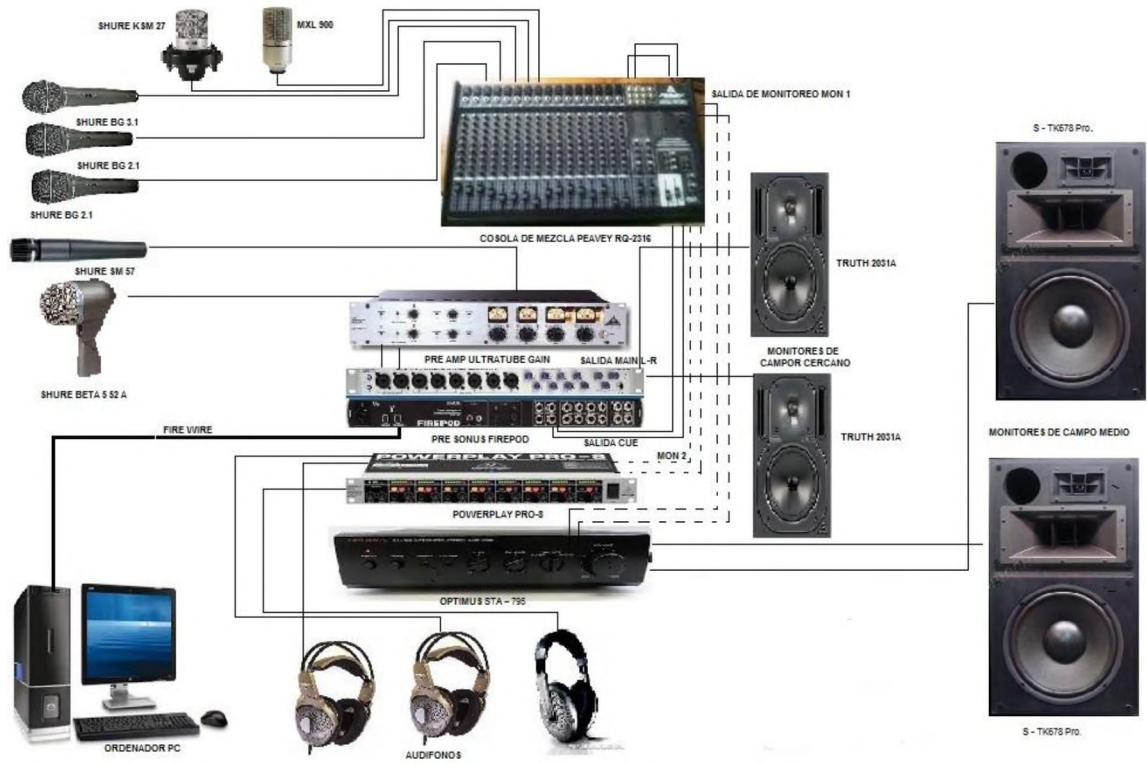
PRE AMPLIFICADOR A LÁMPARAS

Marca: Behringer.

Modelo: Ultra Tube Gain

Tipo: Dos Canales de Pre Amplificación a tubos.

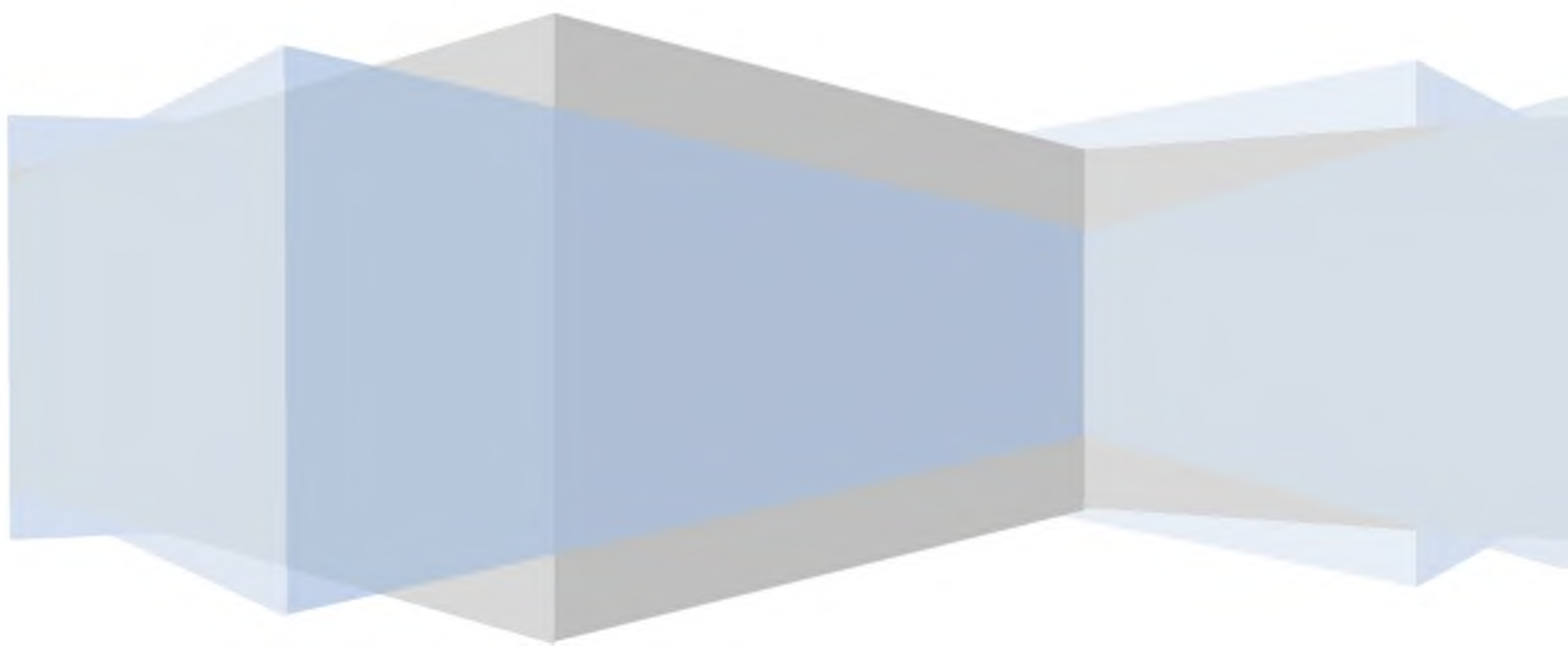
Figura N° 19 Cadena Electroacústica con la utilización de 8 Micrófonos para batería y sistema de Monitoreo completo.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 4

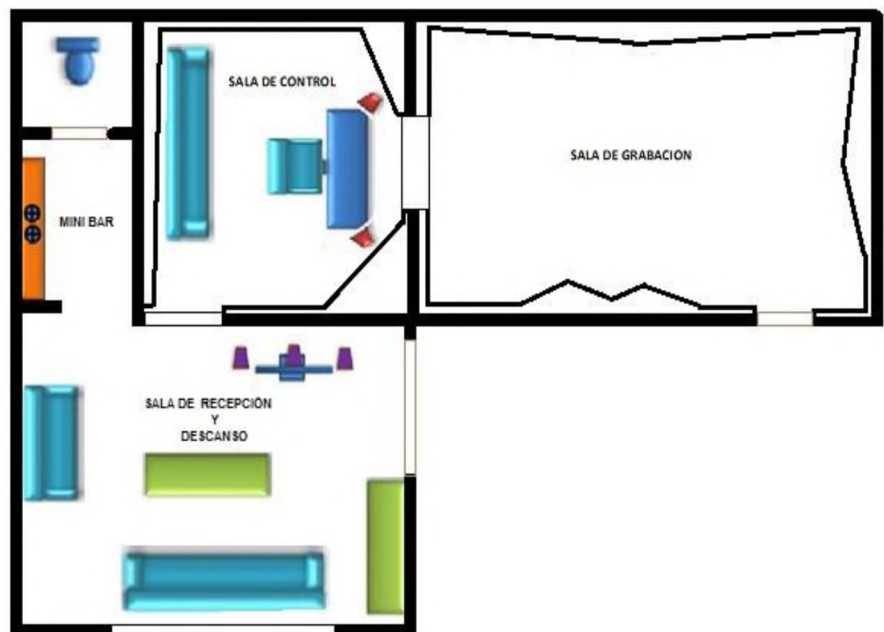
SALAS COMPLEMENTARIAS



ANEXO 4

Salas Complementarias

Plano vista Superior de Salas Complementarias

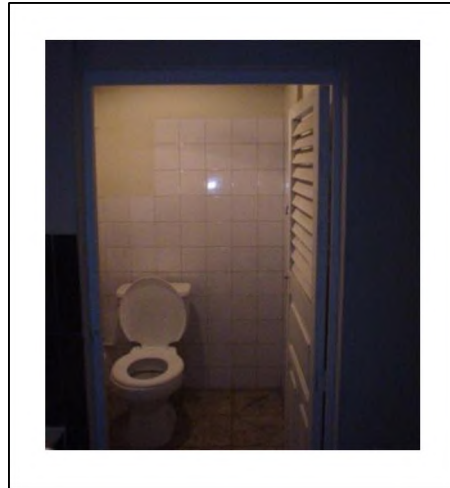


Fuente: Elaboración Propia

Sala de Baño

Debido a que este va a ser un lugar concurrido debe cumplir con los mínimos requerimientos sanitarios necesarios. Con una Inodoro y un lava manos.

Foto 33 Sala de Baño

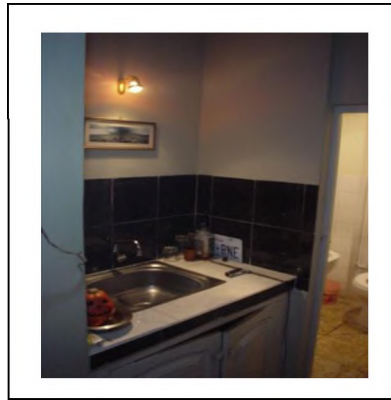


Fuente: Elaboración Propia

Mini Bar.

Gracias a una necesidad natural de el ser humano y debido a que en este estudio debe estar previsto 24 horas de trabajo continuo debe estar contemplada la necesidad de equipar el estudio con un mini bar para la preparación de bebidas y comida rápida (comida lista para calentar), entre otras cosas.

Foto N°34 Mini Bar

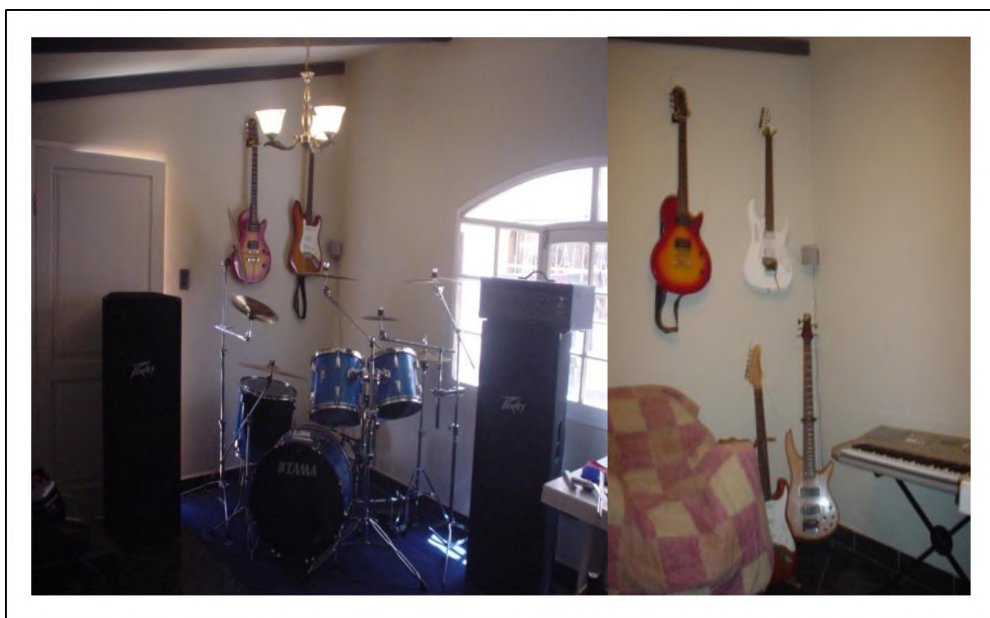


Fuente: Elaboración Propia

Sala de recepción y Descanso

Un estudio de grabación debe contar con un área de recepción de los clientes en la cual se atenderá a los clientes que soliciten el servicio, así como también es necesaria una sala en la cual el Músico que esta en una etapa de descanso en la grabación. (Plano 1) la cual estará equipada con todas las comodidades como ser sofás reproductores de video, sistema 5.1 d Audio, entre otras cosas. Además de una Videoteca con una variedad única de producciones nacionales de todo tipo. (Figura 2.3.9.3)

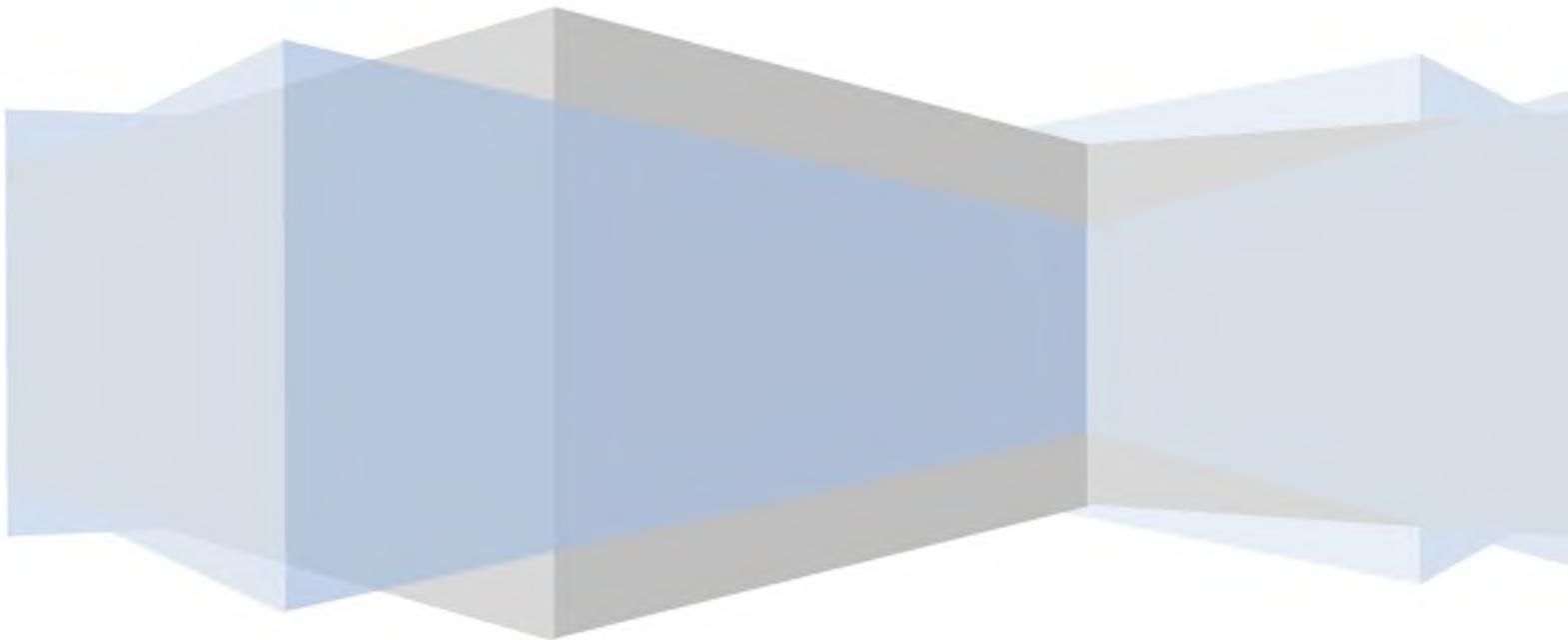
Foto N° 35 Vista General Sala de Recepción y descanso



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 5

AISLAMIENTO ACÚSTICO



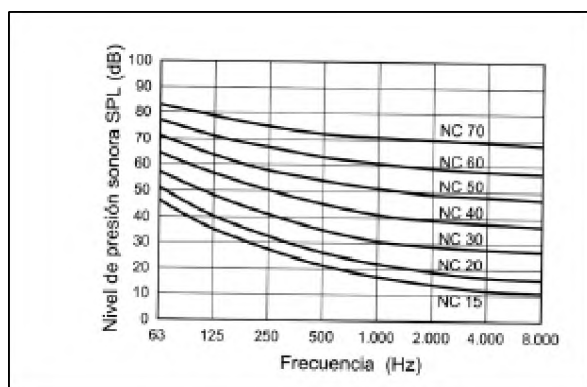
ANEXO 5

AISLAMIENTO ACÚSTICO.

Dada la ubicación en una zona residencial y la necesidad del Personal de poder trabajar eventualmente las 24 horas sin interrupción, se precisará un aislamiento respecto de los domicilios colindantes mayor del exigido por la NBE-CA88. Así pues, a los 45dBA exigidos para paredes medianeras entre edificios habrá que añadirle como mínimo un "extra" de unos 35dBA para compensar un nivel medio, durante los periodos de Trabajo, de aproximadamente 80dBA.

Con esto se garantiza que picos de nivel de hasta 110dBA queden "sumergidos" en el ruido de fondo de las estancias de los edificios contiguos ($110\text{dBA} - 80\text{dBA} = 30\text{dBA}$ que es el nivel Leq , máximo de inmisión recomendado en dormitorios durante la noche y un nivel enmascarable por el ruido de fondo propio de la estancia afectada, máximo si se considera que solo se produce ocasionalmente.

Figura N° 20 Curvas de Nivel de Aislamiento



Fuente Acustica de Locales Manuel Lopez Recuero Pag. 89

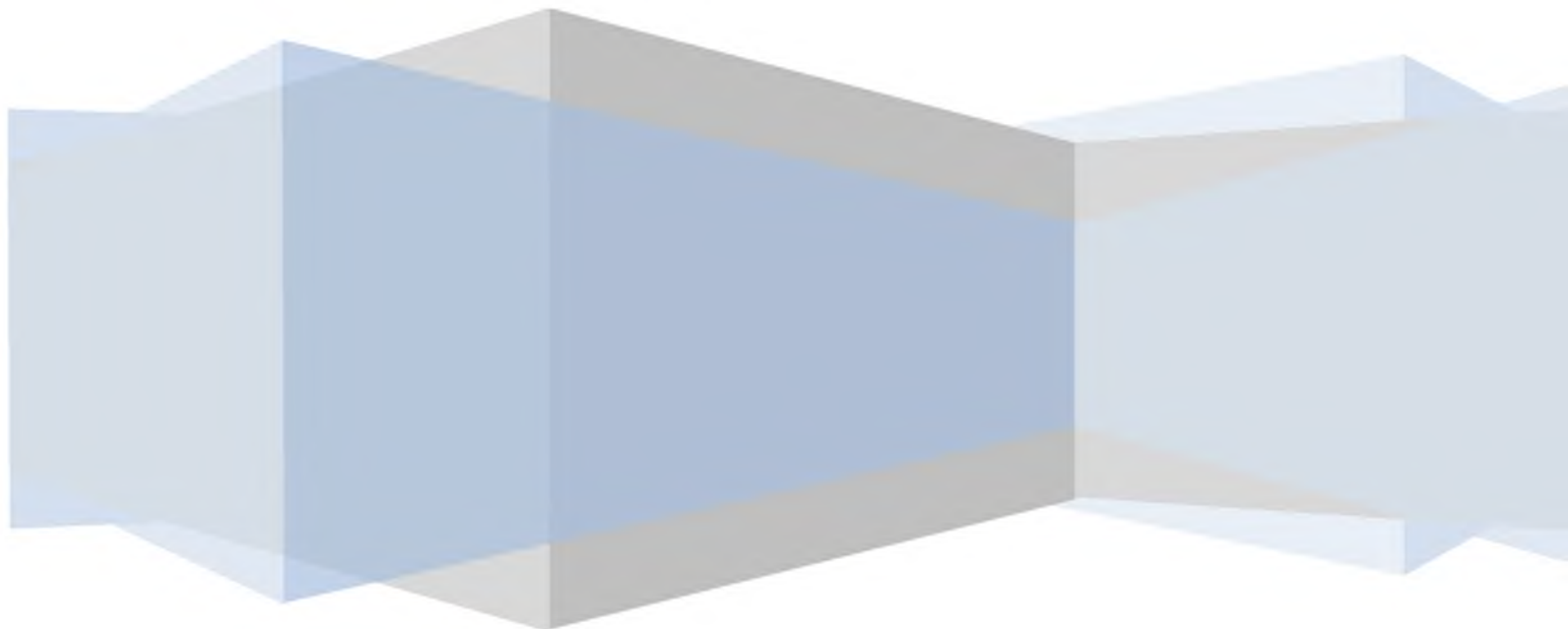
Desde el punto de vista inverso -aislamiento respecto del ruido exterior- se intentará superar un índice de valoración de ruido NC-20, que equivale aproximadamente a un ruido de fondo máximo de unos 30dBA.

Aunque hay autores que consideran un NC-15 como el índice más apropiado para un estudio de grabación, el índice NC-20 es el que se puede considerar más equilibrado entre calidad de silencio y costo constructivo.

Como la principal fuente externa de ruido es el ruido de tráfico -aunque en calles de un único carril, sin tráfico pesado y con velocidades muy reducidas- se cuidará especialmente el aislamiento del ventanal que da al exterior en función de la distribución de espacios adoptada.

ANEXO 6

**ELEMENTOS USADOS PARA LA
MEDICIÓN DE PARÁMETROS
RELACIONADOS AL
COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LA
SALA REVESTIDA CON MDF**



ANEXO 6

ELEMENTOS USADOS PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS RELACIONADOS AL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LA SALA REVESTIDA CON MDF

- **Ordenador:**

Marca placa Madre: ASUS.

Modelo: P5KPL.

Procesador: 2.4 MHz. Core Duo.

Disco Duro: 500 Gbytes

Memoria Ram: 4Gbytes.

Puerto de Comunicación de Hardware: Fire Wire.

Monitor

Marca: Samsung.

Modelo: LD 4553.

Tipo: Monitor con tecnología LED. 19"

- **Interface Análogo Digital:**

Marca: Pre Sonus.

Modelo: Firepod.

Velocidad de Muestreo: 44 MHz a 96 KHz.

Nivel de Cuantificación: 24 Bits

Puerto: Fire Wire.

- **Micrófono de Medición:**

Marca: dbx

Modelo: RTA M Reference Microphone.

- **Sonómetro:**

Marca: American Recorder

Modelo: SPL-8810

Altavoz:

Marca: Behringer

Modelo: B2031A

Fuente de poder: Incorporada al Parlante.

Ficha Técnica del Sonómetro:



Model No.: SPL-8810

SOUND PRESSURE LEVEL METER

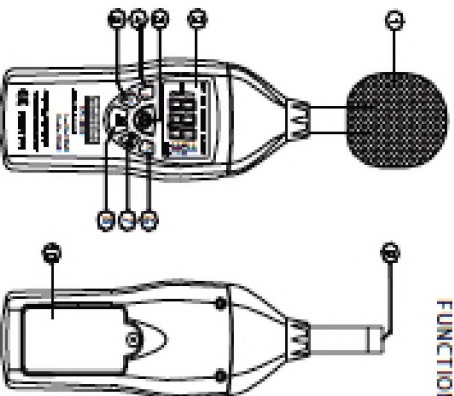
This unit conforms to the IEC851, ANSI S1.4 type 2 for sound level meters and has been designed to meet measurement requirements of sound engineers, musicians, health and industrial safety engineers for sound quality control in various environments and applications. This meter utilizes the latest in precision electronics for accuracy and is double reinforced and insulated for added protection.

SAFETY INFORMATION

Use this meter only as specified in these instructions. No internal user serviceable parts. Repairs or servicing should only be performed by qualified personnel or factory. Periodically wipe the case with a dry cloth. Do not use detergents or solvents on this instrument. Avoid excessive exposure to elements or sudden impact; damage may occur. Keep out of the reach of children.

FUNCTION & SYMBOLS

1. Window	Operates at wind speeds over 10kph.
2. Display:	
SYMBOL	FUNCTION
LCD	4 digit Maximum Value hold
MAX	Over range
OVER	Fast response
F	Slow response
8	A-Weighting
A	C-Weighting
C	Low Range (30-100dB)
Lo	High Range (80-130dB)
Hi	Low-Battery
BAT	



MEASUREMENT OPERATION

- Open battery cover and install a fresh battery in the battery compartment.
- Turn on power and select the desired response. Turn and weighting. If the sound source consists of short bursts or only existing sound peak, set response to FAST. To measure average sound, use the slow setting. Select A-weighting for general noise sound level and C-weighting for measuring sound level of acoustic material.
- Select desired level.
- Hold the instrument steadily in hand or in a tripod and point the microphone of the suspended noise source. The sound pressure level will be displayed.
- When MAX (maximum hold) mode is chosen. The instrument captures and holds the maximum value level for a long period using any of the time weighting and ranges.
- When HOLD (data hold) mode is chosen. The hold function freezes the reading in the display. Press the HOLD button immediately to activate or to set the HOLD function.
- Turn OFF the instrument when not in use.

ADDITIONAL INFORMATION

- Always remove battery from instrument if stored for an extended period of time to avoid or operate in high temperature or high humidity environment.
- Always incorporate dry activated silica desiccant.
- The instrument is precision calibration instrument. Calibration is recommended every one to two years and can be performed with a standard acoustic calibrator (94dB, 1kHz sine wave). Calibrator performance is located below the battery.

OSHA Sound Exposure Limits: B above	Equivalent Level
8 HOUR	92 dB SPL
6 HOUR	97 dB SPL
4 HOUR	102 dB SPL
3 HOUR	107 dB SPL
2 HOUR	112 dB SPL
1.5 HOUR	117 dB SPL
1 HOUR	122 dB SPL
0.75 HOUR	127 dB SPL
0.5 HOUR	132 dB SPL

Standard Model (SPL) Type 2, Class 1 of type 2	Accuracy: ±1.5dB (under laboratory conditions)
Frequency Range: 20-20,000 Hz	Minimum: 90dB
Maximum: 140dB when power is set at 100µ	
Maximum field maximum value with slow response: 137	
Microphone: 1/2" sealed condenser	
Calibrator: Precision calibrator with standard connector (94dB sine wave)	
Power Supply: single battery, 900R or 2CR20 (3V) or IEC24 (3V)	
Power: 1.5W	
Operating Temperature: 0 to 40°C (32 to 104°F)	
Storage Temperature: -20 to 50°C (-4 to 122°F)	
Operating Humidity: 20% to 80% RH	
Operating Altitude: 2000 meters (6500 feet)	
Storage Temperature: -10 to 50°C (14 to 122°F)	
Storage Humidity: 5 to 95% RH	
Dimensions: 210x100x120 (mm)	
Weight: 200g (net, battery)	

AMERICAN RECORDER TECHNOLOGIES, INC., 1872 ANGLUS AVE, SIMI VALLEY, CA 93063 - USA
 TOLL FREE: 800 771-9580; VOICE: 805 527-9580; FAX: 805 527-1433; WEB: www.americanrecorder.com

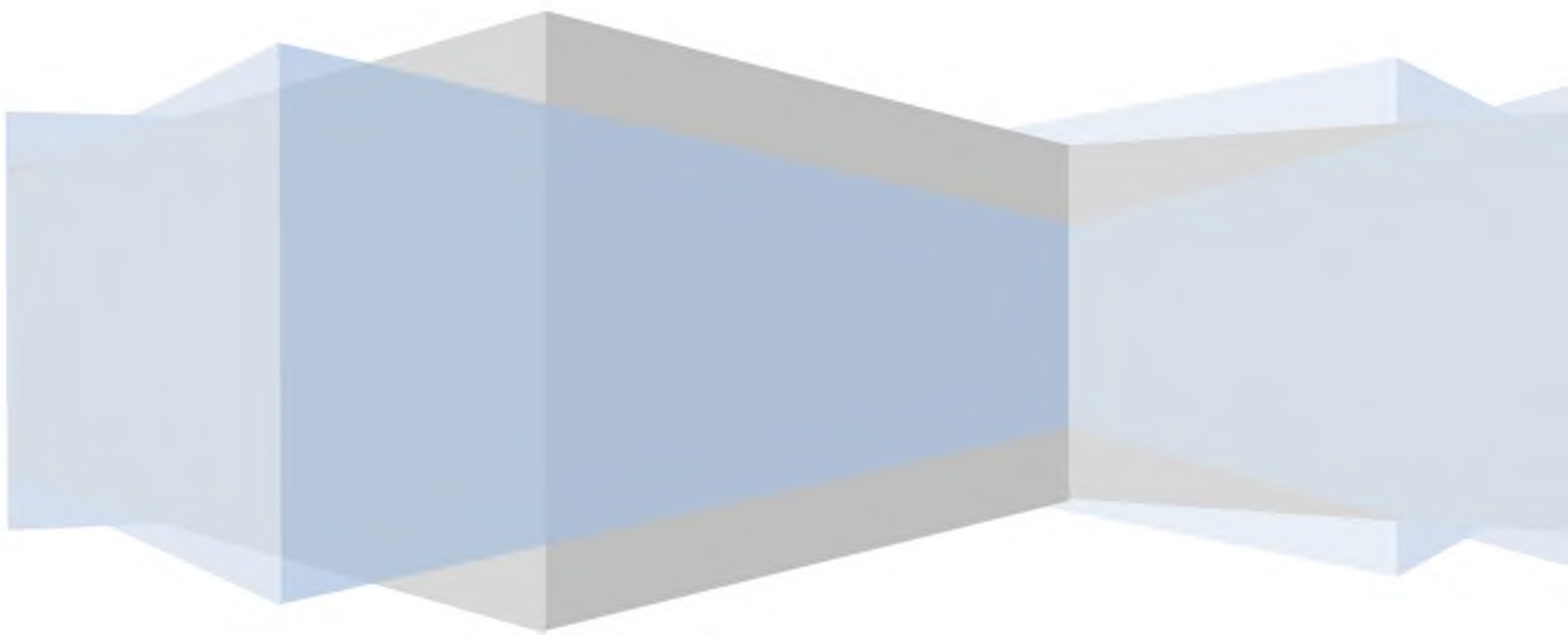
- Microphone
- 1/2" Inch Sealed Condenser microphone
- Battery Cover

Comply with EMC

SPECIFICATIONS

ANEXO 7

FOTOS REALIZADAS EN EL PROCESO DE MEDICION



Anexo 7

FOTOS REALIZADAS DURANTE EL PROCESO DE MEDICION



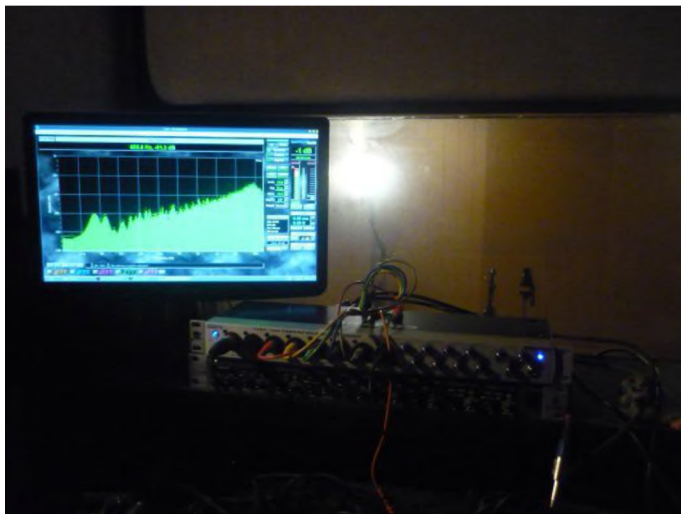
La imagen corresponde al proceso de Medición realizado al interior

De la sala de grabación utilizando el sonómetro y el micrófono,

Captando el ruido rosa emitido por el ordenador y el altavoz de estudio



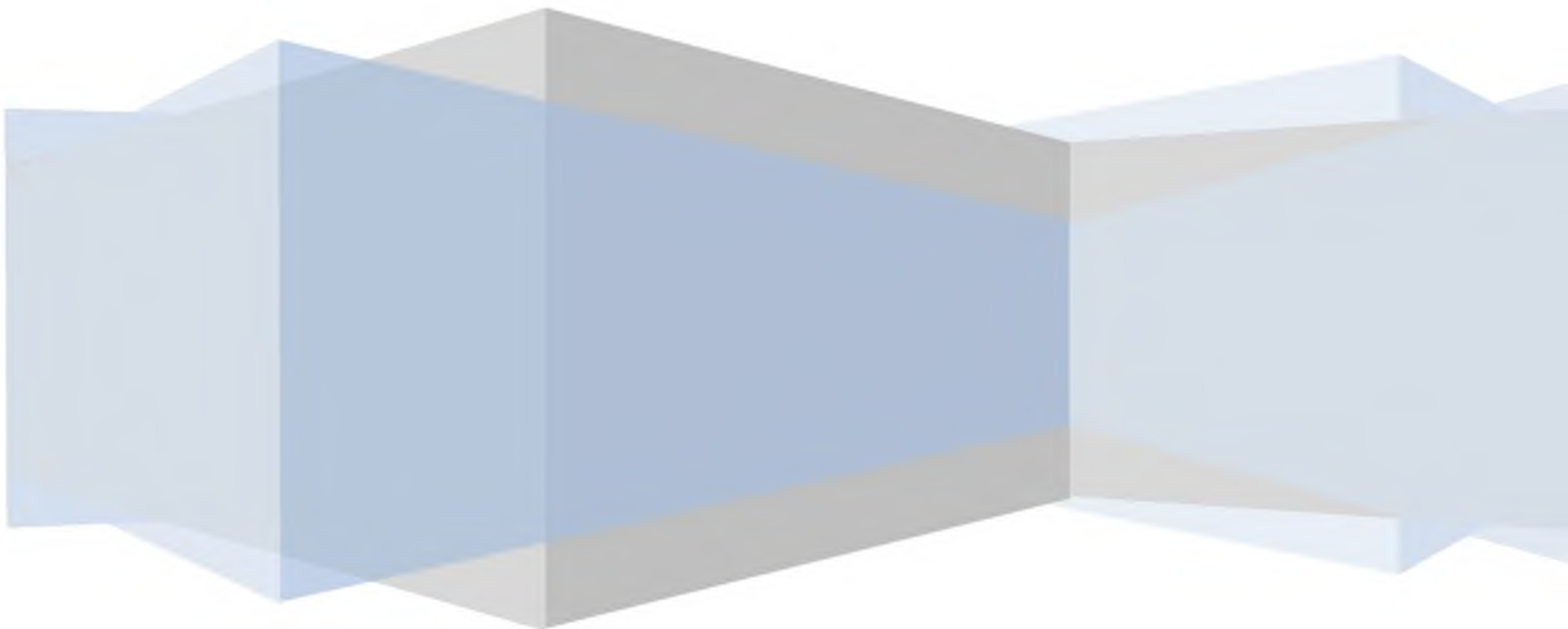
La imagen corresponde al proceso de medición con el sonómetro marcando 94dB de ruido rosa.



La imagen corresponde al software de grabación registrando la curva de respuesta en frecuencias correspondiente a la sala de MDF.

ANEXO 8

NORMA ISO 3382



Abril 2001

TÍTULO

Acústica

Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos

(ISO 3382:1997)

Acoustics. Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. (ISO 3382:1997)

Acoustique. Mesurage de la durée de réverbération des salles en référence à d'autres paramètres acoustiques. (ISO 3382:1997)

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 3382 de febrero 2000, que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 3382:1997.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE 74043 de abril 1987.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 74 *Acústica* cuya Secretaría desempeña AENOR.

ICS 91.120.20

Versión en español

Acústica
Medición del tiempo de reverberación de recintos
con referencia a otros parámetros acústicos
(ISO 3382:1997)

Acoustics. Measurement of the
reverberation time of rooms with
reference to other acoustical parameters.
(ISO 3382:1997)

Acoustique. Mesurage de la durée de
réverbération des salles en référence à
d'autres paramètres acoustiques.
(ISO 3382:1997)

Akustik. Messung der Nachhallzeit von
Räumen mit Hinweis auf andere
akustische Parameter.
(ISO 3382:1997)

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 1999-12-10. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Ruc de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

ANTECEDENTES

El texto de la norma internacional del Comité Técnico ISO/TC 43 "Acústica", de la Organización Internacional de Normalización (ISO), ha sido adoptado como norma europea por el Comité Técnico CEN/TC 126 "Propiedades acústicas de los edificios y sus elementos de construcción", cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de agosto de 2000, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de agosto de 2000.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

DECLARACIÓN

El texto de la Norma Internacional ISO 3382:1997 ha sido aprobado por CEN como norma europea sin ninguna modificación.

NOTA – Las referencias normativas europeas de las normas internacionales se relacionan en el anexo ZA (normativo).

ÍNDICE

	Página
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	6
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	6
3 DEFINICIONES	7
4 CONDICIONES DE MEDICIÓN	8
4.1 General.....	8
4.2 Equipo	8
4.3 Posiciones de medida	10
5 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN.....	11
5.1 General.....	11
5.2 Método del ruido interrumpido	11
5.3 Método de la respuesta impulsiva integrada	12
6 EVALUACIÓN DE LAS CURVAS DE CAÍDA	14
6.1 Método del ruido interrumpido	14
6.2 Método de la respuesta impulsiva integrada	14
6.3 Curvas de caída no lineales	15
6.4 Límites inferiores para la obtención de resultados fiables causados por el detector y el filtro	15
7 PROMEDIADO ESPACIAL	15
8 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	15
8.1 Tablas y curvas.....	15
8.2 Informe del ensayo	16
ANEXO A (Informativo) PARÁMETROS ACÚSTICOS PARA AUDITORIOS DERIVADOS DE LA RESPUESTA IMPULSIVA	17
ANEXO B (Informativo) PARÁMETROS BINAURALES DE UN AUDITORIO DERIVADOS DE LAS RESPUESTAS IMPULSIVAS.....	23
ANEXO C (Informativo) BIBLIOGRAFÍA.....	25

INTRODUCCIÓN

El tiempo de reverberación en una sala se consideraba como el indicador predominante para estimar sus propiedades acústicas. Aunque el tiempo de reverberación continúa considerándose un parámetro significativo, hay un lógico acuerdo en que se necesitan otros tipos de medidas, tal como los niveles relativos de la presión acústica, las relaciones de energía inicial/final, la fracción de energía lateral, las funciones de correlación cruzadas intraurales y niveles de ruido de fondo, para una completa evaluación de la calidad acústica de un recinto. Esta norma internacional continúa especificando la calidad de los recintos únicamente mediante el tiempo de reverberación, pero introduce otros dos niveles de complejidad en la medición de los recintos. (Véase los anexos A y B).

En el anexo A presenta medidas basadas en respuestas impulsos cuadráticos: que constituyen una medida suplementaria a la de reverberación (caen rápidamente con el tiempo) y medidas de los niveles acústicos relativos, fracciones de energía inicial/final y fracciones de energía lateral en auditorios. Dentro de esta categoría todavía queda trabajo por hacer para determinar que medidas son más adecuadas para normalizar, ya que todas ellas provienen de respuestas de impulsos, es apropiado la respuesta de impulsos como base de las medidas normalizadas. El anexo B presenta las mediciones estereofónicas y los simuladores de cabeza y torso (cabezas artificiales) necesarios para realizar las medidas en auditorios.

Las mediciones del tiempo de reverberación son importantes en el campo del control del ruido en recintos, así como en salas de música y para discursos, esta norma internacional se aplica a mediciones en estos cerramientos. Sin embargo, no es aplicable a medidas de laboratorios y en instalaciones de ensayo o cámaras reverberantes. Las mediciones en laboratorio requieren de otras especificaciones que permitan calcular las medias de mediciones únicas en las posiciones prescritas de la fuente y del micrófono. Esta norma internacional establece un método para obtener el tiempo de reverberación a partir de respuestas de impulsos y de ruido interrumpido. En los anexos se indican los conceptos y detalles de los procedimientos de medición para algunas de las medidas más modernas, pero estos anexos no constituyen parte de las especificaciones formales de esta norma. La intención es hacer posible la comparación las mediciones del tiempo de reverberación con una gran certidumbre, y promover el uso de las nuevas mediciones así como su consenso.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma internacional define métodos para la medición del tiempo de reverberación en recintos. Su uso no se restringe a auditorios o salas de conciertos; también es aplicable a recintos destinados a discursos y música, o allí donde se deba considerar la protección contra el ruido. Se describe el procedimiento de medida, los aparatos necesarios, los complementos requeridos, y el método de evaluación de los datos y la presentación del informe de ensayo. Además, está enfocada a la aplicación de las modernas técnicas de medida digital y a la evaluación de parámetros de la acústica de recintos derivados de su respuesta impulsiva.

2 NORMAS PARA CONSULTA

La(s) norma(s) que a continuación se relaciona(n) contiene(n) disposiciones válidas para esta norma internacional. En el momento de la publicación la(s) edición(es) indicada(s) estaba(n) en vigor. Toda norma está sujeta a revisión por lo que las partes que basen sus acuerdos en esta norma internacional deben estudiar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de las(s) norma(s) indicada(s) a continuación. Los miembros de CEI y de ISO poseen el registro de las normas internacionales en vigor en cada momento.

ISO 3741:1988 – *Acústica. Determinación de niveles de potencia acústica de fuentes de ruido a partir de la presión acústica. Métodos de precisión en cámaras reverberantes.*

ISO 5725-2:1994 – *Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición. Parte 2: Método básico para la determinación de la repetibilidad y la reproducibilidad de un método de medición normalizado.*

CEI 268-1:1985 – *Equipos para sistemas electroacústicos. Parte 1: Generalidades.*

CEI 60651:1979 – *Sonómetros.*

CEI 61260:1995 – *Electroacústica. Filtros de bandas de octava y de bandas de una fracción de octava.*

ITU Recomendación P.58:1994 – *Simulador de cabeza y torso para telefonometría.*

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma internacional, se aplican las siguientes definiciones.

3.1 curva de caída: Caída del nivel de presión acústica en función del tiempo en un punto del recinto después de que haya cesado la fuente.

NOTA 1 – Esta caída puede medirse después del corte real de una fuente acústica continua en el recinto o calcularse a partir de la respuesta impulsiva cuadrática integrada en el tiempo de forma inversa en el tiempo.

NOTA 2 – Para la exacta evaluación del tiempo de reverberación no se recomienda la utilización de la caída obtenida directamente después de una excitación no continua del recinto (por ejemplo mediante la grabación de un disparo en un registrador de nivel). Este método debería usarse exclusivamente con propósitos de control.

3.2 método del ruido interrumpido: Método para la obtención de las curvas de caída mediante la grabación directa de la caída del nivel de presión acústica después de excitar un recinto con ruido de banda ancha o de ancho de banda limitado.

3.3 método de la respuesta impulsiva integrada: Método para la obtención de las curvas de caída mediante la integración invertida en el tiempo de los cuadrados de las respuestas impulsivas.

3.4 respuesta impulsiva: Gráfica de la presión acústica, en función del tiempo, obtenida en un recinto como resultado de la excitación de dicho recinto con una función delta de Dirac.

NOTA 3 – En la práctica es imposible crear y emitir funciones delta de Dirac verdaderas, aunque sonidos transitorios muy breves (por ejemplo debidos a un disparo) pueden ofrecer aproximaciones suficientemente buenas para realizar mediciones prácticas. Sin embargo, una técnica de medida alternativa, consiste en utilizar una señal de tipo secuencia de longitud máxima (MLS) (u otras señales deterministas de espectro plano) y transformar la respuesta medida en una respuesta impulsiva.

3.5 tiempo de reverberación, T : Es el tiempo, expresado en segundos, que se requiere para que el nivel de presión acústica disminuya en 60 dB, sobre una curva de caída obtenida de la regresión lineal por mínimos cuadrados de una curva de caída medida desde un nivel 5 dB por debajo del nivel inicial, hasta un nivel 35 dB inferior a dicho nivel inicial.

NOTA 4 – Si una curva de caída no es monótonica el intervalo donde debe evaluarse viene definido por los tiempos en que la curva de caída alcanza por primera vez los 5 dB y los 35 dB por debajo del nivel inicial respectivamente. También se admite un valor de T basado en una caída sobre un intervalo dinámico inferior (hasta un mínimo de 20 dB desde 5 dB hasta 25 dB), siempre que esto se indique en los resultados. En caso de ambigüedad la medida de T utilizando la caída entre 5 dB y 35 dB debería llamarse T_{30} . Si se utiliza 5 dB y 25 dB, el resultado debería llamarse como T_{20} , y se procederá de forma análoga para otros intervalos de evaluación.

3.6 estados de ocupación

NOTA 5 – El tiempo de reverberación medido en un recinto está influido por la cantidad de personas presente, por lo que se definen los siguientes estados de ocupación con vistas a la medición.

NOTA 6 – En la evaluación de los resultados obtenidos mediante la medida del tiempo de reverberación es de decisiva importancia una descripción precisa del estado de ocupación del recinto.

NOTA 7 – En los teatros se debe hacer una distinción entre "cortina de seguridad subida" y "cortina de seguridad bajada", entre "foso de la orquesta abierto" y "foso de la orquesta cerrado" y también entre "orquesta sentada en el escenario" con y sin concha reflectora. Puede ser útil en todos estos casos efectuar mediciones. Si la cortina de seguridad está levantada, la cantidad de muebles que hay en el escenario es importante y debe describirse.

3.6.1 estado desocupado: Es la situación del recinto en que está preparado para su uso por locutores, o intérpretes y audiencia, pero en ausencia de todas estas personas. Para salas de conciertos y de ópera, debe tenerse en cuenta la presencia de sillas para los intérpretes, atriles e instrumentos de percusión, etc.

3.6.2 estado de estudio (sólo en recintos para discursos y música): Es la situación en la que el recinto está ocupado únicamente por los intérpretes o locutores (sin público), por ejemplo durante los ensayos o durante las grabaciones; el número de intérpretes y otras personas, tales como técnicos, debe ser el habitual.

3.6.3 estado ocupado: Es la situación de un auditorio o teatro en que están ocupados entre el 80% y el 100% de los asientos.

NOTA 8 – Las ocupaciones extraordinarias (como la que crearía, en una sala de conciertos, una orquesta más grande de lo habitual, o la presencia adicional de un coro o personas que están de pie) debería señalarse en los resultados.

4 CONDICIONES DE MEDICIÓN

4.1 General

La medida del tiempo de reverberación puede realizarse con el recinto en cualquier estado de ocupación, o en todos. Cuando el recinto tenga componentes ajustables para la obtención de condiciones acústicas variables, puede ser pertinente realizar mediciones separadas con estos componentes en cada una de sus situaciones habituales. Se debería medir la temperatura y la humedad relativa del aire en el recinto con una precisión de ± 1 °C y $\pm 5\%$ respectivamente.

NOTA 9 – Si los componentes variables incluyen técnicas activas (es decir, electrónicas), entonces, también deberían medirse sus efectos, pero como ciertos tipos de refuerzo electrónico de reverberación crean condiciones estacionarias independientes del tiempo en el recinto, no existirá una única respuesta impulsiva por lo que se debería tener cuidado de utilizar un promediado sincronizado durante el transcurso de la medición.

4.2 Equipo

4.2.1 Fuente acústica. La fuente acústica debería ser tan omnidireccional como sea posible. Debe producir un nivel de presión acústica suficiente para proporcionar curvas de caída con el intervalo dinámico mínimo requerido para que no haya contaminación debida al ruido de fondo (véase el apartado 3.5). No son aceptables altavoces comerciales de tipo doméstico como fuente omnidireccional. En el caso de medidas de respuestas impulsivas mediante secuencias pseudoaleatorias el nivel de presión acústica requerido puede ser realmente bajo debido a la posibilidad de conseguir una gran mejora de la relación señal ruido por medio de un promediado correlacionado. En el caso de mediciones que no utilicen la técnica de promedios sincronizados (u otra) para aumentar el rango de caída, será necesario un nivel de fuente al menos 45 dB superior al nivel de ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente. Si sólo se ha de medir T_{20} es suficiente generar un nivel que esté 35 dB por encima del nivel de fondo.

4.2.2 Micrófonos y equipo de grabación y análisis. Para la captación de la presión acústica se utilizarán micrófonos omnidireccionales cuya salida se puede llevar

- directamente a un amplificador, banco de filtros y a un sistema que muestre las curvas de caída o equipo de análisis para la deducción de la respuesta impulsiva, o
- a un grabador de señal para un análisis posterior.

4.2.2.1 Micrófono y filtros. El equipo de medida debe cumplir con los requisitos de sonómetro de clase 1 según la Norma CEI 60651. Los filtros de bandas de octava y tercios de octava deben cumplir con la Norma CEI 61260. El micrófono debería ser tan pequeño como sea posible y preferiblemente tener un diámetro máximo de diafragma de 13 mm. Se permiten micrófonos con diámetros de hasta 26 mm, siempre que sean del tipo de respuesta en presión o del tipo de respuesta en campo libre, pero suplementados con un corrector de incidencia aleatoria que proporcione una respuesta plana para incidencia aleatoria.

4.2.2.2 Grabadora de cinta. Si la caída del sonido se graba previamente en cinta magnética, no se deben utilizar controles de ganancia automática u otros circuitos para la optimización de la relación señal ruido. Se debe realizar una grabación lo suficientemente larga en cada caída como para poder determinar el nivel de ruido de fondo del final de la caída.

La grabadora debe tener las siguientes características, para una combinación particular de velocidades de grabación y reproducción:

- a) La respuesta en frecuencia debe ser plana sobre todo el intervalo de frecuencias de medida con una tolerancia de ± 3 dB;
- b) El intervalo dinámico debe ser suficiente para permitir el mínimo intervalo de caída requerido. En el caso de caídas de ruido interrumpido, la grabadora debe ser capaz de proporcionar una relación señal ruido de al menos 50 dB en cada una de las bandas de frecuencias de interés;
- c) La relación entre la velocidad de reproducción y la de grabación debe ser de $10^{0,01n}$ con una tolerancia de $\pm 2\%$, donde n es un entero incluido el cero.

NOTA 10 – Si la transposición en velocidad se realiza en modo de lectura, la transposición en frecuencia correspondiente será un número entero de espacios entre bandas de tercio de octava normalizadas, o si n es un múltiplo de tres, de los espaciados entre bandas de octava.

NOTA 11 – Si se utiliza una grabadora de cinta, entonces, los requisitos del apartado 4.2.2.3, más adelante, relativos a la velocidad de respuesta del aparato para la obtención de un registro de caída del nivel de presión acústica con el tiempo, T se refiere al tiempo de reverberación efectivo de la señal que está siendo reproducida. Éste sólo diferirá del tiempo de reverberación real del recinto si la velocidad de reproducción difiere de la velocidad de grabación.

NOTA 12 – Si la caída ha sido grabada para su reproducción a través de filtros y un dispositivo integrador, puede ser beneficioso invertir temporalmente las respuestas durante la reproducción (véase [4]).

4.2.2.3 Aparato para la obtención del registro de caída del nivel. El aparato para la obtención (y presentación y/o evaluación) del registro de caída debe utilizar uno de los siguientes:

- a) promediado exponencial, con una curva continua como salida;
- b) promediado exponencial, con una sucesión de puntos discretos obtenidos de un promediado continuo como salida;
- c) promediado lineal, con una sucesión de promedios lineales discretos como salida (en algunos casos con pequeñas pausas entre la ejecución de los promedios).

El tiempo de promediado, es decir, la constante de tiempo de un dispositivo de promediado exponencial (o equivalente) debe ser inferior a, pero tan próximo como sea posible a $T/20$. Análogamente, el tiempo de promediado de un dispositivo de promediado lineal debe ser inferior a $T/7$. (Aquí T es el tiempo de reverberación que se ha de medir o, cuando proceda, el tiempo de reverberación efectivo tal y como se describe en la nota 11).

En aquellos aparatos donde el registro de caída se forme como una sucesión de puntos discretos, el intervalo de tiempo entre puntos del registro debe ser inferior a 1,5 veces el tiempo de promediado del dispositivo.

En todos los casos en que el registro de la caída haya de evaluarse visualmente, ajustar la escala de tiempos de la pantalla de tal forma que la pendiente del registro se aproxime a 45° tanto como sea posible.

NOTA 13 – El tiempo de promediado de un dispositivo de promediado exponencial es igual a 4,34 dividido entre el ritmo de caída, en decibelios por segundo, del dispositivo.

NOTA 14 – Los registradores de nivel comerciales, en que el nivel de presión acústica se registra gráficamente en función del tiempo son aproximadamente equivalentes a dispositivos de promediado exponencial.

NOTA 15 – Cuando se utiliza un dispositivo de promediado exponencial hay una pequeña ventaja en utilizar un tiempo de promediado muy inferior a $T/20$. Cuando se utiliza un dispositivo de promediado lineal no hay ninguna ventaja en fijar el intervalo entre puntos muy inferior a $T/7$. En algunos procedimientos de medida secuencial es factible volver a ajustar el tiempo de promediado de forma adecuada para cada banda de frecuencia. En otros procedimientos esto no es posible, para mediciones en todas las bandas de frecuencia tiene que servir un tiempo de promediado o intervalo escogido como se describió anteriormente utilizando como referencia el tiempo de reverberación más corto de todas las bandas.

4.2.2.4 Indicación de saturación. No se debe permitir ninguna saturación en cualquier etapa del aparato de medida. Cuando se usen fuentes acústicas impulsivas, se deben utilizar dispositivos que indiquen el nivel de pico para prevenir la saturación.

4.3 Posiciones de medida

Como los motivos para la realización de las mediciones pueden ser muy distintos, el número de posiciones de medida se elige de forma que se alcance una cobertura apropiada del recinto. Las posiciones de micrófono deben estar al menos separadas por una distancia equivalente a la mitad de la longitud de onda, es decir, una distancia mínima de unos 2 m para el intervalo de frecuencias habitual. La distancia entre cualquier posición de micrófono y la superficie reflectante más cercana, incluyendo el suelo debe ser de al menos un cuarto de longitud de onda, es decir, normalmente 1 m.

Ninguna posición de micrófono debe estar demasiado cerca de cualquier posición de fuente para evitar una influencia demasiado grande del sonido directo. La distancia mínima d_{\min} , en metros puede ser calculada a partir de:

$$d_{\min} = 2\sqrt{\frac{V}{cT}}$$

donde

V es el volumen, en metros cúbicos;

c es la velocidad del sonido, en metros por segundo;

T es una estimación del tiempo de reverberación esperado, en segundos.

NOTA 16 – En recintos pequeños, con tiempos de reverberación muy cortos (por ejemplo, estudios de grabación) puede ser imposible cumplir este requisito. En tales casos, y sólo para la medida del tiempo de reverberación, se recomienda que se elimine el sonido directo mediante la interposición de una barrera acústica (con absorción acústica despreciable) entre la fuente y el receptor.

Cada par de posiciones de medida es una combinación de una posición de fuente y una posición de micrófono. El número de posiciones puede escogerse para obtener una cobertura baja, o una cobertura normal.

4.3.1 Cobertura baja (menor esfuerzo de medida). Las mediciones se hacen para la evaluación de la cantidad de absorción del recinto, con fines de control de ruido, incluyendo la medida del índice de reducción acústica, o la evaluación del tiempo de reverberación para el cálculo de sistemas de sonido.

Realizar mediciones de T para dos posiciones de fuente que sean representativas de aquellas en que estén localizadas las fuentes de sonido o de las utilizadas por los intérpretes y calcular el promedio de los resultados para tres o cuatro posiciones de micrófono en las zonas donde normalmente haya personas o en el centro de las zonas de asientos. Si las desviaciones entre los resultados de las distintas posiciones superan las tolerancias adecuadas para el propósito de la medida, utilizar más posiciones.

4.3.2 Cobertura normal. Las mediciones se realizan para la verificación de las prestaciones de un edificio con respecto a un proyecto de diseño.

Elegir un número y situación de posiciones de fuente de tal forma que incluyan todas las posibles zonas que vayan a ser ocupadas por los intérpretes (por ejemplo, sobre el escenario, pedestales, fosos de orquesta, coros), además de las zonas principales del escenario. Deben utilizarse un mínimo de dos posiciones de fuente.

Debe elegirse una distribución de posiciones de micrófono que prevea las influencias más probables que causen diferencias en el tiempo de reverberación a lo largo de toda la sala. Ejemplos obvios son las diferencias para las zonas de asientos cercanos a las paredes, bajo los palcos o en espacios que estén desconectados (por ejemplo las alas cruciformes y los presbiterios de las iglesias comparados con las naves). Esto requiere emitir un juicio sobre la uniformidad de la distribución acústica sobre las diferentes zonas de asientos, la igualdad de la unión de las distintas partes del volumen y de la proximidad de perturbaciones locales. Para la medición del tiempo de reverberación, puede ser útil evaluar el recinto contrastándolo con los siguientes criterios (lo que en muchos casos requerirá simplemente una evaluación visual), para determinar si un único promediado espacial describirá de forma adecuada el recinto:

- a) los materiales de las superficies del recinto y cualquier elemento suspendido son tales que juzgados en términos de sus propiedades de absorción y difusión, estén distribuidos de manera razonablemente uniforme sobre todas las superficies que conforman el recinto, y
- b) todas las partes del volumen del recinto se comunican de forma razonablemente uniforme entre sí, entonces serán adecuadas tres o cuatro posiciones de micrófono – eligiendo estas posiciones de tal forma que cubran la zona de asientos, de manera uniforme – y los resultados de las mediciones pueden promediarse. En recintos para discursos y música la altura de los micrófonos sobre el suelo debería ser de 1,2 m correspondiente a la altura del oído de un oyente medio sentado sobre una butaca típica.

NOTA 17 – Con respecto a a), si el techo, y paredes laterales, frontal y trasera, cuando se inspeccionan individualmente, no tienen regiones que cubran más del 50% de sus superficies respectivas, con propiedades diferentes de aquellas de resto de las superficies, entonces se puede considerar que la distribución es aceptablemente uniforme. (En algunos espacios y para este tipo de evaluación, puede ser útil aproximar la geometría del recinto por un paralelepípedo rectangular).

NOTA 18 – Con respecto a b), el volumen del recinto puede considerarse que funciona como un único espacio si no hay partes de la superficie del suelo que tengan sus líneas de mira bloqueada a cualquier otra parte del recinto en más de un 10 % del volumen total del recinto.

NOTA 19 – Si no se cumplen las condiciones de las notas 17 y 18, entonces el recinto muestra muy probablemente zonas con tiempos de reverberación diferentes y éstos deberían investigarse y medirse por separado.

5 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

5.1 General

En esta norma se describen dos métodos de medida del tiempo de reverberación: el método del ruido interrumpido y el método de la respuesta impulsiva integrada. Ambos métodos tienen el mismo valor esperado pero el último requiere una instrumentación más sofisticada. Si se han de medir otros parámetros de la acústica de salas distintos del tiempo de reverberación, sólo es relevante este último método, ya que estas propiedades se basan en la respuesta impulsiva.

NOTA 20 – Es preferible realizar la medición de los tiempos de reverberación en bandas de octava desde 63 Hz hasta 4 kHz en salas de conciertos y recintos para discursos. Para mediciones en recintos dedicados a otros fines se pueden realizar mediciones en bandas de tercio de octava desde 100 Hz hasta 5 kHz.

5.2 Método del ruido interrumpido

5.2.1 Excitación del recinto. Se debe utilizar como fuente un altavoz, y la alimentación del altavoz debe provenir de una señal aleatoria de banda ancha o ruido eléctrico pseudoaleatorio. Cuando se emplea un ruido pseudoaleatorio, éste debe cortarse de forma aleatoria sin seguir ninguna secuencia de repetición.

La fuente acústica debería ser tan omnidireccional como sea posible.

Para las mediciones en bandas de octava el ancho de banda de la señal debe ser superior a una octava y para mediciones en bandas de tercio de octava el ancho de banda de la señal debe ser superior a un tercio de octava. El espectro debe ser razonablemente plano en la banda de octava que haya de medirse. De forma alternativa el espectro del ruido de banda ancha puede ser ecualizado para obtener un espectro de sonido reverberante aproximadamente rosa en el recinto entre 88 Hz y 5657 Hz (es decir un intervalo que cubra las bandas de tercio de octava con frecuencias centrales comprendidas entre 100 Hz y 5 kHz o bandas de octava desde 125 Hz hasta 4 kHz) midiéndose el tiempo de reverberación simultáneamente en las diferentes bandas de octava o de tercio de octava.

La duración de la excitación del recinto ha de ser suficiente para que el campo acústico alcance el estado estacionario antes de que se corte, y por tanto es esencial que el ruido sea emitido durante un tiempo mínimo de $T/2$ segundos. En salas de gran volumen, la duración de la excitación debe ser de al menos unos pocos segundos.

NOTA 21 – La excitación con ruido de banda ancha impone unos requisitos más severos en la potencia que admita el sistema de altavoces para mantener la relación señal ruido requerida.

5.2.2 Número de mediciones. El número de posiciones de micrófono utilizadas estará determinado por la cobertura requerida. Sin embargo, en vista de la aleatoriedad inherente a la señal fuente, es necesario promediar un determinado número de veces en cada posición con objeto de alcanzar una repetibilidad aceptable (véase el apartado 6.1.1). En consecuencia debe realizarse un mínimo de tres medidas en cada posición, promediándose los resultados. Entonces

- obtener los tiempos de reverberación individuales para todas las curvas de caída y tomar el valor medio, o
- se hace un promedio de conjunto de las caídas de la presión acústica cuadrática y obtener el tiempo de reverberación de la curva de caída resultante.

El método utilizado debe describirse en el informe del ensayo. Si se utiliza el promediado de conjunto se permite hacer una única medición en cada una de un mínimo de 18 posiciones en vez de usar seis posiciones con tres mediciones en cada posición.

NOTA 22 – En el límite de infinitas mediciones con ruido interrumpido la curva de caída del promediado de conjunto será idéntica a una única respuesta impulsiva cuadrática integrada.

5.3 Método de la respuesta impulsiva integrada

5.3.1 General. La respuesta impulsiva entre una posición de fuente y una posición de receptor en un recinto es una magnitud bien definida que puede medirse mediante gran variedad de formas (por ejemplo utilizando como señales disparos de pistola, impulsos de chispas eléctricas, trenes de ruido, barridos en frecuencia con tonos puros o m-secuencias). El propósito de esta norma no es excluir ningún otro método del que se pueda obtener una respuesta impulsiva correcta.

5.3.2 Excitación del recinto. La respuesta impulsiva se puede medir directamente utilizando una fuente impulsiva tal como un disparo de pistola o cualquier otra fuente que, sin ser reverberante en sí misma, tenga un espectro suficientemente ancho para cumplir con los requisitos del apartado 5.2.1. La fuente de impulsos debe poder producir un nivel de presión acústica de pico suficiente para asegurar que la curva de caída empiece al menos 45 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente. Si sólo se ha de medir el T_{20} es suficiente tener un nivel de 35 dB superior al ruido de fondo.

Se pueden utilizar señales acústicas especiales que proporcionen la respuesta impulsiva sólo después de un procesado especial de la señal captada mediante el micrófono. Esto puede dar una mejor relación señal ruido. Se pueden utilizar barridos con tonos puros o ruido pseudoaleatorio (por ejemplo secuencias de longitud máxima) si se cumplen los requisitos sobre el espectro y las características direccionales de la fuente. Debido a la mejora de la relación señal ruido, los requisitos dinámicos de la fuente pueden ser considerablemente inferiores a los expuestos en el párrafo anterior. Si se utiliza promediado temporal (con objeto de mejorar la relación señal ruido) es necesario verificar que el proceso de promediado no altere la respuesta impulsiva medida.

Para mediciones en bandas de octava el ancho de banda de la señal debe ser superior a una octava y para mediciones en bandas de tercio de octava el ancho de banda debe ser superior a un tercio de octava. El espectro debe ser razonablemente plano en la banda de octava en que se va a medir. De forma alternativa el espectro del ruido de banda ancha puede ser equalizado para obtener un espectro de sonido reverberante aproximadamente rosa en el recinto entre 88 Hz y 5657 Hz (es decir un intervalo que cubra las bandas de tercio de octava con frecuencias centrales comprendidas entre 100 Hz y 5 kHz o bandas de octava desde 125 Hz hasta 4 kHz) midiendo el tiempo de reverberación simultáneamente en las diferentes bandas de octava o de tercio de octava.

5.3.3 Integración de la respuesta impulsiva. Generar para cada banda de octava la curva de caída mediante una integración invertida en el tiempo de la respuesta impulsiva cuadrática. En una situación ideal sin ruido de fondo la integración debería comenzar al final de la respuesta impulsiva ($t \rightarrow \infty$) y proceder hacia el principio de la respuesta impulsiva cuadrática. Por tanto la caída, en función del tiempo es:

$$E(t) = \int_t^{\infty} p^2(\tau) d\tau = \int_{\infty}^t p^2(\tau) d(-\tau)$$

donde

p es la respuesta impulsiva.

Esta integración invertida en el tiempo se obtiene a menudo realizando dos integraciones como sigue:

$$\int_t^{\infty} p^2(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} p^2(\tau) d\tau - \int_0^t p^2(\tau) d\tau$$

Con objeto de minimizar la influencia del ruido de fondo en la parte final de la respuesta impulsiva, utilizar uno de las dos siguientes técnicas diferentes para la implantación:

- a) Si el nivel de ruido de fondo es desconocido, realice la integración invertida en el tiempo de la respuesta impulsiva cuadrática utilizando un tiempo de integración ajustable preestablecido, T_0 , cuyo valor es un compromiso.

$$E(t) = \int_{t+T_0}^t p^2(\tau) d(-\tau)$$

El valor óptimo de T_0 es 1/5 del tiempo de reverberación. Estimar el tiempo de reverberación esperado. Si resulta que el valor medido del tiempo de reverberación difiere en más de un 25 % del valor estimado, entonces cambie el tiempo de integración consecuentemente y repita la integración. El tiempo inicial t_1 de la integración ajustable invertida en el tiempo no es crítico, pero no debe ser inferior al tiempo de reverberación. El ruido de fondo integrado aparecerá en la curva de caída como una cola horizontal, el fondo del ruido. El nivel del fondo del ruido será al menos 10 dB inferior al menor valor del rango de evaluación, por ejemplo, para la evaluación del T20, El fondo del ruido deberá estar al menos 35 dB por debajo del nivel máximo de la respuesta impulsiva cuadrática integrada.

- b) Si se conoce el nivel del ruido de fondo, determinar el punto inicial de la integración t_1 , como la intersección entre una línea horizontal determinada por el ruido de fondo y una línea inclinada determinada por la parte representativa de la respuesta impulsiva cuadrática, y calcule la curva de caída a partir de

$$E(t) = \int_{t_1}^t p^2(\tau) d(-\tau) + C$$

donde

($t < t_1$) y C es una corrección opcional de la respuesta impulsiva cuadrática integrada entre t_1 e infinito.

El resultado más fidedigno se obtiene cuando C se calcula bajo la suposición de que la caída de la energía es exponencial a un ritmo igual al dado por la respuesta impulsiva cuadrática entre t_0 y t_1 donde t_0 es el tiempo correspondiente a un nivel 10 dB superior al dado en t_1 .

Si se hace que C valga cero, que el punto de comienzo de la integración sea finito produce una subestimación del tiempo de reverberación. Para una subestimación máxima del tiempo de reverberación de un 5%, la respuesta, que es al menos 15 dB más el intervalo dinámico sobre el cual se estima T : por ejemplo, 45 dB por debajo del máximo en la determinación de T_{30} .

6 EVALUACIÓN DE LAS CURVAS DE CAÍDA

6.1 Método del ruido interrumpido

En el caso de mediciones utilizando el método del ruido interrumpido, evaluar las curvas de caída sobre el intervalo comprendido entre los 5 dB y los 35 dB por debajo del nivel inicial, para T_{30} y entre 5 dB y 25 dB por debajo del nivel inicial para T_{20} . En este intervalo se debe calcular una línea recta ajustada por mínimos cuadrados o, en el caso de curvas de caída dibujadas directamente por el registrador de nivel, se debe ajustar manualmente una línea recta tan próxima como sea posible a la curva de caída. La pendiente de la línea recta debe proporcionar el ritmo de caída en decibelios por segundo a partir del cual se calcula el tiempo de reverberación.

NOTA 23 – Si no se puede ajustar la curva de caída a una línea recta, se considera como una curva de caída no lineal (véase el apartado 6.3).

Si la técnica utilizada para la determinación del tiempo de reverberación está basada en la evaluación de las caídas dibujadas por un registrador de nivel, entonces la línea de “mejor ajuste” visual puede sustituirse por una línea de regresión calculada, pero esto no será tan fiel como un análisis de regresión. El método para la determinación del ritmo de caída debe incluirse en el informe del ensayo.

El punto más bajo del intervalo de caída debe estar suficientemente por encima del ruido de fondo. Para mediciones de T_{30} el nivel de ruido debe estar al menos 45 dB por debajo del nivel inicial. Para mediciones por encima de un intervalo de 20 dB el nivel de ruido debe estar al menos 35 dB por debajo del nivel inicial.

6.1.1 Incertidumbre de la medida. Debido a la naturaleza aleatoria de la excitación, la incertidumbre de la medida por el método del ruido interrumpido depende fuertemente del número de promedios realizados. El promediado de conjunto y el de tiempos de reverberación individuales tienen las mismas dependencias sobre el número de promedios. La relación entre la repetibilidad de la medida, r , según la Norma ISO 5725-2 y el número de promedios N puede estimarse para T_{30} mediante

$$r_{30} = \frac{200}{\sqrt{BN T_{30}}} \%$$

y para T_{20} en

$$r_{20} = \frac{370}{\sqrt{BN T_{20}}} \%$$

donde B es el ancho de banda del filtro.

Para un filtro de octava $B = 0,71 f_c$, y para un filtro de tercio de octava $B = 0,23 f_c$, donde f_c es la frecuencia central del filtro. Las mediciones en banda de octava requieren menos promediados que las mediciones en bandas de tercio de octava. Tres es el número mínimo de excitaciones a promediar.

6.2 Método de la respuesta impulsiva integrada. Para mediciones realizadas utilizando el método de la respuesta impulsiva integrada, el registro debe evaluarse entre 5 dB por debajo del nivel integrado total y un nivel al menos 25 dB por debajo del nivel integrado total. Esto proporciona un intervalo dinámico mínimo de 20 dB para la medida aunque cuando sea posible se debería utilizar un intervalo de 30 dB, y en todos los casos se debe indicar el intervalo de medida. La determinación de la pendiente para calcular el tiempo de reverberación se debe realizar mediante un ajuste a una recta por mínimos cuadrados.

6.2.1 Incertidumbre de la medida. La repetibilidad de las mediciones realizadas con el método de la respuesta integrada es del mismo orden de magnitud que la repetibilidad de un promedio de 10 mediciones con el método del ruido interrumpido. Normalmente no es necesario un promediado adicional para reducir la incertidumbre estadística de medida. Sin embargo, se tiene que tener cuidado con la selección del punto inicial correcto de la integración invertida en el tiempo para evitar errores sistemáticos, tal y como se describe en el apartado 5.3.3.

6.3 Curvas de caída no lineales

En los casos en que la curva de caída no es una línea recta no se puede afirmar que exista un único tiempo de reverberación.

Cuando la curva de caída tome la forma de dos líneas rectas entonces, se establece un único punto de ruptura apropiado para todas las caídas a esa frecuencia, en términos de nivel relativo al nivel inicial. Medir las pendientes de las porciones superior e inferior de la curva y los intervalos dinámicos apropiados especificados. El intervalo dinámico mínimo aceptable para la medida de la pendiente será de 10 dB.

6.4 Límites inferiores para la obtención de resultados fiables causados por el detector y el filtro

En el caso de tiempos de reverberación muy cortos la curva de caída puede estar influida tanto por el detector como por el filtro. Los límites inferiores para la obtención de resultados fiables mediante la utilización del análisis directo tradicional deben ser de:

$$B T > 16 \text{ y } T > 2 T_{\text{det}}$$

donde B es el ancho de banda del filtro y T_{det} es el tiempo de reverberación del detector promediador.

En mediciones con poca cobertura los límites pueden reducirse a:

$$B T > 8 \text{ y } T > T_{\text{det}}$$

NOTA 24 – Los tiempos de reverberación muy pequeños pueden analizarse utilizando la técnica de la inversión temporal descrita en el apartado 4.2.2. En este caso los límites inferiores para la obtención de resultados fiables son $B T > 4$ y $T > T_{\text{det}}/4$.

7 PROMEDIADO ESPACIAL

Para obtener valores promediados espacialmente, los resultados medidos en todo el conjunto de posiciones de fuente y micrófono se pueden combinar por zonas identificadas separadamente o para el recinto como un todo. Este promediado espacial debe obtenerse por uno de los procedimientos siguientes (el procedimiento utilizado debe incluirse en el informe de ensayo):

- Promediado aritmético de los tiempos de reverberación. El promediado espacial se obtiene tomando el valor medio de los tiempos de reverberación individuales para cada una de las posiciones de fuente y micrófono. Se puede calcular la desviación estándar para proporcionar una medida de la precisión y la varianza espacial del tiempo de reverberación.
- Promediado de conjunto de las curvas de caída. Se superponen todas las caídas individuales con sus principios sincronizados. Se suman los valores de la presión acústica cuadrática en cada punto (después del proceso de promediado exponencial o lineal, véase el apartado 4.2.2.3), que representa un intervalo de tiempo de las caídas, y se utiliza la secuencia de estas sumas como una caída global del conjunto a partir de la cual se evalúa T (véase el capítulo 6).

8 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

8.1 Tablas y curvas

Los tiempos de reverberación evaluados para cada frecuencia de medida se deben presentar en forma de gráfica y tabular.

En el caso de las gráficas, los puntos se conectarán entre sí mediante una línea recta. En las abscisas se debe representar la frecuencia en escala logarítmica, utilizando una distancia de 1,5 cm por octava, mientras que las ordenadas utilizarán o una escala lineal de tiempo tal que 2,5 cm se correspondan con un segundo, o una escala logarítmica en la que 10 cm se correspondan con 1 década. Las frecuencias medias nominales de las bandas de octava según la Norma CEI 61260 deberían estar indicadas en el eje de frecuencias.

Se puede calcular un tiempo de reverberación único $T_{30, \text{mid}}$ mediante el promediado de T_{30} entre las bandas de octava de 500 Hz y 1 000 Hz. (También se puede utilizar $T_{20, \text{mid}}$). De forma alternativa tomar el promedio de las seis bandas de tercio de octava comprendidas entre 400 Hz y 1 250 Hz.

8.2 Informe del ensayo

El informe del ensayo debe indicar que las mediciones fueron realizadas en conformidad con esta norma internacional. Debe incluir:

- a) el nombre y localización del recinto ensayado;
- b) un plano esquemático del recinto, con indicación de la escala;
- c) el volumen del recinto;

NOTA 25 – Si el recinto no es completamente cerrado, se debe explicar cómo se ha definido el volumen indicado.

- d) para recintos dedicados a discursos y música: el número y tipo de asientos (por ejemplo si están tapizados o no); Si están tapizados y si hay información disponible: espesor y clase de tapicería, clase de material que lo recubre (poroso o no poroso, asientos levantados o bajados) y que partes del asiento están cubiertas;
- e) una descripción de la forma y el material de las paredes y el techo;
- f) el estado o estados de ocupación durante las mediciones y el número de ocupantes;
- g) la situación de cualquier equipamiento variable tal como cortinas, sistema de megafonía, sistemas electrónico de refuerzo de reverberación, etc.;
- h) para teatros, si la cortina de seguridad o cualquier cortina decorativa están levantadas o bajadas;
- i) una descripción, cuando proceda, del mobiliario del escenario, incluyendo cualquier concha reflectora, etc.;
- j) la temperatura y la humedad relativa en el recinto durante las mediciones;
- k) el tipo y posición de las fuentes acústicas empleadas;
- l) una descripción de la señal acústica utilizada;
- m) la cobertura espacial elegida incluyendo detalles de las posiciones de micrófono, preferiblemente señalándolas en el plano, junto con las alturas de los micrófonos;
- n) la descripción del aparato de medida, de la fuente y de los micrófonos y si se emplearon grabadoras de cinta;
- o) la fecha de la medición y el nombre del organismo que realiza la medida.

ANEXO A (Informativo)

PARÁMETROS ACÚSTICOS PARA AUDITORIOS DERIVADOS DE LA RESPUESTA IMPULSIVA

A.1 Introducción

Estudios subjetivos de las características acústicas de auditorios han mostrado que ciertas magnitudes, que se pueden obtener de las respuestas impulsivas medidas, están correlacionadas con aspectos particulares subjetivos del carácter acústico de un auditorio. Mientras que el tiempo de reverberación proporciona una descripción fundamental del carácter acústico de un auditorio, la adición de los valores de estas nuevas magnitudes da una mejor y más completa descripción de las condiciones acústicas del auditorio. Las magnitudes incluidas en este anexo están limitadas a aquellas que han resultado ser subjetivamente importantes, y que se pueden obtener directamente a partir de la respuesta impulsiva integrada. Cabe esperar que la introducción de audiencia en un auditorio influya en el tiempo de reverberación y en las magnitudes enumeradas más abajo.

A.2 Definiciones de los parámetros

Hay cuatro grupos o tipos de magnitudes. En cada grupo hay a menudo más de un parámetro pero normalmente se encuentra que los valores de las distintas magnitudes que componen cada grupo están muy correlacionadas entre sí. Por tanto, cada grupo contiene un número de parámetros aproximadamente equivalentes y no es necesario el cálculo de todos ellos, pero se debería calcular al menos uno de ellos para cada grupo.

A.2.1 Fuerza acústica

La fuerza acústica G se puede medir utilizando una fuente omnidireccional calibrada, siendo el cociente logarítmico entre la exposición a la presión acústica (la integral del cuadrado de la presión acústica en el tiempo) de la respuesta impulsiva medida y la respuesta medida a una distancia de 10 m de la misma fuente en un campo libre.

$$G = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt} \text{ dB} = L_{pE} - L_{pE,10}$$

en la que

$$L_{pE} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{p^2(t) dt}{p_0^2} \right] \text{ dB}$$

y

$$L_{pE,10} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{p_{10}^2(t) dt}{p_0^2} \right] \text{ dB}$$

donde $p(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva medida en el punto de medida, $p_{10}(t)$ es la medida a una distancia de 10 m en campo libre, p_0 es 20 μPa y $T_0 = 1$ s. L_{pE} y $L_{pE,10}$ son los niveles de exposición acústica de $p(t)$ y $p_{10}(t)$, respectivamente.

En las ecuaciones anteriores, $t = 0$ se corresponde con el inicio del sonido directo e ∞ se corresponde con un tiempo que es igual o superior a aquel en que la curva de caída ha descendido al menos 30 dB.

En el caso de que se disponga de una gran cámara anecoica $L_{pE,10}$ se puede medir directamente utilizando una distancia entre fuente y receptor de 10 m. Si esto no es posible, se puede medir el nivel de exposición acústica en un punto que está a d (≥ 3 m) de la fuente ($L_{pE,d}$) y entonces $L_{pE,10}$ se obtiene como sigue:

$$L_{pE,10} = L_{pE,d} + 20 \log(d / 10) \text{ dB}$$

Si se hace la medición en campo libre, es necesario realizar la medida cada $12,5^\circ$ alrededor de la fuente acústica y calcular el valor medio de la energía de los niveles de exposición acústica con objeto de promediar la directividad de la fuente acústica.

NOTA 26 – Como método alternativo el nivel de exposición acústica $L_{pE,10}$ se puede medir en cámara reverberante de acuerdo con la siguiente ecuación ([1], [2]):

$$L_{pE,10} = L_{pE} + 10 \log(A/S_0) \text{ dB} - 37 \text{ dB}$$

donde

L_{pE} es el promedio espacial del nivel de exposición acústica medido en la cámara reverberante;

A es el área de absorción acústica equivalente, en metros cuadrados;

$$S_0 = 1 \text{ m}^2$$

A puede obtenerse a partir del tiempo de reverberación en el recinto según la siguiente ecuación (fórmula de Sabine):

$$A = 0,16 V / T$$

donde

V es el volumen de aire de la cámara reverberante en metros cúbicos;

T es el tiempo de reverberación del recinto en segundos.

NOTA 27 – Una forma alternativa para medir G consiste en utilizar una fuente acústica omnidireccional estacionaria como sigue:

$$G = L_p - L_{p,10}$$

donde

L_p es el nivel de presión acústica medido en cada punto de medida en el recinto bajo ensayo;

$L_{p,10}$ es el medido a una distancia de 10 m en campo libre.

En caso de que se disponga de una gran cámara anecoica $L_{p,10}$ se puede medir directamente utilizando una distancia entre fuente y receptor de 10 m. Si esto no es posible, se puede medir el nivel de exposición acústica en un punto que esté a d (≥ 3 m) de la fuente ($L_{p,d}$) y entonces $L_{p,10}$ se obtiene como sigue:

$$L_{p,10} = L_{p,d} + 20 \log(d / 10) \text{ dB}$$

En este caso, también es necesario promediar la directividad de la fuente acústica tal y como se mencionó más arriba.

Cuando se utilice una fuente acústica omnidireccional cuyo nivel de potencia acústica es conocido, G se podrá obtener como sigue:

$$G = L_p - L_w + 31 \text{ dB}$$

donde

L_p es el nivel de presión acústica medido en cada punto de medida;

L_w es el nivel de potencia acústica de la fuente acústica.

El nivel de potencia acústica de la fuente debería medirse según la Norma ISO 3741.

A.2.2 Mediciones del tiempo de caída inicial

Tanto el tiempo de caída inicial, EDT, como el tiempo de reverberación convencional, T , deberían medirse a partir de la pendiente de las curvas de la respuesta impulsiva integrada por bandas de octava. La pendiente de la curva de caída se debería determinar a partir de la pendiente de la recta ajustada por regresión lineal a una porción adecuada de la curva. El EDT debería obtenerse de los primeros 10 dB de caída y T se obtiene normalmente de la porción de caída comprendida entre -5 dB y -35 dB por debajo del nivel inicial máximo (o -5 dB y -25 dB, véase el apartado 6.2). Los tiempos de caída se calculan a partir de estas pendientes extrapolando a una caída de 60 dB.

Se deberían calcular tanto EDT como T . EDT es más importante subjetivamente y está relacionado con la reverberancia percibida, mientras que T está relacionado con las propiedades físicas del auditorio.

A.2.3 Balance entre energía inicial y final

Aunque hay varios parámetros que se pueden usar en este grupo, uno de los más simples es la relación entre la energía acústica inicial y final. Éste puede ser calculado para 50 ms para 80 ms dependiendo de si los resultados se van a relacionar con condiciones de palabra o música respectivamente.

$$C_{t_c} = 10 \log \left(\int_0^{t_c} p^2(t) dt / \int_{t_c}^{\infty} p^2(t) dt \right) \text{ dB}$$

donde

C_{t_c} es el índice inicial - final;

t_c es el límite de tiempo inicial de 50 ms u 80 ms (a C_{80} se le suele llamar "claridad").

NOTA 28 - También es posible medir la relación entre la energía acústica inicial y la total. Por ejemplo D_{50} ("Definición" o "Deutlichkeit") se utiliza a veces para condiciones de discurso.

$$D_{50} = \int_0^{0.050 \text{ s}} p^2(t) dt / \int_0^{\infty} p^2(t) dt$$

Este parámetro está relacionado con C_{50} mediante la siguiente relación:

$$C_{50} = 10 \log \left(\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right) \text{ dB}$$

Y por tanto no es necesario medir ambas magnitudes.

Como opción final en este grupo de medidas está el tiempo central, T_s , que es el tiempo del centro de gravedad de la respuesta impulsiva cuadrática, se mide en segundos:

$$T_s = \int_0^{\infty} t p^2(t) dt / \int_0^{\infty} p^2(t) dt$$

T_s evita la división discreta de la respuesta impulsiva en intervalos inicial y final.

Las magnitudes de este grupo se relacionan con la definición percibida, claridad, o el balance entre claridad y reverberancia, además de con la inteligibilidad del discurso.

NOTA 29 - La inteligibilidad de la palabra también se puede determinar midiendo el índice de transmisión de la palabra (STI). Esta magnitud se mide utilizando señales de ruido con una modulación especial que no están incluidas en los métodos de respuesta impulsiva de esta norma.

A.2.3.1 Parámetros relacionados con la energía lateral inicial. La fracción de energía, LF, que llega en los primeros 80 ms procedente de las direcciones laterales se puede medir a través de la respuesta impulsiva obtenida de un micrófono omnidireccional y otro con patrón en forma de ocho.

$$LF = \frac{\int_{0,005s}^{0,080s} p_L^2(t) dt}{\int_0^{0,080s} p^2(t) dt}$$

donde

$p_L^2(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva del auditorio medida con un micrófono con patrón en forma de ocho.

Se entiende que el cero del micrófono con patrón en forma de ocho apunta hacia el centro acústico de la posición de la fuente, o exactamente las posiciones de fuente individuales, de tal forma que el micrófono responda predominantemente a la energía que llegue desde las direcciones laterales y no esté influido de forma significativa por el sonido directo.

Debido a que la directividad de un micrófono con un patrón en forma de ocho es esencialmente un coseno y los valores de presión son cuadráticos, la contribución de la energía lateral para una reflexión individual varía con el cuadrado del coseno del ángulo de incidencia de la reflexión relativo al eje de máxima sensibilidad del micrófono. Como alternativa se puede utilizar una aproximación para la obtención de fracciones de la energía lateral, LFC, con contribuciones que varían con el coseno del ángulo, lo que se piensa que es subjetivamente más preciso (véase [3]).

$$LFC = \frac{\int_{0,005s}^{0,080s} |p_L(t) \cdot p(t)| dt}{\int_0^{0,080s} p^2(t) dt}$$

Las fracciones de energía lateral se relacionan con el ancho percibido de la fuente acústica.

También se cree que las medidas de la correlación cruzada interaural están relacionadas con la impresión espacial, envoltura y ancho de la fuente percibido. Están descritos en el anexo B.

A.3 Procedimiento de medida

A.3.1 Fuente

La fuente debe ser tan omnidireccional como sea posible. La tabla A.1 enumera las desviaciones máximas de la omnidireccionalidad cuando se promedia sobre arcos deslizantes de 30° en campo libre. En caso de que no se pueda utilizar una mesa giratoria se deberían efectuar medidas cada 5° y se promediarán los valores de los seis puntos más próximos. El valor de referencia debe determinarse a partir del promedio energético en el plano de medida. La distancia mínima entre la fuente y el micrófono debe ser de 1,5 m.

Tabla A.1
Desviaciones direccionales máximas permitidas de la fuente en decibelios para una excitación por bandas de octava de ruido rosa y medidas en campo libre

Frecuencia, Hz	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Desviación máxima, dB	± 1	± 1	± 1	± 3	± 5	± 6

NOTA 30 – Para ensayos que relacionen condiciones con un orador humano, se debería utilizar una fuente con una directividad aproximada a la de un orador humano. Se pueden utilizar cabezas inertes que cumplan con la recomendación de la ITU P. 58 sin una comprobación explícita del patrón de directividad.

La fuente y el equipo asociado debería adecuarse para radiar un nivel de señal suficiente en todas las bandas de octava entre 125 Hz y 4 000 Hz, de forma que se tenga un intervalo de caída adecuado en cada banda de octava.

A.3.2 Micrófonos

Para todas las medidas se debería utilizar un micrófono omnidireccional. Para la LF también se requiere un micrófono con un patrón en forma de ocho. Para G se debe calibrar la sensibilidad del micrófono omnidireccional. Para LF se debería calibrar en campo libre las sensibilidades relativas entre los micrófonos omnidireccional y con patrón en forma de ocho, en la dirección de máxima sensibilidad.

A.3.3 Respuestas impulsivas

Para el cálculo de todas las magnitudes son necesarias las respuestas impulsivas por bandas de octava. Éstas se pueden obtener utilizando una fuente impulsiva tal como una pistola de fogeo o mediante técnicas más complejas que requieren el cálculo de la respuesta impulsiva a partir de varios tipos de señales radiadas por un altavoz. Si la respuesta impulsiva resultante no es exactamente repetible, entonces los promedios deberían hacerse entre repeticiones de la medición en la misma posición.

Las pistolas de fogeo se pueden modificar para que sean aproximadamente omnidireccionales, pero no producen respuestas impulsivas exactamente repetibles. Producen, además, niveles acústicos muy altos proporcionando resultados con un intervalo dinámico grande, como es deseable, pero esto puede ocasionar efectos no lineales cerca de la pistola.

Los métodos que utilizan un altavoz como fuente acústica están limitados por las respuestas espectral y direccional del altavoz. La respuesta en frecuencia media puede corregirse hasta cierto punto, pero las variaciones direccionales no pueden eliminarse y pueden ser significativamente grandes en altas frecuencias. El utilizar un altavoz para radiar varias señales impulsivas no suele ser muy eficiente debido al limitado rango dinámico de la respuesta impulsiva resultante, a menos que se promedien, de forma sincronizada, un gran número de respuestas impulsivas. La correlación cruzada entre la señal de la fuente y la señal recibida puede proporcionar respuestas impulsivas con un buen intervalo dinámico y una buena inmunidad al ruido. El uso de Transformadas Rápidas de Hadamard y señales de secuencias de longitud máxima (MLS) es una aproximación muy buena del tipo correlación (véase [8]). También se pueden utilizar con éxito otras señales con un espectro ancho y suave como barridos con tonos puros y barridos lineales.

A.3.4 Ventanas temporales y filtrado de las respuestas

Las respuestas impulsivas deberían filtrarse en bandas de octava.

Los filtros crean retrasos en la señal que pueden ser muy significativos en las bandas de octava inferiores de menor ancho de banda. Por tanto, el comienzo del impulso filtrado está retrasado respecto a la señal sin filtrar y también la señal filtrada continúa después de que acabe la señal sin filtrar. Esto crea problemas en parámetros como el C_{80} o LF donde las pequeñas porciones de intervalos temporales de la señal son filtrados por bandas de octava.

La mejor aproximación que evita el retraso del filtro es aplicar una ventana temporal a la respuesta impulsiva en banda ancha antes de cualquier filtrado. El comienzo de la respuesta impulsiva para las ecuaciones del capítulo A.2 debería determinarse a partir de la respuesta impulsiva en banda ancha donde la señal suba de forma significativa por primera vez sobre el ruido de fondo pero esté más de 20 dB por debajo del máximo. Las componentes inicial y final de la respuesta impulsiva se filtran por separado y los intervalos de integración de las ecuaciones del capítulo A.2 se incrementan para incluir la energía retrasada por los filtros.

Una buena aproximación a la aplicación de una ventana antes de filtrar se puede obtener utilizando una corrección por ventana (véase [1]). Si las señales impulsivas se filtran primero en bandas de octava, el comienzo de las integraciones para las ecuaciones del capítulo A.2 deberían determinarse como el punto donde la señal filtrada emerge de forma significativa del ruido de fondo pero todavía está 20 dB por debajo del máximo. El intervalo inicial t_c debe comenzar desde este punto de disparo y continuar durante t_c segundos más la mitad del retraso del filtro. El intervalo de tiempo final debería comenzar a partir del punto t_c segundos más la mitad del retraso del filtro después del punto de disparo. En este contexto, el retraso del filtro es el tiempo para la mitad de la energía del filtro cuando éste es alimentado con un impulso.

Debido a que la llegada del sonido directo e inicial de baja frecuencia puede atenuarse significativamente, determinar el comienzo de las respuestas de baja frecuencia puede no ser factible. Puede ser necesario determinar el tiempo de comienzo a partir de la señal en banda ancha o de respuestas impulsivas de alta frecuencia y del retraso medido de los filtros.

A.3.5 Curvas de caída

La técnica de la respuesta impulsiva integrada (integración invertida en el tiempo) según el apartado 5.3.3 debe utilizarse para obtener curvas de caída integradas en bandas de octava a partir de las cuales se calculan los tiempos de caída. Por conveniencia, pueden calcularse otros parámetros de estas curvas de caída, suponiendo que se lleva a cabo de forma correcta la aplicación de una ventana temporal. Esta aproximación requiere que el tiempo de comienzo de cada respuesta por banda de octava se obtenga correctamente a partir de la respuesta en banda ancha. En otras situaciones se puede usar la integración directa para obtener de forma separada los valores de otras magnitudes.

A.4 Posiciones de medida

Los distintos parámetros no son propiedades estadísticas del auditorio y variarán sistemáticamente de un asiento a otro. Por tanto es importante incluir un número adecuado de posiciones de fuente y de micrófono para caracterizar el auditorio completo.

Normalmente se deberían usar un mínimo de tres posiciones de fuente sobre el escenario. En salas con grandes escenarios o fosos de orquesta se deberían usar más posiciones de fuente. En pequeñas salas de conferencias donde la fuente normal tiene una sola posición en la sala, sería aceptable una única posición de fuente.

Deberían emplearse un mínimo de 6 a 10 posiciones de micrófono representativas dependiendo del tamaño de la sala. La tabla A.2 da el número mínimo de posiciones de receptor recomendadas en función del tamaño de la sala. Las posiciones de recepción deberían estar distribuidas de forma uniforme por todas las zonas de asientos de la audiencia. Donde la sala se desdoble en zonas separadas, tales como palcos o zonas bajo los palcos serán necesarios más puntos de medida.

Tabla A.2
Número mínimo de posiciones de recepción en función del tamaño del auditorio

Número de asientos	Número mínimo de posiciones de micrófono
500	6
1 000	8
2 000	10

El micrófono debería colocarse a una altura de 1,2 m sobre el suelo en la zona de asientos de la audiencia para que sea representativo de la altura del oído de un oyente sentado.

La fuente debería estar en posiciones representativas de las usadas por los intérpretes en la sala. Debido a que la mayoría de las salas son simétricas alrededor de la línea central las posiciones de recepción pueden ser distribuidas sólo en un lado de la sala con posiciones de fuente situadas simétricamente alrededor de la línea central. Por tanto puede haber una posición central de la fuente con otras posiciones a igual distancia de la línea central hacia la derecha y hacia la izquierda. Se recomienda una altura de la fuente de 1,5 m para evitar la modificación de la potencia de salida de la fuente de baja frecuencia dentro del intervalo de frecuencia de las medidas.

Si la directividad de la fuente afecta a los parámetros en más de un 5% del valor del parámetro (o 0,5 dB en el caso de C_s y G), la medición se debe repetir con la fuente girada totalmente en al menos tres pasos. Los parámetros resultantes relativos a los distintos ángulos de la fuente se deben promediar aritméticamente.

Posiciones de fuente, recepción y las alturas deberían nombrarse junto con los resultados. De forma similar las condiciones del escenario tales como la presencia de sillas y puestos de música deberían hacerse constar ya que producirán efectos mensurables en los resultados.

A.5 Presentación de los resultados

Además del formato de presentación especificado para el tiempo de reverberación, T , los valores pueden presentarse de una forma más concisa mediante la determinación de promedios para los resultados por pares de octavas. Por tanto los resultados de 125 Hz y 250 Hz serían aritméticamente promediados para dar un resultado a baja frecuencia; los resultados a 500 Hz y a 1 000 Hz serían promediados para dar un resultado a frecuencias medias y los resultados a 2 000 Hz y a 4 000 Hz serían promediados para dar un resultado a frecuencias altas. Se piensa que fracciones de la energía lateral en la banda de octava de 4 000 Hz no son subjetivamente importantes.

ANEXO B (Informativo)

PARÁMETROS BINAURALES DE UN AUDITORIO DERIVADOS DE LAS RESPUESTAS IMPULSIVAS

B.1 Introducción

El proceso de escucha es binaural. Estudios subjetivos sobre auditorios han mostrado que los coeficientes de correlación cruzada interaural, IACC, medidos con una cabeza artificial o con una cabeza real de dimensiones medias como la representada por una cabeza artificial y con unos pequeños micrófonos en la entrada de los canales auditivos, correlacionan bien con la calidad subjetiva de "impresión espacial" de una sala de conciertos. (Se piensa que los valores de la energía lateral inicial también se relacionan con la espacialidad. Éstas están descritas en el anexo A).

La impresión espacial se puede dividir en dos subclases:

subclase 1: anchura de la fuente, es decir, "espaciosidad";

subclase 2: estado de difusión del campo acústico reverberante, es decir, envoltura.

B.2 Definición de IACF

La función de correlación cruzada interaural normalizada; IACF se define como:

$$IACF_{l1,l2}(\tau) = \frac{\int_{t1}^{t2} p_l(t) \cdot p_r(t + \tau) dt}{\left[\int_{t1}^{t2} p_l^2(t) dt \int_{t1}^{t2} p_r^2(t) dt \right]^{1/2}}$$

donde

$p_l(t)$ es la respuesta impulsiva en la entrada del canal del oído izquierdo;

$p_r(t)$ es lo mismo para el canal del oído derecho.

Los coeficientes de correlación cruzada interaural, IACC, vienen dados por:

$$IACC_{l1,l2} = \max |IACF_{l1,l2}(\tau)|, \text{ para } -1 \text{ ms} < \tau < +1 \text{ ms}$$

B.3 Cabezas de medida**B.3.1 Cabeza artificial**

Debería escogerse una cabeza artificial con pabellón auditivo y canales auditivos como norma, para un conjunto de mediciones. Las cabezas artificiales que cumplan con la recomendación de la ITU P. 58 se pueden utilizar sin verificar su geometría o sus prestaciones acústicas. La selección y uso de una cabeza artificial se indicará claramente en el informe de ensayo y la dirección de la cabeza artificial será descrita en detalle.

Cuando se hagan medidas en un auditorio la altura de los canales auditivos de la cabeza artificial sobre el suelo debería ser de 1,2 m aproximadamente.

B.3.2 Cabezas reales

Se pueden utilizar cabezas reales en lugar de una cabeza artificial normalizada para obtener $p_1(t)$ suponiendo que $K_1 < [\text{anchura de la cabeza más dos veces la diferencia entre la longitud de la cabeza y la distancia desde la entrada del oído (EEP) y la pared occipital}] < K_2$ y K_2 se determina a partir de comparaciones con la cabeza artificial de tal forma que la IACC medida con la cabeza real elegida correlacione con las de la cabeza artificial con un $r = 0,85$ o mejor. La selección y el uso de cabezas reales debería claramente indicarse en el informe de ensayo y las instrucciones dadas a las personas y el tipo de micrófonos usados debería describirse en detalle.

B.4 Usos de IACC

Los usos de IACC aún no han sido universalmente aceptados. Como en el caso de LF y LFC el uso de IACC y su relevancia subjetiva todavía es objeto de discusión e investigación. Así mismo se han sugerido distintas aproximaciones orientadas a la elección de los límites temporales t_1 y t_2 y del filtrado en frecuencia de las señales (véase [2]).

La forma más general de IACC está definida con $t_1 = 0$ y $t_2 = \infty$ (en acústica de recintos un tiempo del orden del tiempo de reverberación) y con una banda de frecuencia ancha. Como en el caso de medidas monoaurales, IACC se mide generalmente en las bandas de octava que van desde 125 Hz hasta 4 000 Hz.

IACC puede medirse para describir la disparidad en la llegada de la señal a los dos oídos por las primeras reflexiones ($t_1 = 0$ y $t_2 = 80$ ms) o por el sonido reverberante ($t_1 = 80$ ms y $t_2 =$ a tiempo mayor que el tiempo de reverberación del recinto).

B.5 Procedimiento de medida

El procedimiento de medida debería ser en general paralelo al dado en el anexo A.

ANEXO C (Informativo)

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BARRON, M. Impulse Response Testing Techniques for Auditoria, *App. Acoust.*, Vol. 17, 1984, p 165.
- [2] KEET, W. de V. The influence of Early Lateral Reflections on Spatial Impression, *6th International Congress on Acoustics*, Tokyo, 1968.
- [3] KLEINER, M. A. New Way of Measuring Lateral Energy Fractions, *App. Acoust.*, Vol. 27, 1989, p 321.
- [4] RASMUSSEN, B., RINDEL, J. H. and HENRIKSEN, H. Design and Measurement of Short Reverberation Times at Low Frequencies in Talks Studios, *J. Audio Eng. Soc.* Vol. 39, 1991, p. 47.
- [5] SCHROEDER, M. R. New Method of Measuring Reverberation Time, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 37, 1965, p. 409.
- [6] SCHROEDER, M. R., GOTTLOB, D. and SIEBRASSE, D. F. Comparative Study of European Concert Halls: Correlation of Subjective Preference with Geometric and Acoustic Parameters, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 56, 1974, p. 119.
- [7] VORLÄNDER, M. and BIETZ, H. Comparison of Methods for Measuring Reverberation Time, *Acustica*, Vol. 80, 1994, p. 119.
- [8] KUTTRUFF, H. *Room Acoustics*, 3rd edition, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1991, chapter VIII.
- [9] TACHIBANA, H. et al. Definition and Measurement of Sound Energy Level of Transient Sound Source, *J. Acoust. Soc. Jpn (E)*, Vol. 8 No. 6, 1987, p. 235.
- [10] KOYASU, M. et al. Measurement of Equivalent Sound Absorption Area by Stationary and Impulsive Reference Sound Sources, *Proc. of Inter-Noise 94*, p. 1501.

ANEXO ZA (Normativo)

**OTRAS NORMAS INTERNACIONALES CITADAS EN ESTA NORMA CON
LAS REFERENCIAS DE LAS NORMAS EUROPEAS CORRESPONDIENTES**

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras normas por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las normas referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa norma (incluyendo sus modificaciones).

Norma Internacional	Fecha	Título	EN/HD	Fecha
ISO 3741	1988	Acústica. Determinación de niveles de potencia acústica de fuentes de ruido a partir de la presión acústica. Métodos de precisión en cámaras reverberantes	EN 23741	1991

ANEXO NACIONAL

Las normas que se relacionan a continuación, citadas en esta norma europea, han sido incorporadas al cuerpo normativo UNE con los siguientes códigos:

Norma Internacional	Norma Europea	Norma UNE
ISO 3741:1988	EN 23741:1991	UNE 74031:1993 ¹⁾
ISO 5725-2:1994		UNE 82009-2:1999
CEI 268-1:1989		UNE 20502-1:1993
CEI 60651:1979	UNE-EN 60651:1996	
CEI 61260:1995		UNE-EN 61260:1997

1) Anulada por la Norma UNE-EN ISO 3741:2000.