

**CAPTACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE
SEÑALES DE AUDIO A NIVEL DE PATRONES ACÚSTICOS Y SOFTWARE
ESPECIALIZADOS EN EL PROCESO DE UNA PRODUCCIÓN**

**CARLOS CHARRY
IVAN LOZANO
MARIO SARMIENTO**

UNIVERSIDAD SAN BUENVENTURA

INGENIERÍA DE SONIDO

PROYECTO DE GRADO

BOGOTÁ, D.C. 2005

**CAPTACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE
SEÑALES DE AUDIO A NIVEL DE PATRONES ACÚSTICOS Y SOFTWARE
ESPECIALIZADOS EN EL PROCESO DE UNA PRODUCCIÓN**

**CARLOS CHARRY
IVAN LOZANO
MARIO SARMIENTO**

Proyecto de Grado

Licenciatura Magíster

Manuel Joves
Metodología de Proyectos
Javier Martínez
Ingeniero De Sonido
Pedro Valleta
Ingeniero Acústico

UNIVERSIDAD SAN BUENVENTURA

INGENIERÍA DE SONIDO

BOGOTÁ, D.C. 2005

“Ni la universidad, ni el asesor, ni el jurado calificador son responsables de las ideas expuestas por el graduado” (artículo 95 de reglamento estudiantil vigente)

Nota de aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. 2005

DEDICATORIA

A nuestros padres quienes con su apoyo emocional y financiero, hemos podido culminar nuestra etapa como universitarios y empezar una nueva etapa como profesionales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres, familiares, profesores y compañeros que de una forma u otra nos enseñaron a ser mejores personas tanto en el aspecto personal y profesional, en el transcurso de esta etapa como universitarios.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1 PLANTAMIENTO PROBLEMA	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA	15
1.3 JUSTIFICACION	17
1.4 OBJETIVOS INVESTIGACION	19
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.4.2 OBJETIVO ESPECIFICOS	19
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	20
1.5.1 ALCANCES	20
1.5.2 LIMITACIONES	20
2. MARCO DE REFERENCIA	21
2.1 MARCO CONCEPTUAL	23
2.2 MARCO TEÓRICO	70
3. METODOLOGÍA	145
3.1 METODOLOGÍA GENERAL	145
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	146
3.2.1 Campo de Investigación	146
3.3 RELACIÓN DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO	146
3.3.1 Diseño, Validación, Aplicación de Instrumentos	147
3.4 METODOLOGÍA ESPECÍFICA	148
3.5 HIPÓTESIS	148
3.6 VARIABLES	
3.6.1 Variables Independientes	149
3.6.2 Variables Dependientes	149

4.	PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO	
4.1	DISEÑO DETALLADO DEL PROYECTO	150
4.2	LISTADO DE ACTIVIDADES	150
4.2.1	Agrupación de actividades	151
4.3	ETAPA DE PREPRODUCCIÓN	151
4.3.1	Etapa de Post Producción	152
4.4	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	152
4.5	ASIGNACIÓN DE RECURSOS DEL PROYECTO	153
4.6	CLASIFICACIÓN DE RECURSO Y COSTOS	153
4.6.1	Resumen de costos	154
4.7	CRONOGRAMA	155
5.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	157
6.	DESARROLLO INGENIERIL	194
6.1	ANALISIS DELA RESPUESTA ACÚSTICA DEL CUARTO DE GRABACIÓN	194
6.2	ETAPA DEPRODUCCIÓN (CAPTURA DE SEÑALES AUDITIVAS	220
6.3	ETAPA DE POST – PRODUCCIÓN	230
	CONCLUSIONES	240
	RECOMENDACIONES	244
	REFERENCIA DE FIGURAS	246
	REFERENCIAS DE TABLAS	247
	BIBLIOGRAFÍA	248

TABLA DE CONTENIDO GRAFICAS

Fig.		Pag
1,2	Forma de ondas complejas	25
3	Representación de los armónicos y octavas de una fundamental	26
4	Representación grafica del espectro audible en frecuencias del oído humano.	26
5	Representación grafica de la propagación del sonido al aire libre	29
6	Comportamiento del sonido en una campo cerrado en donde influye el sonido directo como las múltiples reflexiones producidas por las superficies	31
7	Comportamiento del sonido en campo cerrado	32
8	Comparación entre la curvad de decaimiento del sonido en aire libre y campo cerrado.	34
9	Representación el ruido blanco y ruido rosa.	36
10	Representación grafica de la distorsión lineal	41
11	Representación grafica del EDT y RT 60	43
12	Curva de decaimiento energético destacando la llegada del sonido directo y de la primera reflexion significativa	44
13	Muestra distintos caminos de transmisión del sonido entre recintos	47
14	Diferentes curvas STC en 1\3 de octava	48
15	A) Reflexión, B) Absorción y C) Transmisión	49
16	Representa el corte de una pared de ladrillo redestidad con un material acústico	49
17	Representación, de la máxima absorción de energía de la onda incidente, efectuada por un material el cual esta a $\lambda / 4$ de distancia de la pared.	52
18	Reflexión del sonido en superficies plana.	54
19	Angulo de una onda incidente en una superficie, es igual al ángulo reflejado en al misma superficie.	55
20	Los frentes de onda plana, cuando golpean contra un superficie convexa, el sonido se dispersara con un ángulo ancho si la irregularidad de la curva es larga comparada con la longitud de onda de la onda impactante	56
21	Curva de medición de la respuesta en frecuencia de un recinto	58
22	Representación de una onda cuando incide en una superficie y esta es reflejada	58
23	a) Representación modos axiales b) Representación modos oblicuos c) Representación modos tangenciales	61
24	Representa grafica de un micrófono dinámico de bobina móvil	62
25	Representación grafica de la digitación de estudio	67
26	Representación grafica del teorema de nyquist	69

27	Respuesta en frecuencia de un recinto de 12.000 pies cúbicos	71
28	Curvas de tiempo de reverberación en diferentes bandas de frecuencia	72
29	Decaimiento de una señal partido en dos por la acción de uno o varios modos de resonancia	73
30	Curvas de tiempo de reverberación en un estudio de video con diferentes características acústicas	75
31	Tiempos de reverberación en un cuarto de grabación	77
32	Criterio de Bolt que facilita las proporciones adecuadas para las dimensiones de un estudio de un recinto para una eficiente distribución modal	88
33	División del espectro audible en zonas acústicas para el estudio de los modos	92
34	a) Distribución pobre de modos, b) Distribución optima de modos	97
35	Cantidad de modos en función de la frecuencia	98
36	Ventana de arrange o inicio con de Logic Pro 6	100
37	Ventanas de emviromente, arrange, edición de audio e importar audio	103
38	Ventanas de enviromente, arrange, edición de audio e importar audio	106
39	Ventanas de mezcla de audio y edición de audio en Pro Tools	108
40	Ventana de mezcla o mix window del Pro Tools	113
41	Ventana de edición o edit window del pro tools	113
42	Panel trasero de una interfase de audio que ofrece 16 salidas y 16 entradas	114
43	Vista lateral superior de un a superficie de control 24 para pro tools	118
44	Técnica de microfonia guitarra acústica	120
45	Diferentes posiciones de microfonia para pianos acústicos	122
46	Técnicas de microfonia para upright pianos	124
47	Diferentes posiciones de microfono para la captura de un gabinete	129
48	Tecnicas de microfonia de un a batería	133
49	Respuesta en frecuencia plana	138
50	Respuesta en frecuencia con realces	139
51	Patrón direccional de un micrófono omnidireccional	139
52	Patrón direccional de un micrófono unidireccional	140
53	Procedimiento de la medición por perdida de la transmisión	164
54	Nivel de presión sonora transmitido Vs nivel de Ruido de Fond	166
55	Perdida de transmisión TL (bruto) otorgado por la pared doble que separa los cuartos de grabación	167
56a	Etapa de rigidez, resonancia, ley de masas y efecto de coincidencia del TL medido	168

56b	Reconocimiento de control de rigidez, control de resonancia ley de masas Efecto de coincidencia del TI medido con mayor resolución	168
57a	Mapeo del recinto, visualizando los puntos de medición, visto desde arriba	170
58	Distribución modal en el espectro de frecuencia	174
59	Distribución modal en el espectro de frecuencia	174
60	Comportamiento modal en el punto 1	180
61	Comportamiento modal en el punto 2	180
62	Comportamiento modal en el punto 3	181
63	Comportamiento modal en el punto 4	181
64	Comportamiento modal en el punto 5	182
65	Mapeo del cuarto de grabación para la medición del tiempo de reverberación	184
66	Parámetros acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 1	184
67	Curva del decaimiento Rt30	185
68	Parámetros acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 2	185
69	Curva del decaimiento Rt30 en la pos 2	186
70	Parámetros acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 3	186
71	Curva del decaimiento Rt30 en la pos 3	187
72	Parámetros acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 4	187
73	Curva del decaimiento Rt30 en la pos 4	188
74	Parámetros acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 5	188
75	Curva del decaimiento Rt30 en la pos 5	189
76	Parámetros acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 6	189
77	Curva del decaimiento Rt30 en la pos 6	190
78	Parámetros acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 7	190
79	Curva del decaimiento Rt30 en la pos 7	191
80	Parámetros acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 8	191
81	Curva del decaimiento Rt30 en la pos 8	192
82	Curva del decaimiento Rt30 promediado	193

INTRODUCCIÓN

La ingeniería de sonido basa su objetivo en el estudio físico y el comportamiento del sonido. Como el sonido es un disturbio que se puede propagar a través de cualquier medio elástico, ya sea sólido, líquido o gaseoso, su campo de acción y estudio son muy amplios. Esto conlleva a dividir el estudio general del sonido, en campos que se especializan en investigar y aplicar el conocimiento en un área específica, que dependerá del medio o ambiente físico donde el sonido se presente. Entre los campos más importantes tenemos: la grabación y producción musical, la acústica arquitectónica, la electroacústica y el procesamiento de señal, y otras de igual consideración.

El desarrollo óptimo de cada uno de estos campos, no es solamente el estudio y análisis de los mismos, sino la relación teórica así como práctica que poseen entre sí. Tomando en cuenta lo anterior, el desarrollo de una *producción musical ideal*, la cual es el tema central del proyecto, no sólo se involucra elementos que conforman la grabación y producción, sino también dispositivos electrónicos, software, mecanismos acústicos, recintos, y salas de grabación. Por lo tanto, no se deben omitir sino aplicar todos los conceptos de los diferentes campos involucrados en este proceso de producción, para obtener un proyecto óptimo de excelente calidad.

Para lograr este objetivo musical e ingenieril, se divide el proyecto en tres etapas básicas, que son preproducción, producción y postproducción, para las cuales se tendrá en cuenta el comportamiento acústico del recinto y la plataforma de grabación.

La preproducción, se centrará en elaborar arreglos musicales para cada instrumento, desarrollar maquetas musicales, realizar mediciones acústicas dentro del recinto de grabación, con el fin de conocer el comportamiento acústico este y partir del dicho comportamiento determinar las optimas técnicas de microfonia para la captación de la señal auditiva de cada instrumento. En la etapa de producción se realizara el proceso de grabación total, en donde se captará el mayor número de tomas de audio posibles para cada instrumento, con el fin de realizar comparaciones que nos permitan llegar a un proceso óptimo, teniendo en cuenta el comportamiento acústico del recinto y el aprovechamiento total y posible del mismo. Finalmente se llevará a cabo la etapa de postproducción, en la cual se implementarán la edición y mezcla, tomando en cuenta dispositivos y software utilizados para obtener un producto de excelente calidad.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

El Sonido como ciencia es un área que posee diversas ramas y estas a su vez divisiones para temas más específicos, todos con el fin de estudiar, comprender y aplicar las características físicas del mismo.

La ciencia de la acústica se refiere al estudio físico del sonido en espacios abiertos y cerrados para el diseño y control acústico de todo tipo de edificaciones, tanto públicas como privadas. También dentro del estudio de la acústica, se pueden nombrar la psicoacústica, control de ruido, electroacústica y otras.

En las ciencias de la grabación y la producción musical, se estudia el ingenio de crear y diseñar nuevos conceptos musicales, por medio de la adecuada captación y procesamiento de señales auditivas por medio de sistemas analógicos o digitales.

Los Países industrializados como Estados Unidos, España, Italia, Inglaterra, entre otros, siempre van a la vanguardia de la tecnología y el estudio de las nuevas ciencias. Estos países, desde hace varios años, han venido desarrollando estudios sobre el sonido en todas sus diferentes ramas, comprendiéndolo y aplicándolo a áreas de la medicina, fuerzas militares, la comunicación, la diversión, en acústica arquitectónica, en las ciencias de la grabación y en todas aquellas áreas donde el sonido se puede aplicar.

En América latina, países como México, Chile y Argentina se han interesado en el estudio de esta nueva ciencia, creando facultades en distintas universidades y creando empresas para el desarrollo de investigaciones en dicha área.

El sonido, más específicamente en el área de las ciencias de la acústica y de la grabación y producción musical, se ha venido introduciendo en Colombia poco a poco. Esta ciencias en un futuro, tendrá una gran importancia, ya que se tendrá muy en cuenta la calidad de vida en el control de ruido ambiental y en el diseño y construcción de diferentes edificaciones, como teatros, salas de conciertos, auditorios y específicamente estudios de grabación, campo en el cual se pretende desarrollar el proyecto. Una producción musical, depende de tres variables que son: el recinto, óptimos dispositivos para la captación y procesamiento de señales auditivas y, por último, el diseño ingenieril de cada persona para diseñar nuevos conceptos musicales por medio de la captación y procesamiento de señales auditivas.

Una producción musical, se desarrollará de forma mucho más completa, si se tienen en cuenta con un alto grado de importancia, los factores acústicos que intervienen en esta. Si un ingeniero conoce de forma detallada el comportamiento acústico del estudio de grabación (Cuarto de Grabación, Cuarto de Control) en el cual desarrolla su proyecto, la captación y el procesamiento de señales auditivas será mucho mas ventajoso, debido a que aprovecha el óptimo comportamiento del sonido dentro del recinto, para obtener el sonido que éste desea en el desarrollo de su producción.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Aunque parezca extraño, la mayoría de personas, que realizan proyectos de producción musical, no han sido capacitadas de forma profesional sino de forma técnica. Además no toman en cuenta los parámetros acústicos de los recintos donde se realiza la producción, así como de los dispositivos utilizados para el desarrollo de la misma. Esto implica que los proyectos no son desarrollados con los procesos de grabación adecuados, el posicionamiento ideal de los dispositivos e instrumentos dentro de la sala y las técnicas de grabación apropiadas, arrojando como resultado productos de baja calidad sonora, creando insatisfacción ya sea a un cliente o un mercado.

El proyecto tomará en cuenta todo lo anterior y se desarrollará en tres etapas de la siguiente manera. ***Etapas de preproducción***, donde el productor se encargara de determinar el tiempo, el lugar, los elementos, las técnicas y otros detalles para desarrollar el proyecto. En esta etapa se desarrollarán los arreglos musicales para cada instrumento y se realizaran mediciones acústicas dentro del recinto de grabación; de esta manera conocer el comportamiento del recinto, y poder aplicar volúmenes adecuados, así como proponer posiciones de micrófonos dentro de la sala para cada instrumento. Todo esto, con el fin de controlar reflexiones inadecuadas, coloraciones del sonido no deseadas, e infiltración de algún sonido diferente al de la fuente sonora que perturbe el procesamiento general de la señal auditiva. Luego, se procederá a realizar el producto de manera concisa y detallada, teniendo como objetivo principal alcanzar el concepto musical que se desea; a esta etapa se le llama ***Etapas de producción***, Para el desarrollo de esta se realizará el proceso de grabación total, en donde se captarán el mayor número de tomas de audio posibles para cada instrumento; es decir se jugará con la respuesta acústica del recinto dependiendo de la posición de los micrófonos, con

el fin de realizar comparaciones que permitan llegar a un proceso óptimo, teniendo en cuenta el comportamiento del recinto y el aprovechamiento total y posible del mismo. Finalmente, se desarrollará la **etapa de postproducción**, la cual se encargará de optimizar, arreglar y ordenar todas las señales de audio captadas. Se escogerán las de mejor calidad en respuesta acústica y comportamiento musical que se lograron en la etapa de producción y de esta manera concluir toda la producción musical que satisfaga las necesidades del cliente y del mercado.

El proyecto será el análisis intensivo del comportamiento acústico del estudio de grabación análogo/digital de la Universidad San Buenaventura. A este estudio se le desarrollarán mediciones de respuesta modal (comportamiento de bajos), de reverberación (viveza del cuarto), pérdida por transmisión, difusión del sonido y comportamiento de la energía. El fin de todas estas mediciones será conocer el comportamiento acústico del recinto y así poder saber a ciencia cierta como debe ser la ubicación de cada micrófono dependiendo del patrón polar y de la respuesta acústica de la sala. Con respecto a los análisis, se mejorarán los planos tanto especiales y temporales musicales de cada pieza instrumental.

Las plataformas de grabación, que se utilizarán para desarrollar este proyecto, serán el software **PRO TOOLS** y **LOGIC**. **PRO TOOLS** se utilizará para procesos de grabación y edición y **LOGIC** para procesos de mezcla y postproducción.

El **Pro tools** se utilizara para los procesos de grabación y edición debido a la facilidad que ofrece el software para realizar estas tareas y **Logic** se usará para la mezcla y procesamiento de señal debido a que este software además de ser mucho más ingenieril en el procesamiento de señal por medio de **plug ins** que ofrece, también trabaja automáticamente cada señal auditiva a 24 bits, proporcionando una mejor calidad del sonido.

Problema

¿Cómo realizar una producción musical óptima, teniendo en cuenta la respuesta acústica del cuarto de grabación?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Una producción musical que involucra mediciones acústicas y aprovechamiento de la respuesta del recinto para posicionar dispositivos y procesamiento general de la señal, es un tema importante de investigación que se debe desarrollar, ya que por ser novedoso existen pocos recursos y conocimientos teórico-prácticos, que se puedan aplicar al momento de desarrollar algún proyecto de esta índole. La falta de recursos (estudios de grabación óptimos, procesos avanzados e ingenieriles de grabación musical dependiendo de la respuesta acústica del recinto y las características de los micrófonos y carencia de personal profesional y/o capacitado) hace que la mayoría de los proyectos de producción no satisfagan las necesidades de un cliente o mercado determinado.

La *novedad* del proyecto radica en el ingenio que se aplicará al realizar el proceso de grabación y desarrollo de concepto musical. Se va a tener en cuenta la respuesta acústica completa del recinto, para determinar cuales son los puntos óptimos para la distribución adecuada de los micrófonos, y así realizar la toma de la señal adecuada y agradable de cada instrumento.

El *interés* de esta investigación es enfocado a la parte profesional como ingeniero y productor de nuevos proyectos. Además, se desea desarrollar un producto de

alta calidad que compita con las producciones comerciales en el mercado nacional. Con este proyecto se logrará un reconocimiento como productores e ingenieros profesionalmente capacitados, y abrir un campo que esta siendo desarrollado por técnicos y personal no capacitado.

Es *factible* que se realice este proyecto, porque se cuenta con la base teórica y practica para desarrollar el tema de investigación; la cual se ha estudiado y practicado durante el desarrollo de la carrera de *ingeniería de sonido*. Aparte de tener bases teóricas y prácticas, se cuentan con los estudios de grabación, sistemas de procesamiento de audio requeridos e instrumentación para cubrir el área de las mediciones acústicas necesarias. Estos recursos serán suficientes para obtener un producto óptimo y lograr los objetivos trazados.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Realizar el análisis del comportamiento, captación y procesamiento de señales de audio a nivel de patrones acústicos y software especializado en el proceso de una producción musical.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el concepto musical que se desea desarrollar
- Realizar los arreglos musicales para cada instrumento musical
- Desarrollar las maquetas de cada pieza musical
- Realizar la respuesta acústica del recinto (Reverberación, Modos de Resonancia, Pérdida por Transmisión, Difusión subjetiva.)

- Distribuir de forma correcta las técnicas de microfonia para la toma de señal de audio dependiendo de la respuesta acústica del recinto.
- Captar las señales de audio correspondientes a cada instrumento musical
- Escoger la toma óptima de las señales de audio correspondientes a cada instrumento musical.
- Grabar y editar las señales de audio óptimas correspondientes a cada instrumento musical, con las plataformas adecuadas.
- Mezclar los volúmenes y frecuencias para cada señal audio correspondiente a cada instrumento musical
- Procesar cada señal de audio correspondiente a cada instrumento por medio de plug ins
- Realizar la mezcla final de las señales de audio.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 Alcances

Los alcances que tiene el desenvolvimiento de este tema de investigación son los de: Obtener un amplio conocimiento del desarrollo de una producción musical ideal y su relación con las demás áreas del sonido involucradas, Presentar un proyecto que compita con otras producciones del mercado, utilizando los recursos y aplicando el ingenio para demostrar el trabajo de unos profesionales, Proporcionar una fuente bibliográfica a los estudiantes o personas que estén interesadas en el tema, Lograr una producción Musical completa lo mas ingenieril y profesionalmente, aplicando los conceptos electroacústicos y acústicos mencionados para de este modo obtener como resultado un producto que satisfaga tanto a los directivos, a los estudiantes, al grupo musical que se está produciendo y a las personas interesadas en nuevos conceptos y productos en el área del sonido.

1.5.2 Limitaciones

La investigación presentará problemas como el comportamiento inadecuado de los dispositivos electrónicos dentro del recinto, la respuesta acústica de la sala donde se desarrollarán las grabaciones, incumplimiento por parte de los músicos a las horas de grabación establecidas, causando retrasos y pérdida de tiempo para el desarrollo del tema de investigación. Realizar la grabación con instrumentos de baja calidad o en mal estado, no adecuados para una sesión de grabación ideal. No contar con los recursos necesarios de grabación en forma general.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Fundamentos del Sonido

2.1.1.1. Definición y propagación¹. Se entiende por sonido a la alteración física en un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) La cual es ocasionada por una fuente sonora externa y dicha alteración física puede ser detectada mediante el oído de los seres humanos.

Para que estas perturbaciones se puedan propagar a través de un medio es necesario que el mismo tenga inercia y elasticidad, ya que si no es así la propagación de las ondas sonoras no es posible, es decir las ondas sonoras no se propagan a través del vacío.

La inercia es la propiedad que permite a un elemento del medio transferir la perturbación a otro adyacente, esto tiene una relación con la densidad Del medio, es decir la masa de un elemento.

La elasticidad es la propiedad que produce una fuerza sobre un elemento desplazado de su posición de equilibrio, tendiendo a volver a esa posición.

Las ondas sonoras que viajan en el aire, son del tipo longitudinales, es decir, que se desplazan en la misma dirección que el movimiento que las generó.

Estas poseen un llamado “frente de onda” definido como aquel plano perpendicular a la dirección de propagación donde las presiones, desplazamiento de partículas y cambios de densidad instantáneos tienen la misma fase y amplitud.

¹ VALLETA Pedro, Ingeniería Acústica e Insonorización, Unidad I, Introducción al Sonido

2.1.1.2 Tipos de Ondas²

- *Ondas Esféricas*

Son ondas en donde su frente de onda mantiene constante su energía a medida que se propaga en el tiempo y en el espacio, pero su superficie no se mantiene constante causando divergencia de la onda, de esta manera estas ondas hacen referencia a la geometría de propagación.

- *Ondas Planas*

Son ondas en donde su frente de onda mantiene constante su superficie y energía a medida que se propaga en el tiempo y en el espacio, la onda será plana.

- *Ondas Divergentes*

Es aquella onda donde la energía se distribuye en áreas cada vez mayores a medida que nos alejamos de la fuente, debido a que su frente de onda mantiene la energía constante a medida que se propaga en el tiempo y en el espacio, pero no mantiene constante su superficie.

- *Ondas Progresivas*

Transportan energía en la dirección de propagación y cantidad de movimiento desde el origen a otros puntos del *entorno*; se propagan con una *velocidad* que depende exclusivamente de las propiedades del medio. En su propagación pueden experimentar:

- *reflexión ,refracción y dispersión;*

- *Ondas Estacionarias*

Una onda estacionaria es la interferencia constructiva entre la onda incidente sobre una superficie y la onda reflejada por esta. Dicha interferencia formara

² VALLETA Pedro, Ingeniería Acústica e Insonorización, Unidad I, Introducción al Sonido

nodos y vientres los cuales son estáticos y ocupan un lugar fijo dentro del campo sonoro y no permiten la transferencia de energía.

2.1.1.3 Características físicas del sonido³

Las características físicas del sonido son:

Periodo (T)= $\left[\frac{1}{f} \right]$; Frecuencia (f)= $\left[\frac{1}{T} \right]$; Frecuencia angular (W)= $\left[\frac{2\pi}{T} \right]$

Numero de onda (K)= $\left[\frac{1}{\lambda} \right]$; Numero de onda angular (K)= $\left[\frac{2\pi}{\lambda} \right]$;

Longitud de onda (λ)= $\left[\frac{c}{f} \right]$;

Donde

f= Frecuencia

T= Periodo

W= Frecuencia Angular

λ =Longitud de Onda

c=Velocidad del sonido

2.1.1.4 *Ondas complejas*⁴ Las formas de onda del habla y de la música se alejan de la forma senoidal.

Sin embargo, sin importar cuan compleja sea la onda, puede ser reducida a componentes senoidales. La teoría dice que cualquier onda periódica, puede conformarse a partir de la combinación (suma) de ondas senoidales de diferentes frecuencias, amplitudes y relaciones de tiempo (fase).

El desarrollo de esta idea se debe a Charles Fourier.

³ VALLETA Pedro, Ingeniería Acústica e Insonorización, Unidad I, Introducción al Sonido

⁴ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Introducción.

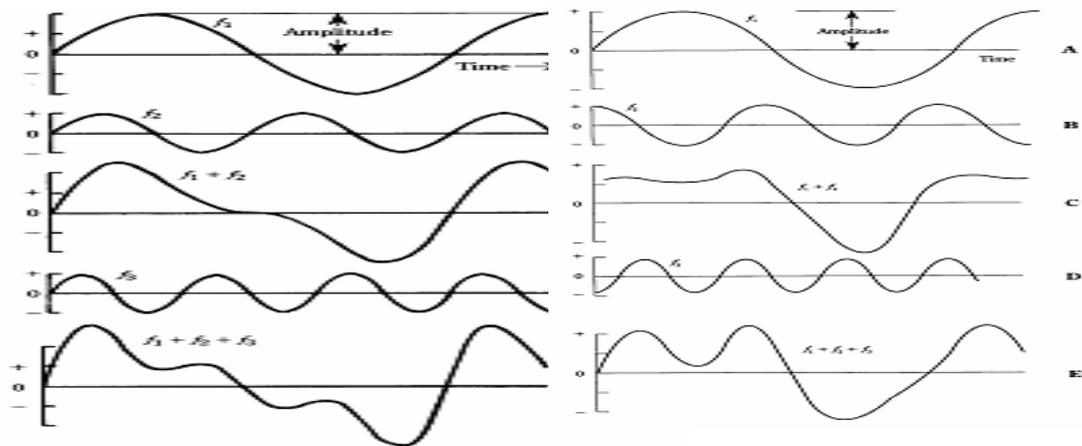


Fig 1 y 2.
Formación de ondas complejas

Las figuras 1 y 2 muestran las sumas de señales senoidales a partir de una fundamental de frecuencia **F1 (A)** y determinada amplitud y sus armónicos de frecuencia **2F1 (B)**, **3 F1 (D)**, etc.

En la figura 1 (fase cero) observamos que la suma de todas ellas da una señal periódica compleja. En la figura 2 se ha rotado la fase de las componentes **B** y **D**, con lo que se obtiene otra señal periódica compleja, distinta a la anterior.

Subjetivamente, al ser humano le agradan las relaciones armónicas, dado que "suenan bien" al oído. La octava es un concepto logarítmico que está muy arraigado en la escala musical y que guarda relación con las características del oído. Es un intervalo natural que el oído percibe como una determinada relación de frecuencias. En acústica, esto se aprovecha para realizar mediciones de ruido, distorsión, vibraciones, aislamiento, etc.

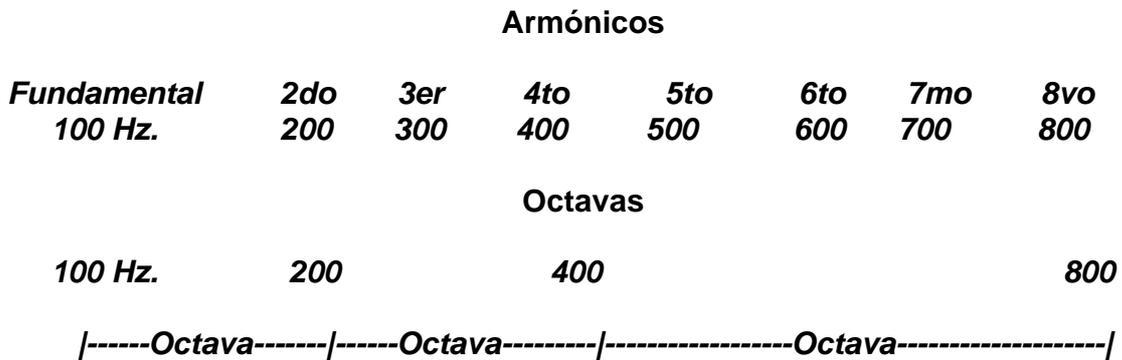


Fig 3
Representación de los armónicos y octavas de una fundamental

2.1.1.5. *Espectro sonoro*⁵ (3)

El oído, estadísticamente hablando, no es capaz de percibir frecuencias muy bajas o muy altas.

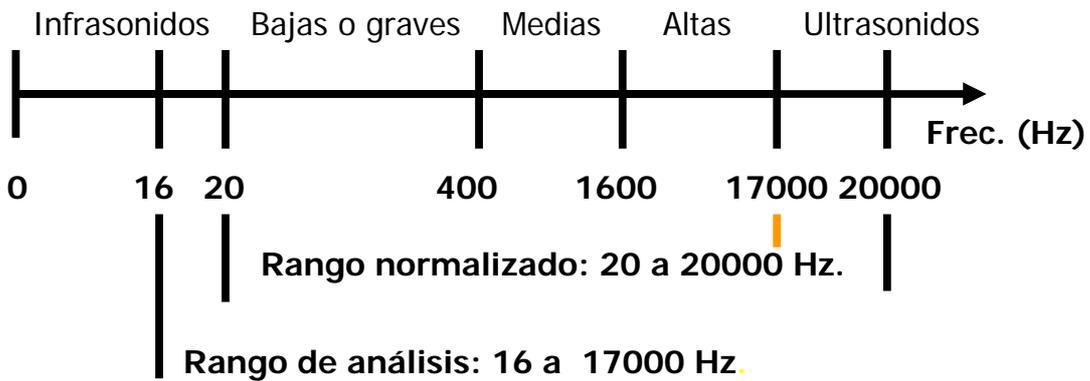


Fig 4
Representación grafica del espectro audible en frecuencias del oído humano.

2.1.2 Nivel sonoro y decibel

2.1.2.1 *Decibeles*⁶ (3). El decibel, comúnmente abreviado como **dB**, es de uso frecuente en el mundo de la acústica.

⁵RUFFA Francisco, Capítuol Acústica aplicada, Introducción.

⁶ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Niveles de referencia.

Los niveles expresados en decibeles facilitan el manejo del extenso rango de sensibilidad que caracterizan al oído y el cual es capaz de percibir. Podemos definir al decibel como la relación existente entre dos magnitudes sea de potencia, voltaje, intensidades, presión sonora es decir un número.

2.1.2.2 *Niveles de referencia*⁷ (3.) El instrumento más popular para medir nivel de presión sonora (**SPL**) es el medidor de nivel sonoro (**SLM**). Si en el display de dicho medidor aparecieran variaciones directas de presión, el rango de diferencias sería muy grande.

Como se explico anteriormente, el oído humano se asocia mejor a relaciones que a números lineales. La aproximación a través de niveles expresados en decibeles, “comprime” el rango de esos valores a uno más manejable.

Para mostrarlos, el instrumento ejecuta la ecuación (**$20 \log_{10} P1/P2$**), por lo que necesita una presión de referencia **P2 = Pref.**

Recordemos que este valor es igual a **20 micro Pázcales (20 μ P)**, equivalente, en el sistema **MKS**, a **20 μ N/m²**.

Valores de referencia de uso común y nomenclatura (3)

Nivel en decibeles	Cantidad ref.
Nivel de Presión Sonora en el aire (SPL, dB)	20 micro pascal
Nivel de Potencia Acústica (Lp1 dB)	1 picowatt (10 ⁻¹² watt)
Nivel de Potencia Eléctrica (re 1 mW)	10 ⁻³ watt (1 miliwatt)
Nivel de Tensión (re 1 v)	1 volt
Nivel de Volumen, VU	10 ⁻³ watt

Tabla 1
Niveles y Nomenclatura de referencia

⁷ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Niveles de referencia.

¿Que representa la Presión Sonora de una onda acústica?

Es la rápida variación de presión barométrica o atmosférica causada por una onda sonora sobre un punto en el campo.

¿Que es el Nivel de Presión Sonora de una onda acústica?

Son magnitudes de energía y potencia. La relación logarítmica entre la variación barométrica, causada por una onda sonora y la presión sonora de referencia del umbral de audibilidad que es 20 micros pascales.

$$SPL = 20 \log \left[\frac{P}{P_{ref}} \right]$$

Ecuación 1

Representación matemática del nivel de presión sonora

Donde

P= Presión sonora en un punto del campo

Pref= Presión sonora de referencia del umbral de audibilidad

2.1.3 Comportamiento del sonido en campo libre y cerrado

2.1.3.1 Definición⁸ El sonido en campo libre o al aire libre, viajara libremente sin experimentar reflexión, absorción, difracción, difusión y de esta manera cumplirá un principio de divergencia en el cual la energía que produce la fuente puntual es radiada **360** grados es decir en todas las direcciones. Esta energía a medida que se aleja de la fuente debe cubrir un mayor espacio, en otras palabras cubre menor campo a medida que se aleja. Existe una relación inversa. Entonces, el nivel de presión sonora divergirá al duplicar la distancia.

En espacios cerrados el comportamiento del sonido es muy diferente, debido a que en este caso el sonido si experimentara reflexión, Absorción, Difracción, difusión y de esta manera afectando la divergencia del sonido

⁸ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Reverberación.

2.1.3.2 Divergencia del sonido

- Aire Libre⁹

La intensidad del sonido decrece a medida que aumenta la distancia a la fuente. Al aire libre, sin la influencia de objetos cercanos, el sonido generado por la fuente se propaga uniformemente en todas las direcciones. La misma potencia sonora fluye a través de las áreas **A1**, **A2**, **A3** y **A4**, pero sus superficies crecen a medida que crece el cuadrado del radio r . Como lo muestra la **Fig 5**

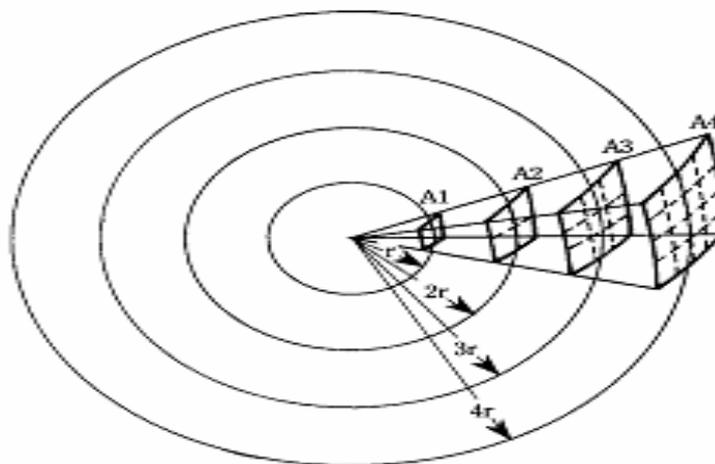


Fig 5

Representación grafica de la propagación del sonido al aire libre

Esto significa que la potencia sonora por unidad de área (intensidad) decrece según el cuadrado del radio

$$\left[\frac{1}{4\pi r^2} \right]$$

Ecuación 2

Representación matemática de la ley del inverso al cuadrado

Donde

r = Es la distancia entre el oyente y la fuente sonora

⁹ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Reverberación.

Doblando la distancia reducimos la intensidad a **1/4** del valor inicial y triplicándola, la reducimos a **1/9** es decir el sonido esta desminuyendo **6 dB** a medida que duplica su distancia de propagación a esto se le conoce como la ley del cuadrado inverso

La ley del cuadrado inverso establece que:¹⁰

“La intensidad del sonido al aire libre es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente”. Es decir que el sonido al aire libre, experimentara una atenuación de 6 dB al doble de la distancia.

De manera que el comportamiento del sonido al aire libre esta determinado por la siguiente formula.

$$SPL = 120 + 10\text{Log}W_{ac} + 10\text{Log} \left[\frac{1}{4\pi r^2} \right]$$

Ecuación 3

Representación matemática del nivel de presión sonora al aire libre

Donde:

W_{ac}=Potencia acústica

R=distancia entre la fuente sonora y el oyente

SPL=Nivel de Presión Sonora

Esta expresión es válida para el caso de una fuente ideal, adireccional, que radia la misma energía en cualquier dirección del espacio, independientemente de su frecuencia.

¹⁰ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Reverberación

- *Espacios cerrados*¹¹

En este caso se tiene presente la señal directa, más las señales provenientes de múltiples reflexiones en las paredes, el piso y el techo véase la **Fig 6**.

Todo esto se haya directamente vinculado con las dimensiones del recinto y con las características físicas de los materiales que lo componen, por lo que el comportamiento del campo generado y su nivel sonoro tendrá una expresión distinta a la vista anteriormente.

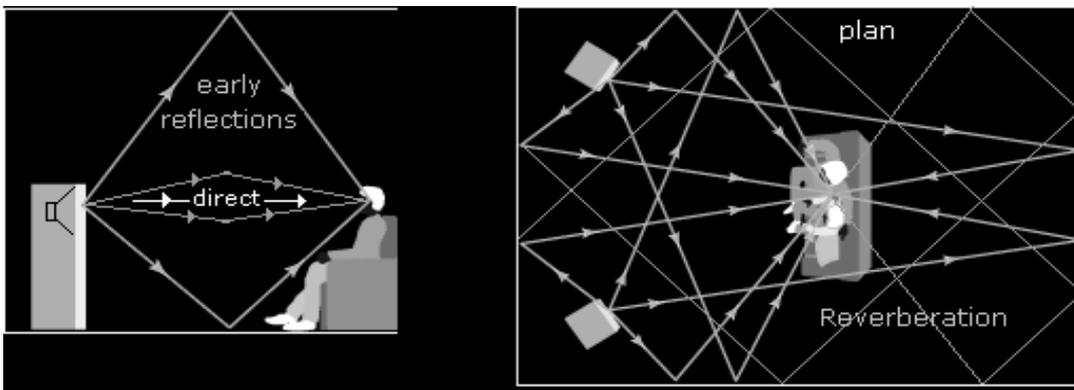


Fig 6

Comportamiento del sonido en una campo cerrado en donde influye
El sonido directo como las múltiples reflexiones producidas por las superficies

Considerando el recinto acústico de la figura 7, con una fuente **F** y un receptor **R**. Si la fuente sonora emite un pulso, al punto receptor llegará un paquete de información.

La primera señal será la que recorra el camino más corto, en este caso el **1**, que denominaremos "sonido directo". Luego de cierto tiempo llegará la primera reflexión por el camino **2** y por el camino **3** arribara otra reflexión.

¹¹ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Reverberación.

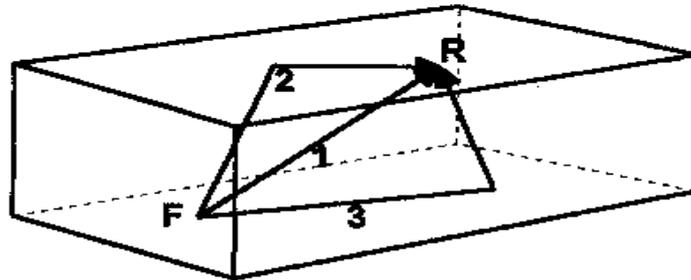


fig 7

Comportamiento del sonido en campo cerrado

Como se menciona anteriormente el comportamiento del nivel de presión sonora del sonido en interiores o campo cerrado esta afectado por la absorción de energía que se presenta del sonido cuando este golpea una superficie y el sonido es reflejado, por estos dos fenómenos se crearan dos campos acústicos dentro del recinto un campo directo y un campo reverberante, el cual este es la información de todo el paquete de reflexiones en el recinto.

El comportamiento del sonido en espacios cerrados esta estudiado por la siguiente expresión

$$SPL = 120 + 10\text{Log}W_{ac} + 10\text{Log} \left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right];$$

Ecuación 4

Representación matemática del nivel de presión sonora en campo cerrado

Donde:

W_{ac} = Es la potencia acústica de la fuente

Q = El factor de directividad de la fuente

r = La distancia de la fuente al oyente

R = La constante del recinto.

La constante **R** se la denomina constante del recinto. Es puramente física y función de las dimensiones del mismo y del tiempo de reverberación. Para

comprender el comportamiento de la ecuación, debemos analizar el comportamiento de **R**.

$$R = \frac{(0,161 * V)}{Rt60 * (1 - \bar{\alpha})}$$

Ecuación 5

Representación matemática de la constante del recinto R

Donde

V= Volumen total del recinto

Rt60= Tiempo de reverberación del recinto

$\bar{\alpha}$ = Coeficiente de absorción promedio

R= constante del recinto

En espacio libre, el volumen es infinito, por lo que el valor de **R** será infinito y **4/R = 0**, por lo que la ecuación se convertirá en la expresión general del **SPL** para espacio libre. Dentro de un recinto, el volumen es finito, por lo que **R** adquirirá valores finitos, resultando un **SPL** mayor que el correspondiente al espacio libre.

En este caso el nivel de presión sonora no divergirá **6 dB** al doble de la distancia sino que decaerá y a medida que se aleja de la fuente la energía se mantiene constante. Esto se cumple idealmente debido a que realmente en el decaimiento sobretodo en frecuencias bajas habrá Alces y pérdidas de la energía en función de la distancia. Véase en la **Fig 8** las comparaciones entre el comportamiento del nivel de presión sonora al aire libre y en espacios cerrados.

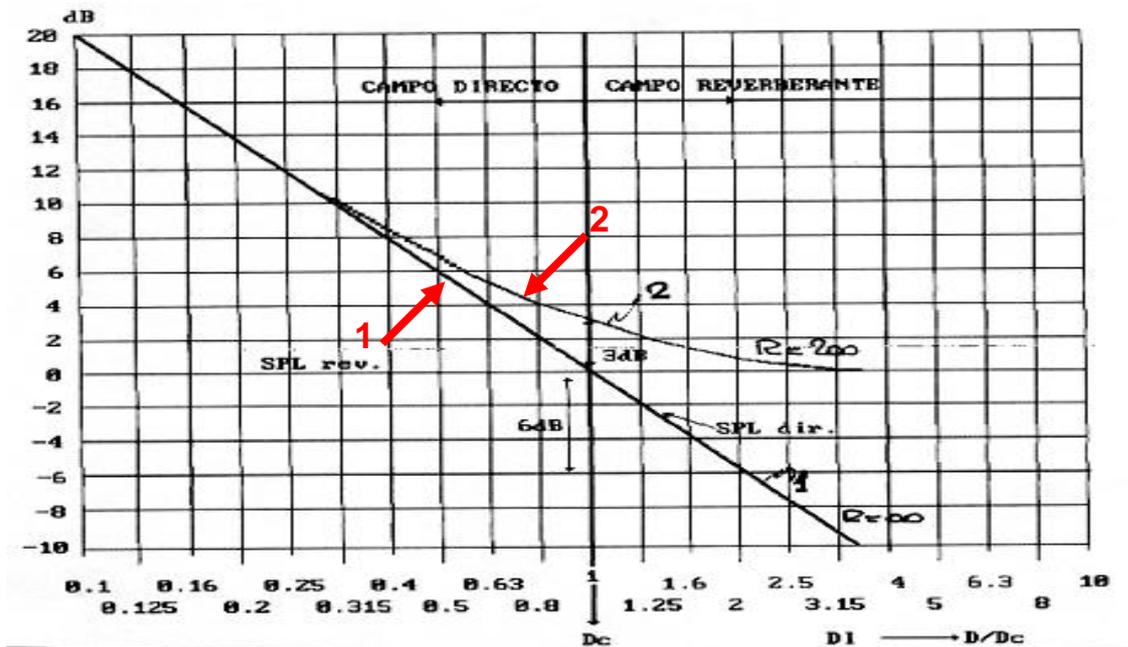


Fig 8

Comparación entre la curva de decaimiento del sonido en aire libre y campo cerrado

A distancias muy cortas las curvas 1 (Aire libre) y 2 (Espacios cerrados) tienen igual comportamiento. Pero a distancias grandes, la curva 2 no disminuye su intensidad y por el contrario, se estabiliza en un valor determinado.

Se concluye que en función de la distancia, existe un cambio en la intensidad y calidad del sonido. Cerca de la fuente, el sonido directo es tan importante, que las reflexiones no modifican su intensidad, por lo que será un sonido seco, sin reverberación. A medida que el oyente se aleja de la fuente, quedará inmerso en un campo reverberante, casi constante, con una intensidad mucho mayor que la del campo directo.

2.1.4 Ruido

2.1.4.1 Fundamentos del ruido

- *Ruido*¹²

“Físicamente, el ruido es una mezcla compleja de vibraciones diferentes, las cuales producen, generalmente, una sensación desagradable”.

A la gente no le gusta el ruido (por definición sonido no deseado), es molesto e interfiere con la palabra”. El ruido a un muy alto nivel produce pérdidas temporarias de la audición y la prolongación en el tiempo, provocará pérdidas permanentes”.

Los conocimientos adquiridos sobre el comportamiento del oído, permite interpretar que no interesa mayormente hablar de sonido o ruido, sino simplemente de sonidos, su nivel, espectro y en cuanto esto afecta al ser humano.

Si los acústicos simplemente conceptualizaran al ruido como "sonido no deseado", no se contaría con una herramienta valiosa, dado que el ruido tiene un alto peso de importancia en un sinnúmero de mediciones acústicas.

En general, no se acostumbra usar tonos puros para medir, por que no son fáciles de manejar, y se prefiere generar ruido de un determinado ancho de banda, centrado en una frecuencia. Un tono puro de **1000 Hz.** aplicado a un recinto y captado por un micrófono, nos mostrará que, la información obtenida es extremadamente dependiente de la posición de este micrófono. Por otra parte, una octava de ruido centrada en **1000 Hz.**, será mucho más estable en relación a su posición, dando información de lo que esta sucediendo en la región de los **1000 Hz** en el recinto.

Además, ya hemos mencionado que en Acústica y más específicamente en Música, es necesario trabajar con señales complejas.

¹² RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Ruido. EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Capítulo 5 Speech, Music and Noise .

- *Ruido Aleatorio*¹³

Este ruido es conocido como el ruido de Jonson o agitación térmica, este se halla presente en cualquier circuito eléctrico, siendo muy difícil de minimizar su efecto. Se origina en el comportamiento de los iones que caen sobre el cátodo de un tubo vacuum produciendo de esta manera un ruido con amplitudes altas y cubre un amplio espectro de frecuencias.

Resulta fácil distinguir entre el ruido aleatorio y una señal senoidal pura. Si por medio de un osciloscopio analizamos su espectro, éste se verá como una imagen confusa sin lógica. Se puede asimilar el ruido aleatorio a la suma de miles de ondas sinusoidales que varían continuamente en amplitud, frecuencia y fase.

- *Ruido Blanco – Ruido Rosa*¹⁴

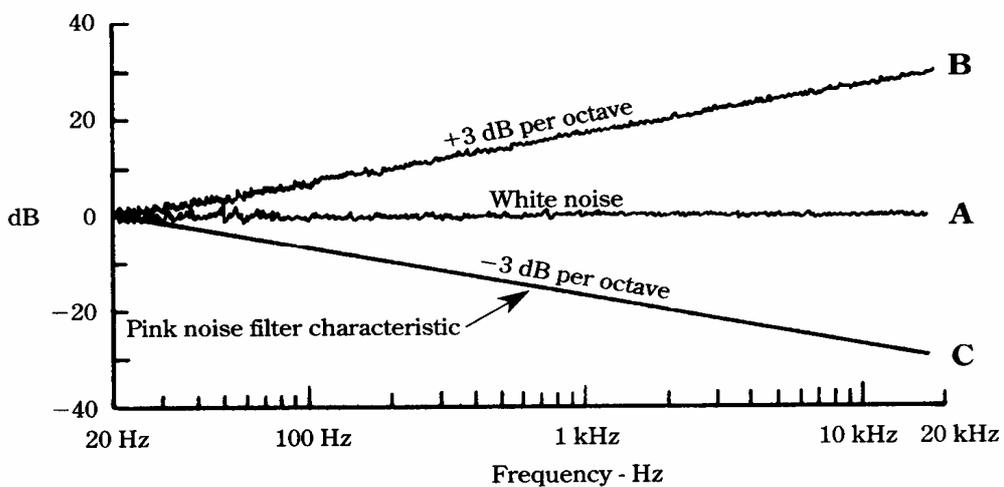


Fig 9.

Representación el ruido blanco y ruido rosa

¹³ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Ruido. EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Capítulo 5 Speech, Music and Noise .

¹⁴ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Ruido.

En acústica, es normal hablar del ruido generado, blanco o rosa, como herramienta de trabajo. El ruido aleatorio (al que llamaremos ruido blanco) se caracteriza por tener una distribución de energía constante para cada frecuencia, disponiendo de dos formas de medirlo:

a). Mediante un analizador de Ancho de Banda constante (por ejemplo de **5 Hz.**). Esto nos dará como resultado una recta paralela al eje de frecuencias, dado que el instrumento está interpretando la misma cantidad de energía por cada **5 Hz.**

b). Mediante un analizador de porcentaje constante de Ancho de Banda. En este caso, a medida que aumenta la frecuencia, aumentará el ancho de banda, dado que el instrumento detectará más energía para cada paquete de frecuencias. Lo cual el diagrama trazado por el analizador mostrará una recta con una pendiente positiva de **3 dB** por octava.

Al medir un recinto, uno de los objetivos es obtener una respuesta en frecuencias lo más plana posible. La inyección de **ruido blanco** al sistema, debería mostrarnos una recta de estas características, pero con incrementos de **3 dB/octava**. La realidad hace que esta lectura no sea fácil, por lo que se modifica el **ruido blanco** a fin de obtener un gráfico paralelo al eje de frecuencias. Esta compensación se obtuvo atenuando el **ruido blanco** en **3 dB** por octava y denominándolo **ruido rosa**. Una medición realizada con ruido rosa y un analizador de porcentaje constante de ancho de banda, pondrá fácilmente en evidencia las desviaciones en la respuesta plana.

- *MLS (Maxim Length Sequence)*¹⁵

Un estímulo muy conveniente es el ruido seudo aleatorio, que es la versión analógica de una señal digital conocida como número seudo aleatorio o secuencia de máximo largo o **MLS**. La magnitud del espectro es básicamente plana,

¹⁵ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Secuencia de Máximo largo

mientras que la fase está mezclada, sin ser realmente aleatoria. El espectro es determinístico y repetible tal como el de un pulso, por lo que se necesita solo un canal. Adicionalmente, la **MLS** tiene la propiedad de que su auto correlación produce una señal impulsiva y la correlación cruzada (cross correlation) es función de la respuesta del sistema a una **MLS** donde la **MLS** de por sí es la respuesta del sistema al impulso.

- *Distorsión de la señal*¹⁶

La discusión de las alteraciones de una señal en una información compleja está incompleta sino se reconoce lo que le puede pasar a una señal pura al atravesar diferentes traductores, amplificadores y otros dispositivos de procesamiento de señal.

- *Nonuniform Response (Respuesta no uniforme)*¹⁷

Las crestas y valles dentro del pasa banda de un amplificador también alteran la forma de onda de la señal original.

- *Distorsión in time (distorsiones en el tiempo)*¹⁸

- Si la cinta viaja de cabeza en cabeza entonces las componentes de frecuencia se cambian arriba abajo en la frecuencia. Si existen fluctuaciones lentas o rápidas en esa velocidad de grabación, las vibraciones que se introducen en el sistema degradaran la señal.

- *Phase distortion (distorsión de fase)*¹⁹

Cualquier cambio de fase, introducido en el sistema, alterara la relación de tiempo entre los componentes de la señal.

¹⁶ RUFFA Francisco, Capítulo Control Calidad sonora, Percepción de la distorsión.

¹⁷ Ibid.

¹⁸ Ibid.

¹⁹ Ibid.

- *Dynamic Distortion (distorsión dinámica)*²⁰

Se presenta cuando un dispositivo de comportamiento dinámico sea un compresor o un expansor cambia el rango dinámico de una señal en forma de distorsión.

- *Harmonic distortion (distorsión armónica)*²¹

Cuando un sistema, no posee una transferencia lineal, en este caso un altoparlante o amplificador. Al inyectar en la entrada un tono puro sinusoidal o un material de programa de características complejas, En general, se encontrara que a la salida del amplificador, la señal se haya distorsionada, es decir que no será una reproducción fiel de la señal de entrada amplificada .Esta distorsión puede ser vista de varios modos, si la distorsión es muy grande, se podrá observar detalladamente en un osciloscopio como la señal de salida, será muy distinta a la señal de entrada, pero si un amplificador o un altoparlante, posee baja distorsión , la onda visualizada a la salida parecerá perfecta, a pesar de lo cual, el oído percibirá que no lo es. Si recurrimos a fourier se podrá observar que a la salida del sistema existirá la fundamental y un conjunto de componentes llamadas "armónicas" pares o impares de amplitud menor de frecuencia **2f1, 3f1, 4f1.....** etc. Cuando se inyecta fundamentales de **8000Kz**, sus componentes armónicas no importaran debido a que rengos de **16000 Hz** en adelantes, no son percibidos por el oído human, pero si son fundamentales de **6000Hz** para abajo, sus componentes armónicas otorgaran componentes de distorsión armónica, logrando una molesta percepción a la salida del sistema.

- *Intermodulation distortion (distorsión por ínter modulación)*²²

Debido a que los amplificadores, poseen programas de características complejas, formado por las sumas de infinitas señales, al aplicar una señal de **10Khz**, modulado por un ancho de banda de **400 Hz**, aparecerán las señales de diferencia o ínter modulación. Estas señales proporcionaran la distorsión por ínter

²⁰ RUFFA Francisco, Capítulo Control Calidad sonora, Percepción de la distorsión.

²¹ Ibid.

²² Ibid.

modulación. El método para medir la distorsión por ínter modulación en un amplificador se basa en ingresar al amplificador con dos osciladores, uno de baja frecuencia (generalmente **60 Hz.**) y otro de alta frecuencia (alrededor de **7 KHz.**), con una relación de señales de **4 : 1**. De esta manera se mide la forma en que la señal de baja frecuencia "ínter modula" a la de alta frecuencia. A la salida del amplificador, se coloca un filtro pasa - altos que elimina la señal de baja frecuencia, quedando solamente la señal de alta frecuencia modulada por la baja (es decir **7 KHz.** modulada por **60 Hz.**) y sus armónicos (**120 Hz., 180 Hz., etc.**). Si el amplificador fuera perfecto, solo recuperaríamos **7 KHz.**, pero dada las condiciones de a linealidad, podremos decir que existirá un porcentaje de ínter modulación.

- *Lineal Distortion (distorsión lineal)*²³

La distorsión lineal, es cuando un amplificador introduce rotación de fase o una respuesta de fase no lineal. Si el sistema posee una rotación de fase, la cual no es constante, en función de la frecuencia, produciendo una línea de retardos desiguales, para cualquier frecuencia, es decir que los armónicos del programa que se esté reproduciendo llegarán al oído en tiempos distintos el sistema entrará en distorsión lineal. En un sistema como un amplificador o altoparlante, la reproducción de señales musicales transitorias y complejas, se obtiene a través de componentes que trabajan en distintos rangos de frecuencia, lo que obliga a acomodar acústicamente sus respuestas a la posición del oyente. Si la ubicación física de estos componentes hace que las señales lleguen a él en tiempos distintos, se producirá una **rotación de fase** cuyo resultado, debido a la interferencia temporal, será un sonido desagradable que degradará la calidad del mismo y su respuesta polar.

²³ RUFFA Francisco, Capítulo Control Calidad sonora, Percepción de la distorsión.

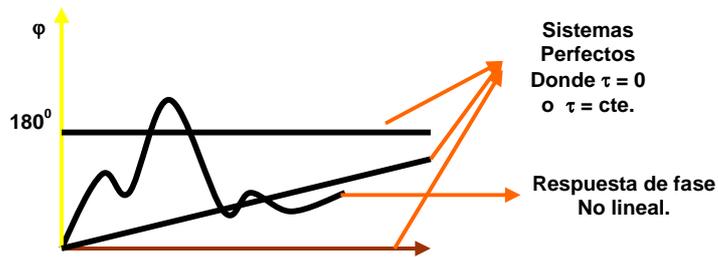


Fig 10

Representación gráfica de la distorsión lineal

2.1.5 Reverberación

2.1.5.1. *Definición*²⁴. El concepto de reverberación se haya vinculado a la percepción subjetiva de la voz humana y de la música dentro de un recinto; entendiendo por recinto cualquier espacio cubierto donde un grupo de personas se reúne para un fin determinado. En este caso el recinto esta dado por el Recording Room (Cuarto de grabación).

Si por medio de una fuente sonora, se genera un ruido aleatorio en un recinto, se formara un campo acústico que necesitara un tiempo de crecimiento definido en donde se alcanzara un estado de equilibrio (El sonido ocupe todo el espacio del recinto), al alcanzar este estado de equilibrio, se interrumpirá el ruido aleatorio y ocasionara el decaimiento del sonido desde el punto de equilibrio hasta su desaparición. A este fenómeno se le llama **reverberación**. A partir de este término se desprenden otros conceptos que son:

- $R_t(10)$
- $R_t(20)$
- $R_t(30)$
- $R_t(60)$
- S/N (relación Señal/Ruido)

²⁴ Valleta Pedro, Ingeniería Acústica e Insonorización, Unidad 5, Diseño de teatros y Salas.

- EDT (Early Decay Time)
- IDTG (inicial Time Delay Gap)
- Brillo
- Calidez
- Intimidad Acústica
- Sonoridad.

- $Rt (10)^{25}$

Tiempo de reverberación en el rango de **0 a -10 dB**.

- $Rt (20)^{26}$

Tiempo de reverberación en el rango de **-5 a -25 dB**.

- $Rt (30)^{27}$

Tiempo de reverberación en el rango de **-5 a -35dB**.

- $Rt (60)^{28}$

El tiempo que tarda el campo dentro del recinto, en extinguirse **60 dB**. Por encima del ruido de fondo.

- $S/N (Relación Señal/Ruido)^{29}$

Es la diferencia que existe entre la señal de ruido de fondo, y la señal que sobrepasa a esta. Al obtener un alta diferencia de **S/N**, la medición será mas precisa.

²⁵ RUFFA Francisco, Capítulo Control y Calidad sonora, Mediciones Acústicas.

²⁶ Ibid.

²⁷ Ibid.

²⁸ Ibid.

²⁹ Ibid.

- *EDT (Early Decay Time)*³⁰

Es seis veces el tiempo que transcurre desde que el emisor deja de irradiar energía, hasta que el nivel de presión sonora cae **10 dB**. si la sala posee una perfecta difusión el **EDT** es igual Al **RTmid**.

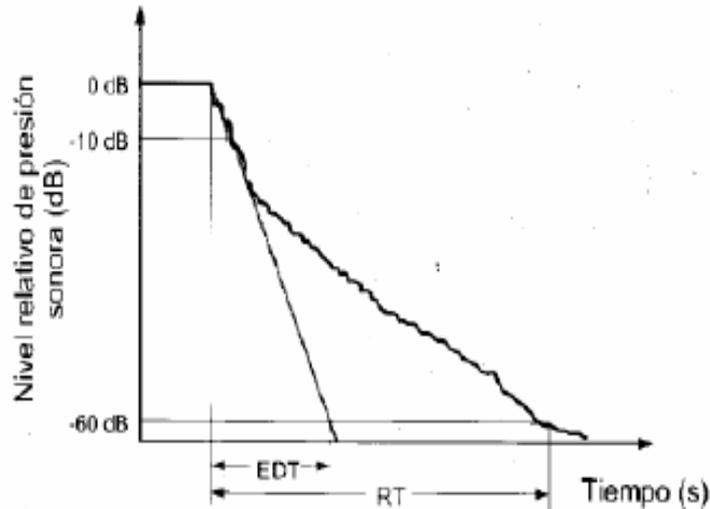


Fig 11

Representación grafica del EDT y RT60

T15 y T20 son seis veces el tiempo que transcurre desde que el emisor deja de irradiar energía, hasta que el nivel de presión sonora cae de **-5 a -20** y de **-5 a -25** respectivamente.

- *IDTG (Initial Time Delay Gap)* (11)

Tiempo que existe entre el sonido directo y la primera reflexión, y es el parámetro que otorga la impresión subjetiva de intimidad acústica.

³⁰ VALLETA Pedro, Ingeniería Acústica e Insonorización, Inidad 5 Diseño de Teatros y Salas.

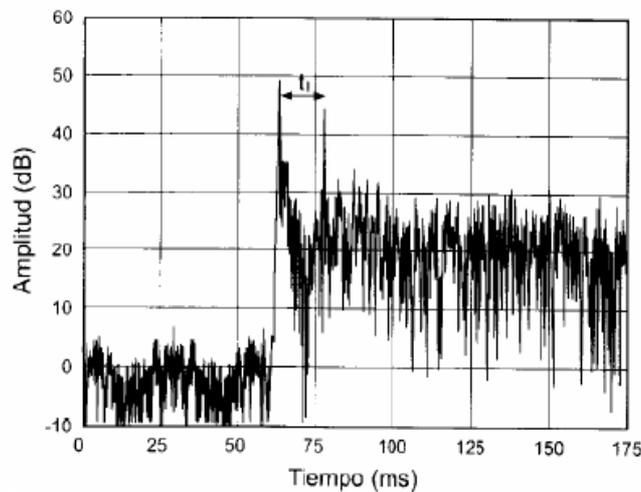


Fig12

Curva de decaimiento energético destacando la llegada del sonido directo
Y de la primera reflexión significativa.

- *Brillo (Br)*³¹

La relación de las sumas del tiempo de reverberación en frecuencias altas (**2KHz – 4KHz**) y las sumas de del tiempo de reverberación en frecuencias medias (**500Hz – 1kHz**), generan un sonido claro y rico en armónicos.

- *Calidez*³²

La relación de las suma del tiempo de reverberación en frecuencias bajas (**250Hz – 500Hz**) y las sumas de del tiempo de reverberación en frecuencias medias (**500Hz – 1kHz**) proporcionan suavidad y riqueza en graves generando la melosidad de la música.

³¹ VALLETA Pedro, Ingeniería Acústica e Insonorización, Inidad 5 Diseño de Teatros y Salas.

³² Ibid

- *Intimidad Acústica*³³

Esta directamente relacionada con el **inicial time delay gap (ITDG)** según el acústico **Barron** la intimidad de un recinto se denomina como el grado de conexión entre el oyente y la orquesta, es decir si el oyente se siente inmerso en la orquesta o distante de la música que esta escuchando

- **Sonoridad (G)**³⁴

se define como la diferencia entre el nivel medido de presión sonora generado por una fuente en un determinado punto de la sala y el nivel medido de presión sonora generado por la misma fuente situada al aire libre a una distancia de **10 metros**. Ambos niveles se miden en las bandas de frecuencias entre **125 Hz y 4000Hz** y aplicando la misma potencia a la fuente sonora.

2.1.6 Aislamiento Acústico

*2.1.6.1. Introducción*³⁵

Los ruidos generados en un recinto se propagarán al entorno del mismo, independientemente de nuestros deseos. La transmisión de esos “sonidos no deseados”, se producirá por diversas vías. El primer paso deberá ser identificar los caminos de transmisión, y luego determinar como se debe aislar el recinto que nos interesa.

El sonido que arriba a un recinto se puede transmitir por dos vías que son por vía aérea, siendo las fuentes de generación más comunes, el ruido de tránsito, las voces, los sistemas de ventilación, etc. y por vía estructural (vía sólida), normalmente generado por vibraciones e impactos, producto de pasos, portazos, golpes, cañerías, motores, etc.

³³ VALLETA Pedro, Ingeniería Acústica e Insonorización, Inidad 5 Diseño de Teatros y Salas.

³⁴ Ibid.

³⁵ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Aislamiento.

La tarea del aislamiento es que por medio de unas curvas llamada la curva **TI bruta o in situ** (Transmission Loss) y la **curva STC** (Sound Transmission Class), se pueda determinar el comportamiento de transmisión del sonido de una pared, una ventana simple o doble, un material acústico y también el diseño de uno de estos elementos para cumplir con una cantidad de aislamiento deseado en decibeles.

2.1.6.2. *Trasmission Loss (Perdida por Transmisión)*³⁶. Es la relación logarítmica entre la potencia incidente sobre la pared de área **SW** y la potencia acústica que “radia” la pared hacia el recinto **2**. Hay dos clases de pérdida por transmisión que son la **TL** bruta y la **TI in Situ**.

- *TI Bruta (Transmission Loss Bruta)*³⁷

Se define la TL bruta como la diferencia entre el nivel de ruido del recinto emisor y el nivel de ruido transmitido en el recinto receptor.

$$TL = SPL1 - SPL2$$

Ecuación 6

Representación matemática de la TL bruta

Donde:

SPL1= Nivel de presión sonora en el recinto emisor

SPL2= Nivel De presión sonora en el recinto receptor

- *TL in Situ (Transmisión Loss In Situ)*³⁸

Se tiene en cuenta la superficie del tabique divisorio o pared y el tratamiento acústico del recinto receptor, dando de esta manera una perdida por transmisión mucho más exacta y precisa.

³⁶ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Aislamiento.

³⁷ Ibid.

³⁸ Ibid.

$$TL = SPL1 - SPL2 + 10 \log (SW/A)$$

Ecuación 7

Representación matemática de la TL in situ

Donde:

$SPL1$ = Nivel de presión sonora en el recinto emisor

$SPL2$ = Nivel de presión sonora en el recinto receptor

SW = Superficie del tabique divisorio

A = Tratamiento acústico del recinto receptor

- *Transmisión por Flanqueo*³⁹

Al considerar la potencia transmitida al recinto receptor por medio de los pasos laterales, el aislamiento real será menor que el expresado anteriormente.

Teniendo en cuenta la transmisión lateral, también llamada **flanqueo**, será:

$$TL' < TL$$

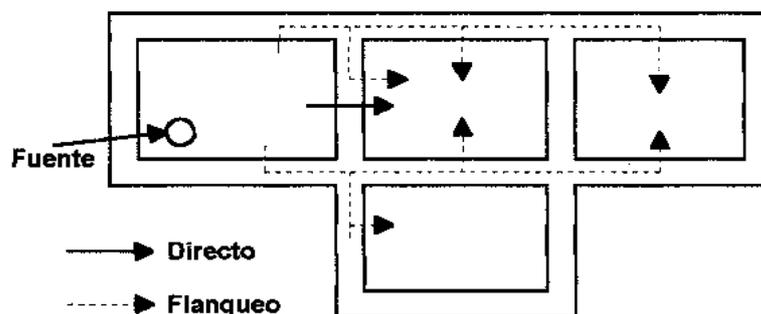


Fig 13

Muestra distintos caminos de transmisión del sonido entre recintos

- *Clasificación de la transmisión del sonido (STC)*⁴⁰

La Asociación Americana de Prueba de Materiales (**ASTM**), realizó una clasificación de paredes según su **TL**, por medio de un perfil normalizado que se denomina **STC**. Básicamente, esta clasificación permite, que con un solo número, se pueda determinar el comportamiento de un material.

³⁹ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Aislamiento.

⁴⁰ Ibid.

Los **TL** correspondientes a una partición, medidos por tercios de octavas entre las frecuencias de **125 y 4000 Hz.**, son comparados con dicho perfil y normalizados en coeficientes **STC**.

Para lograr una clasificación **STC** determinada, la curva del material no debe apartarse más de **2 dB** de cualquiera de los perfiles y sólo se permiten **8 dB** de máximo para una banda.

La clasificación obtenida es la correspondiente a la indicación del perfil normalizado a **500 Hz**.

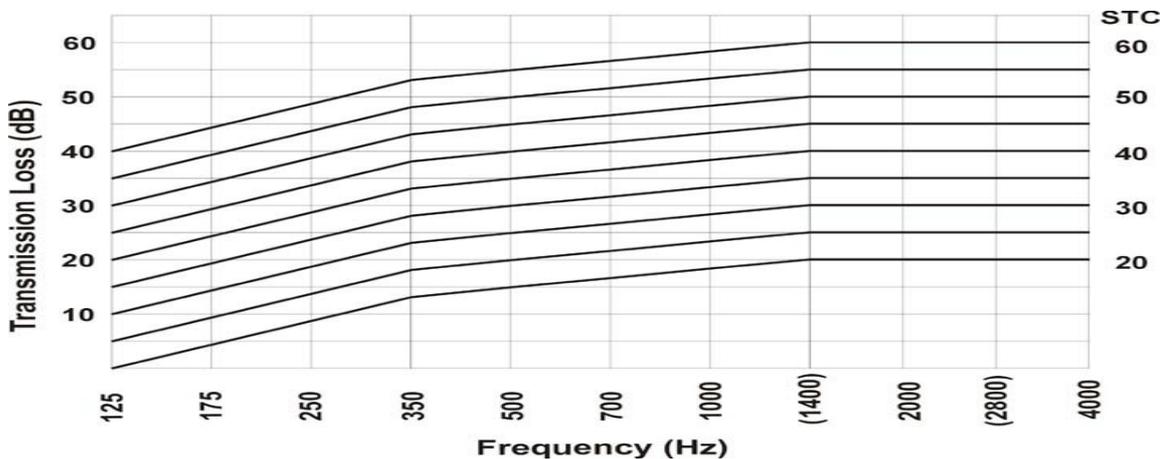


Fig 14

Diferentes Curvas STC en 1/3 de octava

2.1.7 Propiedades del sonido

2.1.7.1. *Absorción del sonido*⁴¹ Cuando el sonido impacta sobre una superficie, parte de su energía es reflejada, parte es absorbida y parte es transmitida a través de ella como lo muestra la **Fig 15**.

⁴¹ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Absorción.

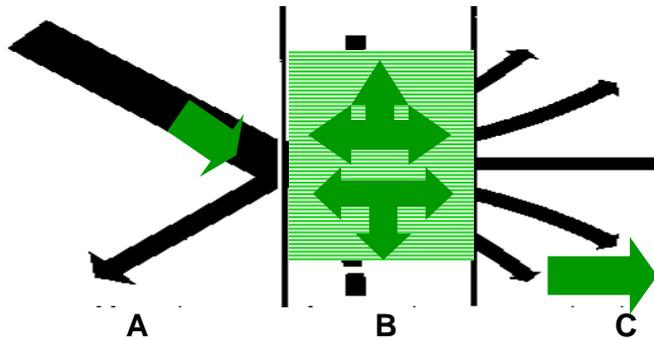


Fig 15

A) Reflexión, B) Absorción Y C) transmisión

Se llama absorción del sonido, a la propiedad de los materiales, estructuras y objetos, de convertir energía sonora en calor. Este efecto puede producirse por propagación en el medio, o por disipación cuando el sonido incide sobre su superficie.

2.1.7.2. *Disipación de la Energía Sonora*⁴² La ley de conservación de la energía dice que ésta no puede desaparecer ni destruirse, por lo que es lógico que cambie de forma. En el caso de la energía sonora, las vibraciones de las moléculas de aire, se transformarán en calor, que es en definitiva, otra forma de energía.

La **Fig 16** representa el corte de una pared de ladrillo revestida con un material acústico.

La acción del sonido **S**, incidente sobre la pared, tendrá tres efectos:

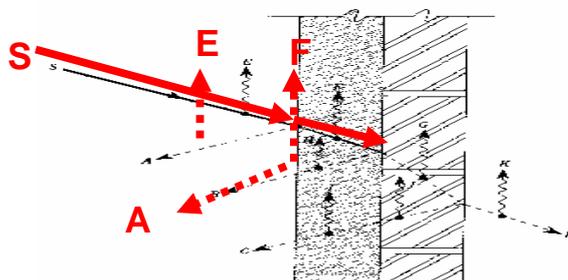


Fig 16

Representa el Corte de una pared de ladrillo revestida con un

⁴² RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Absorción.

Material acústico

- Una parte se reflejará en la dirección de **A**.
- Otra, se disipará en el aire en forma de calor (**E**), efecto éste más apreciable en altas frecuencias.
- El resto del sonido penetrará el material, cambiando su dirección, por tratarse de uno más denso, y disipando parte de su energía nuevamente en calor (**F**).

Cuando esta señal encuentre la pared de ladrillos, nuevamente una parte se reflejará disipando calor y otra parte se refractará cambiando de dirección. Este proceso se repetirá en forma continua con sucesivos cambios de dirección, reflexiones, refracciones y pérdidas de energía. Afortunadamente, todas estas pérdidas y cambios en la dirección del sonido, no son necesarios para resolver problemas prácticos, pero ayudan a entender el comportamiento del mismo en los materiales.

*2.1.7.3. Evaluación de la absorción de sonido*⁴³ Se define absorción como: "El comportamiento de un material acústico en presencia de energía sonora, por lo cual, parte de la misma se transforma en otro tipo de energía, usualmente calor". Se dice que el campo reverberante dentro de un recinto depende de la relación entre la energía incidente y la energía absorbida en cada una de las reflexiones. Esta relación es un coeficiente llamado coeficiente de absorción, que se expresa como:

$$\alpha = E_{\text{abs}} / E_{\text{inc}}$$

Ecuación 8

Representación matemática del coeficiente de absorción

Donde:

⁴³ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Absorción.

E_{abs} = Energía absorbida por el material.
 E_{inc} = Energía incidente sobre el material.

El coeficiente expresa la energía absorbida por unidad de área del material, variando su valor con la frecuencia.

Se especifican en unidades de absorción por metro cuadrado o por pie cuadrado (según el sistema adoptado), a las frecuencias de **125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz.**

Esta evaluación deberá hacerse sobre cada material que compone el recinto.

2.1.7.4. Absorción resistiva⁴⁴ La absorción resistiva es aquella que proporcionan los materiales porosos como alfombras, cortinas, lana de vidrio, etc. cuando un campo sonoro atraviesa el material, este tipo de absorción es óptimo para frecuencias medias altas y altas.

El material poroso es un absorbente que debido a su forma y espacio entre sus intersticios absorbe energía transformándola en calor. Cuando el sonido incide sobre un material poroso, las fibras de este empezaran a vibrar mas o menos de forma limitada dependiendo del espacio que haya entre cada fibra. , estas vibraciones generaran calor. Es decir ha medido que la onda sonora atraviesa las fibras del material, esta ira perdiendo energía que se va transformado calor.

Existe una gran variedad de materiales porosos como esponjas, telas, alfombras, etc. todos estos materiales posee un comportamiento distinto debido a la distribución de las fibras. Como se menciona anteriormente si las fibras se hayan muy separadas no habrá suficiente fricción por lo tanto no podrán disipar la energía en calor y por el contrario si están muy apretadas no habrá espacio para vibrar. La efectividad de estos materiales depende de su densidad, espesor y su

⁴⁴ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Absorción.

espacio entre las fibras estos materiales tienen un buen comportamiento para altas frecuencias y algunas frecuencias medias.

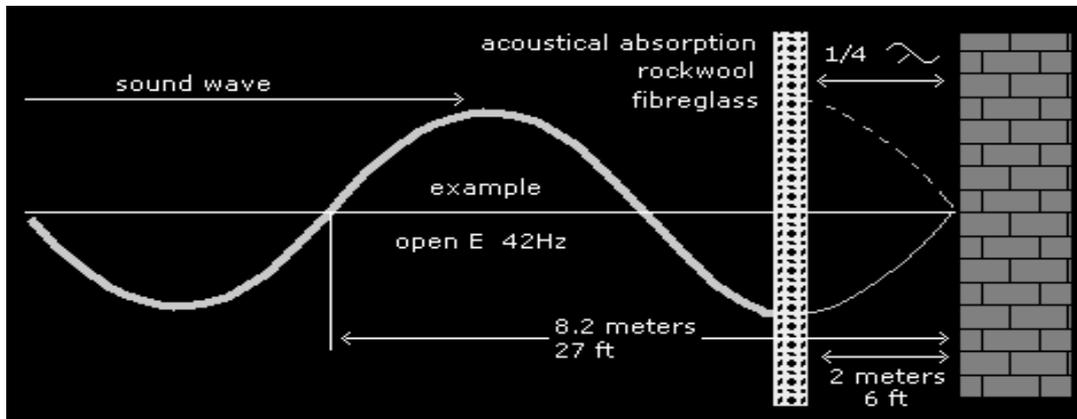


Fig 17

Representación, de la máxima absorción de energía de la onda incidente, Efectuada por un material el cual esta a $\lambda/4$ de distancia de la pared.

2.1.7.5. *Absorción Reactiva*⁴⁵ Los materiales porosos, no son efectivos para absorber las bajas frecuencias, por lo cual se debe recurrir a otros sistemas los cuales por principio de resonancia, permiten absorber de forma adecuada las frecuencias bajas, entre los cuales están las trampas de graves, los resonadores de placa o membrana, resonador helmholtz entre otros.

Las trampas de graves son cavidades que poseen una profundidad equivalente a $\lambda/4$

de la frecuencia que se desea atenuar, el principio de funcionamiento de estas trampas se relaciona con la velocidad de las partículas y la presión sonora presente en la boca y en el fondo de esta. En la boca de la trampa la velocidad es máxima y la presión es 0 y en el fondo de la trampa la presión es máxima y la velocidad es cero, esto ocasionara que el panel semirigido que esta en la boca ofrecerá mayor fricción a las partículas, provocando de esta manera mayor

⁴⁵ RUFFA Francisco, Capítulo Acústica aplicada, Absorción.

absorción y además de que exista presión igual 0 en la boca, ocasionara un efecto de aspiradora hacia la trampa de graves.

Los resonadores de placa o membrana son sistemas que constan de una membrana con densidad superficial, la cual esta separada de la pared por una cavidad de aire. Estos resonadores funcionan por principio de resonancia es decir cuando el sonido incidente golpea en la membrana esta vibrara a una determinada frecuencia conocida como la frecuencia de resonancia del sistema. Convirtiendo parte de la energía incidente en energía mecánica para luego ser disipada en calor. La absorción dependerá del factor de amortiguamiento de la membrana es decir a mayor amortiguación habrá mas absorción de energía y viceversa.

El resonador de helmholtz es un elemento mecano acústico, en donde el volumen de aire contenido en el tubo seria la masa del sistema y el volumen de aire contenido en el interior seria la compliancia del sistema. Este sistema posee una frecuencia natural o de resonancia la cual dependerá del volumen de aire y el diámetro del tubo. El ancho de banda de absorción dependerá de la fricción que ofrezca el sistema.

2.1.7.6. Reflexión del sonido⁴⁶ En el momento que un recinto es excitado por una fuente sonora, las ondas sonoras viajan en todas las direcciones, debido al choque de las ondas con distintas superficies y obstáculos, la onda sonora chocante será reflejada y así la dirección que llevaba esta cambiara.

- *Reflexiones en superficies planas.*⁴⁷

Cuando los frentes de onda esféricos de una onda sonora golpea una superficie plana como una pared, estos frentes de ondas son reflejados y devueltos hacia la fuente como lo muestra la figura

⁴⁶ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Capítulo 10 Reflection of Sound.

⁴⁷ Ibid.

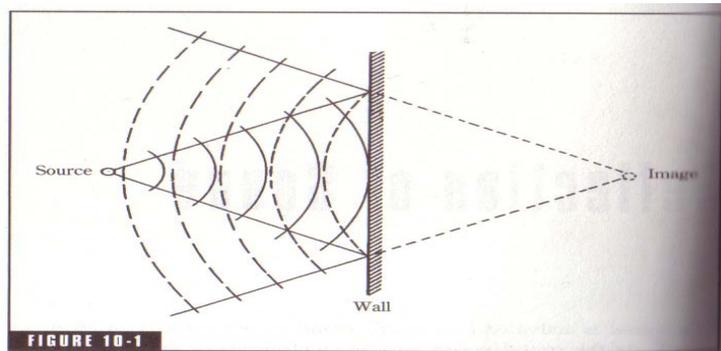


Fig 18

Reflexión del sonido en superficies plana.

Análogamente, (cuando la luz golpea un espejo), los frentes de onda reflejados actúan como si fueran originados por una fuente sonora imaginaria, llamada imagen sonora (sound image).

Esta sound image o imagen sonora, esta situada a la misma distancia que se encuentra la fuente sonora original, pero detrás de la pared. Cuando el sonido esta confinado en un recinto rectangular, se crearan seis sound image o imagen de sonido en las seis caras o superficies del recinto. Así que si se quiere saber la intensidad sonora en un solo punto, se deberá tener en cuenta la contribución de energía de las seis sound image.

- *Ley de Snell o del espejo.*⁴⁸

El ángulo formado entre una onda incidente con respecto a la horizontal de una superficie plana, es igual al ángulo de la onda reflejada con respecto a la misma superficie. Véase la **fig19**.

⁴⁸ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Capítulo 10 Reflection of Sound.

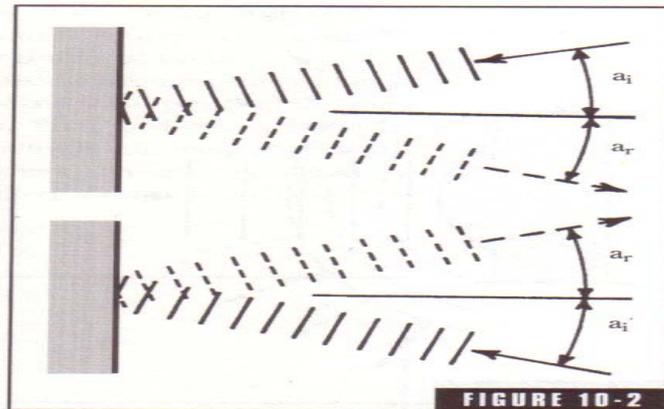


Fig 19

Angulo de una onda incidente en una superficie, es igual al ángulo reflejado en la misma superficie.

- *Reflexiones en superficies cóncavas.*⁴⁹

Los frentes de onda esféricos de una fuente puntual tienden a ser frentes de ondas planos a grandes distancias de la fuente. Cuando los frentes de ondas planas de un sonido golpean sobre una superficie convexa, la energía será desparramada en diferentes direcciones, como lo muestra la **Fig 20**, conllevando una difusión del sonido incidente.

⁴⁹ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Capítulo 10 Reflection of Sound.

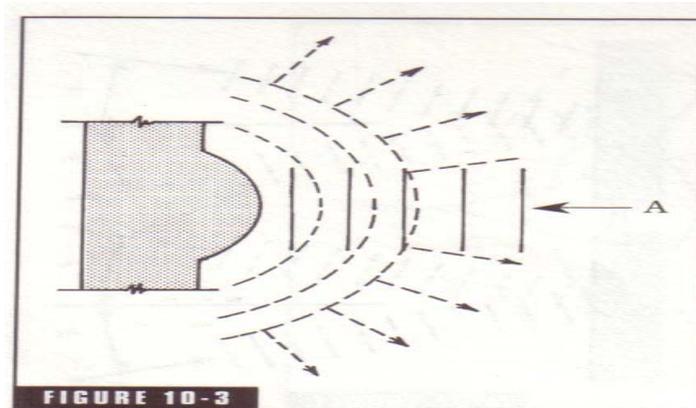


Fig 20

Los frentes de onda plana, cuando golpean contra un superficie convexa, el sonido se dispersara con un ángulo ancho si la irregularidad de la curva es larga comparada con la longitud de onda de la onda impactante.

- *Difusión del sonido*⁵⁰

Es el sonido que en su propagación se encuentra con superficies reflectivas las cuales al tener diferentes profundidades cambian las distintas partes del frente de onda, esto ocasiona una red de interferencias que cambian las características de direccionalidad del frente de onda, es decir que la energía se derramara o distribuirá de forma uniforme en el espacio y en el tiempo generando un sonido envolvente, también genera un campo uniforme sin gradientes de presión y elimina reflexiones concentradas y ecos.

Para crear un campo lo mas difuso posible, las irregularidades en frecuencia y espacio obtenidas en un análisis de respuesta en frecuencias deben ser mínimas, el decrecimiento del tiempo de reverberación deberá ser suave y perfectamente exponenciales es decir una línea recta en su representación logarítmica, el tiempo de reverberación deberá ser el mismo en cualquier punto del recinto es decir la distribución de energía en cada punto del recinto es similar e igual para cada

⁵⁰ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Difusión del sonido.

frecuencia y la pendiente de tiempo de reverberación debe ser similar para diferentes frecuencias.

El cálculo que permite obtener una buena difusión del sonido en un recinto, es generalmente complejo, más aún si se trata de ambientes pequeños que necesitan buena difusión en frecuencias bajas.

Estudios de grabación, salas de control y salas para escuchar música, presentan espacios modales en frecuencias inferiores a 300 Hz., donde el campo se halla muy lejos de ser difuso.

2.1.8 Modos de resonancia

*2.1.8.1. Introducción*⁵¹ La teoría de modos analiza la presencia de un fenómeno común en los recintos. Estas teorías, se aplican con éxito en recintos pequeños de formas geométricas regulares. Es decir que, el comportamiento modal vinculado con las formas y dimensiones de salas de **200 a 500** personas, estudios de grabación, controles, etc., se puede predecir y eventualmente corregir.

Se verifica que, entre dos puntos de una sala, el sonido no se transmite en forma continua con una respuesta plana perfecta. La respuesta acústica del recinto se presenta en paquetes de frecuencias. Una medición de esta, dará una curva del tipo de la **fig 21**.

⁵¹ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de resonancia.

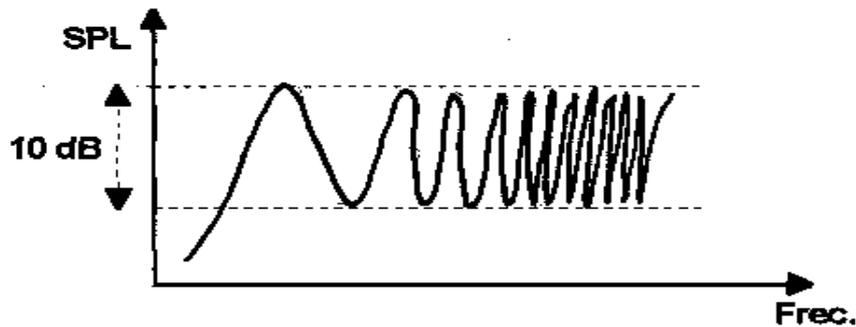


Fig 21

Curva de medición de la respuesta en frecuencia de un recinto.

Es normal que cada pocos ciclos, aparezcan picos y valles con excursiones de **10 dB** o más, que irán aumentando en densidad, a medida que se incrementa la frecuencia. Se debe por lo tanto, analizar y corregir estas variaciones.

Si máximos y mínimos de la figura anterior se hallan razonablemente juntos, es decir con Δf pequeños, el oído no alcanzará a percibirlos y lo interpretará como una buena respuesta.

Entre dos paredes paralelas, hecho muy común en recintos pequeños como el de este caso, el sonido va y viene por múltiples reflexiones, por lo que es factible que se produzcan ondas estacionarias las cuales son generadas por las interferencias constructivas entre la onda incidente y la reflejada generando picos y valles estáticos que se mantienen fijos en el campo sonoro.

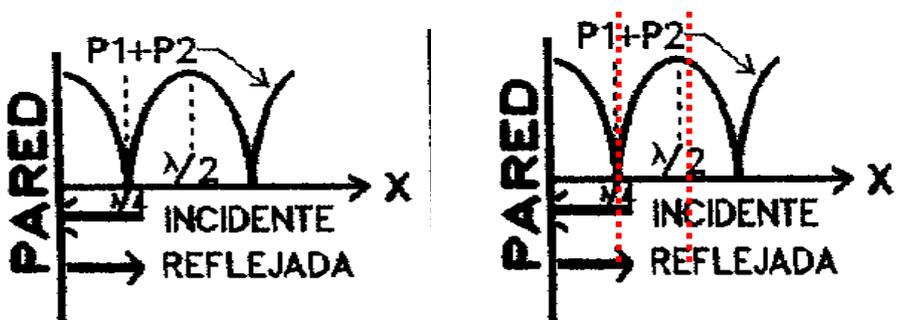


Fig 22

Representación de una onda cuando incide en una superficie y esta es reflejada

Ocasionando una onda estacionaria.

Si la separación entre paredes coincide con $\lambda/2$ de una determinada frecuencia, resultará un recorrido total de un λ completo, produciéndose un pico de resonancia que reforzará esa frecuencia en particular.

Considerando que un recinto posee, como mínimo, seis superficies, éste efecto se repetirá para todas las combinaciones posibles de ellas y para aquellas distancias que coincidan con valores de λ , 2λ , 3λ , etc.

Si ahora nos alejamos a una distancia de un cuarto de onda de la pared, encontraremos a la onda incidente $1/4$ adelantada a la reflexión y a la onda reflejada, $1/4$ de onda después. Es decir, difieren entre ellas $1/2$ longitud de onda, por lo que se encuentran en oposición de fase. Para el caso teórico que estamos analizando, habrá cancelación completa.

En la realidad, para materiales que no sean totalmente reflejantes, existirá un mínimo de la onda estacionaria para $1/4$ de longitud de onda de la pared y sus múltiplos impares.

Si se piensa que una gran cantidad de recintos, tienen formas equivalentes a paralelepípedos rectangulares, estos refuerzos ocurrirán a tres frecuencias básicas correlacionadas con sus dimensiones (alto, largo y ancho), más sus múltiplos, más los infinitos caminos posibles involucrados con reflexiones que retornen a su origen.

2.1.8.2. Frecuencias modales⁵² Cuando se presenta un ruido de banda ancha en un recinto; este vibrará en dadas frecuencias, a estas frecuencias se les denomina frecuencias modales.

⁵² RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de resonancia.

2.1.8.3. *Representación matemática de los modos de resonancia o frecuencias modales*⁵³ La expresión matemática que permite hallar todos los modos posibles en un recinto, dependiendo de sus dimensiones esta dada por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{C}{2} * \sqrt{\left(\frac{I_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{I_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{I_z}{L_z}\right)^2}$$

Ecuación 9

Representación matemática de las frecuencias modales

Donde:

C= velocidad del sonido

Lx=largo del recinto

Ly ancho del recinto

Z=Altura del recinto

Ix, Iy, Iz=numero enteros y positivos (0,1,2,,n)

2.1.8.4. *Tipos de modos de resonancia o frecuencias modales*

- *Modos axiales (dominantes)*⁵⁴

Son aquellos que involucran reflexiones sobre dos superficies vinculadas con las tres dimensiones principales del recinto (ancho, largo y alto), estableciéndose a partir de dos ondas que se propagan en forma paralela a cada uno de los ejes. Estos modos son los más importantes y fáciles de predecir, dado que ocurrirán a todas las frecuencias y sus múltiplos cuya longitud de onda sea igual a la mitad de las tres dimensiones principales.

⁵³ RUFFA Francisco, *Acústica Aplicada, Modos de Resonancia.*

⁵⁴ *Ibid.*

- *Modos tangenciales*⁵⁵

Son aquéllos vinculados con las reflexiones sobre dos pares de superficies opuestas, por lo que involucran cuatro superficies con un total de cuatro ondas. En cada reflexión, perderán parte de su energía debido a la absorción, por lo que tendrán menor peso que los axiales (**3 dB**).

- *Modos oblicuos*⁵⁶

Son aquéllos vinculados con las reflexiones sobre las seis superficies del recinto, con un total de ocho ondas en el trayecto, por lo que tendrán menor peso aún que las axiales (**6dB**).

Estos modos son de frecuencias más altas que el menor modo axial.

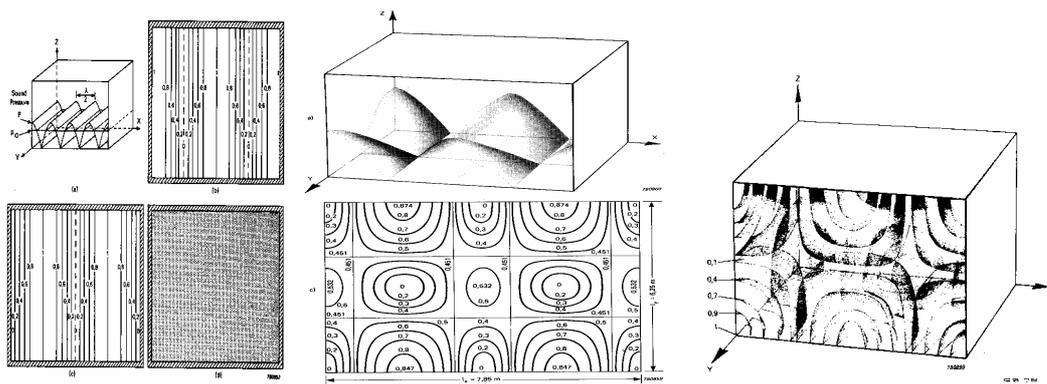


Fig 23

- a) Representación modos axiales b) Representación modos oblicuos
c) Representación modos tangenciales

2.1.9 Micrófonos

2.1.9.1. *Micrófonos Dinámicos*⁵⁷. Los micrófonos dinámicos funcionan bajo el principio de generar una tensión de salida mediante inducción electromagnética.

⁵⁵ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de Resonancia.

⁵⁶ Ibid.

Un conductor rígido moviéndose dentro de un campo magnético, producirá una fuerza electromotriz inducida de magnitud y dirección específica.

Los micrófonos dinámicos se subdividen en dos tipos: de **bobina móvil** y de **cinta**.

- *Micrófono dinámico de bobina móvil*⁵⁸

Este micrófono consiste, generalmente, en un diafragma como lo muestra la **fig 24** hecho de una delgada película de poliéster de aproximadamente **0,35 mm** de espesor, conocida normalmente por su nombre comercial "**Mylar**" y fabricado por la firma Dupont.

En la parte posterior del diafragma se encuentra fijada una pequeña bobina de alambre de cobre muy fino, denominada en inglés **voice coil**, suspendida en un núcleo de alta densidad de flujo magnético (aproximadamente **10.000 Gauss**) y alojada en un entrehierro de apenas **0,15 mm**.

Cuando, por efecto de la variación de la presión sonora, se mueva el diafragma **(A)**, la bobina **(B)** se desplazará en forma proporcional a la amplitud y frecuencia de la misma, cortando las líneas del campo magnético producido por el imán permanente **(C)**. Aparecerá entonces una tensión de salida entre los

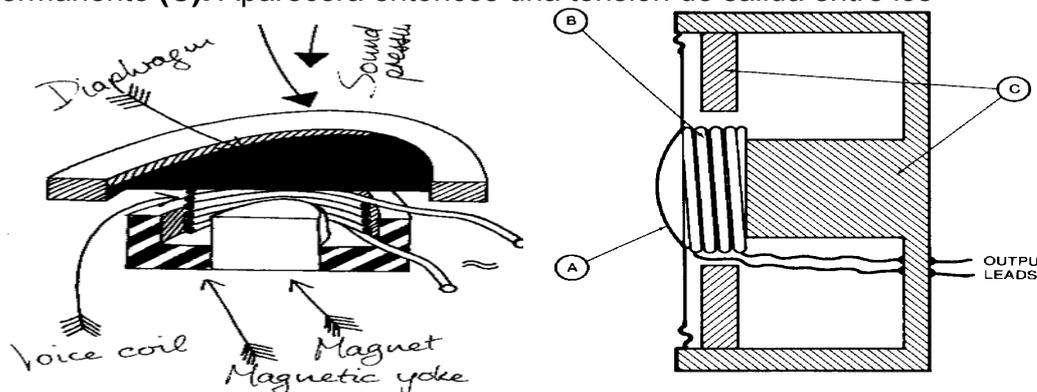


Fig 24

Representación grafica de un micrófono dinámico de bobina móvil

⁵⁷ RUFFA Francisco, Apunte de la electroacústica, Micrófonos, Tipos y Características.

⁵⁸ Ibid.

Terminales, con una magnitud y dirección específica, análoga a la presión acústica.

- *Micrófonos de cinta*⁵⁹

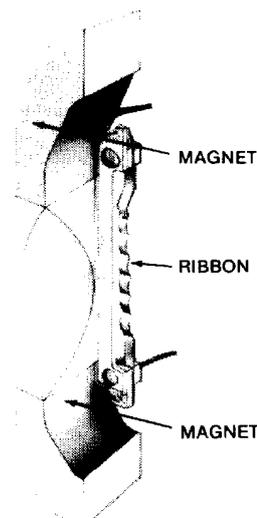
El micrófono de cinta opera, al igual que el de bobina móvil, por inducción electromagnética.

En este caso, el diafragma y su bobina asociada, son reemplazados por una cinta de aluminio extremadamente fina (**aprox. 2 Mm.**), corrugada a lo largo, en forma transversal o longitudinal. La membrana de cinta, suspendida dentro de un campo magnético intenso generado por un imán permanente, se halla expuesta al campo sonoro.

Cuando las variaciones de presión desplazan al diafragma, la cinta corta las líneas de campo producidas por el imán, esto inducirá una tensión en la misma, proporcional en amplitud y frecuencia a la señal acústica.

El micrófono de cinta está clasificado como de velocidad o gradiente de presión, debido a que el movimiento de esta es el resultado de las diferencias de presión entre las caras anterior y posterior, es decir de la velocidad de las partículas de aire.

En el caso más general, ambas caras de la cinta se hallan expuestas al campo sonoro, por lo que serán sensibles al sonido proveniente de ambas direcciones axiales. Las ondas que incidan sobre la cara posterior producirán una señal eléctrica **180°** fuera de fase respecto a la anterior. Las ondas sonoras que lleguen a **90°** del eje producirán en ellas, una presión igual pero



⁵⁹ RUFFA Francisco, Apunte de la electroacústica, Micrófonos, Tipos y Características.

opuesta, dando como resultado una cancelación neta de la señal eléctrica.

El diagrama polar mostrará entonces una respuesta **bidireccional o de figura ocho**.

*2.1.9.2. Micrófonos de condensador*⁶⁰ A diferencia de los dinámicos, cuyo funcionamiento es debido a un campo magnético, los micrófonos de condensador o capacitor lo hacen a través de un campo eléctrico. Básicamente se trata de un capacitor, donde una de sus placas la constituye el propio diafragma, que varía su capacidad (entre 40 y 50 pF) en concordancia con el desplazamiento que le imprime la onda incidente.

Estos se subdividen en dos grandes tipos: los de **Polarización externa (*Phantom power*)** y los **Prepolarizados o Electret**.

La función de la tensión de polarización, es convertir el movimiento del diafragma del sistema en una tensión de salida de audio proporcional. Esta tensión es amplificada mediante un preamplificador de alta impedancia de entrada, normalmente un **JFET** o una válvula de vacío, localizado muy cerca de la cápsula y dentro del mismo cuerpo del micrófono.

- *Micrófono de condensador polarización externa (*Phantom Power*)*⁶¹

En este tipo de micrófono, las placas del condensador se conectan a polos opuestos de una fuente de corriente continua, generalmente de **48 Volts**, que provee la tensión de polarización para la cápsula. El circuito completo forma un divisor de tensión, donde la salida está tomada sobre un resistor de alto valor, conectado entre el negativo de la fuente y la placa fija. El positivo se halla conectado al diafragma. La carga en el capacitor es igual a la tensión de fuente por su capacitancia.

⁶⁰ RUFFA Francisco, Apunte de la electroacústica, Micrófonos, Tipos y Características.

⁶¹ Ibid.

- *Micrófono de condensador prepolarizado o electret*⁶²

El micrófono de condensador tipo **electret** opera igual que el de polarización externa, excepto que la carga necesaria para la polarización se encuentra incluida en el diafragma, o en la placa fija. Por este motivo no se requiere ningún tipo de fuente externa para cargar el capacitor.

De todos modos, la alta impedancia de salida debe ser reducida mediante un preamplificador y por lo tanto una batería o fuente desde la consola de audio para que lo alimente.

Una buena cápsula electret retiene su carga por un período de hasta diez años, pero puede decirse que tardaría de treinta a cien años en perder 3 dB de sensibilidad.

Este micrófono presenta el problema de que la membrana cargada no soporta la tensión mecánica de montaje necesaria para que su frecuencia de resonancia sea alta, típica de los de polarización externa. Una solución es reducir la tensión y sostener el diafragma en varios puntos, mediante un soporte acanalado. A pesar de que esta cápsula no posee la respuesta en alta frecuencia de los otros tipos de micrófonos de condensador, de polarización externa, su fabricación se justifica dado su bajo costo.

2.1.10 Grabación digital

- *Que es señal?*⁶³

Se le denomina a señal a la representación eléctrica de una onda acústica.

- *Que es audio?*

⁶² RUFFA Francisco, Apunte de la electroacústica, Micrófonos, Tipos y Características.

⁶³ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Cap. 6 Analog and Digital Signal Processing.

- *0. Niveles de referencia*⁶⁴

Los niveles de referencia de una señal de audio, se caracterizan por tres etapas que son:

El nivel de micrófono, la cual es una etapa en donde la onda acústica es capturada por el traductor de entrada en este caso un micrófono, y este convierte la onda acústica en una señal eléctrica, la cual posee una tensión de **5 milivoltios**. Debido a que esta señal es muy débil, esta debe pasar por un preamplificador, que en este caso es una consola, la cual se encarga de subir la tensión de la señal a **1.2 voltios**, a esta etapa se le denomina **nivel de línea**, por ultimo la señal debe pasar por un amplificador, el cual levanta la tensión de la señal a **20 voltios** o mucho mas dependiendo de la potencia que se cuente en el amplificador, a esta etapa se le denomina **nivel de parlante**, para que al final la señal se transduzca por una transductor de salida en este caso un parlante o cabina.

- *Audio digital*⁶⁵

Se entiende por audio digital a la (digitalización) de sonido real, ya sea procedente de voces, instrumentos musicales acústicos o electrónicos, grabaciones, etc, en forma de ficheros informáticos.

Esta digitalización, también denominada **muestreo (sampling)**, se realiza mediante los denominados **ADC**, o **Convertidores de Analógico a Digital**, circuitos que, a una determinada frecuencia, toman "fotografías" del sonido, que convierten en números que después son almacenados en la memoria del ordenador (RAM o disco duro, dependiendo de su tamaño)

Pero al hablar de Audio digital no hay que olvidar que no sirve de nada tener el sonido digitalizado en el ordenador si no podemos escucharlo. Para ello,

⁶⁴ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Cap. 6 Analog and Digital Signal Processing,

⁶⁵ Ibid.

necesitamos hacer el proceso inverso al del muestreo: la **conversión de digital a analógica**, encargada a los circuitos **DAC**. Además de convertir los números almacenados en el ordenador a una señal eléctrica, se debe filtrar ésta para obtener una señal válida. En la calidad de dichos filtros reside, en muchas ocasiones, la calidad de sonido de una tarjeta de muestreo, obteniendo en algunas un nivel de ruido de fondo que las hace inútiles para usuarios exigentes.

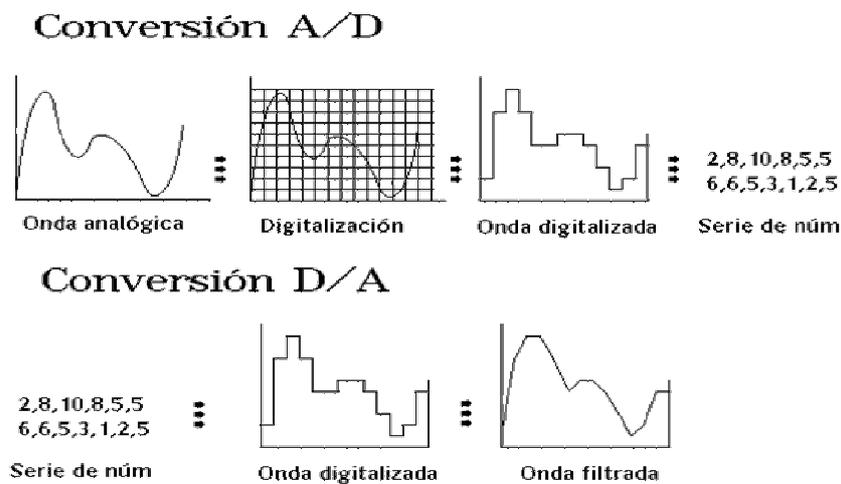


Fig 25

Representación grafica de la digitalización de audio.

Como es de suponer, entre los procesos de digitalización y escucha, tenemos acceso a una variada gama de manipulaciones del sonido, que nos permiten obtener resultados imposibles, o, al menos, muy difíciles de realizar por otros métodos, sin necesidad de usar un caro equipo especializado.

- *Parámetros de muestreo*⁶⁶

Para medir la calidad del muestreo, se deben tener en cuenta dos parámetros: la **frecuencia de muestreo** y la **resolución**.

⁶⁶ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Cap. 6 Analog and Digital Signal Processing, Página Web www.shure.com/tutorials.

- *Frecuencia de muestreo*⁶⁷

Se refiere al número de mediciones que se realizan por segundo. Cuanto mayor sea esta frecuencia, más parecido será el resultado obtenido al sonido original. Según el **teorema de Niquist**, la frecuencia mínima de muestreo debe ser el doble del ancho de banda de la señal original. En términos más sencillos: Si el sonido original llega, en la zona de los agudos, a pongamos, **10.000 hertzios**, debemos muestrear a **20.000 hertzios**.

Dado que el oído humano es capaz de escuchar sonidos en el rango de **20 a 20.000 Hertzios**, aproximadamente, se ha elegido como frecuencia de muestreo más adecuada, la de **44,1 Khz.**, es decir, aproximadamente el doble de la frecuencia más aguda que se puede escuchar. Si se reduce la frecuencia de muestreo, se apreciara que el sonido es menos nítido, más apagado, porque perdemos frecuencias agudas

- *Resolución*⁶⁸

Hace referencia a la exactitud de las medidas efectuadas. Se mide en bits: si la resolución es de **8 bits** tenemos **256** niveles posibles. Si se amplía a **16 bit**, cada medida puede estar en un rango de **0 a 65.535**. Como se ve, la precisión en este último caso es mucho mayor.

De hecho, uno de los parámetros fundamentales para medir la calidad de un equipo **Hi-fi** es la llamada relación señal-ruido (**S/N**), indicada en decibelios. Si una platina de cassette alcanza unos **50-60 db**, y un reproductor de discos compactos llega a los **90 db**, se considera que por cada bit de resolución se añaden unos **6 db** a un mínimo de **6**, es decir, que **8 bits** equivalen a **54 db**, y **16 bit**, a unos **92 db**.

⁶⁷ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Cap. 6 Analog and Digital Signal Processing, Página Web www.shure.com/tutorials.

⁶⁸ Ibid.

Para tener un punto de referencia, podemos decir que los discos compactos graban la música con una frecuencia de muestreo de **44,1 KHz**, y una resolución de **16 bit**. Como se puede comprobar, esos parámetros ofrecen una calidad de sonido realmente buena.

- *Teoría Nyquist*⁶⁹

Desarrollado por **H. Nyquist**, quien afirmaba que “una señal analógica puede ser reconstruida, sin error, de muestras tomadas en iguales intervalos de tiempo. La razón de muestreo debe ser igual, o mayor, al doble de su ancho de banda de la señal analógica”.



Fig 26

Representación grafica del teorema de nyquist

La teoría del muestreo define que para una señal de ancho de banda limitado, la frecuencia de muestreo, f_m , debe ser mayor que dos veces su ancho de banda **[B]** medida en **Hertz [Hz]**.

$$F_m > 2 \cdot B$$

Ecuación 10

Representación grafica del teorema de Nyquist

Donde:

F_m = frecuencia de muestreo

B = Ancho de banda

⁶⁹ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Cap. 6 Analog and Digital Signal Processing, Página Web www.shure.com/tutorials.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 Condiciones que debe cumplir un campo sonoro difuso perfecto⁷⁰

Randall y Ward formularon las condiciones que deben cumplir un campo sonoro, para considerarlo perfectamente difuso. Sin embargo, es necesario decir, que la mayoría de ellas son, en la práctica, de muy difícil cumplimiento.

- Las irregularidades en frecuencia y espacio obtenidas en un análisis estable de respuesta en frecuencia, deberán ser insignificantes.
- La forma de decrecimiento del tiempo de reverberación, tendrá que ser suave, sin “golpes” significativos.
- Los decrecimientos deberán ser perfectamente exponenciales, es decir, líneas rectas en una representación logarítmica.
- El valor del tiempo de reverberación tendrá que ser el mismo en cualquier posición dentro del recinto.
- La pendiente del tiempo de reverberación deberá ser igual para diferentes frecuencias.
- La pendiente de decrecimiento tendrá que ser independiente de las características direccionales del micrófono de medición.
-

2.2.1.2. *Método de evaluación*⁷¹ La respuesta en frecuencia de un recinto puede ser trazada con ayuda de un generador de señales aplicado a un sistema de amplificación y un altoparlante, ubicado en un extremo del recinto. El registro debe ser realizado a través de un micrófono posicionado en diferentes lugares del mismo.

⁷⁰ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Difusión del sonido.

⁷¹ Ibid.

2.2.1.3. *Respuesta estable*⁷² La **Fig 27** se ha obtenido a través de un registrador gráfico y muestra la respuesta en frecuencia de un recinto de **12.000 pies cúbicos**. En este caso, el altoparlante se hallaba en un rincón del recinto y el micrófono en la diagonal más elevada del triedro, espaciado **30 cm.** de cada una de las tres superficies.

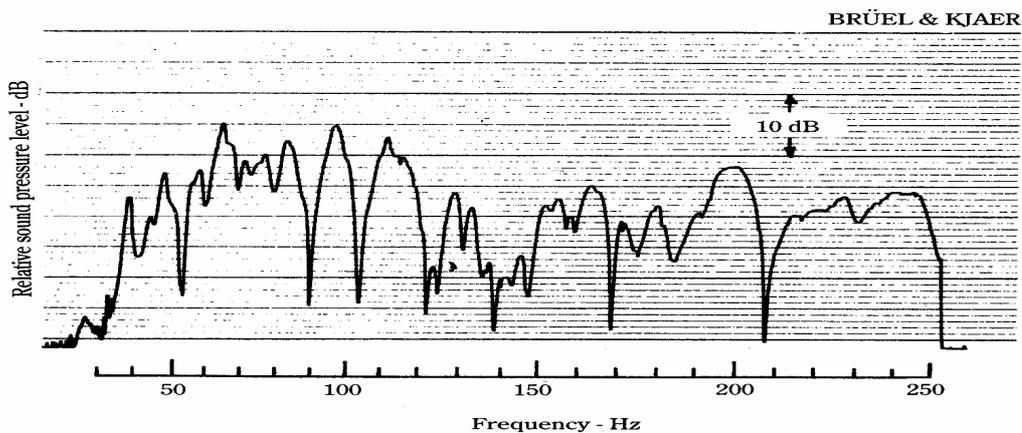


Fig 27
Respuesta en frecuencia de un recinto de 12.000 pies cúbicos

Estas posiciones se eligieron en razón de, que todos los modos del recinto terminan en ellas y todos deben ser representados en el registro. El rango de frecuencias se varió de **30 a 250 Hz.**

En este registro, se observa las siguientes características: Las fluctuaciones alcanzan a **35 dB** en el rango de **30 a 250 Hz.** Los modos son limitados y los picos evidencian ser modos simples, dado que el ancho de banda de modo en este recinto, se halla alrededor de **4 Hz.**

Los picos más anchos son el efecto combinado de muchos modos adyacentes. El incremento de señal entre **30 y 50 Hz,** se debe fundamentalmente a la respuesta del altoparlante.

⁷² Ibid.

Esta respuesta es típica, aún en los mejores estudios, y está indicando que el campo no es perfectamente difuso. Inclusive en una cámara anecoica, un registro de este tipo mostraría pequeñas fluctuaciones. Se puede observar entonces que en este caso, no se cumple el criterio de "Irregularidades insignificantes en frecuencia y espacio". De hecho, esto prácticamente no se cumple en ningún otro estudio de grabación.

2.1.1.4. *Forma de decrecimiento de T_{60}* ⁷³ La **Fig 28** permite comparar, para un mismo recinto, la forma de las curvas de **T60** a diferentes frecuencias. En general, la suavidad de las curvas aumenta a medida que se incrementa la frecuencia.

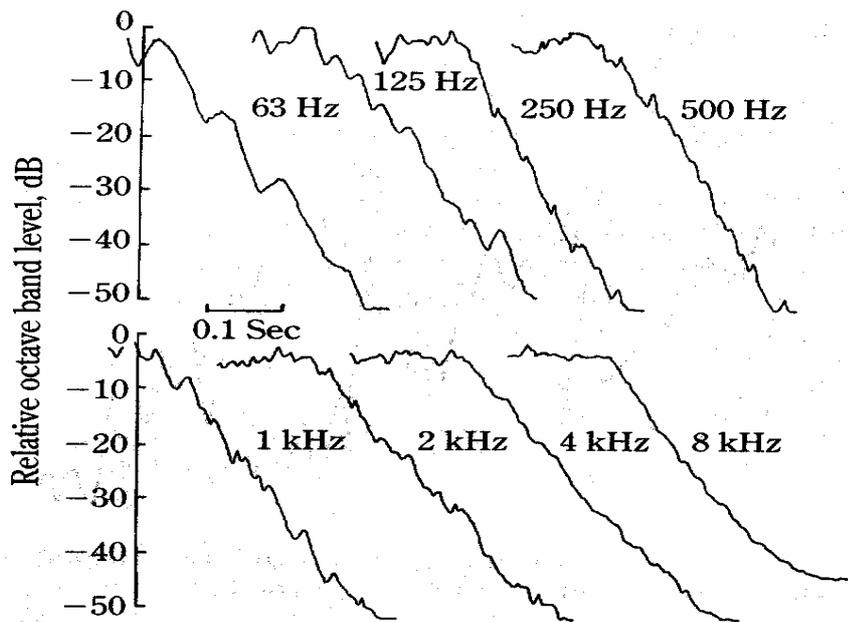


Fig 28
Curvas de tiempo de reverberación en diferentes bandas de frecuencia

⁷³ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Difusión del sonido.

Esto se debe, a que para cada octava, la cantidad de modos se incrementa enormemente con la frecuencia, por lo que a mayor densidad, más suave será el efecto promedio.

Podemos observar que las mayores irregularidades se encuentran en las octavas de **63 y 125 Hz**. De esto deducimos, que la información suministrada por los registros de baja frecuencia, son las que mejor indican el grado de difusión prevaeciente. Los equipos de medición de tiempo de reverberación que sólo muestran la pendiente promedio, sin dar la forma del decrecimiento, no son útiles para evaluar la difusión espacial.

2.2.1.5. *Decrecimiento exponencial*⁷⁴ Un decrecimiento exponencial es, básicamente, una línea recta en un diagrama logarítmico de nivel en función del tiempo. La **Fig 29** representa un decrecimiento de este tipo para la octava de **250 Hz**., donde claramente se pueden observar dos pendientes.

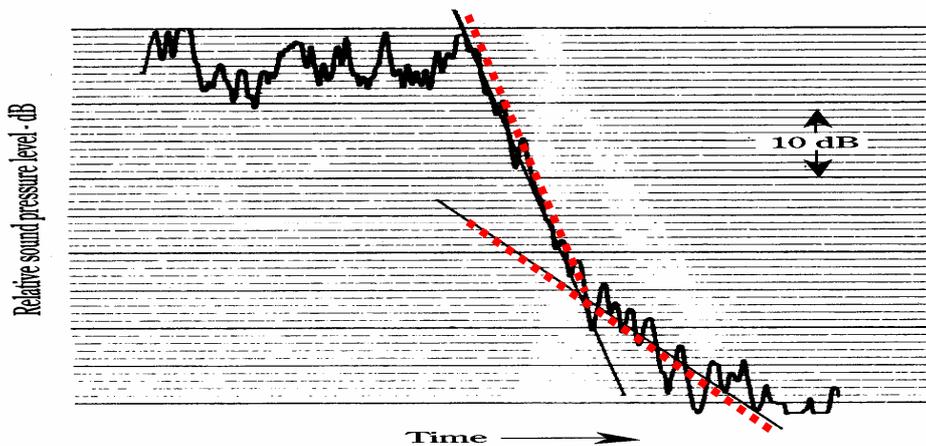


Fig 29

Decaimiento de una señal partido en dos por la acción de uno o varios modos de resonancia

⁷⁴ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Difusión del sonido.

La pendiente inicial, otorga un $T_{60} = 0,35$ s. y la final un $T_{60} = 1,22$ s. El lento decrecimiento final se produce una vez que se ha alcanzado niveles bajos, siendo muy probable que un grupo de modos o uno específico, haya encontrado baja absorción al incidir sobre el material absorbente en sus ángulos.

- *Uniformidad espacial del tiempo de reverberación (20)*

En un recinto, el tiempo de reverberación a una frecuencia determinada, es el promedio de múltiples mediciones, realizadas en diversas posiciones del mismo. Esto es lo mismo que admitir, pragmáticamente, que las condiciones de reverberación, dentro de él, difiere de lugar a lugar. La **fig 30**, muestra los resultados de las mediciones efectuadas en un estudio de video, de **620** metros cúbicos. Los múltiples usos de este espacio requirieron un T_{60} variable, que en este caso fue logrado con paneles abisagrados, que presentaban una cara absorbente en posición de cerrado y una reflexiva en posición de abierto.

A fin de medir el recinto, se trazaron múltiples pendientes de T_{60} , para tres posiciones del micrófono en condiciones de panel reflexivo y panel absorbente. Los círculos muestran valores promedios en ambos casos y las líneas punteadas el tiempo de reverberación promediado en cada una de las tres mediciones.

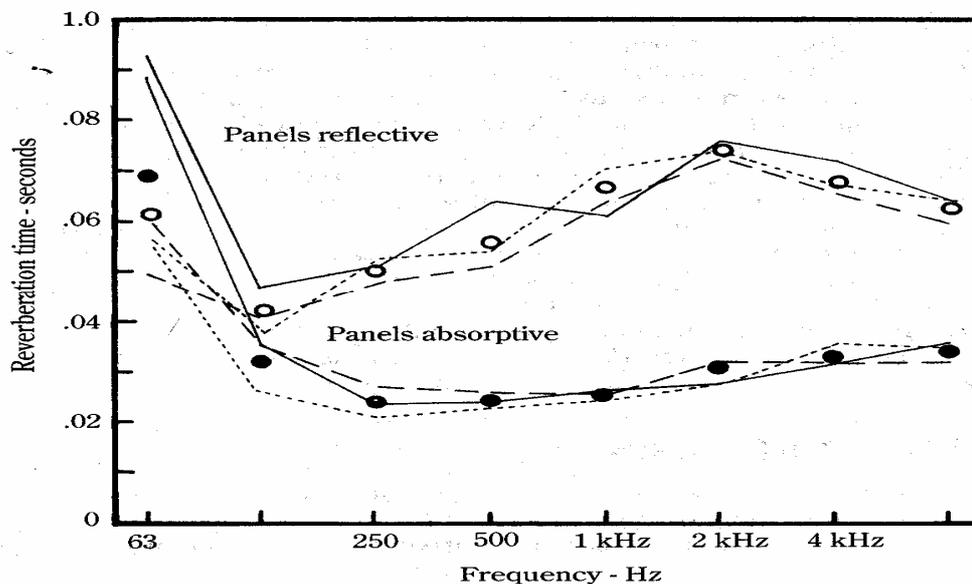


Fig 30

Curvas de tiempo de reverberación en un estudio de video con diferentes características acústicas

Es evidente que existe una variación considerable entre los valores, lo que está indicando que el campo sonoro no es homogéneo. Si bien esto es correcto en sí mismo, no significa que no existan otros factores que se deban tener en cuenta.

La incertidumbre al evaluar la pendiente en la curva de **T60**, también contribuirá a la dispersión de los valores, aunque este efecto debería ser relativamente constante de una posición a otra. Sería razonable pensar, que las variaciones en el tiempo de reverberación se hayan relacionadas, al menos parcialmente, con el grado de difusión espacial. El desvío Standard de los **T60**, puede otorgar una medida de la expansión de los datos, según fueron medidos en las distintas posiciones. Un método consistirá en calcular la desviación común de una distribución Gaussiana. En esas condiciones, el **68%** de los valores caerán dentro del desvío.

Dado que se sabe que las octavas de frecuencias altas, contienen una gran densidad de modos, lo que conduce a decrecimientos suaves del **T60**, podemos deducir, que a altas frecuencias, prevalece la difusión completa. En bajas frecuencias, los grandes porcentajes de error, son el resultado del espaciado de

los modos, los que producen una considerable variación de los tiempos de reverberación, de una posición a otra dentro del recinto. Estos altos porcentajes incluyen la incertidumbre producida por la ubicación de la recta que determina el T60.

2.2.1.6. *Modos de un recinto y la reverberación*⁷⁵

Existe una relación entre las frecuencias naturales de un recinto y el tiempo de reverberación.

En general y en forma muy elemental, es posible asimilar el comportamiento de un recinto pequeño, a lo que sucede en un tubo cerrado en un extremo al ser excitado por una señal.

En este caso, se pueden realizar 2 experimentos:

- a)** Si variamos la distancia del generador a la pared, dejando fija la frecuencia, podremos medir dentro del tubo, puntos de señales máximas y mínimas.
- b)** Si dejamos fija la fuente y variamos la frecuencia, aparecerán puntos de máximos y mínimos a lo largo del tubo en distintas posiciones, función de la frecuencia de la señal de excitación.

Trasladando esta experiencia al recinto, cada eje del mismo (largo, ancho y alto), se comportará como un tubo. La posición y distribución de estos máximos y mínimos darán sus características de funcionamiento, constituyendo un factor muy importante de diseño.

Leo Beranek realizó, hace muchos años atrás, una medición en un recinto, utilizando señales senoidales generadas por un oscilador y un parlante, y recogidas con un micrófono. En dicho ensayo, Beranek observó que en las frecuencias de los modos normales de resonancia de la habitación, el tiempo de reverberación era mayor que en las otras frecuencias. Esto le permitió concluir que

⁷⁵ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de resonancia.

los decaimientos en las frecuencias modales, eran característicos de modos individuales y no de toda la sala.

- *Comportamiento de un recinto a diferentes formas de excitación de los modos normales de vibración de este.*⁷⁶

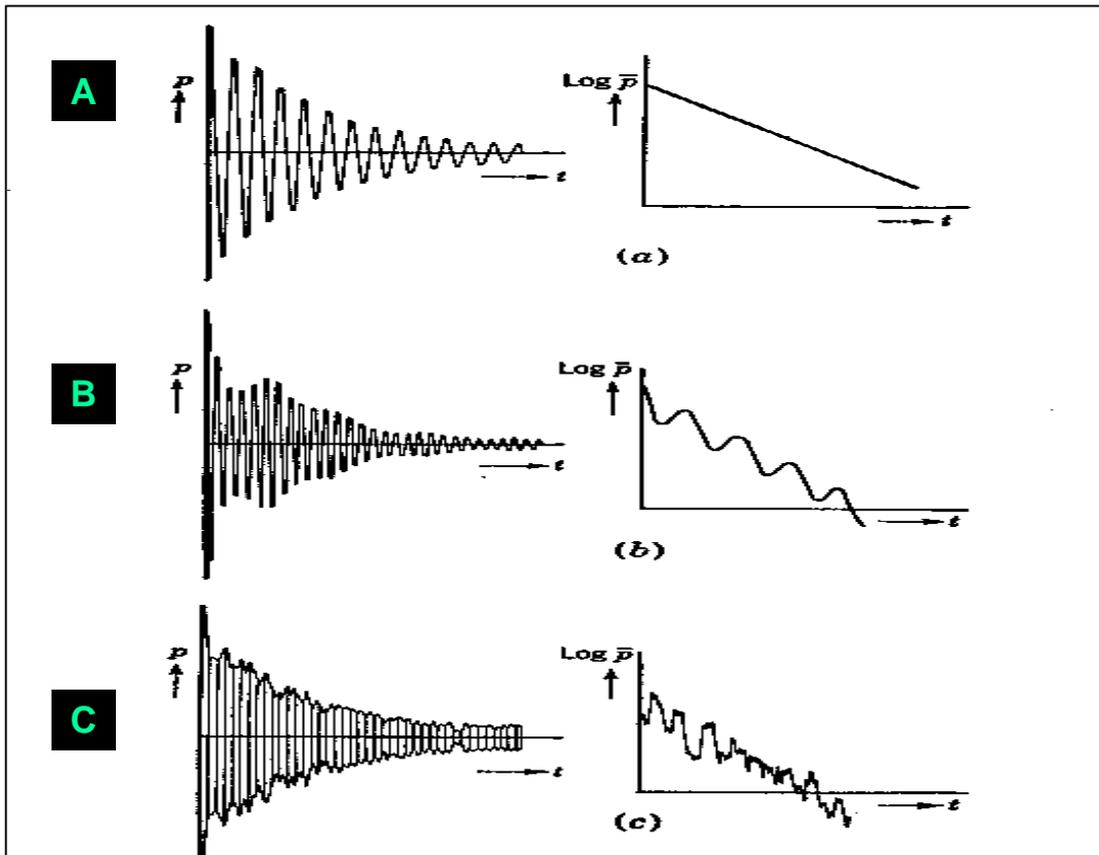


Fig 30

Comportamiento de un recinto a diferentes formas de excitación de los modos normales de vibración de este

A) Representa la curva de decaimiento para un modo único de vibración.

B) Para dos modos de vibración de igual constante de decaimiento.

C) para varios modos próximos.

⁷⁶ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de resonancia.

En La **Fig 30** se observa que si dos modos normales de vibración decrecen simultáneamente, existe batido, debido a que cada uno de ellos tiene su propia frecuencia normal.

A medida que aumenta la frecuencia, encontraremos mayor densidad de modos, por lo que, cuando se analizan las octavas más altas, las diferencias tenderán a ser menores.

Se Debe recordar que el fin del diseño de un estudio, es tratar de obtener igual tiempo de reverberación en cada banda.

2.2.1.7. *Acústica en un cuarto de grabación (Estudio de grabación)*⁷⁷

Existen numeroso estudios de grabación, los cuales poseen diferentes propósitos ya sean: religiosos, promocional, musical, para cine, etc.

La mayoría de estos estudios poseen limitaciones de recursos técnicos y acústicos. En base a lo anterior un estudio de grabación ideal es aquel que ofrece un producto de alta calidad aceptado por la audiencia, además de esto es un estudio de nombre, con la agenda llena y de alta rentabilidad. Existen ciertas decisiones que influyen directamente sobre el producto que se esta realizando, teniendo en cuenta factores subjetivos y técnicos.

- *Características acústicas del estudio*⁷⁸

El sonido recogido por un micrófono en un estudio de grabación, consiste en el sonido directo y el sonido reflejado. El sonido directo es el mismo que existe, en campo abierto o en una cámara anecoica, mientras que el sonido reflejado que sigue inmediatamente del directo, es el sonido que resulta de las características de los efectos de un campo cerrado.

Una componente importante del sonido indirecto, serán los modos normales de resonancia que poseen la sala debido al resultado de las múltiples reflexiones del

⁷⁷ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Acoustics of small Recording Studio.

⁷⁸ Ibid.

mismo. Cuando la fuente de excitación cesa cada modo decae con su propia frecuencia natural y su propia proporción. Estos modos dominan las regiones de frecuencias bajas donde las longitudes de onda del sonido son comparables con las dimensiones del cuarto y el concepto de rayos, se refieren al comportamiento de las frecuencias altas en el recinto, mientras que la región crítica de un estudio de grabación pequeño oscila alrededor de los **300Hz a 500Hz** la cual es una zona de transición.

Una segunda componente importante del sonido indirecto está relacionada con los materiales de construcción del mismo.

Por lo tanto el sonido en un estudio de grabación está afectado grandemente por estas dos componentes del sonido indirecto más el sonido directo.

- *Reverberación*⁷⁹

La reverberación es el compuesto y efecto de los dos tipos de sonido indirecto mencionados anteriormente. Medir el tiempo de reverberación no indica los componentes individuales por el cual está compuesto, pero sí es uno de los indicadores importantes de las condiciones acústicas de un estudio de grabación. Algunas personas creen que no es apropiado e innecesario aplicar el concepto de tiempo de reverberación en recintos pequeños y cerrados, lo que es cierto es que un campo reverberante genuino no existe en espacios pequeños.

Por ejemplo un tiempo de reverberación de **0.5** segundos significa que **60** decibeles decaen en ese tiempo, no importa si el campo de sonido es difuso o no, el sonido decae con cierta proporción inclusive para las frecuencias bajas.

- *Volumen de un estudio*⁸⁰

⁷⁹ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Acoustics of small Recording Studio.

⁸⁰ Ibid.

Un cuarto pequeño garantiza casi la coloración del sonido resultante del espacio excesivo de las frecuencias de resonancia en el espacio.

Según **Sepmeyer** esto puede minimizarse escogiendo algunos de los radios de cuartos de grabación sugeridos por el, que se pueden aplicar para pequeños, medianos y grandes estudios de grabación.

Table 20-1. Studio dimensions.

	Ratio	Small studio	Medium studio	Large studio
Height	1.00	8.00 ft	12.00 ft	16.00 ft
Width	1.28	10.24 ft	15.36 ft	20.48 ft
Length	1.54	12.32 ft	18.48 ft	24.64 ft
Volume		1,000 cu ft	3,400 cu ft	8,000 cu ft

Table 20-2. Studio resonances in Hz.

	Small studio	Medium studio	Large studio
Number of axial modes below 300 Hz	18	26	33
Lowest axial mode	45.9	30.6	22.9
Average mode spacing	14.1	10.4	8.4
Frequency corresp. to room diagonal	31.6	21.0	15.8
Assumed reverb, time of studio, second	0.3	0.5	0.7
Mode bandwidth (2.2/RT60)	7.3	4.4	3.1

Tabla 2

Comportamiento Modos estudio grabación

Al calcular los modos de resonancia axiales se pueden relacionar con la **tabla 2**, la cual muestra la comparación de modos para los tres diferentes tamaños de estudios de grabación. Una inspección visual de la tabla muestra que aumenta el número de modos axiales a medida que el volumen aumenta, los cuales existen en mayor proporción en espacios cercanos. La grafica muestra que el numero de

modos axiales por debajo de los **300 Hertz** es una variación desde de **18** modos para estudios pequeños y hasta **33** para estudios grandes.

La respuesta de frecuencia mas baja para un estudio grande es de **22,9 Hz** se muestra que es muy superior al mediano y al pequeño estudio a **30,6 Hz y 45,9 Hz** respectivamente.

Se debe tener en cuenta que existen otros modos diferentes a los axiales, presentes en el cuarto, la dimensión de la mayor diagonal de un cuarto representa la frecuencia mas baja que soporta las resonancias del cuarto, por culpa de los modos oblicuos. La capacidad de la frecuencia mas baja del cuarto mas grande de **15,8 Hz** comparada a **22,9 Hz** del modo de frecuencia axial mas bajo.

El promedio de espacio de modos basados en los rangos de frecuencia, desde los modos axiales a **300 hertz** también se muestra en la **tabla 2**. Este promedio varia desde **8.4 hertz hasta 14.1 hertz**. Los tiempos de reverberación mostrados en la tabla son asumidos, por valores nominales para los tamaños respectivos de cada estudio.

El ancho de banda de modo es estimado de la expresión $\frac{2.2}{Rt60}$, estos rangos de modos varían desde los **3 Hz** para grandes estudios hasta los **7 Hz** para pequeños estudios. Aunque la tabla muestra que el numero de modos axiales es proporcional a las dimensiones del cuarto, estos se acoplan con la extensión de la respuesta del cuarto en bajas frecuencia, lo cual produce una respuesta superior a la de un cuarto pequeño.

En conclusión la respuesta del cuarto es el vector suma total de las respuestas de los modos individuales. Además entre mas pequeño sea el cuarto tendrá mas problemas de respuesta con respecto a las resonancia y entre mas grande la respuesta será mucho mas suave. El problema de la coloración del sonido es notable es estudios con volúmenes menores a **1500 pies cúbicos** los cuales resultan imprácticos.

- *Proporciones del cuarto*⁸¹

Si existe dentro del cuarto menos de los modos axiales deseados, para obtener un sonido de alta calidad lo indicado es distribuir este sonido tan uniformemente como se pueda.

Los cuartos cúbicos distribuyen las frecuencias modales de la peor manera. Tener dos dimensiones en relación múltiple, ocasionara un gran problema con la distribución modal.

Por ejemplo, un recinto con altura de **8 pies** y de ancho **16 pies**, significa que el segundo armónico de **16 pies** coincide con el fundamental de **8 pies**. Esto enfatiza la importancia de las dimensiones del cuarto para la mejor distribución de los modos axiales. En realidad no existen medidas perfectas para un estudio de grabación, lo importante a la hora de obtener un sonido de alta calidad, es reducir la coloración del sonido mediante la distribución de los modos axiales.

- *Tiempo de reverberación*⁸²

En un estudio de grabación si el tiempo de reverberación es muy largo, es decir que el sonido cae muy lentamente, las frases vocales y musicales sufren un deterioro en la inteligibilidad tanto de la palabra y en los resultados de la calidad musical.

Si la reverberación es muy corta, es decir un cuarto muerto, la música y el habla pierden carácter, donde la música es la más afectada. Aunque el tiempo de reverberación no es el único aspecto que mide la calidad del sonido dentro del cuarto.

A través de la experiencia se ha podido obtener un rango de tiempo de reverberación de acuerdo a las proporciones del cuarto de grabación. La fig 31 muestra el tiempo de reverberación (**seg**) Vs el volumen de cuarto (p^3), muestra

⁸¹ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Acoustics of small Recording Studio.

⁸² EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Acoustics of small Recording Studio.

en un área sombreada los valores óptimos de tiempo de reverberación y proporciones para una adecuada grabación.

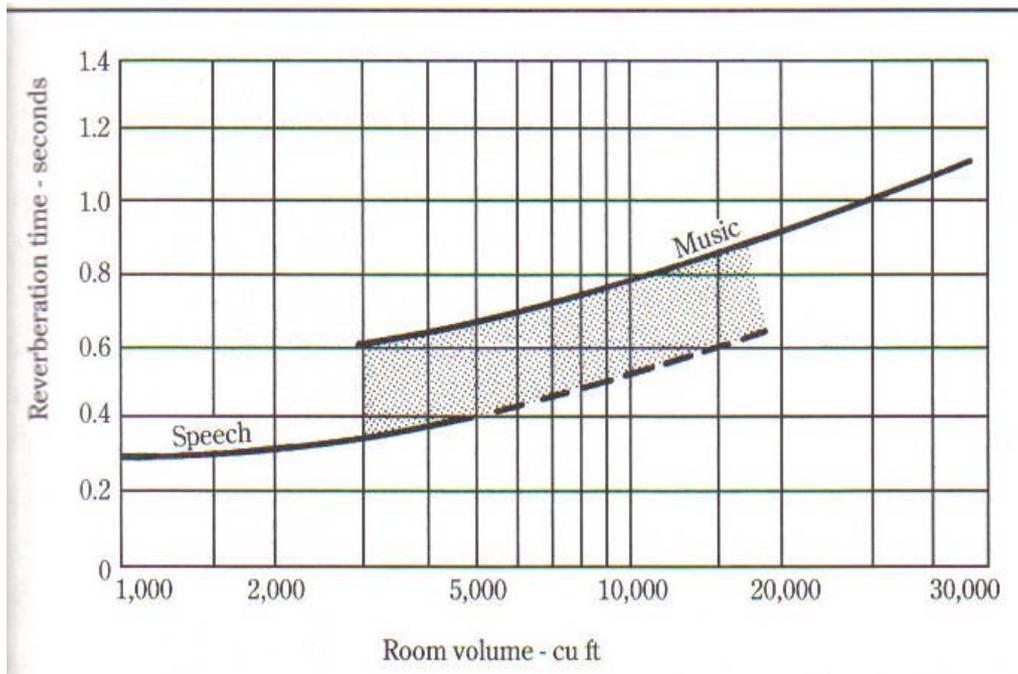


Fig 31

Tiempos de reverberación en un cuarto de grabación

- *Difusión*⁸³ (22)

En la actualidad, para realizar una distribución adecuada y uniforme del sonido dentro de los estudios de grabación, se utilizan los difusores de Schroeder además protuberancias geométricas y materiales absorbentes que ayudan a la difusión o distribución del sonido.

En el mercado existen elementos difusores con medidas prediseñadas, unidades de 2*4 pies que ofrecen alta calidad de difusión y excelente ancho de absorción alrededor de 0.82 de coeficiente de absorción para 100 Hz. Estos dispositivos no

⁸³ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Acoustics of small Recording Studio.

solo controlan las reflexiones sino las resonancias del sitio a través de la difusión y la absorción.

- *Ruido*⁸⁴

Tanto la ubicación del estudio de grabación como el aislamiento del mismo, es un punto importante dentro de la grabación. El aspecto psicológico del ruido es muy importante, aceptable si se considera aparte de la situación, pero molesto si es extraño a la misma.

- *Initial Time Delay-Gap (ITDG)*⁸⁵

Beranek hizo un estudio intensivo de las salas de concierto alrededor del mundo. El noto que aquellos músicos considerados de alta calidad, poseen ciertas similitudes técnicas. El **ITDG** es lo que existe entre los músicos, este es el tiempo entre la llegada del sonido directo y la llegada de las reflexiones críticas tempranas.

Beranek quedo impresionado con el hecho de que las salas de alta calidad, tenían un **ITDG** definido alrededor de los **20 milisegundos**. El segundo paso de beranek fue estudiar el **ITDG** de los estudios de grabación y cuartos de control, utilizando una técnica de medición llamada **spectrometry time delay**. El espacio temporal entre la llegada del sonido directo y el sonido reflejado esta determinado por la geometría y proporción del estudio.

2.2.2. Acústica en una grabación multicanal

- *Ventajas de la grabación multitrack*⁸⁶

Una de las mayores ventajas de una grabación multitrack, consiste en la flexibilidad, es decir realizar una producción pieza por pieza si se desea con

⁸⁴ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Acoustics of small Recording Studio.

⁸⁵ Ibid.

⁸⁶ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Acoustics for multitrack recording.

efectos especiales para después mezclarlos con diferentes variaciones de arreglos posibles. Esto quiere decir que una grabación multitrack permite distribuir el espacio y el tiempo.

Otra grande ventaja es obtener el casi total control de los niveles relativos de cada instrumento y artista, cada track posee ecualización y experimentación independiente.

Por ejemplo la cantidad de reverberación deseada para cada track. Esto significa realizar una grabación independiente de cada canal a niveles máximos, lo que garantiza la mejor relación señal/ruido que se utilizara a la hora de mezclar, además de lo anterior el ancho de banda de cada canal puede ser reducido sin afectar el sonido del instrumento, con esto se reducirá el ruido que provee ciertos canales.

- *Desventajas de la grabación multicanal*⁸⁷

Una de las desventajas de la grabación multitrack es que el ruido es proporcional al número de track mezclados. Cuando dos tracks se mezclan y poseen el mismo nivel de ruido este aumenta **3** decibeles, si **32** tracks son mezclados el ruido aumentara **15** decibeles.

El rango dinámico de un sistema esta definido, como el uso total del nivel de audio entre el extremo de ruido mas bajo y el mas alto. Entre más tracks en un casete, menor el nivel de señal y el ancho del canal.

Otra desventaja considerable es la separación de grabación de las sesiones que tienden a separar la fluidez y espontaneidad entre los músicos.

- *Estudio acústico*

- *Distancia entre artistas*⁸⁸

⁸⁷ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Acoustics for multitrack recording.

Si el estudio es muy absorbente los músicos pueden localizarse entre ellos, es decir que el número de músicos aumentara por espacio. En espacio abierto el sonido cae seis decibeles al doblar la distancia, mientras que en campo cerrado la ley del inverso cuadrado es menor, lo cual se debe considerar a la hora de estimar la separación y espacio entre los músicos.

- *Manejos de micrófonos*⁸⁹

Así como la distancia de los músicos es considerada, también lo es la distancia entre los micrófonos. Se debe tener en cuenta el efecto direccional de los instrumentos, así como las propiedades direccionales de los micrófonos para obtener un óptimo resultado.

Las cancelaciones de un cardioide y un micrófono bidireccional, pueden resolver el problema y controlar el problema **crosstalk (diafonía)**.

- *Barreras de separación*⁹⁰

Las barreras de separación o más conocidas como paneles o biombos, son usadas para incrementar la insonorización del sonido producido entre músicos. Estos paneles o biombos pueden poseer muchas formas para distintas funciones. Por ejemplo para generar sonidos más brillantes u opacos, por medio de biombos que son reflectivos u absorbentes. Estos biombos también pueden poseer altos grados de difusión para obtener un sonido más espacial y uniforme en el tiempo.

La efectividad es muy baja para biombos en frecuencias bajas, aquí se tiene en cuenta el efecto básico de física que dice que un objeto debe ser más largo en términos de longitud de onda del sonido, para que este sea un obstáculo efectivo. A un **1Khz** la longitud de onda del sonido es casi un pie, es decir un biombo de seis pies de ancho y **4 de pies** de alto será efectivo para aislar estas frecuencias,

⁸⁸ Ibid.

⁸⁹ EVEREST Alton, Master Handbook of Acoustics, Acoustics for multitrack recording.

⁹⁰ Ibid.

mientras que en una frecuencia de **100 Hz** es aproximadamente **11 pies**, así que la longitud de onda de esta frecuencia tendera a fluir alrededor del biombo, lo cual la efectividad de insonorización de esta será nula.

2.2.3. Estudios de las frecuencias normales o modos de resonancia en un recinto.

- *Análisis de los modos Axiales*⁹¹

A pesar de la enorme cantidad de bibliografía, los especialistas aún no se ponen de acuerdo, en cuanto a formas y dimensiones de salas, por lo que existen infinitos diseños posibles. Si damos por sentado, que generalmente se desea tener pisos planos, las paredes podrán ser desplegadas, los cielorrasos inclinados y las superficies modificadas con formas cilíndricas o poligonales. Algunas formas pueden ser descartadas, por ejemplo aquéllas que focalizan el sonido, y otras necesitan ser estudiadas.

La popularidad de las salas rectangulares, se debe en parte a su economía de diseño y construcción, pero también a sus ventajas acústicas, dado que los modos son fácilmente calculables y su distribución analizada sin mayor esfuerzo. En una primera aproximación, será suficiente calcular solamente los modos axiales dominantes, con abstracción del resto. Lo más importante para un recinto de este tipo, será la relación entre sus tres dimensiones principales.

Para determinar las proporciones de un cuarto de grabación, se utilizan por bibliografía ciertos criterios dados por grandes acústicos, para el diseño de cuartos de grabación rectangulares para que posean una distribución uniforme de modos de resonancia.

- *Criterio de Bolt (Bolt Beranek Newman)*⁹²

⁹¹ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de Resonancia.

Bolt otorga a la sala un amplio rango de proporciones, de tal forma de producir las características más suaves en baja frecuencia. Esto es aplicable en recintos rectangulares de pequeñas dimensiones como el estudio de grabación que se está estudiando actualmente y donde se desarrolla la producción musical. En la **Fig 32** se puede observar que a partir de una altura unitaria $H = 1$, se puede obtener distintas relaciones dimensionales del largo y el ancho, dentro del área punteada, con valores razonables de diseño.

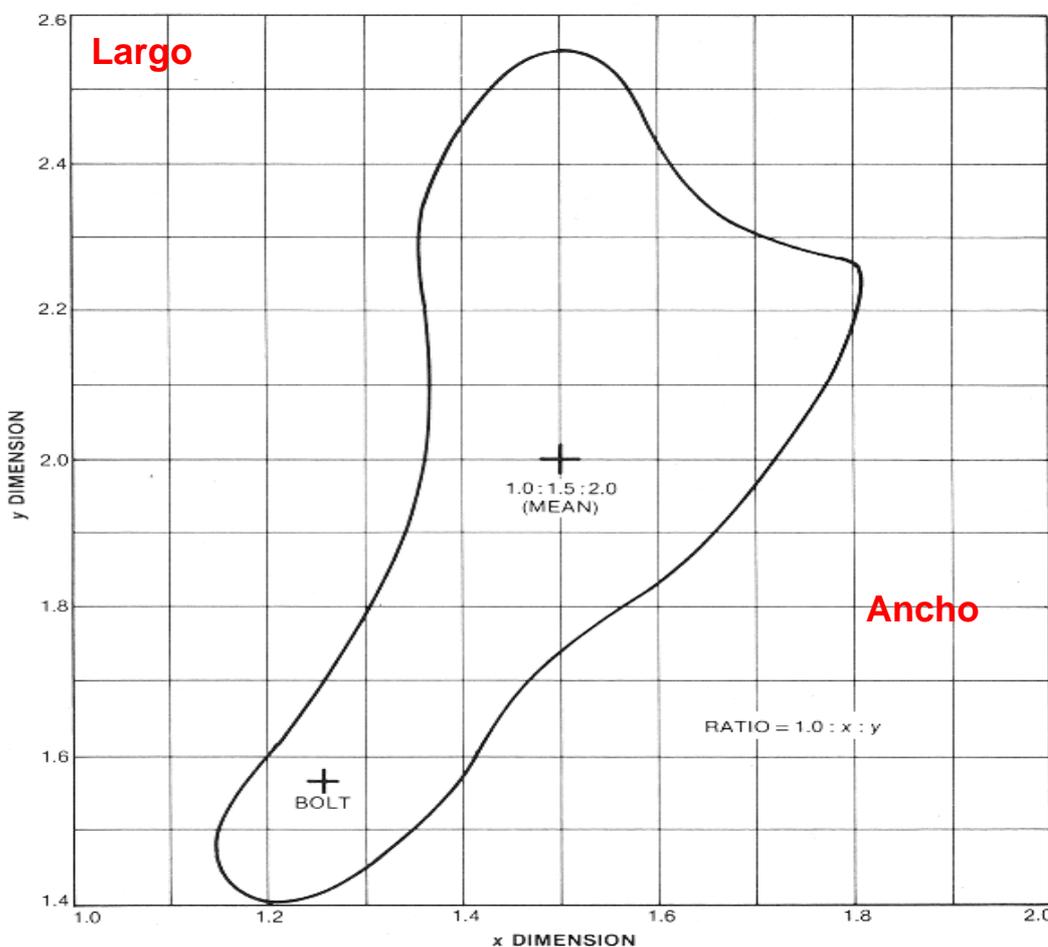


Fig 32

Criterio de Bolt que facilita las proporciones adecuadas para las dimensiones de un estudio de un recinto para una eficiente distribución modal.

⁹² Ibid.

La siguiente **tabla 3** reúne las mejores proporciones sugeridas por grandes autores de la acústica. La mayor parte de esas relaciones caen dentro o muy cerca del área de Bolt. Esto verificaría que, cualquier relación que se halle dentro del área de Bolt, producirá una sala de razonable calidad en bajas frecuencias, tanto como sea posible en relación con la distribución de los modos axiales.

Rectangular room dimension ratios for favorable mode distribution.

Author		Height	Width	Length	In bolt's range?
1. Sepmeyer ⁵	A	1.00	1.14	1.39	No
	B	1.00	1.28	1.54	Yes
	C	1.00	1.60	2.33	Yes
2. Louden ⁶ 3 best ratios	D	1.00	1.4	1.9	Yes
	E	1.00	1.3	1.9	No
	F	1.00	1.5	2.5	Yes
3. Volkmann ⁴ 2:3:5	G	1.00	1.5	2.5	Yes
4. Boner ⁴ 1: $\sqrt{2}$: $\sqrt{4}$	H	1.00	1.26	1.59	Yes

Tabla 3
Proporciones dimensionales optimas para una sala de grabación
Las cuales están dentro del criterio de Bolt

De cualquier manera, sería insensato decir que una sala es o no optima, con sólo una evaluación dimensional por aplicación de alguno de los criterios. Siempre es necesario realizar un análisis más profundo del comportamiento de los modos, aún teniendo solamente en consideración los modos axiales.

Ejemplo 1

Sea una sala de con las siguientes dimensiones:

Largo: 5,90 m.

Ancho: 4,30 m.

Alto: 2,70 m.

Se observa que la relación dimensional es **1: 1,59: 2,18**, la cual ubica la sala dentro del área de **Bolt**.

Aplicando la **ecuación 9** que es la representación matemática de los modos normales de resonancia de un recinto

$$f = \frac{C}{2} * \sqrt{\left(\frac{I_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{I_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{I_z}{L_z}\right)^2}$$

Se puede calcular los modos axiales a partir de dar valores enteros a los números **lx, ly e lz**.

La **f1** para el largo (**L**), se obtendrá para **lx = 1, ly = 0 y lz = 0**.

La **f1** para el ancho (**W**), se obtendrá del trío **lx = 0, ly = 1 y lz = 0**.

La **f1** para el alto (**H**), se obtendrá del trío **lx = 0, ly = 0 y lz = 1**.

Los sucesivos modos para las frecuencias **f2.....fn**, se obtendrán resolviendo la ecuación con valores de **lx, ly e lz**, desde **2** hasta **n**. A fin de analizar el comportamiento de nuestro recinto, se necesitara conocer algunas reglas básicas de aplicación que son:

a) El espaciado entre modos o diferencias entre modos deberán ser lo más uniforme posible.

b) La existencia de dos o más modos coincidentes o modos demasiados cercanos, aún sin ser coincidentes, pueden llegar a convertirse en potenciales problemas.

La siguiente **tabla 4** muestra, a la izquierda, los modos obtenidos del **ejemplo 1** anterior para cada dimensión, ordenados en forma creciente. Se puede observar que se ha realizado el estudio hasta **320 Hz.**, limitación de frecuencia que se analizara posteriormente. A la derecha se observa una columna con la totalidad de los modos ordenados en forma creciente, y en la última columna, las diferencias de frecuencias entre modos sucesivos.

	Length $L = 19 \text{ ft } 5 \text{ in}$ $L = 19.417 \text{ ft}$ $f_1 = 565/L$	Width $W = 14 \text{ ft } 2 \text{ in}$ $W = 14.17 \text{ ft}$ $f_1 = 565/W$	Height $H = 8 \text{ ft}$ $H = 8.92 \text{ ft}$ $f_1 = 565/H$	Arranged in ascending order	Diff
				29.1	
f_1	29.1	39.9	63.3	39.9	10.8
f_2	58.1	79.7	126.7	58.2	18.3
f_3	87.3	119.6	190.0	63.3	5.1
f_4	116.4	159.5	253.4	79.7	16.4
f_5	145.5	199.4	316.7	87.3	7.6
f_6	174.6	239.2		116.4	29.1
f_7	203.7	279.1		119.6	3.2
f_8	232.8	319.0		126.7	7.1
f_9	261.9			145.5	18.8
f_{10}	291.0			159.5	14.0
f_{11}	320.1			174.6	15.1
f_{12}				190.0	15.4
f_{13}				199.4	9.4
f_{14}				203.7	4.3
f_{15}				232.8	29.1
				239.2	6.4
				253.4	14.2
				261.9	8.5
				279.1	17.2
				291.0	11.9
				316.7	25.7

Tabla 4

Modos de resonancia obtenidos de las dimensiones del cuarto ordenados ascendentemente

En nuestro ejemplo, existen **22** modos axiales entre las frecuencias de **29,1 y 316,7 Hz.**, con espaciados que varían de **3,2 a 29,1 Hz.** Esto indica que no hay uniformidad de espaciado. Sin embargo, tampoco existen modos coincidentes, dado que el par más cercano se ubica a **3,2 Hz.**

Esta sala, apropiadamente tratada, con una relación dimensional razonable, pero no óptima, va a reproducir bien el sonido, sin coloraciones.

- *Análisis de los modos axiales, tangenciales y oblicuos*⁹³

El estudio de la distribución de modos axiales hecho hasta el momento, realiza una simplificación del método de análisis modal, que permite comprender el comportamiento de un recinto, sus virtudes y defectos. No se ha tenido en consideración la existencia de los modos tangenciales y oblicuos que, debido a su menor peso, sólo contribuirán a cubrir los espacios vacíos, dejados por los modos axiales. En realidad, las teorías modernas contemplan la totalidad del contenido modal, analizando los valores como un todo, que califican al recinto.

- *División del espectro en regiones acústicas*⁹⁴

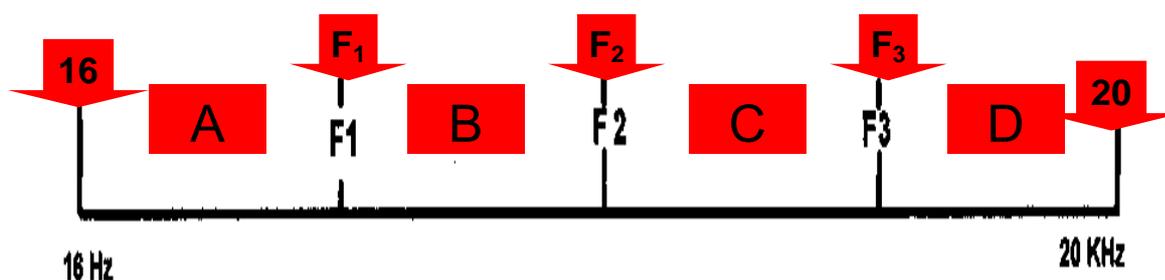


Fig 33

División del espectro audible en zonas acústicas para el estudio de los modos

⁹³ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de Resonancia.

⁹⁴ Ibid.

Según la **Fig 33** el comportamiento del sonido en un cuarto esta dado por cuatro zonas en las cuales interactúan los fenómenos ondulatorios y el fenómeno de rayos sonoros

Zona A

El límite inferior está constituido por la menor frecuencia de percepción en el espectro audible que es **20 Hz o 16 Hz**. La mayor dimensión del recinto, generalmente el largo **L**, nos dará **F1**, es decir la frecuencia del primer modo. Aplicando la ecuación para el trío **$l_x = 1$, $l_y = 0$ y $l_z = 0$** , obtendremos:

$$F1 = 344(\text{m/s}) / 2 L (\text{m})$$

Ec 10

Calculo matemático del primer modo de resonancia

Donde

L= La mayor dimensión del recinto

Entre **F1** y el límite inferior de percepción, se configura la **zona A**, cuya característica principal es la de contener un grupo de frecuencias de las que es muy difícil predecir su comportamiento.

Zona B

Entre **F1** y **F2**, se delimita una zona de frecuencias bajas que se denomina la **zona B**, con frecuencias de gran longitud de onda, vinculadas al volumen del recinto y al tiempo de reverberación. Se debe tener presente que en este espectro de frecuencias, la absorción de materiales es pobre. El comportamiento del campo es de naturaleza ondulatoria. La frecuencia **F2** o frecuencia de **Schroeder**, se expresa por:

$$F2 = 1893\sqrt{T60/V} \text{ Para } V(m^3); \quad F2 = 11250\sqrt{T60/V} \text{ Para } V(ft^3)$$

Ecuaciones 10 y 11

Calculo matemático de la frecuencia de schroeder

Zona C

Entre **F2** y **F3**, se conforma una zona de transición que se denomina **zona C**. Las frecuencias dentro de ella tienen comportamiento mixto, es decir, un poco como rayos, por lo que será posible aplicar principios de óptica y un poco como ondas. La **F2** o frecuencia de **Schroeder**, es aquella a partir de la cual las ondas estacionarias se hallan tan poco espaciadas entre sí, que no afectan el sonido. Si esta es baja, la respuesta en frecuencia será plana en un amplio rango.

En esta región, es generalmente fácil tratar los problemas asociados, dado que tanto los materiales de construcción como los usados en los tratamientos acústicos, comienzan a tener índices altos de absorción. La frecuencia límite **F3**, viene dada por la siguiente expresión:

$$F_3 = 4F_2$$

Ecuación 12

Calculo matemático de la frecuencia superior de la zona acústica c

Donde:

F2= Frecuencia de Schroeder

Zona D

Entre **F3** y el límite superior de percepción (**20 KHz.**), se halla **la zona D**, donde el campo se comporta según las leyes de la óptica. En esta zona es donde existen mayores reflexiones, por lo que se debe controlar más la absorción y la difusión.

De esta manera ya conocidas las regiones acústicas, se calcula la totalidad de modos presentes en el recinto y analizar como se distribuyen dentro de cada una de ellas.

- *Criterios de evaluación de los modos*
- *Criterios de gilford⁹⁵*

⁹⁵ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de Resonancia.

El criterio de **Gilford**, se basa en el análisis del comportamiento de los modos axiales, despreciando los tangenciales y oblicuos por su poco peso. Según él, la separación de estos modos no debería ser superior a los **20 Hz.**, argumentando que si ésta fuera mayor, el modo se “escucharía”. Es evidente que el objetivo de **Gilford** era lograr una uniformidad de distribución de los modos axiales, evitando cambios bruscos en la percepción.

Análisis de Modos Axiales, Tang. y Oblicuos								Criterio Gilford	
Modo No.	p	q	r	Frec.	Ax.	Tg.	Obl.	Separación	>20 Hz.
1	1	0	0	24,57	24,57			24,57	
2	0	1	0	49,14	49,14			24,57	mal
3	2	0	0	49,14	49,14			0,00	ok
4	1	1	0	54,94		54,94			
5	0	0	1	57,33	57,33			8,19	ok
6	1	0	1	62,38		62,38			
7	2	1	0	69,50		69,50			
8	3	0	0	73,71	73,71			16,38	ok
9	0	1	1	75,51		75,51			
10	2	0	1	75,51		75,51			
11	1	1	1	79,41			79,41		
12	3	1	0	88,59		88,59			
13	2	1	1	90,10			90,10		

Tabla 5

Comportamiento modal en una sala de 7 m de largo, 3,5 m de ancho y 3 m de alto y se indican los modos axiales “buenos” y “malos”, en función de su separación, según Gilford.

- *Objeciones al criterio*⁹⁶

No tiene en consideración el volumen del recinto, ignora la presencia y el peso del resto de los modos tangenciales y oblicuos, No contempla la existencia de modos

⁹⁶ Ibid.

coincidentes o cercanos en frecuencia (modos dobles, triples, etc.). El concepto de **20 Hz.** de diferencia entre modos, es un valor importante en frecuencias bajas, por ejemplo entre **20 y 40 Hz**, no siendo significativa entre **260 y 280 Hz**. Esto se debe, fundamentalmente, a la forma en que se acumulan los modos en el espectro.

- *Criterio de bonello*⁹⁷

Bonello contempla todos los modos presentes, fijando el análisis sobre la base de porcentajes de la frecuencia modal y no a distancias fijas. Este criterio, llamado criterio de densidad de modos, parte de considerar que el número total de modos posibles (**Nt**), para valores de **lx, ly, lz**, enteros y positivos desde **0 a n**, será:

$$Nt = (n + 1)^3$$

Ecuación 13

Calculo matemático del número total de modos

Donde:

N= Numero entero y positivo

La resolución de ambas ecuaciones, nos dará la expresión de la densidad de modos en función del volumen de la sala, es decir, el número de modos de resonancia por ciclo de ancho de banda.

$$D = \frac{4\pi V f^2}{C^3}$$

Ecuacion 14

Calculo matematico de la densidad de modos en una sala

Donde:

V = volumen de la sala (m3) f = frecuencia de cada modo (Hz.)

⁹⁷ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de Resonancia.

$$c = \text{velocidad del sonido (m/s)} \quad D = \text{densidad de modos}$$

En la **ecuación 14**, observamos que la densidad de modos crece con el cuadrado de la frecuencia. A partir de los **200 Hz**, la densidad es tan grande, que el oído no alcanza a percibir diferencias, es decir, no posee habilidad para discriminarlos. Por debajo de los **200 Hz**, cada modo puede llegar a ser escuchado en forma individual, produciendo una sensación desagradable.

En la **fig 34a** se puede observar que en cada modo, existe un máximo en la curva de transferencia de señal, por lo que, cuanto mayor sea la densidad de éstos, más próximos se hallarán, lo que resulta beneficioso. La figura también es un ejemplo de una distribución pobre, con intervalos sin modos, resultando una energía promedio con grandes variaciones.

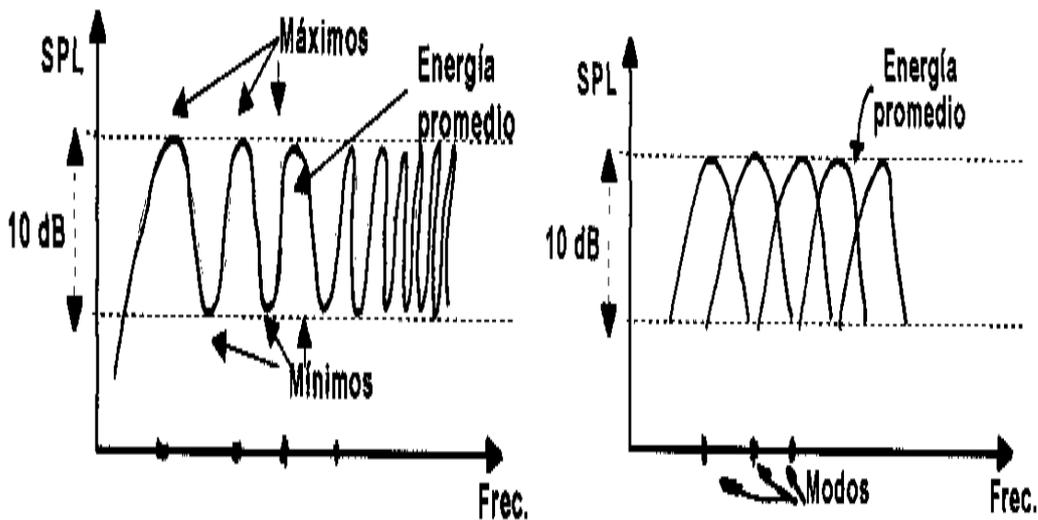


Fig 34

a) distribución pobre de modos, b) distribución óptima de modos

Por el contrario, en la **fig 34b** se puede observar una buena distribución de modos, logrando una contribución de energía de determinado ancho de banda, más uniforme.

En la **tabla 5** anterior, se observaba que existen modos duplicados o agrupaciones de modos. Puede incluso llegar a darse el caso de modos triples.

Todo esto configura un campo donde, junto con “paquetes de energía”, hay zonas vacías, resultando una respuesta en frecuencia con severos saltos. En estas condiciones, la respuesta del recinto a una excitación impulsiva, se verá alterada por esa configuración de modos, creando “coloraciones”, es decir, resonancias a determinadas frecuencias, con alteraciones en la duración del sonido.

- *Método de aplicación del criterio*⁹⁸

1. Se calculan todos los modos presentes hasta **200 Hz**.
2. En la práctica, será suficiente calcular los primeros **48** modos.
3. Se divide el espectro en tercios de octavas, agrupando, para cada tercio, la cantidad de modos obtenidos.
4. Se grafican estas cantidades en función de las frecuencias de tercio de octava, según podemos observar en la **fig 35**.

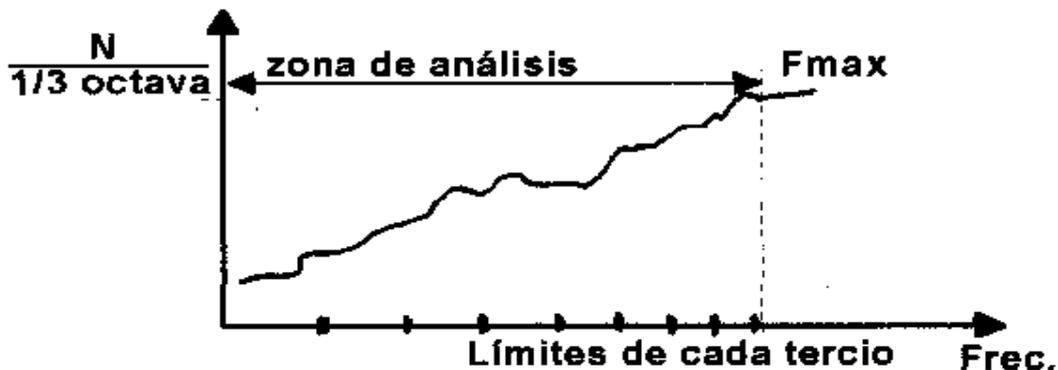


Fig 35

Cantidad de modos en función de la frecuencia

⁹⁸ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de Resonancia.

- *Calificación del Recinto*⁹⁹

1. La curva de la figura deberá ser monótonamente creciente o a lo sumo, tener la misma cantidad de modos, en dos tercios sucesivos.

2. No deberán existir modos dobles (dos frecuencias iguales) y en caso de haberlos, sólo se tolerarán en tercios de octavas cuya densidad de modos, sea superior a cinco.

3. Los modos deberán hallarse espaciados por lo menos 5% de la frecuencia modal.

2.2.4. Software de Plataformas de grabación y mezcla

- *Logic Pro 6 Emagic (27)*

Este es un software de grabación y procesamiento de señal digital profesional. En los siguientes incisos se nombrará las especificaciones técnicas del software a lo que se refiere al manejo del audio, automatizaciones, el manejo de información **M.I.D.I** y especificaciones generales del programa.

⁹⁹ RUFFA Francisco, Acústica Aplicada, Modos de Resonancia.



Fig 36

Ventana de arrange o inicio del Logic Pro 6

- *Requerimientos del sistema*¹⁰⁰
 - Computador Macintosh
 - **Mac OS 9.1** o **Mac OS X** con una memoria **RAM** de mínimo **128 MB**, recomendado **256 MB** de **RAM**.
 - Drive de **CD** o **DVD**
 - Puerto **USB** para **XSkey**
 - Interfase **M.I.D.I** y Teclado **M.I.D.I**
 - Interfase de audio recomendablemente con baja latencia
 - Disco Duro Externo

¹⁰⁰ Teoría tomada de Pág. Web www.emagic.com./logicpro6.

- *Especificaciones Generales*¹⁰¹

- Alta precisión a **32 Bits** con proceso interno
- Resolución hasta: **1/3840** por nota
- Resolución de tempo que trabaja es de **1/10000 bpm (0,05 a 9999 bpm)**
- Uso de interfase personal
- **90** puestas en escena configurables por canción
- Mas de **800** claves definidas por el usuario y comandos **M.I.D.I** para funciones de programación
- Ventana de edición flexible e interactiva
- Línea de ayuda en la Red
- Menús e interfaces en distintos idiomas
- Soporte técnico para sincronización de video por parte del Quick Time.
- Auto configuración de los mixer para cada track de audio y **M.I.D.I**
- Soporte técnico para la automatización de hardware: **Tascam Fw-1884, US-428, US-224; Mackie HUI; MotorMix de CM; Roland SI-24.**

- *Especificaciones Automatización*¹⁰²

- Automatización para todos los parámetros virtuales incluyendo efectos de **plug – ins** y audio instruments.
- Modos de automatización **Read, Write, Latch y Touch**
- Resolución de automatización a **32 bits**
- parámetros automatizados son ilustrados con nombre completo y valor.
- La información automatizada es mostrada en la ventana de arrange window como paquetes con puntos de corte.
- Los puntos de corte de automatización puede ser dibujas libremente, editados y escalados.
- La automatización puede ser movida o copiada.

¹⁰¹ Ibid.

¹⁰² Teoría tomada de Pág. Web www.emagic.com/logicpro6.

- *Especificaciones Audio*¹⁰³

- Resolución de audio a **24 bits/ 192kHz**
- **255** tracks de audio stereo
- **8** canales de mezcla surround
- Ecualizador de **8** bandas por track
- **15** efectos de inserts por canal y **8** efectos de envío por track
- Objetos de Audio Inputs con **15** efectos de inserts y **8** efectos de envío
- **64** buses stereo por subgrupos y retorno de efectos
- **16** inserts por bus y **16** inserts por output object
- Bouncing con efectos en tiempo real
- Modos de grabación **Loop record, Cycle Record y Quick punch**
- Editor de sampleo stereo integrado con machine II de tiempo y de pitch.
- Sincronización entre **M.I.D.I** y audio

- *Especificaciones Plug-Ins Y Audio Instruments*¹⁰⁴

- Mas de **50** efectos Plug-Ins: Delays, Reverbs, Distortions, Dynamics, Modulation, Bit Crusher, Auto Filter, Enveloper, Gate, Phase Clip distortion, Denoiser, deeser, tremolo, Stereo Spread, Exciter, Sub Bass, Limiter, Multiband compressor.
- **64** audios instruments para insertar de Emagic y audio units.
- **15** efectos de insert y **8** efectos de envíos por audio instrument.
- Sidechains para **plug-Ins** y audio instruments

- *Estrategias de Grabación en Logic*¹⁰⁵.

¹⁰³ Teoría tomada de Pág. Web www.emagic.com./logicpro6.

¹⁰⁴ Ibid.

¹⁰⁵ Teoría tomada del Tutorial por Video Clip Recording Techniques logic Pro6

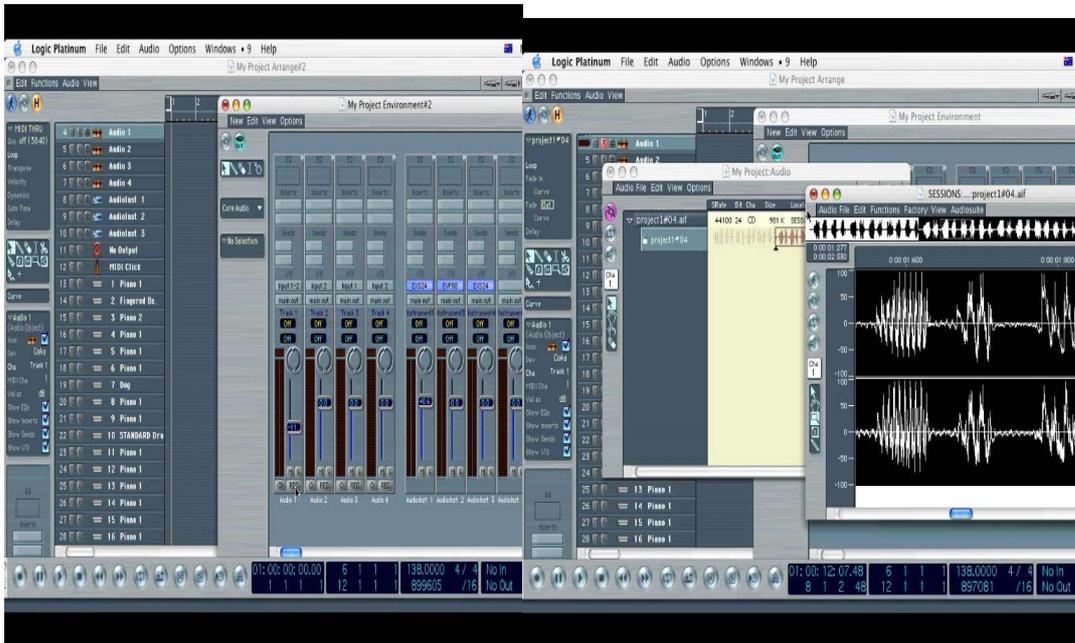


Fig 37

Ventanas de ambiente, arrange, edición de audio e importar audio

El **logic** es un software que permite el manejo de audio en dos formas al igual que el pro tools. La primera forma es importar un audio ya creado desde cualquier parte del computador al software, logic ofrece muchas maneras de importar el archivo, La segunda forma es la grabación de una archivo de audio a través del software.

El software ofrece 3 ventanas principales, que son la ventana de arregement, en la cual se visualiza de forma grafica el audio grabado, La ventana de **Enviroment**, la cual visualiza los tracks físicos como una consola, con sus respectivos, inputs, outputs, Inserts, y Sends en esta ventana se crean los objetos de audio deseados por el usuario si son: **Tracks de audio, Auxiliares, Audio Instruments, Canales midi, Master fader, Buses, Etc.** Y por ultimo esta la ventana de Audio la cual visualiza los archivos de audio que se están manejando permitiéndome importar y exportar los archivos.

Al momento de grabar, en la función de audio del programa, se crea un objeto de audio, y se le asigna al objeto de audio que funcione como un track de audio. Al visualizar en la ventana de environment el track, se selecciona y se asigna a la ventana de arrangement, luego se asigna el track de audio al input correspondiente por donde se ejecutara la grabación y luego se procede a presionar el botón **Rec** que esta situado en la parte baja del track. En el momento de presionar **rec** el programa pregunta el nombre del archivo y donde quiere el usuario guardar el archivo, de esta manera se crea una carpeta para que allí se guarden todos los wavs creados a través del software. Los demás audio que se vayan a grabar el software por default los graba en la carpeta que fue asignada para guardar los wavs.

Antes de iniciar la grabación en la Función de Audio, hay una ventana llamada **Seth Audio Record Path**, allí se chequea si la función de **Rec** esta activada y seteada. Al igual que el **pro Tools** el **logic** maneja **2** volúmenes que son:

- El Volumen de Mezcla y Monitoreo
- El volumen de Grabación

Cada volumen es independiente del otro, es decir el volumen de mezcla no afecta la entrada de señal para grabar.

En una grabación lo primordial, es que el instrumento que se este grabando no clipee o se distorsione a la hora de grabar. Para esto **logic** visualiza en el track que la entrada de señal es exagerada y que se debe disminuir la señal de entrada, **Logic** también a través de una ventana pone en advertencia al usuario que la entrada de señal es muy alto causando una distorsión del audio captado. Hay veces que el software advierte el clippeo de señal pero para mayor seguridad, es mejor observar en la ventana de audio captado si hubo clippeo o no.

Logic permite seteo del tiempo de grabación, en la ventana de set audio. Cuando se ha grabado un teclado y si se desea grabar otra vez una parte de este, **Logic** a

través de la ventana de **song setting** permite establecer un **Pre Roll**, lo cual permite de forma precisa el lugar donde se desea grabar de nuevo. Otra manera de asignar un **Pre roll** más sencillo y el músico pueda escuchar lo que ya grabo y grabar encima, se asigna una función que se visualiza en la **ventana de transporte**, al seleccionar la función solamente es seleccionar los compases que se desean grabar otra vez. Otra estrategia de grabación que ofrece el **logic** es la de **Playlist**, la cual consiste en grabar varias veces una misma información, y cada grabación es guardada y cada una es independiente de la otra. En **logic** es necesario ir a la ventana de **Song Meeting** y activar las funciones de **Auto Create Tracks Incycle Record** y **Auto Mute In Cycle Record**, esto se hace para que cada archivo grabado se asignado a una canal automáticamente. Todo lo que se graba aparece en la venta de audio, en la cual se pueden observar uno o todos los espectros de audio grabados y se pueden escuchar uno por uno.

Para la grabación de información **M.I.D.ien logic**, es bastante fácil, solo es seleccionar el track **M.I.D.I** y oprimir **REC**. Ya que el programa ya viene setiado para esto. El **logic** ofrece otra forma de grabación **M.I.D.I** en modo preferencial la cual es asignada con la Opción de Preferentes, en donde el usuario puede asignar los **Key Commands** como desee la grabación. En **M.I.D.I** también se puede usar las estrategias de **pre rool** y **play list**, y de igual manera como se explico anteriormente, en la ventana de **song Settings**, se debe asignar las opciones de **Auto Create Tracks Incycle Record** y **Auto Mute In Cycle Record**, esto se hace para que cada archivo grabado se asignado a una canal automáticamente.

Logic ofrece como otra estrategia de grabación en **M.I.D.I**, la grabación de información **M.I.D.I** multicanal, la cual permite dividir la información dependiendo de los canales que se vaya a necesitar. Para asignar este modo de grabación, se abre la ventana de **Song Settings** y allí en Opciones de grabación se activa la función de **Demix By Channel If Multitrack Recording**. **Logic** también permite grabar información **M.I.D.I** sin la necesidad de un teclado físico. **Logic**

internamente posee un teclado en el cual puedo asignar la información **M.I.D.I** que desee. Para esto en la ventana de **arrangement** con la función del Lápiz dibujo un secuencia **M.I.D.I** y allí dando doble clic, **logic** visualiza una ventana llamada **My Project Syn Strings**.

- *Estrategias de Edición en Logic*¹⁰⁶

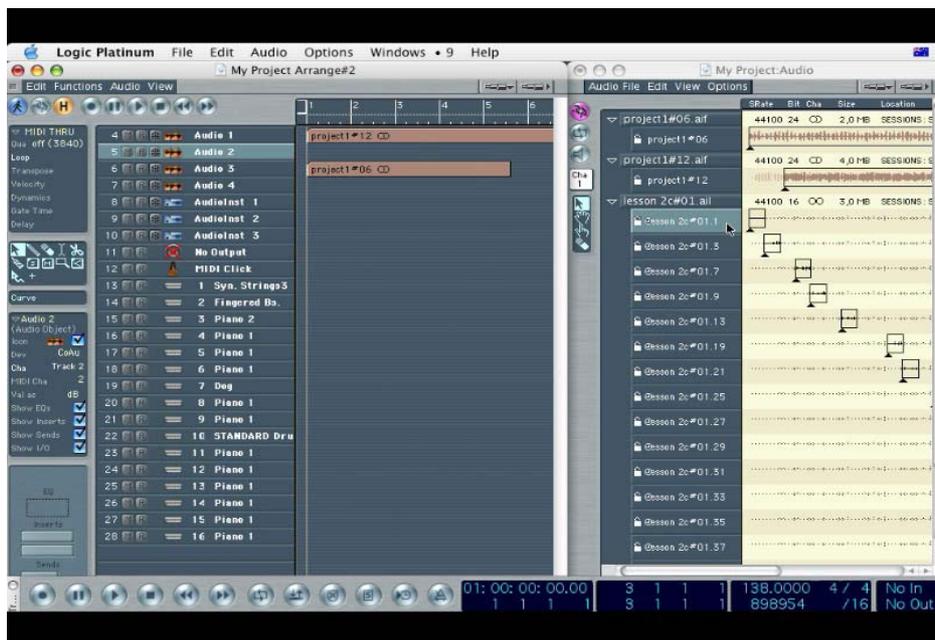


Fig 38

Ventanas de enviroment, arrange, edición de audio e importar audio

Al igual que el **pro tools**, **logic** ofrece herramientas de edición como cortar, pegar, consolidar, Creación de nueva región, Duplicación de región, de track etc. La única diferencia es que el **logic** es un programa que realiza ediciones de audio destructivas, es decir que si se corta una región del audio, el archivo de audio original también es afectado y de esta manera no poder recuperar el archivo de audio original si se ha editado mal. En el tutorial visto, se explico más a fondo la

¹⁰⁶ Teoría tomada del Tutorial por Video Clip Recording Techniques logic Pro6

organización de archivos de audio en la ventana de audio. Un modo mas sencillo para hacer ediciones, es crear archivos de audio con regiones seleccionadas del archivo de audio original, y de esta manera poseer muchos archivos de audio en la ventan de audio y así editarlos.

Como se menciona anteriormente, cuando se graba en **logic**, cada archivo de audio es visualizado en la ventana de audio, y allí podemos escuchar lo que se grabo. Si en una grabación se efectuaron varios ponches de grabación y al ser ya consolidado el archivo que se grabo, en la ventana de audio se va a visualizar un cierto numero de archivos, en los cuales esta el archivo consolidado y los archivos creados en cada ponches. **Logic** permite limpiar la sesión de Archivos de audio no deseados, en la función de **Edit**, sse le asigana al programa que seleccione los archivos no usados, el programa los identifica y selecciona y luego le digo Clear si se desea quitarlos de la ventana de audio, pero si realmente el usuario quiere eliminarlos del proyecto de grabación selecciono **Delete**. Si el archivo de audio no se a consolidado, la manera mas segura de borrar archivos no usados es ir a la función de **Optimize Files** y de este modo borrar las archivos de audio no usados de una forma mas segura. La ventana de Audio es bastante importante debido a que en esta se puede realizar diferentes funciones, en esta paleta se pueden importar archivos existentes en otros proyectos, para esta importación el logia ofrece diferentes opciones:

- Ir a la función **de Audio file**, que esta en la ventana de audio y buscar la opción de Import **Audio File**. El archivo se visualizara en la ventana de audio, y por medio de **Drag** in el archivo es montado en el software.
- En la ventana principal de arragement, en la función de audio, también esta la función del import **Audio File**. Y de la misma manera este será asignado en la ventana de audio.
- en la función de **Window**, se asigna la opción **Open proyect manager** allí escojo los archivos a importar. En la ventana de Project manager, la paleta de fuctions, La opción de **Add selected files to audio window**.

Otra forma de editar, es por medio de la barra de transporte donde se encuentran opciones nombradas anteriormente, así como otras, para realizarlo directamente. Si con la flecha en la parte de arriba, se sombrea una región de derecha a izquierda, en el momento de reproducir omitirá la región seleccionada.

- *Pro Tools TDM 6.4.1 software de grabación para Pro tools 24 mix¹⁰⁷*

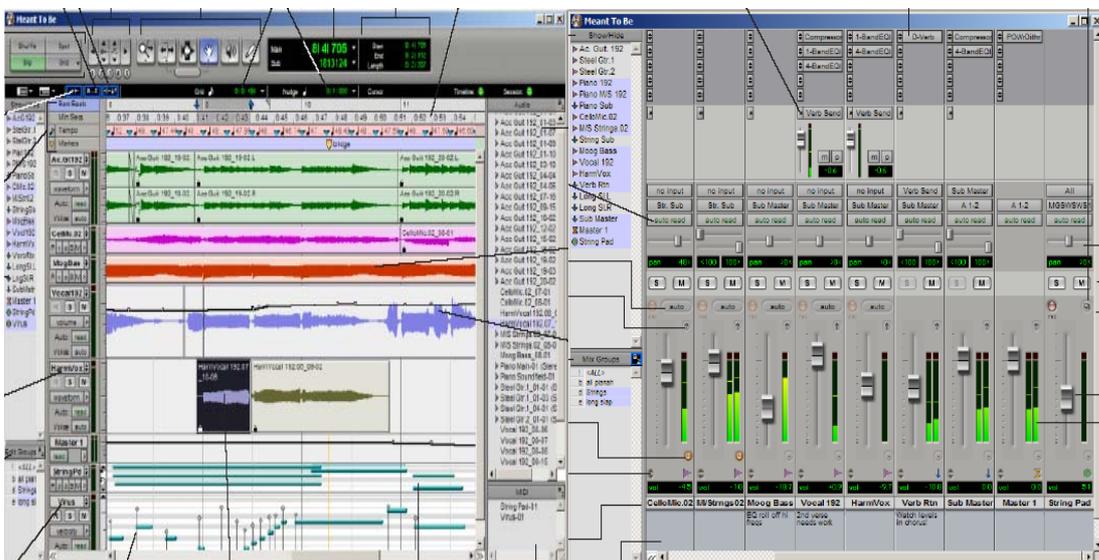


Fig 39

Ventanas de mezcla de audio y edición de audio en Pro Tools

Pro tools es un software especializado en grabación y edición de audio en disco duro. Contiene parámetros de un equipo convencional de grabación, como faders, mutes, faders, solos y controles normales de grabación como **record**, **play**, **stop**, **rwd** y **fwd**. Toda señal grabada se queda como un documento que puede ser stereo o mono. Tiene un sistema de grabación multitrack con auxiliares para los plug ins.

¹⁰⁷ Reference Guide del Tutorial del Software pro Tools, Cap. Pro tools.

Necesita de una interfase digidesign que transforma las señales de audio en señales binarias en el computador. **Pro tools** también da la oportunidad de procesar el audio con las funciones de audio suite, por medio de la cual el ingeniero puede normalizar (optimizar el audio) cambiar la ganancia y hacer compresión y expansión en el tiempo.

- *Sistemas TDM para grabación, reproducción y límite de voces*¹⁰⁸

La siguiente **tabla 6** posee una lista de límites de tracks para la grabación y reproducción de audio y voces para cada tipo de sistema **Pro Tools TDM**. Las voces de reproducción y grabación se refieren al número de tracks simultáneos que el software puede grabar y reproducir. El total de voces se refiere al número máximo de audio tracks que puede compartir con las voces disponibles del sistema (los tracks monos toman una voz y los tracks stereo y multicanal toman una voz por canal). El límite de voces depende del **Simple Rate** y el número de chips **DSP** configurados en el sistema de **playback engine**.

Pro Tools serie HD puede abrir sesiones con **256** tracks de audio y **Pro Tools 24** puede abrir sesiones con **128** tracks de audio, pero cualquier track más allá del límite de voces en el sistema el track automáticamente se apagará **Voice Off**. **Pro Tools serie HD** provee **128** tracks auxiliares y **Pro Tools 24** el sistema provee **64** tracks auxiliares o envíos, **Pro tools** también ofrece un total de **64** buses de mezcla y **5** inserts y **5** envíos por canal dependiendo de la capacidad del **DSP** del sistema por último el **Pro tools TDM** soporta subir **256** canales **M.I.D.I.**

¹⁰⁸ Reference Guide del Tutorial del Software pro Tools, Cap. Pro tools.

Core System Type	Sample Rate (kHz)	Voices (Mono Tracks of Simultaneous Playback)	Mono Tracks of Simultaneous Recording	Total Voiceable Tracks
Pro Tools HD 1	44.1/48	96	96	112
	88.2/96	48	48	48
	176.4/192	12	12	12
Expanded Pro Tools HD 1, Pro Tools HD 2, Pro Tools HD 3	44.1/48	128	128	224
	88.2/96	64	64	80
	176.4/192	24	24	24
Pro Tools 24 MIX, Expanded Pro Tools 24 MIX, Pro Tools 24 MIXplus, Pro Tools 24 MIX ³	44.1/48	64	64	86
Pro Tools 24	44.1/48	32	32	43
Expanded Pro Tools 24	44.1/48	64	64	86

Tabla 6

Limites de reproducción, grabación y voces para sistemas Pro Tools TDM

- *Interfaces de audio para sistemas Pro Tools TDM¹⁰⁹*

La siguiente **tabla 7** ilustra una lista de capacidades de **Input y Output** de varias interfaces de audio para sistemas de **Pro Tools TDM**. Sistemas de **Pro Tools HD**, sus interfaces de audio pueden combinar **96 Input Y output** de audio, sistemas de **Pro Tools 24** sus interfaces de audio pueden combinar **72 inputs y Outputs** de audio.

¹⁰⁹ Reference Guide del Tutorial del Software pro Tools, Cap. Pro tools.

Interface Type	Number of I/O Channels	Sample Rates (kHz)	A/D Conversion	D/A Conversion	Digital I/O
192 I/O	16 in/16 out (Expansion port supports up to 16 channels of additional I/O)	44.1, 48, 88.2, 96, 176.4, 192	24-bit	24-bit	24-bit
192 Digital I/O	16 in/16 out	44.1, 48, 88.2, 96, 176.4, 192	None	None	24-bit
96 I/O	16 in/16 out	44.1, 48, 88.2, 96	24-bit	24-bit	24-bit
888 24 I/O	8 in/8 out	44.1, 48	24-bit	24-bit (or 20-bit, on older I/O)	24-bit
882 20 I/O	8 in/8 out	44.1, 48	20-bit	20-bit	24-bit
1622 I/O	16 in/2 out	44.1, 48	20-bit	24-bit	24-bit
24-bit ADAT Bridge I/O	16 in/16 out	44.1, 48	None	24-bit	24-bit
Original ADAT Bridge I/O	16 in/16 out	44.1, 48	None	20-bit	24-bit (AES or S/PDIF), or 20-bit (Optical)
888 I/O	8 in/8 out	44.1, 48	18-bit (or 16-bit, on older I/O)	18-bit	24-bit
882 I/O	8 in/8 out	44.1, 48	16-bit	16-bit	24-bit

Tabla 7

Capacidades de las interfaces de audio para sistemas Pro Tools TDM

- *Capacidades de los sistemas Pro Tools LE¹¹⁰*

¹¹⁰ Reference Guide del Tutorial del Software pro Tools, Cap. Pro tools.

La siguiente **tabla 8** muestra una lista de las capacidades de reproducción, grabación, Input y Output para cada sistema **Pro Tools LE**. Todos estos sistemas soportan de **24 a 32** audio track simultáneamente. Si el usuario abre una sesión creada en un sistema **TDM**, la cual contendrá muchos mas audio que los que puede soportar un sistema **Pro Tools LE**, el sistema automáticamente setea en **voice Off**, los audio tracks que superan el limite de voces dado por el sistema. Todos estos sistemas proveen **128** tracks auxiliares, **16** buses internos para mezcla, **5** inserts y **5** envios por track, dependiendo del procesamiento del computador.

System Type	Mono Tracks of Simultaneous Playback	Number of I/O Channels	A/D Conversion	D/A Conversion	Digital I/O
Digi 002 Digi 002 Rack	32	up to 18 in/18 out (48 kHz or lower) up to 10 in/10 out (88.2 or 96 kHz)	24-bit	24-bit	24-bit
Digi 001	32 (Pro Tools 6.x cross-platform, and Pro Tools 5.3.1 to 6.x on Windows) 24 (Pro Tools 5.2 or lower)	up to 18 in/18 out	24-bit	24-bit	24-bit
Mbox	32 (Pro Tools 6.x cross-platform, and Pro Tools 5.3.3 to 6.x on Windows) 24 (Pro Tools 5.2)	up to 2 in/2 out	24-bit	24-bit	24-bit
Audiomedia III	32 (Pro Tools 6.x cross-platform, and Pro Tools 5.3.1 to 6.x on Windows) 24 (Pro Tools 5.2 or lower)	up to 4 in/4 out	18-bit	18-bit	24-bit

Tabla 8

Capacidades de reproducción, grabación, I/O channels para sistemas Pro Tools LE

- *Ventana de Mezcla (Mix Window)*¹¹¹

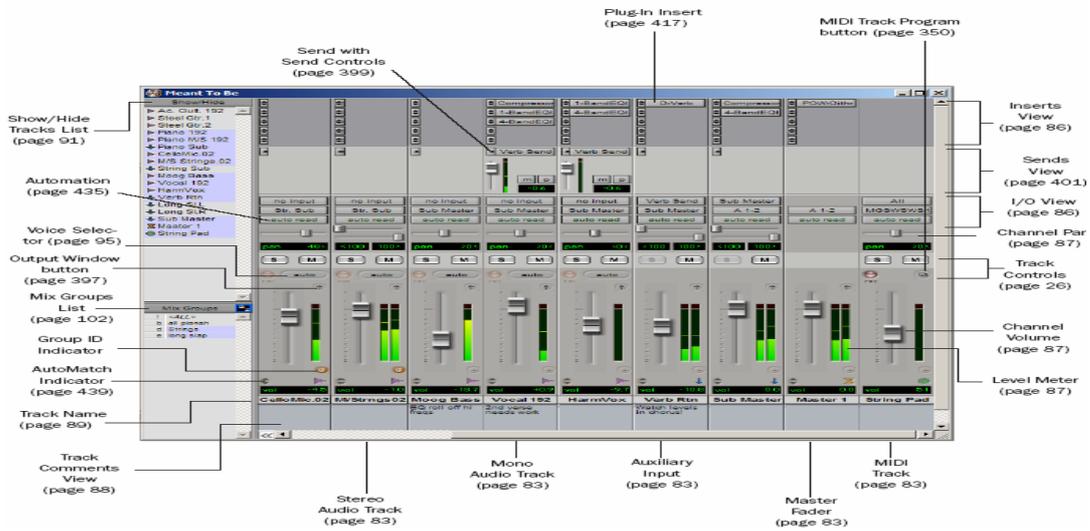


Fig 40

Ventana de mezcla o mix window del Pro Tools

- *Ventana de Edición (Edit Window)*¹¹²

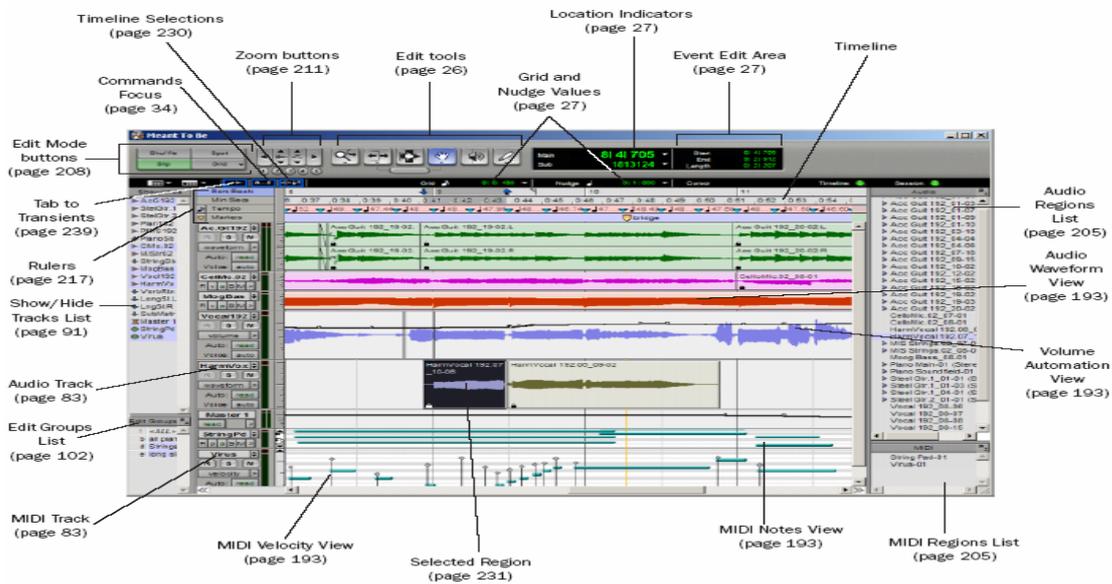


Fig 41

Ventana de edición o edit window del Pro Tools

¹¹¹ Reference Guide del Tutorial del Software pro Tools, Cap. Pro tools.

¹¹² Ibid.

La Fig 42, es el sistema de conexión para una interfase 16 canales de **Input y Output**

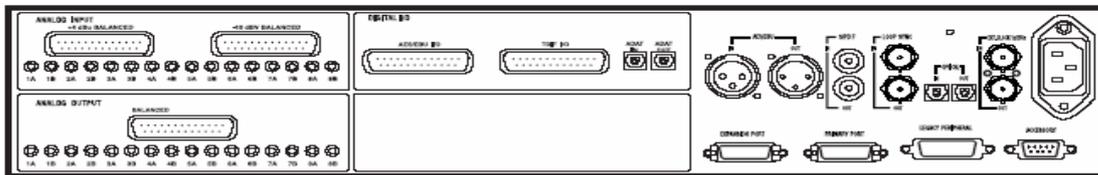


Fig 42

Panel trasero de una interfase de audio que ofrece 16 salidas y 16 entradas.

- *Digidesign superficie Control 24 para sistemas pro protocols TDM y LE 24*

113

Es una superficie de control para **Pro Tools** que ofrece en conjunto un sonido análogo de Focusrite hardware y un total control sobre el software **Pro Tools**. Esta superficie es ideal proyectos musicales profesionales. La consola control **24** tiene la apariencia de una antigua consola análoga, pero actualmente es una de las más poderosas herramientas de grabación. Con **24** sensitivos automáticos faders. Con una docena de switches iluminados para distintas funciones como **Mute, Solo, Record, Chanel Selects, Automation Mode, etc.** la superficie ofrece acceso directo y personal con las funciones de **Recording, Routing, Mixing, Edirtng** del **Pro Tools**



¹¹³ Teoría tomada de la Pág. Web www.digidesign.com/products.

Fig 43

Vista lateral y superior de una superficie de control 24 para Pro Tools

- *Especificaciones Técnicas de la superficie Control 24*¹¹⁴
 - 16 Mic/Line Inputs, gain range 0 to +60dB, 75Hz HPF, (XLR input)
 - Line inputs: +4 and -10dB compatible, (1/4" TRS)
 - Channels 1 & 2 equipped with Instrument Level transformers (1/4" TRS)
 - 16 Line Outputs: 25 pin D-Sub connectors (2)
 - 8 Channel Stereo Submixer, gain range: 0 to +10dB, balanced inputs on 25 pin D-Sub connectors (2) balanced outputs on 1/4" TRS jacks (2)
 - 3 Stereo External Input sources and 3 Stereo Pro Tools sources, on 25 pin D-Sub connectors (2)
 - Speaker Outputs: Left, Right, Center, Sub, Left Surround, Right Surround, Alt Left, Alt Right, with Gain control, individual Mute and Solo, Mute All, Dim, Mono: on 25 pin D-Sub connector (1)
 - Aux: 2 channel with Gain control, Mix to Aux function, 1/4" TRS inputs and outputs
 - Listenback: phantom power, gain adjust, (XLR input)
 - Talkback: phantom power, gain adjust, (XLR input)
 - Slate output: Line level talkback output, (1/4" TRS)
 - Headphones: 1/4" stereo, level adjust and on/off switch (1/4" TRS)
 - GPI's: 2 1/4" assignable switch functions (1/4" TS)
 - RJ-45 for 10Base-T Ethernet
- *Diferencias sustanciales entre Pro Tools Vs Logic*¹¹⁵

Logic es un programa diseñado y perfeccionado para la manipulación y procesamiento de información **M.I.D.I**, más que para la manipulación y

¹¹⁴ Teoría tomada de la Pág. Web www.digidesign.com/products.

¹¹⁵ Teoría tomada del Tutorial por Video Clip Recording Techniques LogicPro6.

procesamiento de audio, a diferencia de **Pro Tools** que se especializa en la manipulación de audio.

Logic es un programa mas complejo, es decir mas ingenieril y complicado en la grabación y edición de audio. Debido al extenso protocolo que posee este para realizar cualquier grabación y edición. A pesar de que Logic graba por default los archivos de audio a **24 Bits**, logrando un mejor procesamiento de señal, el proceso de grabación es bastante innecesario. En el momento de editar audio en **logic**, como ya se menciona anteriormente es muy riesgoso debido a que lo hace de manera destructiva y al aplicar las herramientas de edición requiere de un protocolo muy extenso. **Pro Tools** es una programa mas amigable a la hora de grabar y editar, es decir el protocolo no es extenso y es mucho más sencillo y además guarda un archivo de audio diferente por cada edición, teniendo de esta manera mas opciones de editar.

Logic es un programa muy desordenado a la hora de grabar, debido a que el usuario debe crear una carpeta para guardar los archivos del proyecto que esta realizando, y como si fuera poco, el programa no asigna un nombre independiente a cada archivo grabado, ocasionando confusión de los archivos guardados. **Pro tools** por default crea una carpeta de **Audio Wavs**, en donde se almacenaran todos los archivos grabados y además cada uno posee su nombre independiente asignado por el usuario para no causar confusiones.

Logic es un software bastante bueno para la mezcla y post producción de un proyecto, debido a la cantidad y calidad de **Plug Ins** que posee por default. Posee **4** reverberaciones distintas con diferentes opciones, Posee varios **delay**, **distorsiones**, **Chorus**, **Etc** y además deja manipular un mayor número de **plug ins** sin que el computador se cuelgue. **Pro Tools** posee una menor cantidad y calidad de **plug ins** que el **logic** y además al usar **4 Plug Ins** de **reverbs o delay** la maquina ya se esta colgando.

Para grabación y edición como ingeniería práctica se prefiere **Pro Tools** debido a su fácil manejo, orden y rapidez, pero en cuanto a post producción es mas

recomendado el **Logic** por su alta calidad y números de **plug Ins** que posee y a la alta capacidad de información que puede manejar sin que la maquina se cuelgue.

Para proyectos de Información **M.I.D.I** es mucho mejor trabajar con **Logic**.

2.2.5. Técnicas de Microfonia para un estudio de grabación¹¹⁶

La selección y ubicación de los micrófonos, son variables de alto peso para realizar una producción musical como se planea hacer. Es muy común ver en la industria de la grabación que la música interpretada por músicos virtuosos con instrumentos de alta calidad debidamente mezclados puede ser enviada directamente a la grabadora con poca y sin modificación alguna. La mayoría de las veces este sonido suena mejor que el sonido de un instrumento que ha sido modificado por dispositivos de procesamiento de señal. Los ingenieros describen técnicas de microfonía y posicionamiento del micrófono para la captura de un balance tonal natural y rechazar los sonidos no deseados y además se pueden obtener efectos especiales con estas técnicas.

2.2.5.1 Técnicas de microfonia¹¹⁷ Es importante tener en cuenta los siguientes tres puntos que son muy básicos, para microfonear cualquier dispositivo que genere sonido.

a) Usar un micrófono con una respuesta en frecuencia que este dentro del rango de frecuencia de sonido que maneja el instrumento. Si es posible filtrar frecuencias que estén arriba o por debajo de las frecuencias más altas y más bajas.

b) Ubicar el micrófono en varias distancias y posiciones hasta encontrar, un punto en el cual el ingeniero escucha en el monitoreo del estudio el balance tonal deseado y el comportamiento del sonido deseado que es otorgado por la acústica

¹¹⁶ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

¹¹⁷ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

del cuarto de grabación. Si el ingeniero no ha encontrado aquel sonido, debe buscar otra posición, tratar con otro micrófono, o tratar de cambiar el sonido propio del instrumento, por ejemplo remplazar las gastadas cuerdas de un instrumento cambiara el sonido del instrumento.

c) A menudo el ingeniero se encontrara con cuartos que proporcionan una baja calidad acústica o la captura de sonidos no deseados (como en el caso del desarrollo de este proyecto). En estos casos es necesario ubicar el micrófono muy cerca de la sección que genera mas sonido acústico del instrumento o aislar y cambiar el sonido propio del instrumento, experimentar con distintos micrófonos, distintas posiciones para minimizar el sonido no deseado proporcionado por el cuarto y acentuar el sonido directo proporcionado por el instrumento. Las técnicas de microfonía varían de manera subjetiva, es decir del gusto de cada ingeniero para la captura de ciertos sonidos, debido a que no hay una manera ideal de ubicar un micrófono. Se recomienda experimentar con bastantes posiciones y micrófonos, hasta crear el sonido que realmente se desea del instrumento, debido a que un buen ingeniero en la practica, la mayoría de las veces va estar en condiciones ideales de trabajo como micrófonos ideales y salas de grabación con una respuesta acústica por no mas decirlo ideal. Sin embrago el sonido deseado puede ser obtenido de manera mas rápida si se entiende las características básicas de los micrófonos, las técnicas básicas de posición de micrófonos, las propiedades de radiación del sonido proporcionado por los instrumentos musicales y las características acústicas básicas de el cuarto de grabación como lo son la distribución de frecuencias modales, la reverberación, el comportamiento de la energía, la difusión y la perdida por transmisión.

- *Técnicas de captura vocal*¹¹⁸

Micrófonos con distintos patrones polares pueden ser usados, en las técnicas de grabación vocal. Si se considera grabar un grupo coral o ensamble vocal, se

¹¹⁸ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

ubican a los músicos en círculo de modo que rodeen un micrófono omnidireccional, en donde si los músicos poseen un alto entrenamiento vocal, crearan una armónica mezcla de voces por cambiar sus individuales niveles o matices de voz y timbres de voz. 2 micrófonos cardioides ubicados uno de espaldas del otro pueden ser usados para la misma aplicación. Un micrófono omnidireccional puede ser usado para un solo vocal, siempre y cuando este ubicado en un cuarto con un ambiente y reverberación característica del cuarto el cual le proporcionara un efecto al sonido de viveza y calidez deseado, el micrófono omnidireccional capturara tanto el sonido del recinto como el sonido directo del cantante. Cambiando la distancia del vocalista al micrófono, el ingeniero puede ajustar un balance entre el ambiente del cuarto y el sonido directo. Si el micrófono está ubicado muy cerca del vocal, el sonido capturado será más directo que el sonido ambiente del cuarto.

El ambiente Standard de una grabación vocal usualmente captura el sonido directo del vocal, con un micrófono unidireccional y el aislamiento del sonido de la voz por medio de biombos que reducen el sonido reflejado del cuarto, el cual proporciona la característica reverberante.

Los ejes del micrófono deben estar usualmente apuntando entre la nariz y la boca para capturar el sonido completo de la voz, sin embargo el micrófono al estar dirigido en frente de la boca del vocal proporcionándole una pequeña ubicación fuera de los ejes del micrófono, ayudara a evitar sonidos explosivos de respiración o sonidos de consonantes como la **p, b, d y t**. otra manera de evitar este problema es usar un accesorio que filtre el poppeo (pop stopper)

- *Técnicas de captura para instrumentos acústicos de cuerdas y trastes*¹¹⁹.

La experimentación con la ubicación del micrófono provee la habilidad, de conseguir una exacta y placentera reproducción del sonido para estos complejos

¹¹⁹ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

instrumentos. Lo anterior también da la oportunidad para explorar la manipulación del sonido, dándole al ingeniero del estudio muchos patrones para una mezcla final.

Cuando se graba una guitarra acústica, se trata de ubicar un micrófono en frente del mástil, el cual proporciona el sonido del instrumento a unas tres o seis pulgadas de distancia. Luego se ubica otro micrófono de la misma manera, a unos cuatro pies de distancia. Este experimento permitirá escuchar el sonido directo del instrumento y el sonido ambiente del recinto. Al grabar ambos micrófonos sin efectos y ecualización, cada uno por un track diferente, estos dos tracks poseerán un sonido bastante diferente. Al combinar ambos tracks proporcionaran un sonido abierto con sensación de **delay** del micrófono ubicado mas lejos. Dando el efecto de 2 diferentes instrumentos y el ensanchamiento de cada señal con ecualización y efectos, se experimentara con el sonido que se desea obtener.

Tratar la anterior técnica en cualquier instrumento acústico, probando la posición del micrófono en diferentes áreas sobre los instrumentos, se encontrara que en diferentes áreas habrá diferentes características tonales de los instrumentos. De esta manera el ingeniero desarrollar un buen oído para encontrar instrumentos con un dulce sonido en diferentes puntos.

En la **Fig 44**, se muestran diferentes maneras en la que se puede microfonear una guitarra acústica, cada punto enumerado es una técnica de microfonia diferente y estas son explicadas de forma detallada en la **tabla 9**.

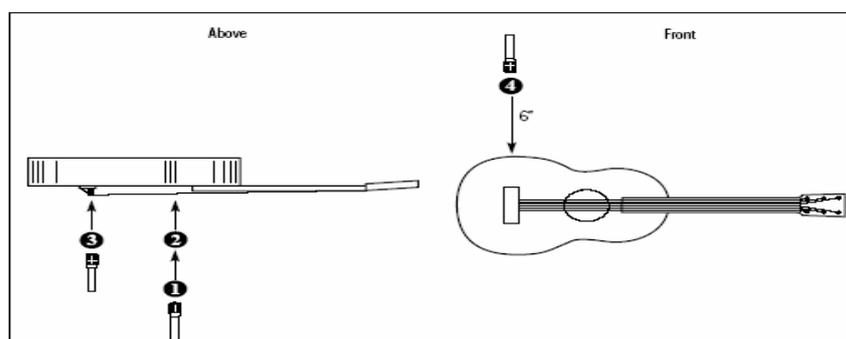


Fig 44

Técnica de microfonia guitarra acústica

Acoustic Guitar:

Microphone Placement	Tonal Balance	Comments
❶ 8 inches from sound hole	Bassy	Good starting placement when leakage is a problem. Roll off bass for a more natural sound (more for a uni than an omni).
❷ 3 inches from sound hole	Very bassy, boomy, muddy, full	Very good isolation. Bass roll-off needed for a natural sound.
❸ 4 to 8 inches from bridge	Woody, warm, mellow. Mid-bassy, lacks detail	Reduces pick and string noise.
❹ 6 inches above the side, over the bridge, and even with the front soundboard	Natural, well-balanced, slightly bright	Less pickup of ambiance and leakage than 3 feet from sound hole.
Miniature microphone clipped outside of sound hole	Natural, well-balanced	Good isolation. Allows freedom of movement.
Miniature microphone clipped inside sound hole	Bassy, less string noise	Reduces leakage. Test positions to find each guitar's sweet spot.

Banjo:

3 inches from center of head	Bassy, thumpy	Limits leakage. Roll off bass for natural sound.
3 inches from edge of head	Bright	Limits leakage.
Miniature microphone clipped to tailpiece aiming at bridge	Natural	Limits leakage. Allows freedom of movement.

Violin (Fiddle):

A few inches from side	Natural	Well-balanced sound.
------------------------	---------	----------------------

Cello:

1 foot from bridge	Well-defined	Well-balanced sound, but little isolation.
--------------------	--------------	--

All String Instruments:

Miniature microphone attached to strings between bridge and tailpiece	Bright	Minimizes feedback and leakage. Allows freedom of movement.
---	--------	---

Tabla 9

Ubicación de micrófonos, el balance tonal y comentarios de la técnica.

La **tabla 10** explica, la ubicación del micrófono, el balance tonal de cada captura y comentarios de la técnica usada para instrumentos acústicos de bajos como lo son (Upright Bass, String Bass, Bass Violin).

Acoustic Bass: (Upright Bass, String Bass, Bass Violin)

Microphone Placement	Tonal Balance	Comments
6 inches to 1 foot out front, just above bridge	Well-defined	Natural sound.
A few inches from f-hole	Full	Roll off bass if sound is too boomy.
Wrap microphone in foam padding (except for grille) and put behind bridge or between tailpiece and body	Full, "tight"	Minimizes feedback and leakage.

Harp:

Aiming toward player at part of soundboard, about 2 feet away	Natural	See "Stereo Microphone Techniques" section for other possibilities.
Tape miniature microphone to soundboard	Somewhat constricted	Minimizes feedback and leakage.

Tabla 10

Técnicas de microfonia para instrumentos bajos y el arpa.

- *Técnicas de captura para pianos acústicos y Upright piano*
- *Pianos Acústicos*¹²⁰

Acoustic Pianos

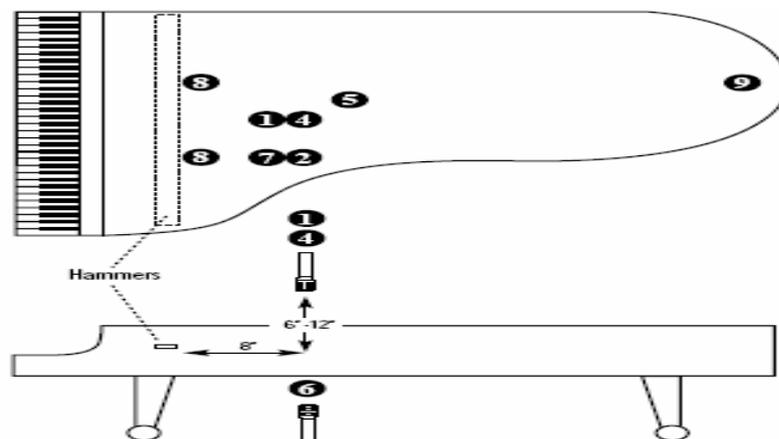


Fig 45

Diferentes posiciones de microfonia para pianos acústicos

¹²⁰ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

En la **Fig 45** se ilustran las diferentes posiciones para capturar el sonido de un piano acústico, la explicación del porque de cada posición con su respectiva distancia, balance tonal y comentarios de la técnica se explicaran en la **tabla 11**

Grand Piano:

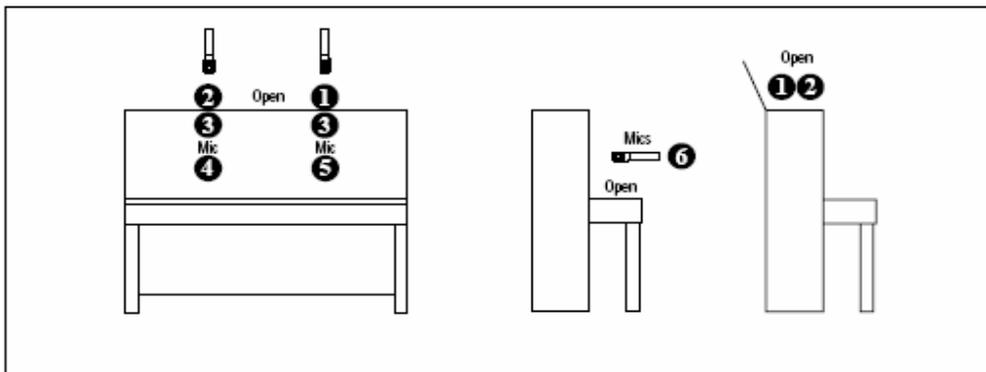
Microphone Placement	Tonal Balance	Comments
① 12 inches above middle strings, 8 inches horizontally from hammers with lid off or at full stick	Natural, well-balanced	Less pickup of ambience and leakage than 3 feet out front. Move microphone(s) farther from hammers to reduce attack and mechanical noises. Good coincident-stereo placement. See "Stereo Microphone Techniques" section.
② 8 inches above treble strings, as above	Natural, well-balanced, slightly bright	Place one microphone over bass strings and one over treble strings for stereo. Phase cancellations may occur if the recording is heard in mono.
③ Aiming into sound holes	Thin, dull, hard, constricted	Very good isolation. Sometimes sounds good for rock music. Boost mid-bass and treble for more natural sound.
④ 6 inches over middle strings, 8 inches from hammers, with lid on short stick	Muddy, boomy, dull, lacks attack	Improves isolation. Bass roll-off and some treble boost required for more natural sound.
⑤ Next to the underside of raised lid, centered on lid	Bassy, full	Unobtrusive placement.
⑥ Underneath the piano, aiming up at the soundboard	Bassy, dull, full	Unobtrusive placement.
⑦ Surface-mount microphone mounted on underside of lid over lower treble strings, horizontally, close to hammers for brighter sound, further from hammers for more mellow sound	Bright, well-balanced	Excellent isolation. Experiment with lid height and microphone placement on piano lid for desired sounds.
⑧ Two surface-mount microphones positioned on the closed lid, under the edge at its keyboard edge, approximately 2/3 of the distance from middle A to each end of the keyboard	Bright, well-balanced, strong attack	Excellent isolation. Moving "low" mic away from keyboard six inches provides truer reproduction of the bass strings while reducing damper noise. By splaying these two mics outward slightly, the overlap in the middle registers can be minimized.
⑨ Surface-mount microphone placed vertically on the inside of the frame, or rim, of the piano, at or near the apex of the piano's curved wall	Full, natural	Excellent isolation. Minimizes hammer and damper noise. Best if used in conjunction with two surface-mount microphones mounted to closed lid, as above.

Tabla 11

Explicación de cada técnica de microfonía para un piano acústico

- *Upright Pianos*¹²¹

En la **Fig 46** y **tabla 12**, se ilustra y se explica las diferentes microfónicas para capturar el sonido de Upright Piano.



Upright Piano:

Microphone Placement	Tonal Balance	Comments
1 Just over open top, above treble strings	Natural (but lacks deep bass), picks up hammer attack	Good placement when only one microphone is used.
2 Just over open top, above bass strings	Slightly full or tubby, picks up hammer attack	Mike bass and treble strings for stereo.
3 Inside top near the bass and treble strings	Natural, picks up hammer attack	Minimizes feedback and leakage. Use two microphones for stereo.
4 8 inches from bass side of soundboard	Full, slightly tubby, no hammer attack	Use this placement with the following placement for stereo.
5 8 inches from treble side of soundboard	Thin, constricted, no hammer attack	Use this placement with the preceding placement for stereo.
1 foot from center of soundboard on hard floor or one-foot-square plate on carpeted floor, aiming at piano (soundboard should face into room)	Natural, good presence	Minimize pickup of floor vibrations by mounting microphone in low-profile shock-mounted microphone stand.
6 Aiming at hammers from front, several inches away (remove front panel)	Bright, picks up hammer attack	Mike bass and treble strings for stereo.

Fig 46 y tabla 12

Técnicas de microfónica para Upright Pianos.

¹²¹ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

- *Técnicas de captura para instrumentos de viento (Woodwinds y Brass) (31)*
- *Woodwinds*
- *Saxofón*¹²²

Con el saxofón, el sonido es limpio y bien distribuido entre los Finger Holes y la campana. Microfonear cerca a los finger holes dará como resultado el ruido de las teclas. El saxofón soprano debe ser considerado como caso aparte debido a que su campana no encorva hacia arriba, esto significa que al contrario de los otros saxofones, ubicando un micrófono en el medio del instrumento, no se capturara el sonido de las teclas y la campana simultáneamente. El saxofón posee un sonido característico similar a la voz humana. Así, que un micrófono diseñado para capturara un rango de frecuencias de voz humana seria ideal para la captura de este sonido.

Saxophone:

Microphone Placement	Tonal Balance	Comments
<p>With the saxophone, the sound is fairly well distributed between the finger holes and the bell. Miking close to the finger holes will result in key noise. The soprano sax must be considered separately because its bell does not curve upward. This means that, unlike all other saxophones, placing a microphone toward the middle of the instrument will not pick-up the sound from the key holes and the bell simultaneously. The saxophone has sound characteristics similar to the human voice. Thus, a shaped response microphone designed for voice works well.</p>		
A few inches from and aiming into bell	Bright	Minimizes feedback and leakage.
A few inches from sound holes	Warm, full	Picks up fingering noise.
A few inches above bell and aiming at sound holes	Natural	Good recording technique.
Miniature microphone mounted on bell	Bright, punchy	Maximum isolation, up-front sound.

Tabla 13

Técnica de microfonia para un saxofón

¹²² EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

- *Flauta*¹²³

La energía del sonido de una flauta es proyectada por dos secciones que son la embouchure y los primeros fingershole abiertos. Para una buena captura, se ubica un micrófono lo más cerca posible al instrumento. Sin embargo si el micrófono esta demasiado cerca de la boca, el sonido desagradable de la respiración nasal será capturado. Para evitar este problema se deberá usar una pantalla de vientos sobre el micrófono.

A few inches from area between mouthpiece and first set of finger holes	Natural, breathy	Pop filter or windscreen may be required on microphone.
A few inches behind player's head, aiming at finger holes	Natural	Reduces breath noise.

Tabla 14
Técnicas de Microfonia para una flauta

- *Harmónica y Acordeón*

Microphone Placement	Tonal Balance	Comments
Harmonica		
Very close to instrument	Full, bright	Minimizes feedback and leakage. Microphone may be cupped in hands.
Accordion		
One or two feet in front of instrument, centered	Full range, natural sound	Use two microphones for stereo or to pick up bass and treble sides separately.
Miniature microphone mounted internally	Emphasizes midrange	Minimizes leakage. Allows freedom of movement.

Tabla 15
Técnicas de microfonia para Harmónica acordeón

¹²³ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

- *Brass*¹²⁴

El sonido de la mayoría de los instrumentos de vientos Brass es muy direccional. Ubicar un micrófono en fuera del eje con la campana del instrumento ocasionara menos captura de altas frecuencias.

Trumpet, Cornet Trombone, Tuba:

Microphone Placement	Tonal Balance	Comments
1 to 2 feet from bell (a couple of instruments can play into one microphone)	On-axis to bell sounds bright; to one side sounds natural or mellow	Close miking sounds "tight" and minimizes feedback and leakage. More distant placement gives fuller, more dramatic sound.
Miniature microphone mounted on bell	Bright	Maximum isolation.

French Horn:

Microphone aiming toward bell	Natural	Watch out for extreme fluctuations on VU meter.
-------------------------------	---------	---

Tabla 16

Técnicas de microfonia para Trompetas, Cornetas, Trombones, Tubas Y French Horn

- *Técnicas de captura para instrumentos amplificados*¹²⁵

Otro instrumento con un ancho rango de características es el parlante. En cualquier momento, cuando se esta grabando con una cabina de guitarra y bajo, el ingeniero se esta enfrentado a la naturaleza acústica de los parlantes. Un solo parlante es direccional e irradia diferentes características de frecuencia en diferentes ángulos y distancias. Sobre el eje del centro de un parlante se tiende a producir un sonido mordido es decir sin entendimiento, mientras que fuera del eje del centro del parlante se captara un sonido mucho más melódico

¹²⁴ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

¹²⁵ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

Un gabinete con múltiples parlantes, posee una mayor salida de energía acústica. Especialmente si este posee diferentes parlantes para bajos y altos. Como la mayoría de los instrumentos acústicos, estas cabinas proporcionan un buen sonido un poco lejos del parlante. Lo más común para microfonear este instrumento es ubicar el micrófono lo más cerca posible de un parlante. Este hábito lo desarrolla la mayoría de las personas, porque lo han visto en sonido en vivo.

El ambiente del sonido en vivo, la mayoría de las fuentes sonoras son capturadas con micrófonos muy cerca de ellas, para lograr capturas de mayor proporción de sonido directo que el sonido ambiente. Al usar micrófonos direccionales y con microfónicas bastante cerca de las fuentes sonora, maximizan el rechazo del sonido ambiente proporcionado por las características direccionales de este, debido a que el sonido ambiente está fuera del eje de captura del micrófono. Estos elementos proporcionan una alta reducción de problemas de realimentación u acoplamiento acústico.

En el ambiente de la grabación, las cabinas de parlantes pueden ser aisladas y con técnicas de distancia de micrófonos, puede ser usada para capturar el sonido representativo. Muy a menudo al usar un micrófono cerca y otro con una distancia de unos pocos pies de la fuente sonora, es posible grabar un sonido el cual posee un controlable balance entre el sonido directo y el ambiente. La ubicación de la cabina de parlantes, también puede tener una alta influencia en el sonido capturado. Poner las cabinas sobre alfombras puede reducir los brillos, mientras que levantar la cabina del piso puede reducir bajos. Las cabinas abiertas atrás, puede ser microfoneadas por detrás como por delante. La distancia de la cabina a las paredes u otros objetos también puede variar la calidad del sonido, al igual de lo que se dijo anteriormente, hay que experimentar con la ubicación de la cabina y el micrófono para obtener el sonido que se desea.

- *Guitarras Eléctricas*¹²⁶

La guitarra eléctrica posee un sonido, con características similares a la de la voz humana. De esta manera un micrófono diseñado con una respuesta de frecuencia de estas características sería ideal para la captura de este sonido. Comúnmente los micrófonos mas usados para la captura de este instrumento son los micrófonos dinámicos como el **Shure SM-57**. La **Fig 47** ilustra de manera detallada, diferentes posiciones de micrófonos para la captura del sonido irradiado por la cabina de parlantes.

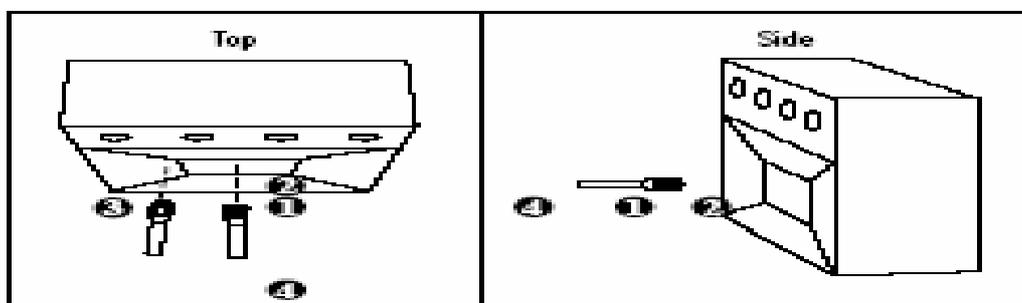


Fig 47

Diferentes posiciones de micrófono para la captura de un gabinete.

Microphone Placement	Tonal Balance	Comments
① 4 inches from grille cloth at center of speaker cone	Natural, well-balanced	Small microphone desk stand may be used if loudspeaker is close to floor.
② 1 inch from grille cloth at center of speaker cone	Bassy	Minimizes feedback and leakage.
③ Off-center with respect to speaker cone	Dull or mellow	Microphone closer to edge of speaker cone results in duller sound. Reduces amplifier hiss noise.
④ 3 feet from center of speaker cone	Thin, reduced bass	Picks up more room ambiance and leakage.
Miniature microphone draped over amp in front of speaker	Emphasized midrange	Easy setup, minimizes leakage.
Microphone placed behind open back cabinet	Depends on position	Can be combined with mic in front of cabinet, but be careful of phase cancellation.

Tabla 17

Técnicas de microfonía para una guitarra eléctrica.

¹²⁶ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

- *Bajo Eléctrico*¹²⁷ Si la cabina posee solo un parlante, un solo micrófono deberá capturar un adecuado sonido con un poco de experimentación. Si la cabina posee múltiples parlantes, se ubicara el micrófono de la misma manera que un gabinete con un solo parlante. Ubicar el micrófono entre los parlantes puede ocasionar grandes problemas de desfases, sin embargo esto puede lograr un tono particular del sonido. Si la cabina es stereo es decir tiene por separado un parlante para bajos y otro para altos, se requerirá múltiples micrófonos.

- Técnicas de captura para batería y percusión¹²⁸

La batería es uno de los instrumentos más difíciles y complejos de grabar. Si embargo existen varios métodos, técnicas y principios para lograr una adecuada captura de este instrumento. Las diferentes partes de una batería poseen un rango amplio y variables sonidos, debido a esto cada parte de la batería es considerado como un instrumento individual los cuales son: Bombo, Redoblante, Toms, Platillos, Y otras percusiones. Ciertamente al grabar este instrumento se debe tener en cuenta los siguientes factores para escoger los micrófonos de captura.

a) Rango Dinámico: Una batería tiene la capacidad de producir altos niveles de presión sonora. El micrófono que se usa para su captura debe funcionar y aguantar estos altos niveles de energía. Un micrófono dinámico usualmente se comporta de mejor manera para altos niveles de presión sonora que un micrófono condensador. Los micrófonos deben poseer un rango dinámico por lo menos de 130 decibeles en capturas cercanas del instrumento.

b) Direccionalidad: Debido a que se considera cada parte de la batería como un instrumento individual, cada instrumento de estos posee su propio micrófono de

¹²⁷ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

¹²⁸ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

captura de sonido. Debido al uso de varios micrófonos y por la proximidad de uno al otro, se presentara problemas de interferencia de señales u acoplamiento de micrófonos. Escoger micrófonos que puedan rechazar el sonido en ciertos ángulos y la ubicación adecuadas de estos, se puede lograr una mezcla sin problemas de desfases.

c) Efecto de Proximidad: Micrófonos unidireccionales poseen una alta respuesta en frecuencias bajas, cuando estos son ubicados muy cerca del instrumento la respuesta en bajas frecuencias será mayor y se obtendrá un sonido enturbiado, este efecto si se maneja de manera adecuada podrá proporcionara una deseada respuesta en bajas frecuencias.

Típicamente las baterías son aisladas para evitar que los micrófonos de esta capturen sonidos no deseados en una grabación en bloque. En estudios profesionales la batería es levantada del piso, con el fin de reducir la transmisión de bajas frecuencias a través del piso

- *Batería*¹²⁹

a) Bombo: Este instrumento tiene como función proporcionar los estallidos en bajas frecuencias que ayudan a establecer el patrón rítmico de una canción. La energía del kick Drum es proporcionada en dos áreas que son la frecuencia baja que le da el timbre y el attack que proporciona el sonido del golpe. Sin embargo este varia por bombo, el ataque de este instrumento se halla alrededor de los **2.5kHz – 5kHz**.

Un micrófono para captura este sonido deberá tener una muy buena respuesta en bajas frecuencias y la posibilidad de de un empujón en el rango del ataque del instrumento. Sin embargo esto se puede lograr fácilmente con ecualizadores. El micrófono deberá estar ubicado entre **1 pulgada y 6 pulgadas**, apuntando al pedal que proporciona el golpe.

¹²⁹ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

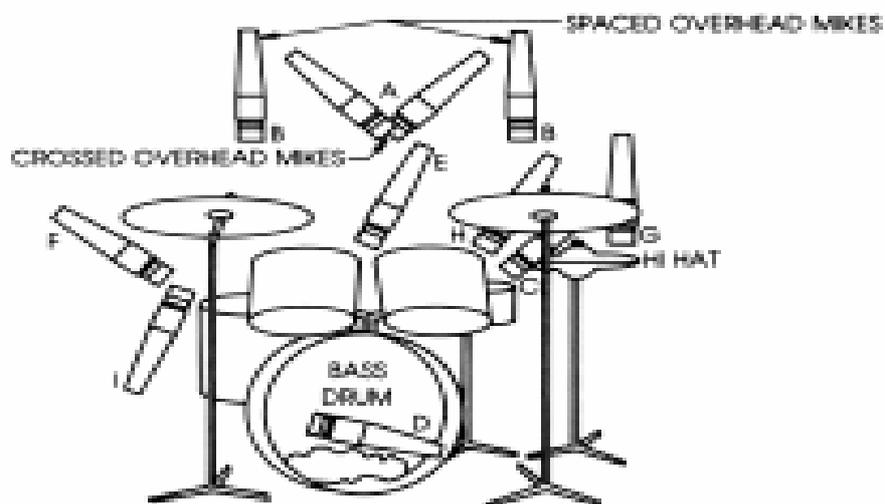
b) Redoblante: Este es el instrumento con mayor peso en el sonido de una batería en una canción, al igual que el bombo este también proporciona un alto porcentaje del tiempo. El ataque de este instrumento está focalizado en el rango de los **4kHz – 6kHz**. Este instrumento es capturado con un micrófono cardioide o supercardioide, ubicado por encima del instrumento y en el borde de este.

c) Hi-Hat: Estos platillos son cortos en altas frecuencias, este es usado para mantener el tiempo. Un micrófono ubicado un poco lejos del efecto de **puff Off Air** que proporcionan los Hi Hats cuando estos se abren y se cierran y unos cuatro pulgadas por encima de los platillos, será un buen punto de inicio para la captura de este instrumento. La mayoría de las veces para capturar este micrófono es recomendada usar micrófonos de condensador.

d) Toms: Mientras que el bombo y el redoblante establecen las funciones rítmicas de bajos y altos respectivamente. Los toms son instrumentos múltiples los cuales estarán afinados de altos a bajos entre el redoblante y el bombo. El rango de ataque de estos instrumentos es similar al del redoblante pero a menudo poseen un poco más de sustain. Un micrófono direccional por encima de la cara del tambor hacia el borde de este, puede ser usado para cada instrumento de estos que posee la batería, para luego crear una imagen espacial por medio de paneos.

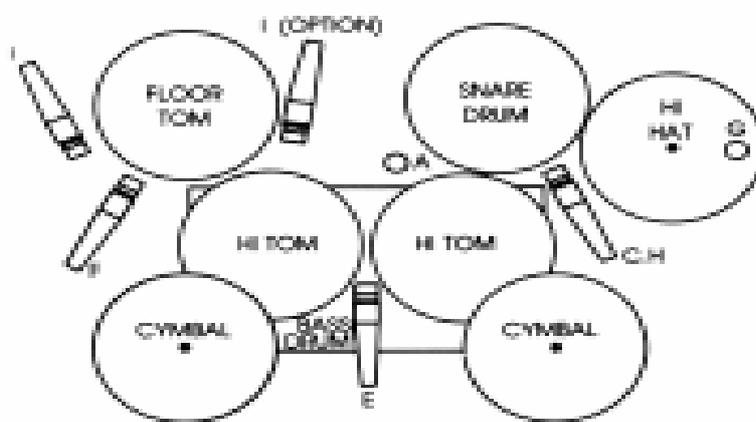
e) Overheads: Estos platillos, concentran su energía en altas frecuencias. Los micrófonos condensadores los cuales poseen una respuesta en frecuencia plana, proporcionarían una fiel captura de estos instrumentos. Tener micrófonos con filtros pasa altos, ayudarían a rechazar algo del sonido proporcionado por los otros instrumentos y de esta manera se podrá evitar efectos de interferencia. Comúnmente para aprovechar la captura de un arreglo de platillos, es ubicar una técnica stereo es decir un par de micrófonos.

La Fig 48 ilustra la distribución de micrófonos en una batería.



Front view

DRUMMER



Top view

Fig 48

Técnicas de microfonia en una batería

- *Percussion*¹³⁰

Timbales, Congas, Bongos:

Microphone Placement	Tonal Balance	Comments
One microphone aiming down between pair of drums, just above top heads	Natural	Provides full sound with good attack.

Tambourine:

One microphone placed 6 to 12 inches from instrument	Natural	Experiment with distance and angles if sound is too bright.
--	---------	---

Steel Drums:

Tenor Pan, Second Pan, Guitar Pan

One microphone placed 4 inches above each pan	Bright, with plenty of attack	Allow clearance for movement of pan.
---	-------------------------------	--------------------------------------

Microphone placed underneath pan		Decent if used for tenor or second pans. Too boomy with lower voiced pans.
----------------------------------	--	--

Cello Pan, Bass Pan

One microphone placed 4 - 6 inches above each pan	Natural	Can double up pans to a single microphone.
---	---------	--

Xylophone, Marimba, Vibraphone:

Two microphones aiming down toward instrument, about 1 1/2 feet above it, spaced 2 feet apart, or angled 135° apart with grilles touching	Natural	Pan two microphones to left and right for stereo. See "Stereo Microphone Techniques" section.
---	---------	---

Glockenspiel:

One microphone placed 4 - 6 inches above bars	Bright, with lots of attack.	For less attack, use rubber mallets instead of metal mallets. Plastic mallets will give a medium attack.
---	------------------------------	--

Tabla18

Técnicas de microfonía para timbales congas bongos y otras percusiones

¹³⁰ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

2.2.5.2. Técnicas de microfonía stereo¹³¹

Una de las más populares técnicas de microfonía, es la stereo. Esta usa dos o más micrófonos para crear una imagen stereo, esta técnica proporcionará profundidad y una ubicación espacial al instrumento que se está grabando. Existe un diferente número de técnicas para lograr el efecto stereo. Tres de las técnicas más conocidas y usadas son: **Spaced Pair (A/B)**, **Configuración X-Y** y **la técnica Mid-Side (M-S)**.

a) Spaced Pair (A/B): Esta técnica consiste en usar dos micrófonos cardioides u omnidireccionales espaciados en un rango de **3 a 10 pies** uno del otro. La efectiva separación stereo es muy amplia. La distancia entre los dos micrófonos depende del tamaño físico de la fuente sonora. Por instancia, si dos micrófonos son ubicados **10 pies** de distancia entre ellos y una guitarra, la guitarra grabada aparecerá en el centro de la imagen stereo. Esto es debido a que es mucho espacio para una fuente sonora pequeña. Un arreglo de micrófonos en una posición mucho más cercana podrá capturar una mejor imagen stereo del instrumento.

Una desventaja de esta técnica, es el potencial por las cancelaciones no deseables de fase de las señales de los micrófonos. Debido a la grande distancia entre micrófonos y la diferencia resultante de tiempo de arribo de las señales en los micrófonos, ocasionarán cancelaciones y sumatorias de fases. Una manera para determinar los problemas de fase es a través de una fuente monofónica en donde al reproducir el sistema monofónico, las frecuencias se sumarán en determinadas partes o se cancelarán. Estos es un problema serio debido a que si la grabación que realiza el ingeniero se escuchara monofónicamente.

b) Configuración (X-Y): Esta técnica usa dos micrófonos cardioides del mismo tipo y fabricación se ubicarán las dos capsulas de los micrófonos tan cerca como sea posible (coincidentes) o a una distancia de **12 pulgadas** una de la otra

¹³¹ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone techniques for Studio Recording.

(coincidentes lejanas) y además que los ejes frontales de los dos micrófonos logren un rango de ángulos de **90 grados a 135 grados**. Esto es dependiendo del tamaño de la fuente sonora y del sonido que se desea captar. El par de micrófonos es ubicado con el centro de los **2** micrófonos, apuntando directamente a la fuente sonora ya están paneados de izquierda a derecha. La separación stereo de esta técnica es buena pero es limitada si la fuente sonora es muy ancha.

c) Técnica Mid-Side (M-S): Esta técnica involucra un micrófono cardioide y un micrófono bidireccional. El micrófono cardioide conocido en esta técnica como (Mid) apuntara directamente a la fuente sonora, este capturara primeramente el sonido sobre el eje, mientras que el bidireccional llamado (Side) apuntara a la izquierda y derecha y capturar en el sonido fuera del eje. Las dos señales son combinadas dando una controlada y variable imagen stereo.

La siguiente **tabla 20**, ilustra las técnicas de microfonia stereo mencionadas anteriormente y otras técnicas como lo son la **O.R.T.F, N.O.S y StereoSonic**.

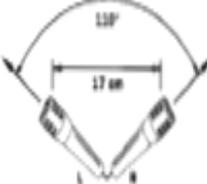
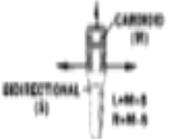
STEREO PICKUP SYSTEMS	MICROPHONE TYPES	MICROPHONE POSITIONS	
X-Y	2 - CARDIOID	AXES OF MAXIMUM RESPONSE AT 135° SPACING: COINCIDENT	
ORTF (FRENCH BROADCASTING ORGANIZATION)	2 - CARDIOID	AXES OF MAXIMUM RESPONSE AT 110° SPACING: NEAR-COINCIDENT (7 IN.)	
NOS (DUTCH BROADCASTING FOUNDATION)	2 - CARDIOID	AXES OF MAXIMUM RESPONSE AT 90° SPACING: NEAR-COINCIDENT (12 IN.)	
STEREOSONIC	2 - BIDIRECTIONAL	AXES OF MAXIMUM RESPONSE AT 90° SPACING: COINCIDENT	
MS (MID-SIDE)	1 - CARDIOID 1 - BIDIRECTIONAL	CARDIOID FORWARD-POINTED; BIDIRECTIONAL SIDE-POINTED; SPACING: COINCIDENT	
SPACED	2 - CARDIOID OR 2 - OMNIDIRECTIONAL	ANGLE AS DESIRED SPACING: 3-10 FT.	

Tabla 20
Técnicas de microfonia Stereo

2.2.6. Características de los micrófonos

2.2.6.1 Respuesta en Frecuencia¹³² Es la variación en el nivel de salida de señal de un micrófono o la sensibilidad de un micrófono en el rango de frecuencias. Esta respuesta en frecuencias es ilustrada con un grafico que indica la amplitud relativa de señal para cada frecuencia. La **Fig 49** tiene las unidades de Hz en el eje X y la relativa respuesta en decibeles sobre el eje Y. un micrófono cuya respuesta es igual en todas sus frecuencias, es porque posee una respuesta en frecuencia plana. Estos micrófonos típicamente tienen un alto rango de frecuencias. Micrófonos con respuestas planas tienden a ser usados para capturar fuentes sonoras con la coloración de la fuente original. Esto se aplica en caso de grabar guitarras acústicas y pianos acústicos, también son usados para las técnicas stereo y técnicas de distancias.

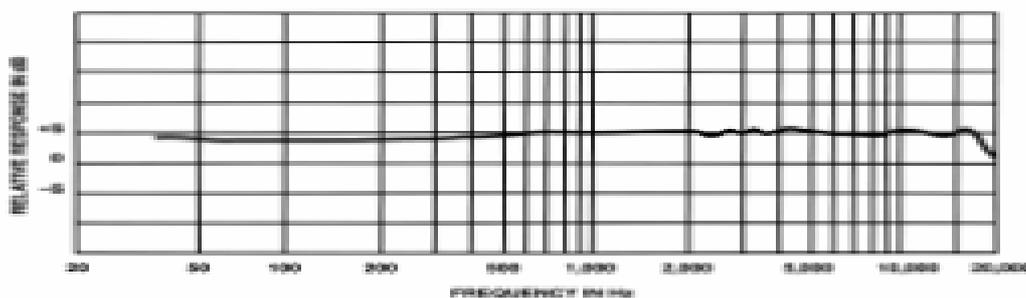


Fig 49

Respuesta en frecuencia Plana

Un micrófono cuya respuesta tiene picos o caídas en ciertas áreas de frecuencias. Esta respuesta es diseñada para realzar un rango de frecuencia específico. Algunos micrófonos poseen un realce en un rango de frecuencias de **2khz–10khz**, esto para realzar la inteligibilidad de la presencia vocal.

¹³² EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone characteristics.

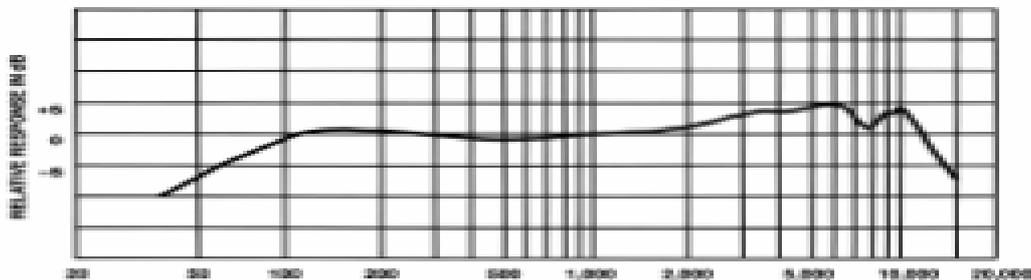


Fig 50

Respuesta en frecuencia con realces

2.2.6.2 *Patrón Direccional*¹³³ Se define como patrón direccional a la sensibilidad que posee el micrófono en distintos ángulos de arribo del sonido a este. La direccionalidad de un micrófono es ilustrada en una grafica llamada patrón polar. Esta grafica muestra la variación de la sensibilidad del micrófono en un Angulo de 360 grados alrededor de este. Existen tres tipos de patrones polares que son: Omnidireccional, Unidireccional y bidireccional.

- *Omnidireccional*¹³⁴

Los micrófonos con este patrón polar, poseen una igual respuesta en todos los ángulos de incidencia del sonido. Este micrófono es usado para capturar el sonido ambiente de la sala deseado.

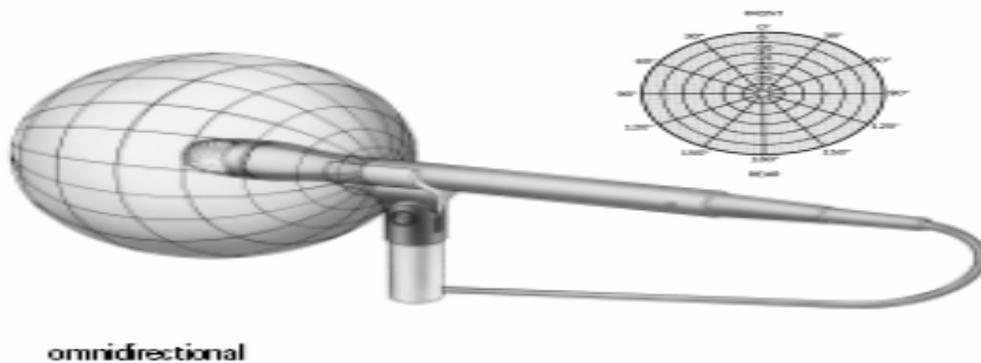


Fig 51

Patrón direccional de un micrófono ominidireccional

¹³³ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone characteristics.

¹³⁴ Ibid.

- *Unidireccional*¹³⁵

Los micrófonos que poseen este patrón polar, poseen su mayor sensibilidad en el eje de 0 grados y posee la menor sensibilidad en el eje de los 180 grados. Dentro de este patrón polar unidireccional, también se encuentran el supercardioide y el hypercardioide, los cuales son micrófonos que poseen una alta sensibilidad en el eje de los 0 grados, especiales para captura Fuentes sonoras muy lejanas, y de esta manera capturar algo de sonido directo y ambiente.



Fig 52

Patrón direccional de un micrófono unidireccional

- *Bidireccional*¹³⁶

Los micrófonos bidireccionales poseen un alta respuesta en los ejes de 0 grados y 180 grados. La menor sensibilidad de captura del sonido esta en los ejes de 90 grados y 270 grados. Es micrófono es usado para la captura de 2 fuentes sonoras como dos cantantes cara a cara, también es usado para técnicas stereo.

En la **tabla 21**, se consideran los diferentes patrones polares y sus diferencias.

¹³⁵ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone characteristics.

¹³⁶ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone characteristics.

CHARACTERISTIC	OMNI-DIRECTIONAL	CARDIOID	SUPER-CARDIOID	HYPER-CARDIOID	BI-DIRECTIONAL
POLAR RESPONSE PATTERN					
COVERAGE ANGLE	360°	131°	115°	105°	90°
ANGLE OF MAXIMUM REJECTION (null angle)	—	180°	126°	110°	90°
REAR REJECTION (relative to front)	0	∞	12 dB	6 dB	0
AMBIENT SOUND SENSITIVITY (relative to omni)	100%	33%	27%	25%	33%
DISTANCE FACTOR (relative to omni)	1	1.7	1.9	2	1.7

Tabla 21

Comparación de patrones polares

2.2.7 Rangos vocales e instrumentales¹³⁷

En la **Fig 53** se muestra los diferentes rangos de frecuencias que manejan, los diferentes instrumentos musicales. Por medio del conocimiento de estos rangos, el ingeniero podrá seleccionar los micrófonos adecuados para la captura de los instrumentos que estén dentro del comportamiento en frecuencia de estos. Esta grafica también servirá para efectuar la ecualización de las diferentes señales capturadas en la mezcla.

¹³⁷ Ibid.

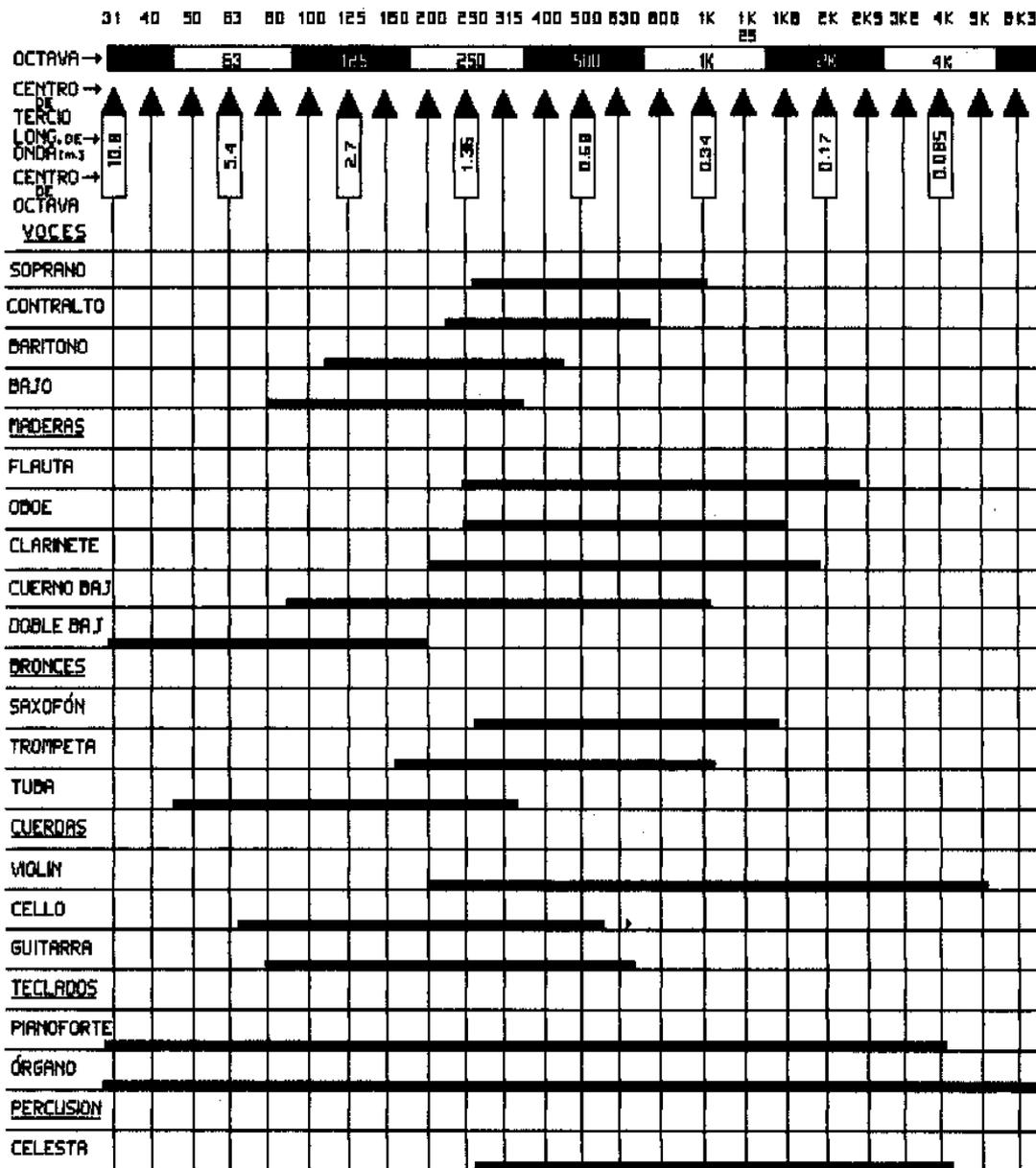


Fig 53
Rangos Vocales e Instrumentales

2.2.8 La grabación y la mezcla

2.2.8.1 Grabación Es necesario que el ingeniero de sonido prepare el sitio de grabación mucho antes del turno de grabación. El ingeniero debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- todos los equipos y dispositivos deben estar en **FLAT**.
- Coloque los micrófonos y audífonos y verificar si funcionan antes de comenzar la grabación.
- Ubicar de manera correcta los stand de los micrófonos y los instrumentos que se van a utilizar durante la grabación.

En el momento que se va a iniciar la grabación es importante tener en cuenta los siguientes puntos:

- Determine cual es el micrófono adecuado para cada instrumento musical.
- La señal de entrada debe tener un máximo de **0Db** según los **VU** meters de la consola.
- Verifique si la señal que el músico recibe en los audífonos es la adecuada.
- Coloque en ceros la cinta de grabación o software de grabación y anote en su registro de grabación cada numeración, el nombre de la canción y del instrumento.
- Durante la grabación verifique que la señal de las agujas sea la adecuada.
- Controle el nivel de **HISS Y HUM**.
- Escuche la señal grabada y tenga la aprobación del productor.
- Guarde y manipule la el material grabado, y asigne todos los dispositivos en **FLAT** para una próxima grabación.

2.2.8.2 *Mezcla*¹³⁸. La mezcla es el proceso que hace un ingeniero de sonido, para lograr un balance adecuado de los niveles de señal de cada instrumento, para lograr un agradable color a cada uno de los instrumentos, tomar un numero de instrumentos, para unirlos todos en dos canales (stereo).

Para hacer el procedimiento de la mezcla, se usa la técnica tradicional de la pirámide dividida en tres partes, (bajos, medios y altos). Esta técnica consiste en tratar primero las señales bajas (batería, bajo), luego se tratan las señales medias (piano, guitarras acústicas) y por ultimo se tratan las señales altas (la guitarra eléctrica, instrumentos de viento etc.).

¹³⁸ EVEREST Anton, Master Handbook of Recording Techniques, Cap. Microphone characteristics.

3. METODOLOGIA

3.1 METODOLOGÍA GENERAL

3.1.1 Tipo de investigación La investigación es de tipo empírico analítica, ya que se desarrolla una producción musical profesional, donde se aplicarán conceptos acústicos y electroacústicos. La producción cubrirá las necesidades del cliente y del mercado, que es uno de los objetivos principales de este proyecto. Este dependerá de la calidad de los ingenieros que la desarrollan, de la calidad de los instrumentos de medición, de la calidad del grupo musical, de la calidad de acústica del estudio de grabación, de la calidad de instrumentos musicales por parte de los músicos, de la calidad de equipos de amplificación y dispositivos de grabación (consola, computador, plug ins, etc.) y de la calidad de técnicas de producción musical.

3.1.2 Campo de investigación El campo de investigación a la cual pertenece este proyecto, es la línea de la grabación y producción, aplicando conceptos acústicos y electroacústicos del sonido. Esta línea tiene como objetivo estudiar y desarrollar una completa producción musical, la cual es una de las áreas mas importantes que se desprenden del campo de la grabación. Además, esta línea de investigación, ofrecerá la información suficiente para el desarrollo del proyecto.

3.1.3. Relación de las actividades y/o técnicas que se realizaron y aplicaron en la investigación

- Determinación del concepto musical que se desea desarrollar y al sonido que se quiere llegar a obtener.

- Realización de los arreglos musicales para cada instrumento musical y maquetas de cada pieza música el es decir el proceso de preproducción musical.
- Obtención de la respuesta acústica del recinto tanto (Reverberación, Modos de Resonancia, Perdida por Transmisión, Difusión subjetiva)
- Distribución de forma correcta las técnicas de microfonía para la toma de señal auditiva dependiendo de la respuesta acústica del cuarto de grabación.
- Captación de las señales de audio correspondientes a cada instrumento musical
- Determinación de la toma óptima de las señales de audio correspondientes a cada instrumento musical.
- Edición de las señales de audio óptimas correspondientes a cada instrumento musical.
- Realización de los procesos de Mezcla de volúmenes y frecuencias para cada señal de audio correspondiente a cada instrumento musical.
- Procesamiento de cada señal de audio correspondiente a cada instrumento por medio del software Logic
- Realización de la mezcla final de las señales de audio.

3.1.4 Diseño, validación y aplicación de instrumentos Este proyecto determinara puntos estratégicos dependiendo de la respuesta acústica del recinto para una captación de señal de audio óptima y deseada, dando de esta manera un bosquejo de cómo aprovechar al máximo las características de difusión, reverberación, viveza, Modos de resonancia y calidez que posee el cuarto para la realización de futuros proyectos de producción musical que se realicen en el estudio de grabación de la universidad San Buenaventura

3.2. METODOLOGÍA ESPECIFICA

3.2.1 Hipótesis La solución al problema de captación y análisis del comportamiento y procesamiento de señales auditivas a nivel de patrones acústicos y software especializado en el proceso de una producción se desarrollara en tres etapas las cuales son **Etapas de preproducción, Etapas de producción y Etapas de Postproducción**. En la primera etapa se definirá el concepto musical que se desea desarrollar y se realizará un análisis intensivo del comportamiento acústico del estudio de grabación análogo/digital de la universidad san buenaventura. A este estudio se le desarrollarán mediciones de respuesta modal (comportamiento de bajos), de reverberación (viveza del cuarto), pérdida por transmisión, difusión del sonido y reconocimiento de reflexiones tempranas y tardías. El fin de todas estas mediciones será conocer el comportamiento acústico del recinto y así poder saber a ciencia cierta como debe ser la ubicación de cada micrófono dependiendo del patrón polar y de la respuesta acústica de la sala. Con respecto a los análisis, se mejorarán los planos tanto espaciales y temporales musicales de cada pieza instrumental. Al conocer bien la respuesta acústica del cuarto se desarrollara la etapa de producción en donde se aplicara los estudios realizados anteriormente para la captura de señal auditiva para cada instrumento musical, la cual se desarrollara por medio del software **Pro Tools** y por ultimo se efectuara la etapa de postproducción la cual se solucionara optimizando, arreglando y ordenando todas las señales de audio captadas. Escogiendo las señales auditivas de mejor calidad en respuesta acústica y comportamiento musical que se lograron en la etapa de producción y de esta manera concluir toda la producción musical que satisfaga las necesidades del cliente y del mercado.

3.2.2. Variables

3.2.2.1 Variable(s) Independientes(s)

- Tiempo
- Puntualidad de los Músicos
- Arreglos Musicales
- Músicos
- Genero Musical

3.2.2.2. Variable(s) Dependiente(s)

- Concepto Musical
- Cuarto de Grabación
- Tiempo de Reverberación
- Modos de Resonancia
- Viveza del cuarto
- Calidez de la sala
- Difusión del cuarto
- Reflexiones Tardías y Tempranas
- Inicial Time Delay Gap
- Early Decay Time
- Perdida por Transmisión
- Tipos de micrófonos
- Posicionamiento y técnicas de microfonia
- Software de grabación y procesamiento de señal
- Plug ins
- Mezcla
- Materizacion

4. PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO

4.1 DISEÑO DETALLADO DEL PROYECTO

4.1.1 Listado de Actividades

- Selección del grupo musical
- Desarrollo de arreglos musicales
- Realización de maquetas de cada pieza musical
- Determinación del concepto musical
- Medición de reverberación
- Medición del comportamiento de la energía sonora en el cuarto
- Medición de viveza del cuarto
- Medición de modos de resonancia
- Medición Perdida por transmisión
- Selección de tipos de micrófonos
- Determinación de las técnicas de posición de los microfonia
- Ubicación de microfonia para captura de señal de audio dependiendo la respuesta acústica del cuarto
- Captura de señal de audio de cada instrumento musical por medio del software de grabación
- Comparación y selección de las señales de audio capturadas.
- Procesamiento de cada señal de audio capturada
- Determinación de mezcla de volúmenes y frecuencias de las señales de audio capturadas.
- Realización de la mezcla final

4.1. 2 Agrupación de actividades

4.1.2.1 Etapa de Preproducción

- **Desarrollo Musical**
 - Selección del grupo musical
 - Desarrollo de arreglos musicales
 - Realización de maquetas de cada pieza musical
 - Determinación del concepto musical

- **Respuesta Acústica del Cuarto**
 - Medición y de reverberación
 - Medición del comportamiento de la energía sonora en el cuarto
 - Medición de viveza del cuarto
 - Medición de calidez del cuarto
 - Medición de modos de resonancia
 - Medición Perdida por transmisión

- **Análisis de la Respuesta acústica del cuarto**
 - Análisis de los parámetros acústicos medidos
 - Selección de tipos de micrófonos
 - Determinación de las técnicas de posición de los microfonía

4.1.2.2 Etapa de Producción

- Ubicación de microfonía para captura de señal auditiva dependiendo la respuesta acústica del cuarto
- Captura de señal auditiva de cada instrumento musical por medio del software de grabación

4.1.2.3 Etapa de Postproducción

- Comparación y selección de las señales auditivas capturadas.
- Procesamiento de cada señal auditiva capturada
- Determinación de mezcla de volúmenes y frecuencias de las señales auditivas capturadas.
- Realización de la mezcla final

4.1.3 Descripción de Actividades

4.1.3.1. Etapa de Preproducción Se definirá y realizara los arreglos musicales y maquetas de cada pieza musical, el concepto musical que se desea desarrollar y se realizara un análisis intensivo del comportamiento acústico del estudio de grabación análogo/digital de la universidad san buenaventura. A este estudio se le desarrollarán mediciones de respuesta modal (comportamiento de bajos), de reverberación (viveza del cuarto), pérdida por transmisión, difusión del sonido y comportamiento de la energía sonora. El fin de todas estas mediciones será conocer el comportamiento acústico del recinto y así poder saber a ciencia cierta como debe ser la ubicación de cada micrófono dependiendo del patrón polar y de la respuesta acústica de la sala. Con respecto a los análisis, se mejorarán los planos tanto especiales y temporales musicales de cada pieza instrumental.

4.1.3.2 Etapa de Producción Al conocer bien la respuesta acústica del cuarto se desarrollara la etapa de producción en donde se aplicara los estudios realizados anteriormente para la captura de señal auditiva para cada instrumento musical ubicando la microfonia en los puntos estratégicos para la captura de la señal auditiva de cada instrumento determinados en el estudio de la respuesta acústica del cuarto y la grabación de cada señal por medio del software **Pro Tools**.

4.1.3.3 Etapa de Postproducción En esta etapa se optimizara, arreglara y ordenara todas las señales de audio captadas con el software Logic Pro. Escogiendo las señales auditivas de mejor calidad en respuesta acústica y comportamiento musical que se lograron en la etapa de producción y de esta manera concluir toda la producción musical que satisfaga las necesidades del cliente y del mercado.

4.1.3.4. Asignación de Recursos al Proyecto

4.1.3.5. Recurso Humano

- **Recurso Human Interno**
 - 3 ingenieros de sonido

- **Recurso Humano Externo**
 - 1 Arreglista
 - 4 Músicos

4.1.3.6. Recurso Administrativo

- **Infraestructura y operación**

- **Activos**
 - Computador Macintosh G4
 - Computador Portátil Pc
 - Sonómetro Rion
 - Dodecaedro
 - Cabina JBL EON
 - Amplificador de potencia

- Micrófono de medición ECM 8000
- Consola Mackie 8 canales
- Consola yamaha 24 canales O2R
- Kit de micrófonos de grabación
- Kit de cables de línea y XLR
- Software de grabación (Logic y Pro Tools)
- Software de medición y análisis acústico (Dirac, Spectral Lab)
- Estudio de grabación análogo digital universidad san buenaventura
- Medio de transporte

4.1.4. Clasificación de recursos y costos En la siguiente lista solo se tendrá en cuenta el recurso humano y administrativos que generen costos o un presupuesto en el desarrollo del la investigación.

4.1.4.1 Recurso humano

• Recurso humano Externo	Sigla	Costo
- Arreglista	RAE	50000\$/Canción
- Músico	RAM	30000\$/Canción

• Recurso Administrativo

La siguiente cantidad monetaria esta determinada por los gastos de medio de transporte y otros gastos para las tres personas que desarrollan el proyecto

- Biaticos	RAB	600000 \$
------------	-----	-----------

4.1.5 Resumen de Costos

Captación y análisis del comportamiento y procesamiento de señales a nivel patrones acústicos y software especializado en el proceso de una producción	Rec humano		Rec admon
	Inter	Ext	
Etapa Preproducción			
a. Desarrollo musical			
Desarrollo de arreglos musicales		x	x
Realización de maquetas musicales		x	x
Determinación del concepto musical			
respuesta Acústica Cuarto			
Medición de reverberación			x
Medición viveza del cuarto			x
Medición de calidez del cuarto			x
Medición de difusión del cuarto			x
Medición de Modos de Resonancia			x
Reflexionas tardías y tempranas			x
Medición ITDG			x
Medición perdida por transmisión			x
c. Análisis de Respuesta Acústica			
análisis de los parámetros acústicos medidos			
Selección tipos de micrófonos			
Determinación de técnicas de microfonía			
Etapa Producción			
Ubicación de microfonía			x
Captura de señal auditiva			x
Etapa Postproducción			
Comparación y selección de señales auditivas			x
Procesamiento de cada señal auditiva			x
Determinación de mezcla			x
Optimización mezcla final		x	x

Tabla 21
Resumen de costos del desarrollo del proyecto

4.1.6 CRONOGRAMA Semestre I 2005

Tabla 22 Cronograma detallado del proyecto

Proyecto de grado	Semestre I 2005																Vacaciones	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	Mes1	Mes2
Etapa Preproduccion																		
a. Desarrollo musical																		
Desarrollo de arreglos musicales	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Realizacion de maquetas musicales	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Determinacion del concepto musical	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
b.Respuesta Acustica Cuarto																		
Medicion de reverberacion																		
Medicion viveza del cuarto																		
Medicion de calidez del cuarto																		
Medicion de difusion del cuarto																		
Medicion de Modos de Resonancia											■	■						
Reflexionas tardias y tempranas																		
Medicion ITDG																		
Medicion perdoda por transmision													■	■				
c. Analisis de Respuesta Acistica																		
analisis de los parametros acusticos medidos																		
Selección tipos de microfones																		
Detreminacion de tecnicas de microfonia																		
Etapa Produccion																		
Ubicación de microfonia																		
Captura de señal auditiva																		
Etapa Postproduccion																		
Comparacion y seleccion de señales auditivas																		
Procesamiento de cada señal auditiva																		
Detreminacion de mezcla																		

4.1.7 CRONOGRAMA Semestre II 2005

Tabla 22 Cronograma detallado del proyecto

Proyecto de grado	Semestre II 2005															
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Etapa Preproduccion																
a. Desarrollo musical																
Desarrollo de arreglos musicales																
Realizacion de maquetas musicales																
Determinacion del concepto musical																
b.Respuesta Acustica Cuarto																
Medicion de reverberacion																
Medicion viveza del cuarto																
Medicion de calidez del cuarto																
Medicion de difusion del cuarto																
Medicion de Modos de Resonancia																
Reflexionas tardias y tempranas																
Medicion ITDG																
Medicion perdoda por transmision																
c. Analisis de Respuesta Acustica																
analisis de los parametros acusticos medidos																
Selección tipos de microfones																
Detreminacion de tecnicas de microfonia																
Etapa Produccion																
Ubicación de microfonia																
Captura de señal auditiva																
Etapa Postproduccion																
Comparacion y seleccion de señales auditivas																
Procesamiento de cada señal auditiva																
Detreminacion de mezcla																
Optimizacion mezcla final																

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A principio del primer semestre del 2005, se decidió realizar un proyecto de grado el cual involucrara una producción musical dentro de los parámetros acústicos de un estudio de grabación. Dicha producción musical, aparte de poseer un producto musical (sin el desarrollo de arte, derechos de autor, procesamiento de discos y etc.), también ofrecerá un extenso análisis de cómo la acústica en un cuarto de grabación, es de gran importancia a la hora de obtener un sonido de alta calidad y profesional. La producción musical se realizó por medio de dos software de grabación profesional que son el **Pro Tools** y el **Logic**.

El **Pro Tools** fue la plataforma para realizar las grabaciones de cada señal de audio y la edición correspondiente a estas señales.

El **Logic Emagic 6** fue la plataforma, en la cual se desarrolló la postproducción de cada señal auditiva, es decir la mezcla de volúmenes, procesamiento de señales por medio de **plug ins**.

En el proceso de la producción musical de cualquier género musical, sea de lo más sencillo como una banda de rock conformada por tres personas y una orquesta sinfónica conformada por 50 músicos, presenta un riguroso desarrollo en la planificación del concepto musical al cual se pretende llegar, al proceso de captación de cada señal auditiva y el post procesamiento de las señales auditivas captadas para la optimización del producto.

Este proyecto es un informe escrito en el cual detallara paso a paso como se realizaron las etapas de preproducción, producción y postproducción del desarrollo de la *captación y análisis del comportamiento y procesamiento de señales*

auditivas a nivel de patrones acústicos y software especializado en el proceso de una producción musical

El proyecto fue asignado en el mes de febrero del 2005 y finalizara en el mes de noviembre del 2005, el proyecto se desarrollo en el Estudio Digital de la universidad San Buenaventura y fue revisado y monitoreado por el ingeniero de sonido y productor musical **Javier Martínez** y el profesor de metodología de proyectos **Manuel Joves**.

5.1 ETAPA DE PREPRODUCCIÓN

Esta etapa consiste en la planificaron de cómo se desarrollo la captación y análisis del comportamiento y procesamiento de señales auditivas a nivel de patrones acústicos y software especializados en el proceso de una producción musical.

La planificación del proyecto se realizo, según el cronograma diseñado durante todo el primer semestre del año 2005 y las 6 primeras semanas del segundo semestre del 2005.

Se realizaron los arreglos musicales y maquetas de cada pieza musical del concepto musical al cual se llevo. También se realizo un análisis intensivo del comportamiento acústico del estudio de grabación digital de la universidad San Buenaventura. A este estudio se le desarrollo diferentes mediciones acústicas como: mediciones de respuesta modal (comportamiento de bajos), de reverberación (viveza del cuarto), pérdida por transmisión, difusión del sonido subjetivamente y el comportamiento energía en el cuarto. El fin de todas estas mediciones fue conocer el comportamiento acústico del recinto y así poder saber a ciencia cierta como debe ser la ubicación de cada micrófono dependiendo del patrón polar de estos y de la respuesta acústica de la sala. Con respecto a los

análisis, se mejorarán los planos tanto espaciales y temporales musicales de cada pieza instrumental.

Esta etapa se dividió en tres sub. etapas que son: El Desarrollo Musical, Respuesta Acústica del Cuarto de Grabación y Análisis de la Respuesta Acústica. Cada etapa de estas dependió una de la otra, para el desarrollo del proyecto, debido a que la calidad de los arreglos musicales y los músicos con los cuales se trabajo influyo mucho en la calidad sonora de la producción musical y por ultimo conocer el detallado comportamiento del sonido en el cuarto de grabación, ayudo de manera considerable a capturar el sonido que se desea.

5.1.1 *Desarrollo musical*

5.1.1.1 *Genero Musical deseado a Producir.* Desde el principio se tuvo pensado en realizar una producción musical sencilla con pocos instrumentos, como un acústico en donde solo se presentara unos excelentes arreglos musicales para guitarras acústicas, percusión menor o mayor, bajo, instrumentos de viento y voces.

Hubo interés en realizar una producción musical a géneros como el Reggae, Bossa nova, Bolero, Fussion, Música Española como el flamenco, paso doble o también grabar algo de son cubano.

El fin del concepto musical fue el desarrollo de algo que sea comercial y popular, así que se decidió trabajar con el flamenco el cual es un género totalmente acústico. El concepto no partió de lograr un flamenco puro, con voces rasgadas y contra tiempos marcados, si no mas bien de lograr un flamenco mas sencillo, con armonías y escalas vocales no tan complejas, de esta manera se llevo a un concepto de rumba flamenca, el cual es un concepto mucho mas comercial y entendible para la gente popular.

Esta rumba flamenca esta caracterizada por el fresco y calido sonido de unos bongoes y congas acompañadas con instrumentos de percusión menor como palmas, maracas, castañuelas, los cuales les daba el ambiente flamenco. Ya al poseer una relajante y completa base rítmica, el limpio y harmónico sonido de las guitarras acústicas en octavas diferentes dobladas fue muy importante para complementar la esencia del flamenco y una guitarra melódica la cual interpretaba cortos solos, estableciendo una melodía flamenca. El bajo fue el instrumento el cual le daría el peso necesario al tema que se produce, se añadió también el sonido dulce de una flauta, el cual interpreto una melodía sensual y sentimental y por ultimo el excelente registro de voces españolas caracterizadas en un concepto totalmente acústico

5.1.1.2 Selección del Grupo Musical. Son músicos profesionales todo son personas mayores de 40 años excepto por el cantante, el cual posee una gran trayectoria como tal, es músico en voz lírica graduado de la universidad del bosque. Los demás músicos poseen una trayectoria musical bastante extensa y son músicos profesionales de la **universidad nacional**, llevan tocando más de 25 años y han tocado en orquestas importantes de Colombia como **Jimmy Salcedo**, **la Negra Grande de Colombia**, entre otras. Ahora se caracterizan como Músicos de Estudio, Arreglistas y Productores.

El grupo musical esta conformado por los siguientes músicos:

- **Mario Sarmiento:** *Vocalista Líder*
- **Alex Maxabell:** *Guitarrista, Arreglista y productor*
- **Edgardo Pedraza:** *Bajo, Arreglista*
- **Simón:** *Percusiones y Flauta*

5.1.1.3 Desarrollo de Maquetas y Arreglos Musicales. En el periodo de tiempo del primer semestre del **2005** se desarrollaron todos los arreglos musicales de las guitarras acústicas, bajo, percusión menor, voces y coros. Los arreglos los realizo el arreglista **Alex Maxabell** bajo las condiciones impuestas por los productores, para el concepto que se quería llegar.

También se realizaron maquetas en el software **Pro Tools** con una **M Box** Y un portátil **Macintosh**, y así realizando un detallado estudio detallado de las armonías y melodías de cada instrumento musical y de esta manera se perfecciono el concepto musical

5.1.2 Respuesta Acústica del Cuarto de Grabación. En esta se realizo un análisis intensivo del comportamiento acústico del estudio de grabación digital de la Universidad San Buenaventura en donde se desarrollo las grabaciones correspondientes a la producción musical.

A este estudio se le desarrollaron mediciones de **respuesta modal** para conocer el comportamiento de este en bajas frecuencias, con el fin de saber si su distribución es pareja o desorganizada produciendo coloraciones en el cuarto, de **Tiempo de Reverberación** para conocer el decaimiento de la señal por bandas de frecuencias en distintas posiciones producida por las múltiples reflexiones del cuarto, y de esta manera saber si la sala posee una buena calidez y brillos para proporcionar la melosidad y viveza de la música que allí se captura. También se realizaron mediciones de **Pérdida por Transmisión** para conocer la curva de perdida por transmisión, proporcionadas por las paredes que aíslan el estudio de grabación de otras fuentes sonoras y de esta manera conocer cuales son las frecuencias transmitidas que molestan el proceso de la producción, de **Difusión del Sonido** subjetivamente, para conocer si el cuarto proporciona un ofrecimiento de energía uniforme y un decaimiento de señal uniforme en las bandas de frecuencia y por ultimo se realizo mediciones de **Campos Sonoros** para determinar el comportamiento de la energía.

El fin de todas estas mediciones será conocer el comportamiento acústico del recinto y así poder saber a ciencia cierta como debe ser la ubicación de cada micrófono dependiendo de los patrones polares estos y de la respuesta acústica de la sala. Con respecto a los análisis, se mejorarán los planos tanto especiales y temporales musicales de cada pieza instrumental.

Los elementos que se utilizaron para realizar las mediciones acústicas fueron los siguientes:

1. Generador de mls/ generador de ruido rosa / generador de barrido sinusoidal
2. Preamplificador / consola
3. Amplificador OSC
4. Monitor JBL (Fuente Direccional)
5. Dodecaedro (Fuente Omnidireccional)
6. Micrófono de Medición ECM 8000
7. Consola Beringher 2 canales y Consola Mackie 8 canales
8. Computadora portátil Toshiba
9. Microsoft Excel.
10. Software de análisis y medición acústica: Spectral Lab , Cool Edit, Dirac.

5.1.2.1 Pérdida por Transmisión (TL Bruta). Para analizar el aislamiento entre dos recintos (cuarto de grabación y el cuarto de control) y calcular la curva de aislamiento en sus diferentes regiones que son rigidez, resonancia, ley de masas y efecto de coincidencia, se halló la pérdida de transmisión de la pared que separa el cuarto de control del cuarto de grabación, del Estudio Digital de la Universidad san buenaventura. A partir del análisis de pérdida por transmisión de esta superficie, se puede obtener un comportamiento general de las demás superficies que aíslan el estudio tanto del otro estudio de grabación existente como de las otras áreas de acceso como lo son los pasillos.

Los cuartos están aislados por una pared doble y una doble partición de vidrio, las cuales si están bien diseñadas es decir si cada partición posee un óptimo espesor, masa, área y además una óptima cavidad de aire entre las dos particiones con anti vibratorios y material absorbente para mejorar la disipación de energía en calor proporcionarían un óptimo aislamiento del sonido entre los dos recintos.

El recinto emisor es el cuarto de control del estudio digital, allí se ubicó la fuente (dodecaedro) la cual estaba proporcionando un nivel de presión sonora de **110 db** a un metro de distancia, con el fin de que el nivel tomado por el recinto receptor el cual es el cuarto de grabación del estudio digital fuera mayor al ruido de fondo de este y de esta manera tener una medición confiable. En el recinto emisor (Cuarto de control) se midió el nivel de presión sonora por 1/6 de octava en tres posiciones diferentes para que de esta manera lograr un nivel de presión sonora promedio generado por el recinto emisor. De la misma manera en el recinto receptor (Cuarto de Grabación) se captó para tres posiciones distintas por 1/6 de octavas el nivel de presión sonora transmitido y de esta manera obtener una energía promedio del nivel de presión sonora y transmitida y captada por el recinto receptor.

Es muy importante que el nivel de presión sonora medido en el receptor este por encima del ruido de fondo de este, de lo contrario no se esté midiendo la energía transmitida desde el recinto emisor al recinto receptor si no el mismo ruido de fondo.

La **Fig 53** mostrara el procedimiento de medición de los dos recintos (Cuarto de control y Cuarto de Grabación)

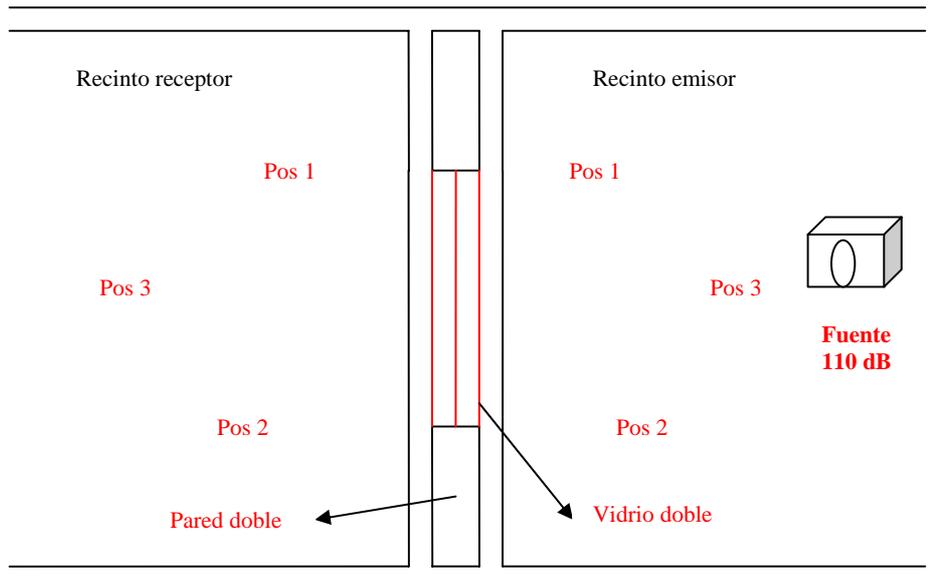


Fig 53
Procedimiento de la medición de pérdida por transmisión

*Nivel de Presión Sonora promedios del recinto emisor, receptor, ruido de fondo del recinto receptor y el TL bruto del aislamiento de los dos recintos
Por 1/6 de octava.*

F(Hz)	SplE Prom	SplR Prom	SplRf(dB)	TI(SplE - SplR)
31,5	74,22521174	48,24479925	39,02	25,98041248
63	99,94696644	65,3347914	48,26	34,61217504
80	99,15771786	57,67939423	45,1	41,47832363
125	91,46394804	50,76794031	50,42	40,69600773
160	96,96752765	52,11814029	44,95	44,84938736
200	98,00569843	52,81259998	42,2	45,19309846
250	99,17496086	52,23475191	45,29	46,94020895
315	101,1923765	65,65928479	51,9	35,53309173
400	103,6383849	57,51558042	49,92	46,12280444
500	104,0750299	51,09389429	41,19	52,98113566
630	103,4705325	51,30909666	42,01	52,16143581
800	103,0260985	45,70221685	34,81	57,32388164
1.000	98,58373666	40,07267834	35,97	58,51105832
1.250	97,26318936	42,92886869	35,89	54,33432067
1.600	98,5233104	41,17197146	36,52	57,35133894
2.000	98,41315785	39,75969922	35,19	58,65345863
2.500	97,96557939	37,31838156	34,96	60,64719783
3.150	96,68393538	35,70063562	34,87	60,98329976
4.000	92,04464259	36,18028422	35,14	55,86435837

5.000	92,35485223	35,63000768	35,22	56,72484456
6.300	91,65195059	35,87338196	35,63	55,77856862
8.000	91,90391736	39,18334356	39,05	52,7205738

Tabla 22
Niveles de presión sonora promediados y el TL Bruto

En la **tabla 22** están expuestos los niveles promedios calculados para las tres posiciones de medición tanto para el recinto emisor y receptor, El nivel de presión sonora del ruido de fondo medido en el recinto receptor el cual nos determinara la confiabilidad del aislamiento y la pérdida por transmisión bruta (**TLbruta**) entre los dos recintos.

En la **Fig 54** se esta corroborando lo que se dijo anteriormente, nótese que la curva de nivel de presión sonora captado por el recinto receptor esta por encima del ruido de fondo de este casi unos **10 db**, exceptuando en la frecuencia de **120Hz, 130Hz, 4000Hz, 5000Hz y 8000Hz** donde el ruido de fondo esta similar al nivel de presión sonora captado por el recinto no dando mucha confiabilidad en la medición para esta frecuencias.

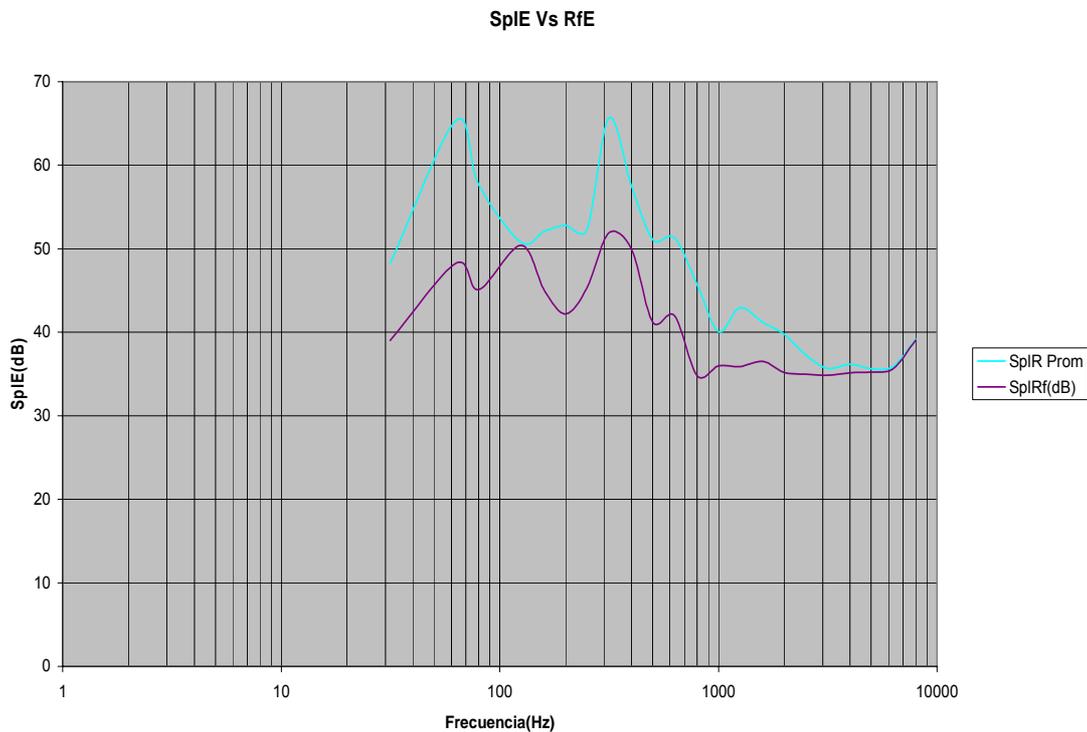


Fig 54

Nivel de presión sonora transmitido Vs Nivel de Ruido de Fondo

Como ya se había mencionado antes el **recinto emisor** (Cuarto de control estudio digital), tiene una fuente sonora, la cual generará un nivel de presión sonora al que llamaremos **SpIE**. A través de la pared doble y vidrio doble que separa a los dos recintos, el sonido penetrará al **recinto No. 2** (Cuarto de grabación Estudio digital) por transmisión y de esta manera creando un campo sonoro de nivel al que llamaremos **SpIR**.

Para el cálculo de la pérdida por **transmisión bruta** en función de la frecuencia se aplico la ecuación:

$$Tl = SpIEf - SpIRf$$

Ecuación 15

Representación matemática de la pérdida por transmisión bruta

Donde:

SpIEf: Nivel de presión sonora recinto emisor (Cuarto de Control)

SpIRf: Nivel de presión sonora recinto receptor (Cuarto de Grabación)

El aislamiento de un recinto a otro, otorgado por una pared, (en este caso de esta practica una pared doble) experimentara unos mecanismos o cuatro regiones que gobiernan la transmisión del sonido, los cuales varían con la frecuencia que son:

- **Control de rigidez**
- **Control por resonancia**
- **Control por masa**
- **Control por efecto de coincidencia**

Ya sabiendo el comportamiento del aislamiento acústico teórico e ideal, al hacer el promedio de las energías para el recinto emisor (**SpIE**) y recinto receptor (**SpIR**) y el calculo de la perdida por transmisión bruta, otorgado por la pared doble y el vidrio doble en la mitad que separa a los dos cuartos que se están estudiando, la curva de perdida por transmisión es la siguiente:

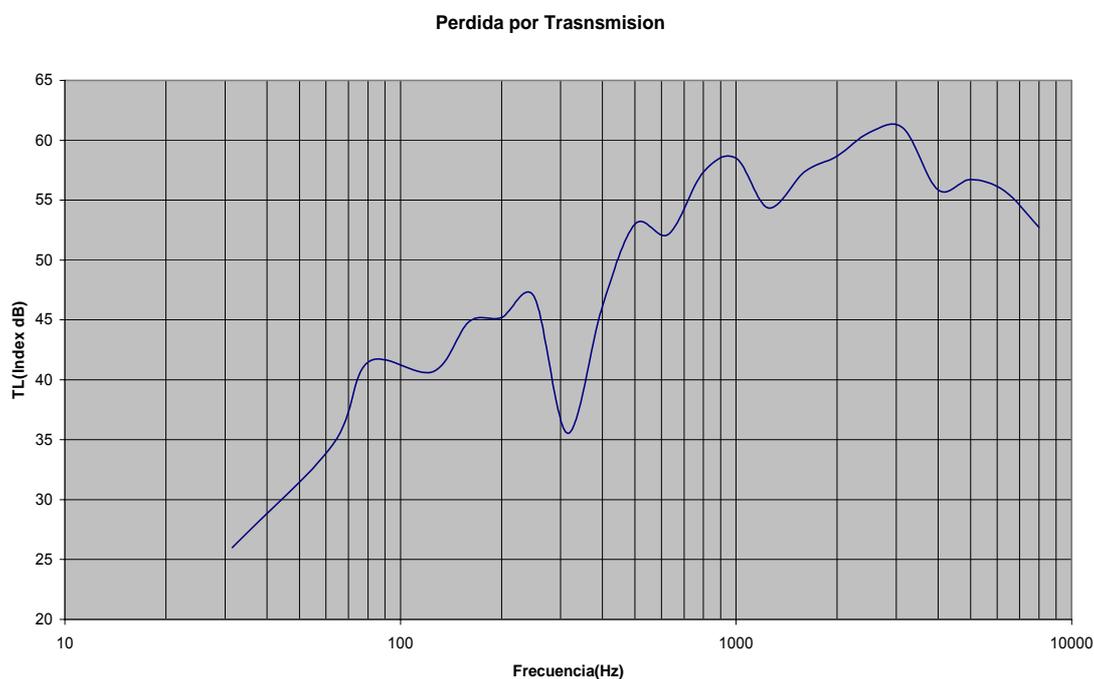


Fig 55

Perdida por transmisión TL (Bruto) otorgado por la pared doble
Que separa los cuartos de grabación

En la **Fig 56 a** y **b**, se realizo el reconocimiento de las etapas de rigidez, resonancia, ley de masas y efecto de coincidencia en la curva de perdida por transmisi3n.

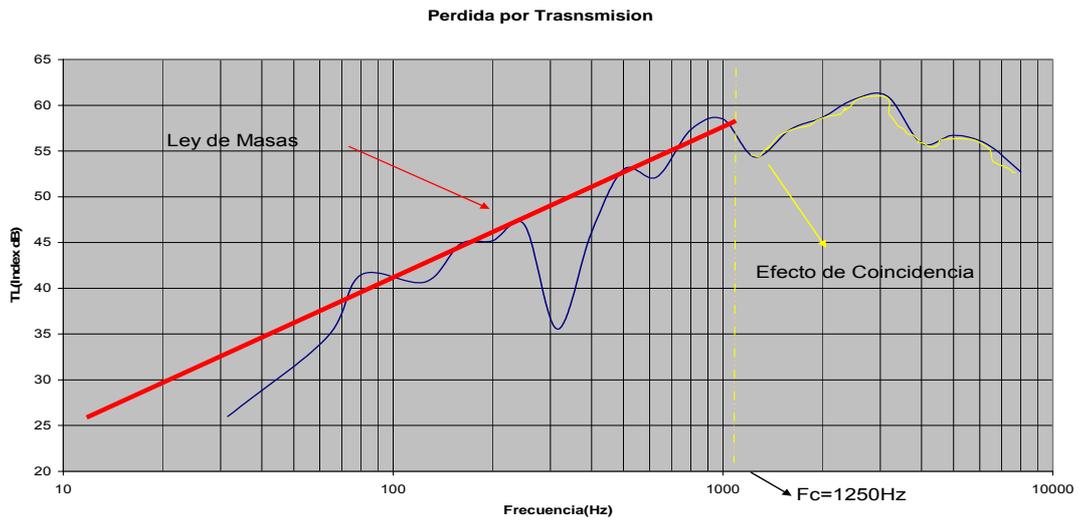


Fig 56a

Etapa de rigidez, resonancia, ley de masas y efecto de coincidencia del TL medido

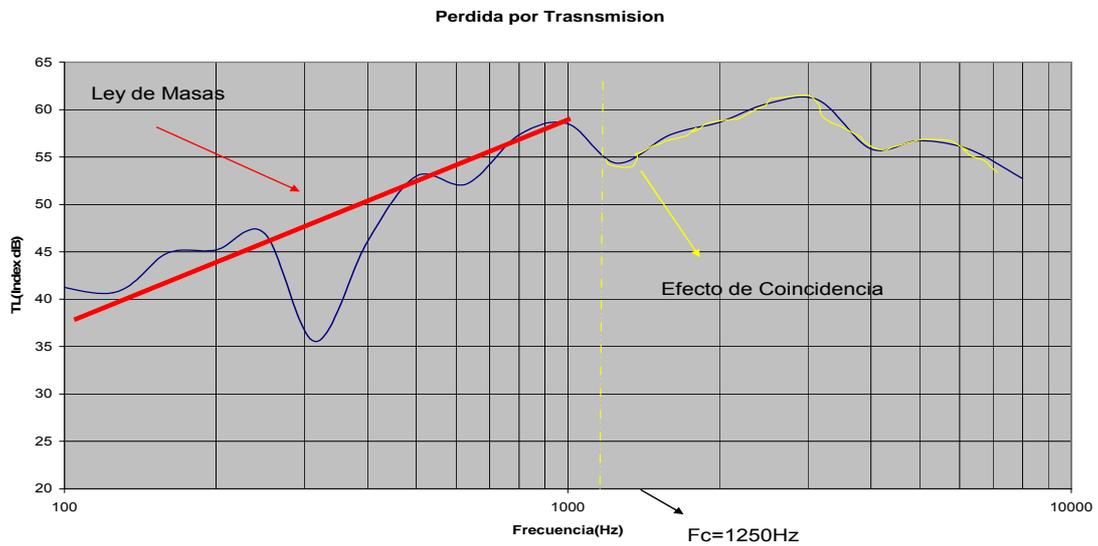


Fig 56b

Reconocimiento de control de rigidez, control de resonancia, ley de masas
Efecto de coincidencia del TI medido con mayor resoluci3n

Nótese en la **Fig 56b** que la atenuación en la etapa de resonancia, esta proporcionando una atenuación de aproximadamente de **40 dB** para frecuencias entre **80 y 120 Hz**, las cuales son frecuencias bastantes bajas, y entre mas bajas estén las frecuencias de resonancia será mejor debido a que se aumenta el rango de control por masa. El aislamiento en esta etapa, para frecuencias de **120 Hz** hasta **1000 Hz** esta siendo controlado por ley de masas, en esta etapa como se puede observar esta proporcionando un aislamiento de **6** decibeles por octava como podemos ver en la **Fig 56**, pero hay un problema de aislamiento para las frecuencia de **315 Hz** y las frecuencias cercanas a esta debido la fuerte depresión por resonancia de cavidad entre la masa de la pared , aire de cavidad y masa de pared de aproximadamente **10 dB**, es decir toda la energía de esta frecuencia y de las frecuencias cercanas esta causando una gran vibración en la pared y de esta manera desminuyendo la atenuación y aumentando la transmisión de energía al recinto receptor. Esto es debido a que en el diseño de la pared y del vidrio que hay en ella, el espesor es chico y la separación entre particiones no es la adecuada lo cual hará ocasionar resonancia entre la masas y el aire encerrando, estas cavidades resonantes hace disminuir bastante el aislamiento en los alrededores de la frecuencia de resonancia en este caso **315 Hz**. El control por masa se extiende hasta los **1250 hz**, la cual es la frecuencia de coincidencia de la pared doble, La cual tiene una depresión de coincidencia de aproximadamente **5dB** y a partir de acá la atenuación proporcionada por la pared doble desminuye.

5.1.2.2 Modos de resonancia o frecuencias normales del cuarto

A simple vista el cuarto de grabación del Estudio Digital de la Universidad San Buenaventura, se puede pronosticar una deficiente respuesta modal debido a que es un recinto pequeño con poca altura, sus paredes son paralelas entre si es decir tiene una geometría de rectángulo o cubo y además las dimensiones del cuarto tienden a coincidir y de esta manera aumenta las respuesta de modos axiales que son los que mas poseen energía y proporcionan la coloración.

En estas clases de recintos pequeños y con paredes laterales entre si, es menos dispendioso analizar el comportamiento modal a comparación de iglesias, teatros, etc que son recintos con grandes volúmenes y diferentes formas geométricas el análisis y medición modal es mas engorrosa y complicada debido a que se debe hacer por el método de elementos finitos.

Los puntos de medición escogidos para analizar, la respuesta modal del recinto serán los de máximos y mínimos puntos modales, fueron **5** los puntos los cuales están distribuidos en el piso, centro y techo del estudio como lo muestra la **Fig 57 a y b**.

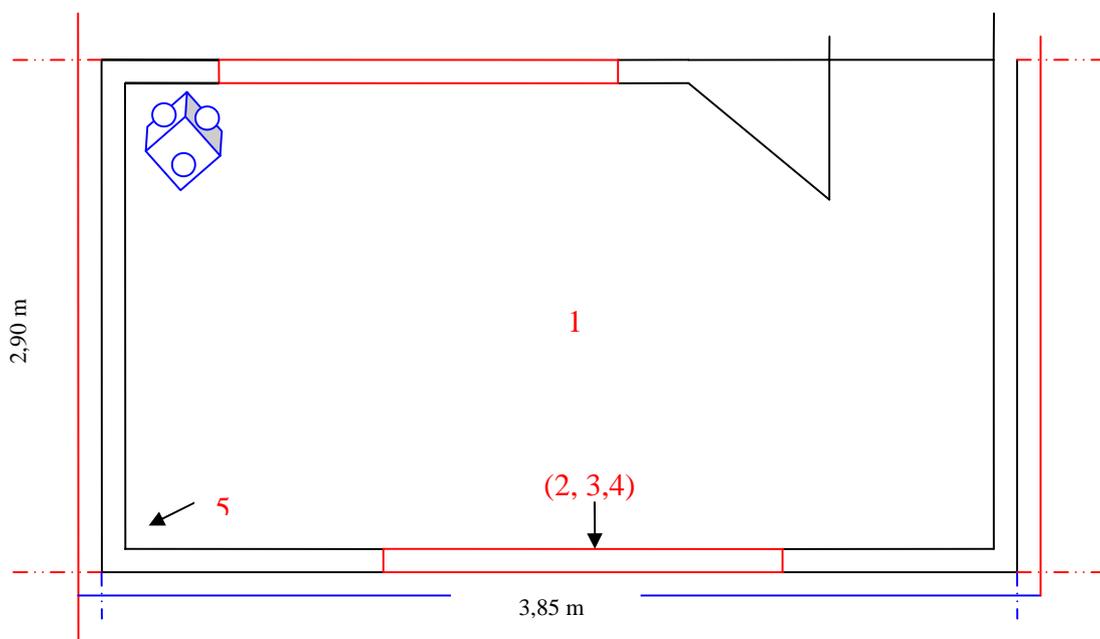


Fig 57a

Mapeo del recinto, visualizando los puntos de medición visto desde arriba

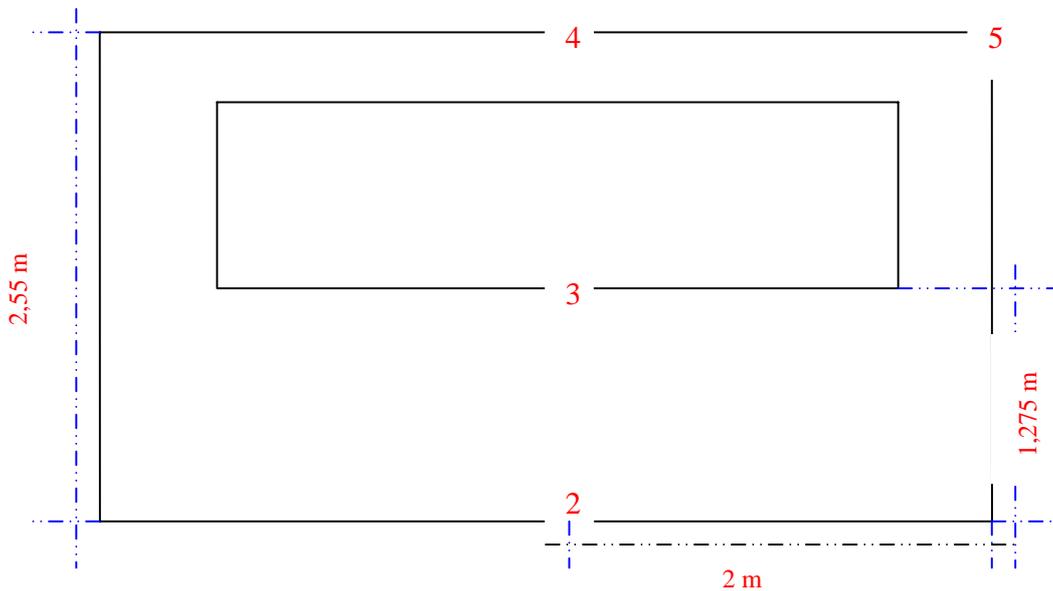


Fig 57b

Mapeo del recinto, visualizando los puntos de medición (2, 3, 4, 5).

En los puntos **1 y 3**, es donde se presentara, una menor cantidad de modos, pero en los puntos **2, 4 y 5** es donde se encontraran la mayor cantidad de modos con gran energía. Con el fin de excitar la sala en sus frecuencias modales, es decir en las frecuencias que esta vibrara dependiendo de sus dimensiones, se genero un barrido senoidal irradiado por la fuente (dodecaedro) ubicada en una esquina como se muestra en la **Fig 57a**. Este barrido arranca desde **30 Hz** hasta **600 Hz** el cual ofrece un análisis lineal en frecuencia.

El software usado para realizar la medición fue el **espectral LAB**, se utilizo una transformada de **8000** y no de **44000**, para ampliar el rango ya que la respuesta es muy pequeña, además los puntos estarán más juntos. Se bajo la frecuencia de sampleo a **11000**, para que la densidad modal (**Frecuencia / Modos**) sea mayor, a menor frecuencia mas modos.

Antes de analizar y calcular los modos, es analizar si las dimensiones y geometría del cuarto coinciden con el **criterio de bolt**, el cual se encarga de proporcionar para un diseño, las proporciones adecuadas para las dimensiones del cuarto, con el fin de obtener una respuesta modal uniforme.

- *Criterio de Bolt*

Según el criterio de **bolt**, las proporciones adecuadas para un cuarto de grabación, a partir de una proporción estándar de **1.0** para la altura, deben estar dentro del área de **bolt** expuesta en la **Fig. 32** del capítulo del marco teórico, cuando se explico la teoría de modos.

Las dimensiones de cuarto de grabación son las siguientes:

Largo: 3,85 Metros; Ancho 2,90 Metros; Alto: 2,55 Metros

La relación de proporciones de las dimensiones del cuarto son las siguientes:

1,50: 1,13: 1

Al analizar la grafica de **bolt**, las proporciones de las dimensiones del cuarto de grabación, no se encuentra en el área de **bolt**, es decir no proporcionara unas características suaves en bajas frecuencias, debido a que la distribución de modos axiales, los cuales son los que poseen mayor energía, están mal distribuidos en el espacio, generando coloración en el cuarto, la cual resulta desagradable para el oído humano.

Aplicando la **ecuación 9** que es la representación matemática, para hallar las frecuencias modales de un recinto, se hallaron los modos axiales, los cuales según **bolt** son los que determinan si la distribución modal en una sala es adecuada o no, debido a que estos modos son los que poseen más energía.

Nro	Nx	Ny	Nz	F(Hz)	Axiales	Deltaf axial
1	1	0	0	44,7	x	44,7
2	0	1	0	59,3	x	14,6
3	0	0	1	67,5	x	8,1
4	2	0	0	89,4	x	21,9
5	0	2	0	118,6	x	29,3
6	3	0	0	134,0	x	15,4
7	0	0	2	134,9	x	0,9
8	0	3	0	177,9	x	43,0
9	4	0	0	178,7	x	0,8
10	0	0	3	202,4	x	23,7
11	5	0	0	223,4	x	21,0
12	0	4	0	237,2	x	13,9
13	6	0	0	268,05	x	30,8
14	0	0	4	269,8	x	1,8
15	0	5	0	296,6	x	26,7
16	7	0	0	312,7	x	16,2
17	0	0	5	337,3	x	24,5
18	0	6	0	355,9	x	18,6
19	8	0	0	357,4	x	1,5
20	9	0	0	402,1	x	44,7
21	0	0	6	404,7	x	2,6
22	0	7	0	415,2	x	10,5
23	10	0	0	446,8	x	31,6
24	0	0	7	472,2	x	25,4
25	0	8	0	474,5	x	2,3
26	0	9	0	533,8	x	59,3
27	0	0	8	539,6	x	5,8
28	0	10	0	593,1	x	53,5
29	0	0	9	607,1	x	14,0
30	0	0	10	674,5	x	67,5

Tabla 23

Modos Axiales del cuarto de grabación

Por medio de la **tabla 23**, se puede observar que en el cuarto de grabación en función de las dimensiones que posee este, genera **30** modos axiales en el rango de medición que va de **30Hz – 600Hz**. La tabla también muestra que el espaciado entre modos varia en un rango de **0,8Hz - 67,5Hz**, lo cual indica que no hay una distribución modal axial uniforme. Otro problema que existe en este cuarto es que

posee modos casi coincidentes, solo los separa unos **0,8** y **0,9 hertz**, estos modos generaran un mayor problema.

En la **Fig. 58**, se puede observar la inadecuada distribución modal axial, existente entre el rango de **30 Hz** hasta **600Hz**. Los números arriba de cada modo indican el número de modos coincidentes, en dicha frecuencia, lo cual es un gran problema para las frecuencias de **134Hz, 179Hz y 269Hz**, para las frecuencias de **357Hz, 404Hz, y 474Hz** no será un problema los modos coincidentes, debido a que en esta frecuencias hay una gran densidad de modos y así las coloraciones serán desapercibidas. Nótese también que los modos están muy separados uno del otro, ocasionando una fuerte coloración en el cuarto de control.

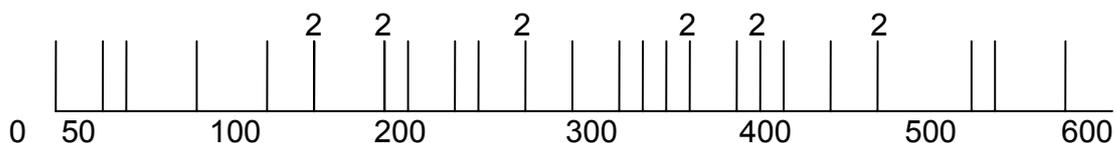


Fig 58

Distribución modal en el espectro de frecuencia

- *División del espectro en regiones acústicas*

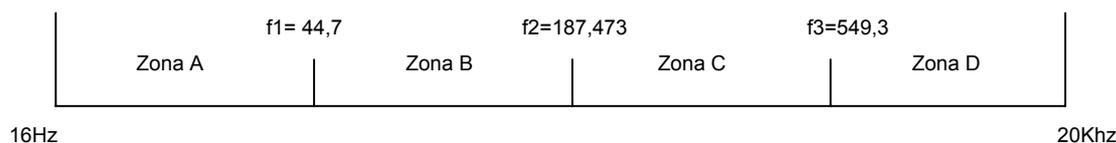


Fig 59

Distribución modal en el espectro de frecuencia

En la **Fig. 59**, se estudio el cuarto de grabación, como una división del espectro en regiones acústicas, es decir se analizara en que frecuencias el cuarto trabaja como un fenómeno ondulatorio y un fenómeno de rayos sonoros. El limite inferior del espectro esta dado por el límite inferior de audibilidad que es **16Hz**.

La primer modo de frecuencia, el cual es el **1, 0, 0** determinara el limite superior de la **zona A**, s decir la **f1**.

$$f1 = 44,7Hz$$

La **zona B** esta comprendida por la **f1** que ya se halló y la **f2**, la cual es la frecuencia de **schroeder**. En esta zona trabajan frecuencias de gran longitud de onda, las cuales están vinculadas con el volumen del cuarto y el tiempo de reverberación de este y sus valores son los siguientes:

$$Vt = 28,47m^3; Rt60 = 0,28Seg$$

La frecuencia de **schroeder** o **F2** aplicando la **ecuación 10**

$$f2 = 1893\sqrt{T60/V}; f2 = 187,73Hz$$

A partir de esta frecuencia, las ondas estacionarias se hallaran tan poco espaciadas que no afectan el sonido.

La frecuencia limite, para indicar la **zona c** en el espectro es la **f3** la cual será igual a **4** veces la frecuencia de **schroeder**.

$$f3 = 750,9Hz$$

En esta **zona c** existe un comportamiento mixto, es decir, un poco como rayos, por lo que se podrá aplicar principios de óptica y un poco como ondas.

Conociendo ya las regiones acústicas, se procede a calcular la totalidad de modos presentes en el recinto y analizar como se distribuyen dentro de cada una de ellas.

La siguiente **tabla 24**, muestra los **80** primeros modos tanto **axiales**, **oblicuos** y **tangenciales**. Con el calculo de estos primeros **80** modos, ya se puede proporcionar un diagnostico del comportamiento de las frecuencias modales en el cuarto.

Nro	Nx	Ny	Nz	F(Hz)	Axiales	Tang	oblic	DeltaF	Deltaf axial	Gildford
1	1	0	0	44,7	x			44,7	44,7	
2	0	1	0	59,3	x			14,6	14,6	ok
3	0	0	1	67,5	x			8,1	8,2	
4	1	1	0	74,3		x		6,8		
5	1	0	1	80,9		x		6,7		
6	2	0	0	89,4	x			8,4	21,9	Mal
7	0	1	1	89,8		x		0,5		
8	1	1	1	100,3			x	10,5		
9	2	1	0	107,2		x		6,9		
10	2	0	1	112,0		x		4,7		
11	0	2	0	118,6	x			6,7	29,2	Mal
12	2	1	1	126,7			x	8,1		
13	1	2	0	126,8		x		0,1		
14	3	0	0	134,0	x			7,3	15,4	ok
15	0	0	2	134,9	x			0,9	0,9	ok
16	0	2	1	136,5		x		1,6		
17	1	0	2	142,1		x		5,7		
18	1	2	1	143,6			x	1,5		
19	3	1	0	146,6		x		3,0		
20	0	1	2	147,4		x		0,8		
21	2	2	0	148,5		x		1,1		
22	3	0	1	150,0		x		1,5		
23	1	1	2	154,0			x	3,9		
24	3	1	1	161,3			x	7,4		
25	2	0	2	161,8		x		0,5		
26	2	2	1	163,1			x	1,3		
27	2	1	2	172,3			x	9,2		
28	0	3	0	177,9	x			5,6	43,0	mal
29	4	0	0	178,7	x			0,8	0,8	ok
30	3	2	0	179,0		x		0,3		
31	0	2	2	179,6		x		0,7		
32	1	3	0	183,5		x		3,8		
33	1	2	2	185,1			x	1,7		
34	4	1	0	188,3		x		3,2		
35	3	0	2	190,2		x		1,9		
36	0	3	1	190,3		x		0,1		
37	4	0	1	191,0		x		0,7		
38	3	2	1	191,3			x	0,3		
39	1	3	1	195,5			x	4,2		
40	2	3	0	199,1		x		3,6		
41	3	1	2	199,2			x	0,1		
42	4	1	1	200,0			x	0,8		

43	2	2	2	200,6			x	0,6		
44	0	0	3	202,4	x			1,7	23,7	mal
45	1	0	3	207,2		x		4,9		
46	2	3	1	210,2			x	3,0		
47	0	1	3	210,9		x		0,6		
48	4	2	0	214,5		x		3,6		
49	1	1	3	215,5			x	1,1		
50	2	0	3	221,2		x		5,7		
51	3	3	0	222,8		x		1,6		
52	0	3	2	223,3		x		0,5		
53	5	0	0	223,4	x			0,1	21,0	mal
54	4	0	2	223,9		x		0,5		
55	3	2	2	224,1			x	0,2		
56	4	2	1	224,8			x	0,7		
57	1	3	2	227,7			x	2,9		
58	2	1	3	229,0			x	1,3		
59	5	1	0	231,1		x		2,1		
60	4	1	2	231,6			x	0,5		
61	3	3	1	232,7			x	1,1		
62	5	0	1	233,3		x		0,6		
63	0	2	3	234,6		x		1,2		
64	0	4	0	237,2	x			2,7	13,9	ok
65	1	2	3	238,8			x	1,5		
66	2	3	2	240,5			x	1,7		
67	5	1	1	240,8			x	0,3		
68	1	4	0	241,4		x		0,7		
69	3	0	3	242,7		x		1,3		
70	0	4	1	246,6		x		3,9		
71	3	1	3	249,9			x	3,2		
72	1	4	1	250,7			x	0,8		
73	2	2	3	251,0			x	0,3		
74	4	3	0	252,2		x		1,2		
75	5	2	0	252,9		x		0,7		
76	4	2	2	253,4			x	0,5		
77	2	4	0	253,5		x		0,1		
78	3	3	2	260,4			x	6,9		
79	5	0	2	261,0		x		0,5		
80	4	3	1	261,0			x	0,1		
81	5	2	1	261,8			x	0,7		
82	2	4	1	262,3			x	0,6		
83	5	1	2	267,6			x	5,3		
84	6	0	0	268,1	x			0,4	30,9	mal
85	0	3	3	269,5		x		1,4		
86	0	0	4	269,8	x			0,3	1,7	ok

Tabla 24
Modos Axiales, Oblicuos y Tangenciales

Según **Gildford**, los modos axiales no deben estar separados entre si por mas de **20Hz**, debido a que si la separación de modos es mayor, el modo será percibido por el oído humano. En la **tabla 24** se puede observar que las frecuencias **89.4Hz, 118.6Hz, 117.9Hz, 202.4Hz, 223.4Hz y 268.1 Hz**, serán percibidas por el oído, causando una alta coloración en el recinto. Ya separaciones más de **20 Hz** a partir de los **300 Hz** ya no serán de gran importancia, debido a la densidad de modos existente.

Hasta ahora solo se han tenido en cuenta los modos axiales, a pesar de que los modos axiales son los que poseen mayor energía, los modos oblicuos y tangenciales, a pesar de no poseer tanta energía, se encargan de llenar los vacíos ocasionados por las frecuencias axiales.

- *Criterio de Bonello*

Por medio de este criterio se estudio todo el comportamiento de todos los modos del cuarto de grabación. Para analizar este comportamiento, se logro a partir de la densidad de modos.

- *Densidad de modos*

La densidad de modos en función del volumen y el ancho de banda del cuarto de grabación esta dada por la **ecuación 14** expuesta anteriormente en la teoría de modos que es:

$$D = \frac{4\pi V f_2}{C^3}$$

Para valores de f: **50Hz, 100Hz, 137.4Hz, 150Hz, 200Hz, 250Hz, 300Hz, 350Hz 400Hz, 450Hz, 500Hz 550Hz y 600Hz**

Frec(Hz)	Densidad
50	0,02
100	0,09
137,4	0,17
150	0,20
200	0,36
250	0,57
300	0,82
350	1,12
400	1,46
450	1,84

Tabla 25

Densidad de modos por tercios de octava

Por ultimo se calculo el ancho de banda, de la energía que otorga cada modo. Para un estudio de grabación el ancho de banda debe ser igual o aproximarse a los **5HZ**. Este ancho de banda esta relacionada y inversamente proporcional al tiempo de reverberación.

$$\Delta f = \frac{6,91}{3,1416 * T60};$$

Ecuación 15

Ancho de banda de la energía de cada modo

Donde:

T60= Tiempo de reverberación

$$\Delta f = 14,70$$

El ancho de banda que posee cada modo para este estudio es de **14,70 hertz**.

- *Graficas de las mediciones modales en cada punto de medición*

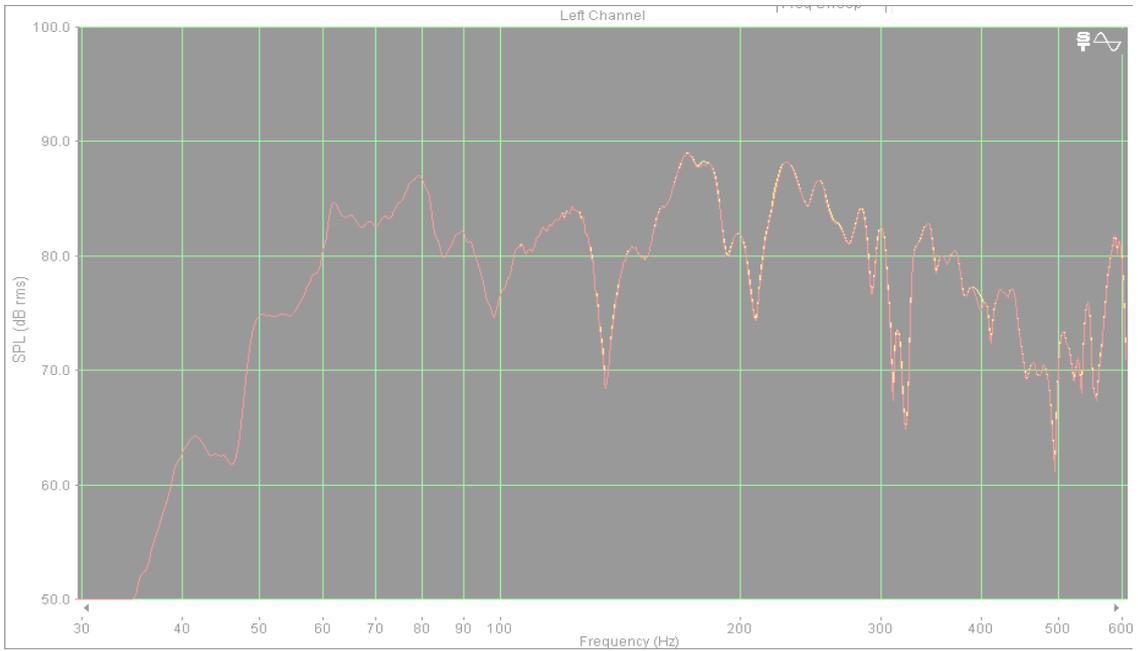


Fig 60

Comportamiento Modal en el Punto 1

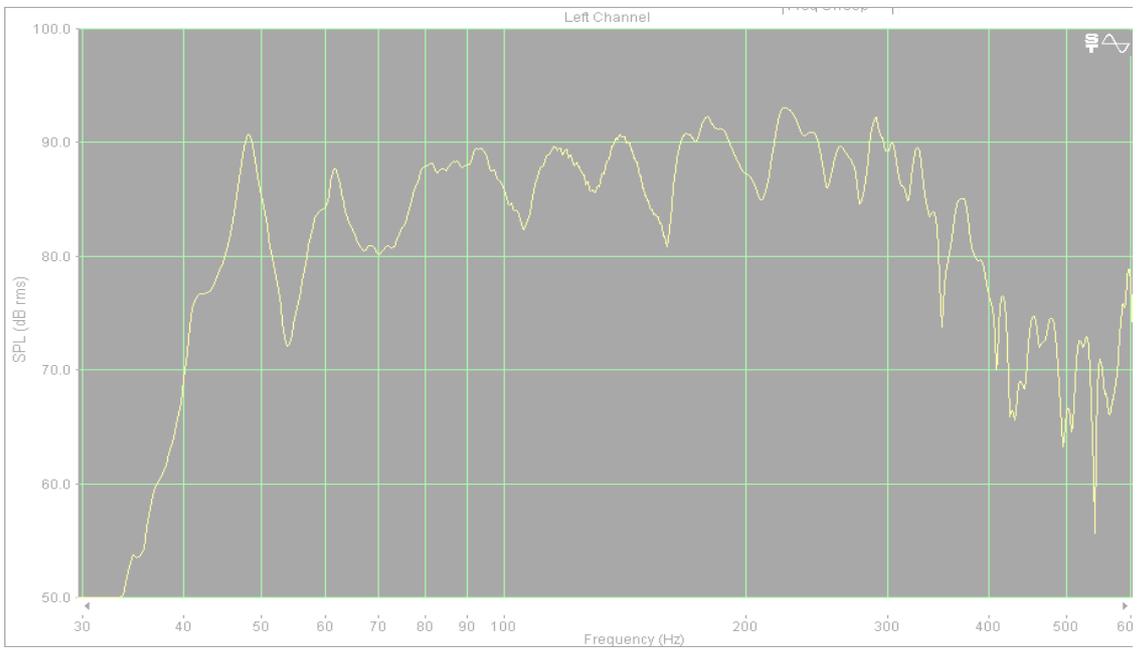


Fig 61

Comportamiento Modal en el Punto 2

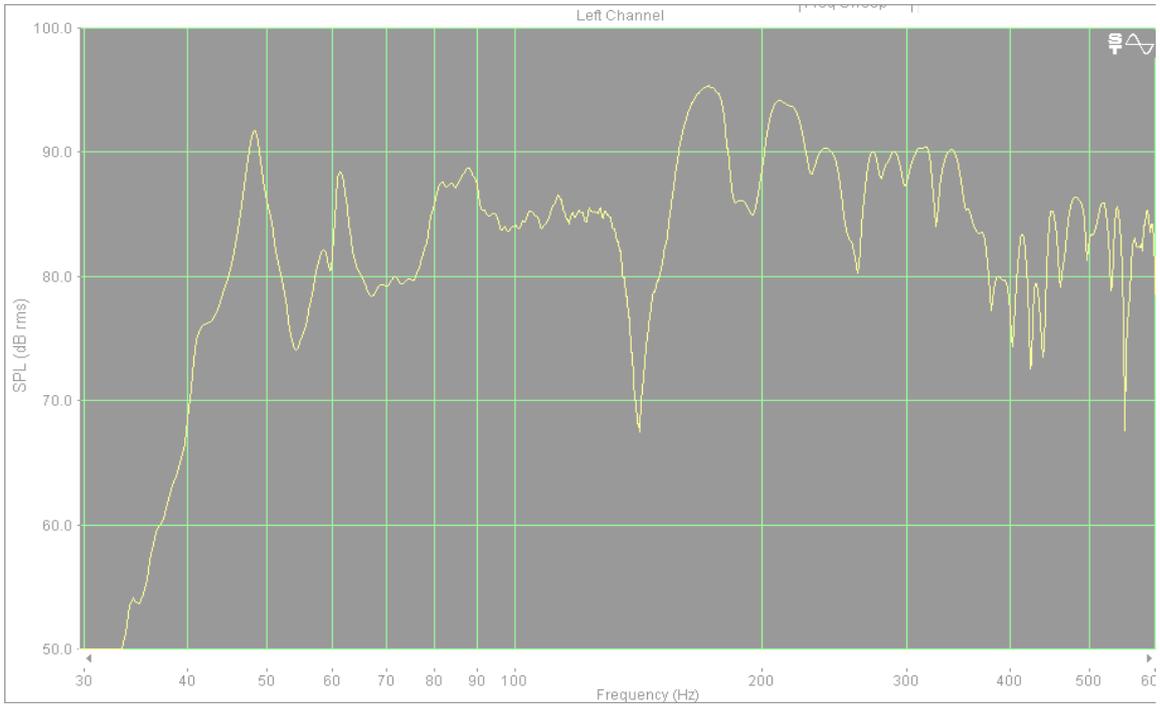


Fig 62

Comportamiento Modal en EL Punto 3

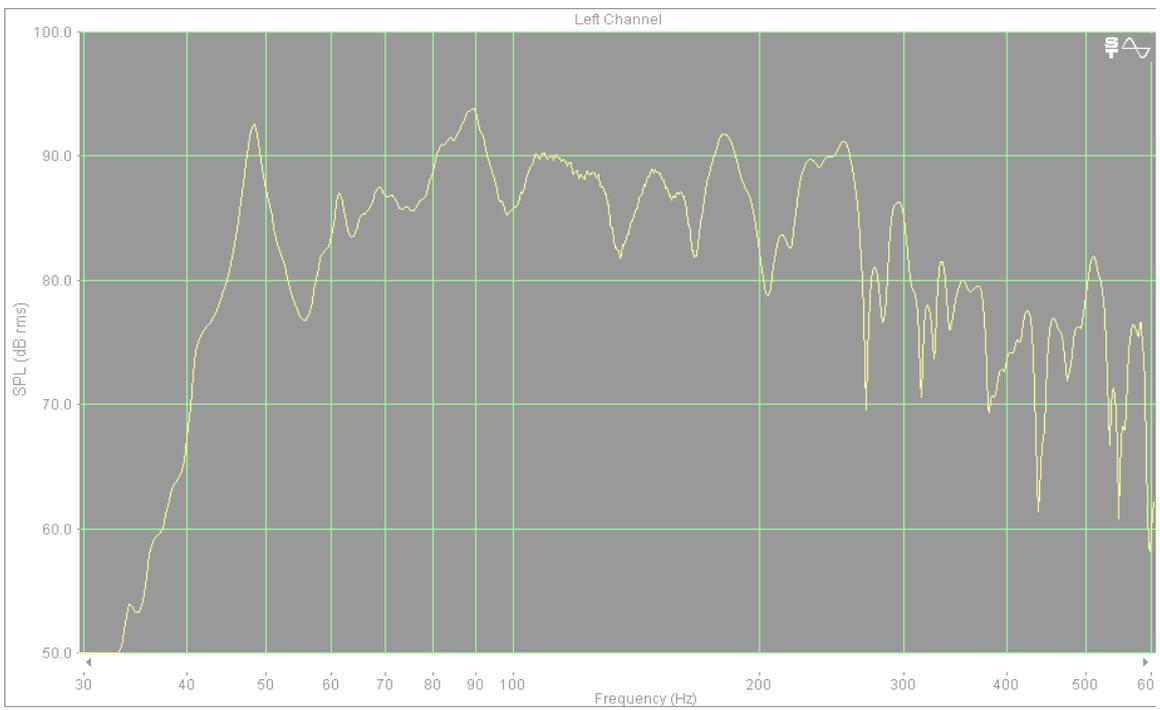


Fig 63

Comportamiento Modal en el punto 4

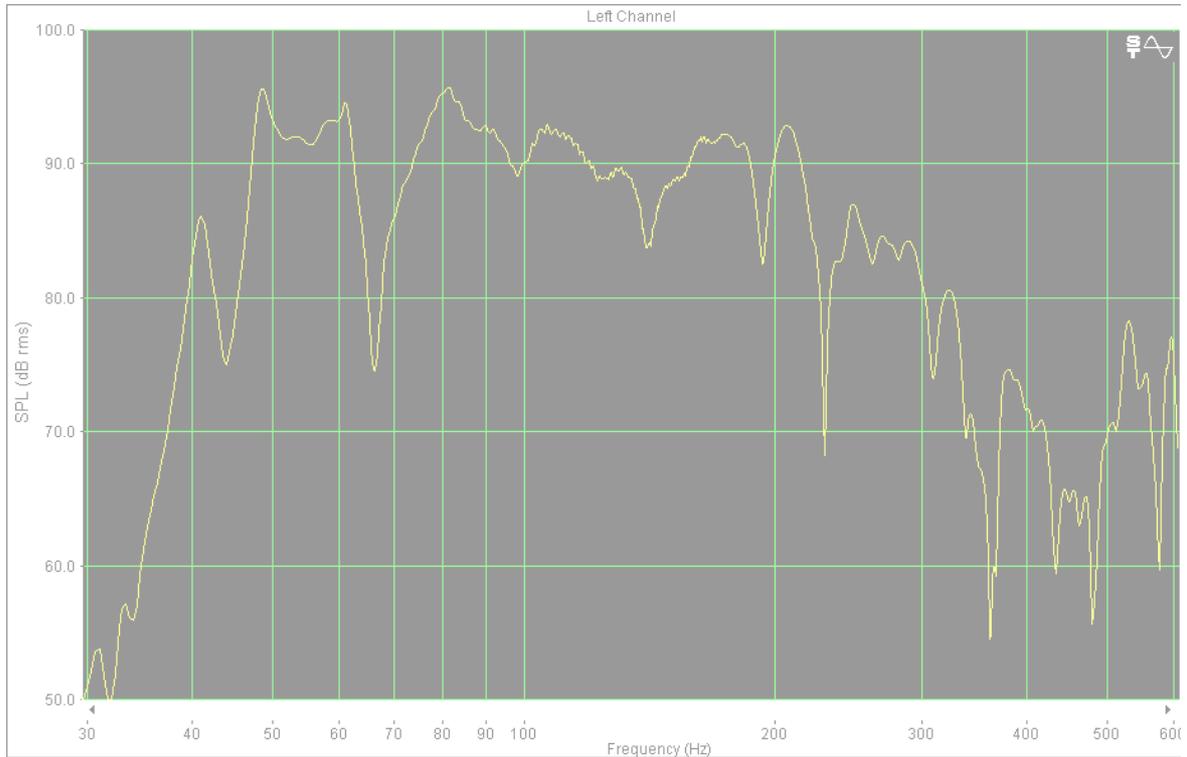


Fig 64
Comportamiento Modal en el punto 5

5.1.2.3 Tiempo de reverberación Las mediciones se realizaron al igual que las demás mediciones, en el cuarto de grabación del estudio digital de la Universidad San Buenaventura el cual posee un volumen de **28,47** metros cúbicos y una superficie total de **56,75** metros cuadrados. El cuarto esta hecho en ladrillo y con techo en hormigón y piso en baldosa cubierto de tapete. La pared trasera y la pared lateral izquierda esta recubiertas por un panel cubierto de tapete, con una cavidad de aire de unos 10 centímetros, la cual esta recubierta con material absorbente y la pared lateral derecha esta recubierta con difusores de residuos cuadráticos, diseñados para desparramar la energía en un rango de **300 Hz – 15000Hz**.

El estudio posee un volumen muy pequeño, para que se genere un campo reverberante y un campo difuso en el. A simple vista las dimensiones pequeñas

del cuarto y la gran cantidad de material absorbente en el, se puede pronosticar que el tiempo de reverberación será muy bajo sobretodo en frecuencias altas por la alta absorción que este posee. Lo cual ocasionara que el sonido que allí se reproduzca no tendrá una adecuada calidez, es decir una optima calidez proporcionado por la reverberación en bajas frecuencias para dar melosidad a la música y no tendrá una adecuado brillo, lo cual proporciona la viveza de la sala y la claridad de la música.

La fuente (dodecaedro) se ubico en el la esquina superior izquierda como la muestra la **Fig. 65**, con el fin de excitar todas la frecuencias del recinto de una manera mas rápida y adecuada. Como señal de medición se uso un barrido de frecuencia con un rango de **40Hz- 16000Hz**, para excitar todas las frecuencias del espectro audible en el recinto. Los puntos de medición que se escogieron fueron **8** y estos están distribuidos de forma tal para recoger el sonido ambiente en una producción musical y de esta manera observar el comportamiento del tiempo de reverberación en estos puntos. Las mediciones se realizaron con el software de mediciones y análisis acústico **DIRAC**.

En la Fig 65 se muestra los planos del mapeo de la medición del cuarto.

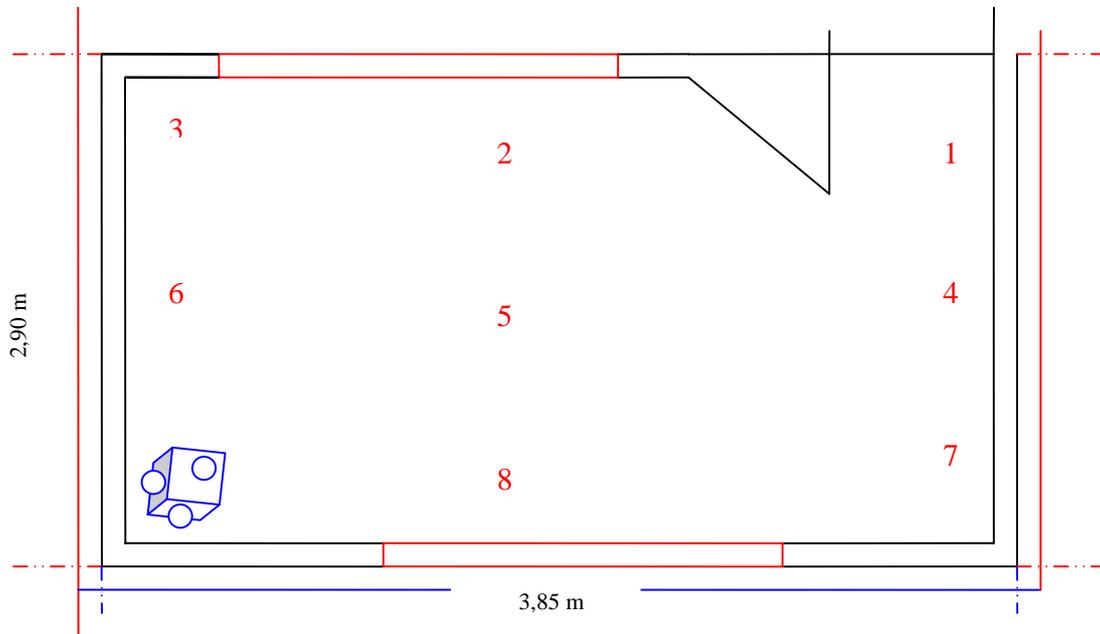


Fig. 65

Mapeo del cuarto de grabación, para la medición del tiempo de reverberación

Posición 1

	63	125	250	500	1000	2000	4000
G [dB]	-	-	-	-	-	-	-
EDT [s]	0,31	0,15	0,20	0,14	0,13	0,14	0,12
T20 [s]	0,40	0,22	0,18	0,16	0,09	0,09	0,10
T30 [s]	0,44	0,26	0,20	-	-	-	0,11
Ts [ms]	36,4	26,0	44,4	248,7	117,9	86,0	31,4
C80 [dB]	16,47	21,92	20,67	10,45	14,02	15,77	22,17
D50	0,92	0,98	0,95	0,91	0,96	0,97	0,99

Fig. 66

Parámetros Acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 1

En la Fig. 66 se puede observar los parámetros acústicos según la norma ISO 3382. Nótese que para las bandas de frecuencia de 500Hz, 1000Hz y 2000Hz el

valor **Rt30** no esta dado, debido a que la relación **señal/ruido** de la medición no fue lo suficiente para que el programa calculara estos valores. Pero como segunda alternativa se obtuvieron los valores de **Rt20** y partir de estos se puede calcular el tiempo de reverberación **Rt60** extrapolando o multiplicando el valor por **3**.

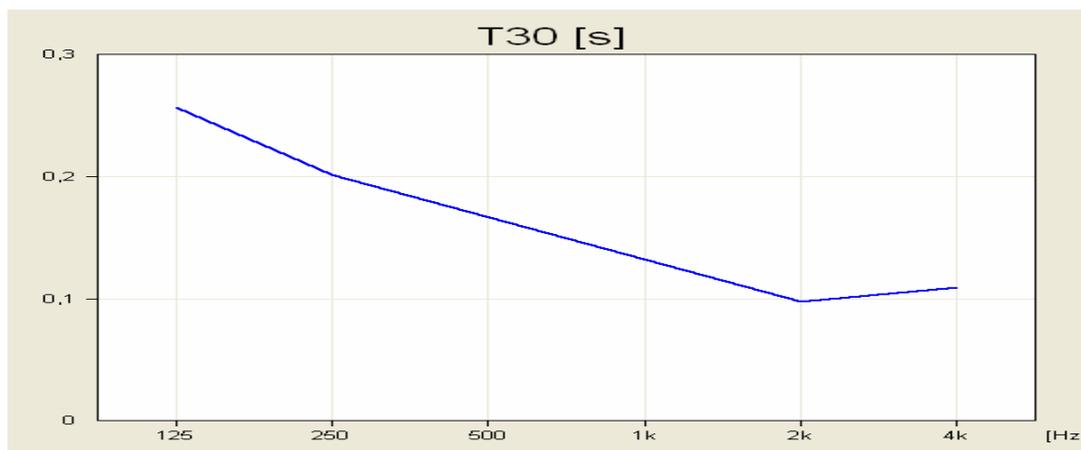


Fig 67

Curva de decaimiento de Rt30

La siguiente **tabla 26** posee los valores de **Rt30** y **Rt60** para la posición 1 de medición. Y un **Rt60** promedio de **0.3** Seg

Frec	125	250	500	1000	2000	4000
Rt30(Seg)	0,257	0,201	0,18	0,082	0,097	0,109
Rt60(Seg)	0,51	0,4	0,36	0,16	0,19	0,21

Tabla 26

Rt30 y Rt60

Posición 2

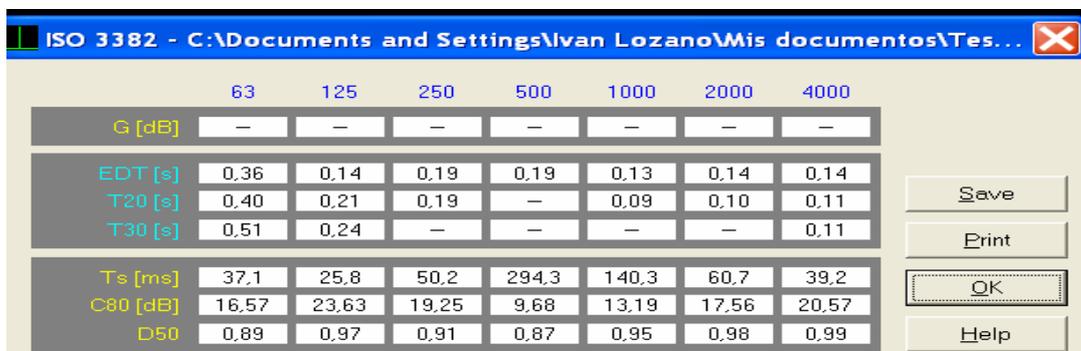


Fig 68

Parámetros Acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 2



Fig 69

Curva decaimiento de Rt30 en la pos 2

La **tabla 27** posee los valores de **Rt30** y **Rt60** para la posición **2** de medición. Con un **Rt60** Promedio de **0,28** seg

Frec	125	250	500	1000	2000	4000
Rt30(Seg)	0,257	0,201	0,15	0,09	0,1	0,109
Rt60(Seg)	0,51	0,4	0,30	0,1	0,2	0,21

Tabla 27

Rt30 Y Rt60

Posición 3

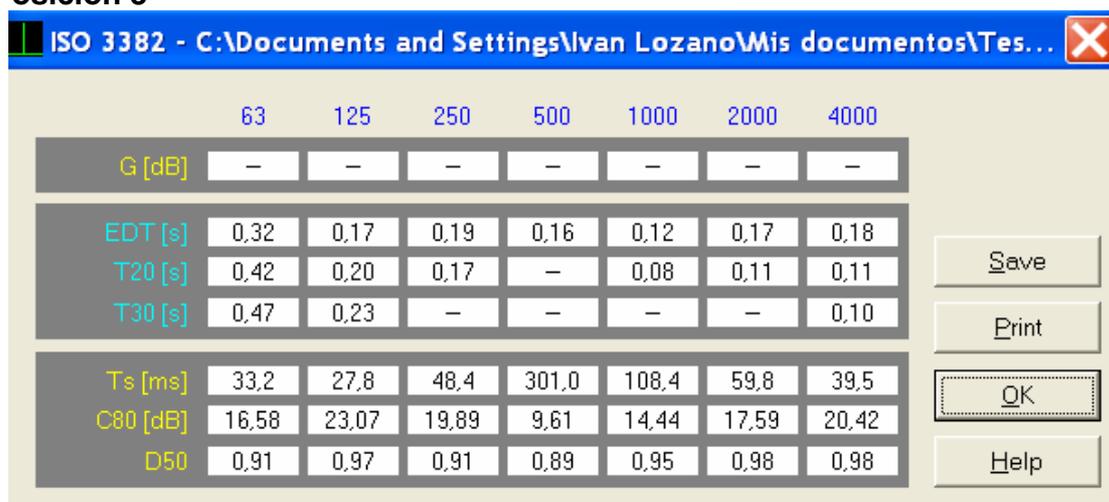


Fig 70

Parámetros Acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 3



Fig 71

Curva decaimiento de Rt30 en la pos 3

La **tabla 28** posee los valores de **Rt30** y **Rt60** para la posición **3** de medición. Con un **Rt60** Promedio de **0,28** seg

Frec	125	250	500	1000	2000	4000
Rt30(Seg)	0,23	0,17	0,15	0,096	0,1	0,103
Rt60(Seg)	0,46	0,34	0,30	0,19	0,2	0,21

Tabla 28

Rt30 Y Rt60

Posición 4

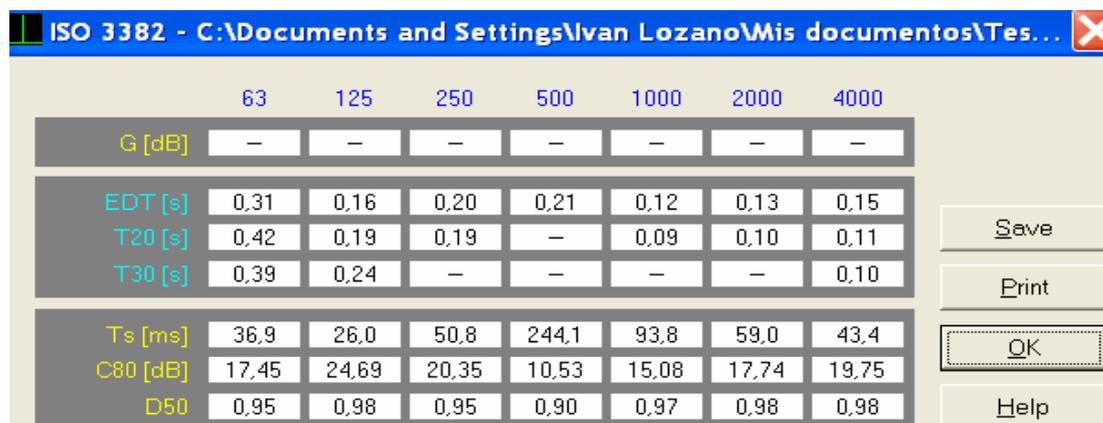


Fig 72

Parámetros Acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 4

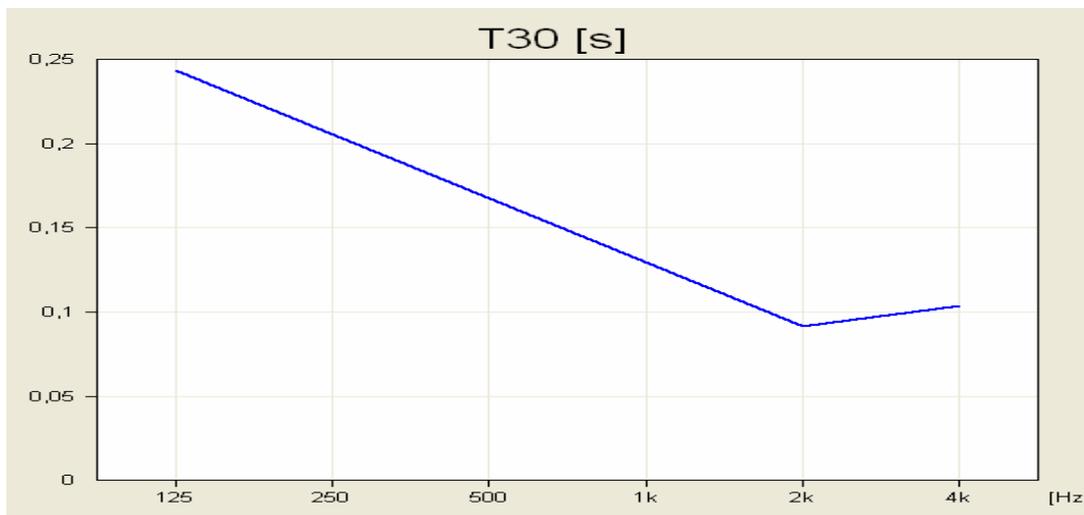


Fig 73

Curva decaimiento de Rt30 en la pos 4

La **tabla 29** posee los valores de **Rt30** y **Rt60** para la posición **4** de medición. Con un **Rt60** Promedio de **0,29** seg

Frec	125	250	500	1000	2000	4000
Rt30(Seg)	0,24	0,2	0,17	0,086	0,092	0,104
Rt60(Seg)	0,48	0,4	0,34	0,17	0,18	0,2

Tabla 29

Rt30 Y Rt60

Posición 5

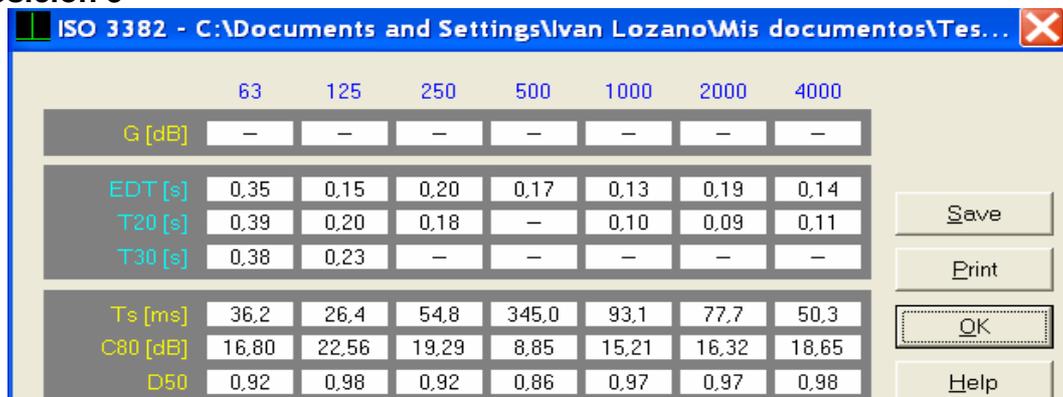


Fig 74

Parámetros Acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 5

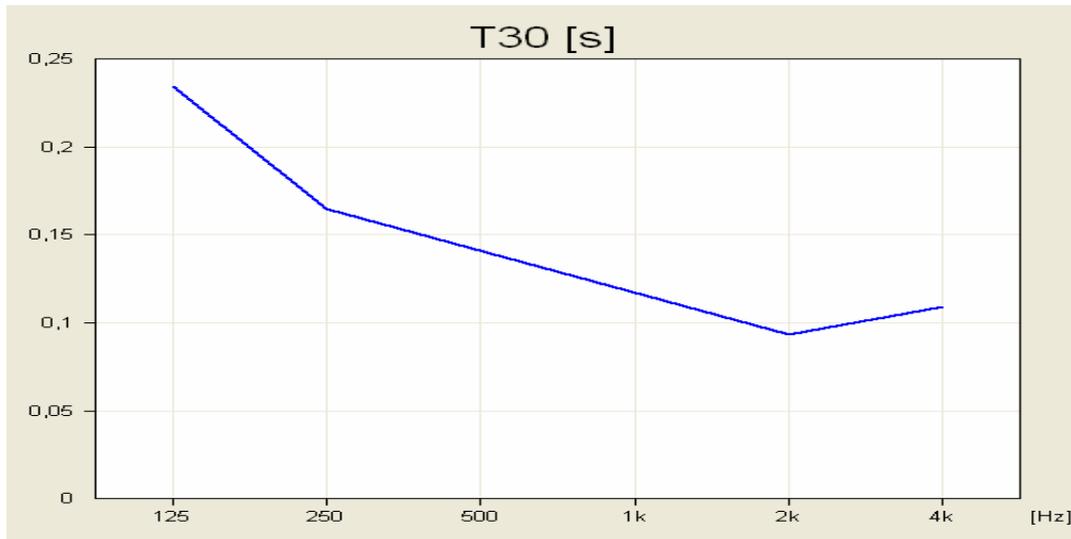


Fig 75

Curva decaimiento de Rt30 en la pos 5

La **tabla 30** posee los valores de **Rt30** y **Rt60** para la posición **5** de medición. Con un **Rt60** Promedio de **0,27seg**

Frec	125	250	500	1000	2000	4000
Rt30(Seg)	0,23	0,16	0,15	0,086	0,093	0,109
Rt60(Seg)	0,46	0,32	0,30	0,16	0,18	0,28

Tabla 30

Rt30 Y Rt60

Posición 6

	63	125	250	500	1000	2000	4000
G [dB]	-	-	-	-	-	-	-
EDT [s]	0,31	0,14	0,20	0,26	0,13	0,16	0,15
T20 [s]	0,41	0,21	0,19	-	0,12	0,10	0,12
T30 [s]	0,42	0,25	-	-	-	-	-
Ts [ms]	34,6	26,3	42,6	352,7	115,7	85,1	53,8
C80 [dB]	16,57	22,67	21,42	8,61	14,10	15,77	18,31
D50	0,92	0,98	0,95	0,86	0,96	0,97	0,98

Fig 76

Parámetros Acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 6

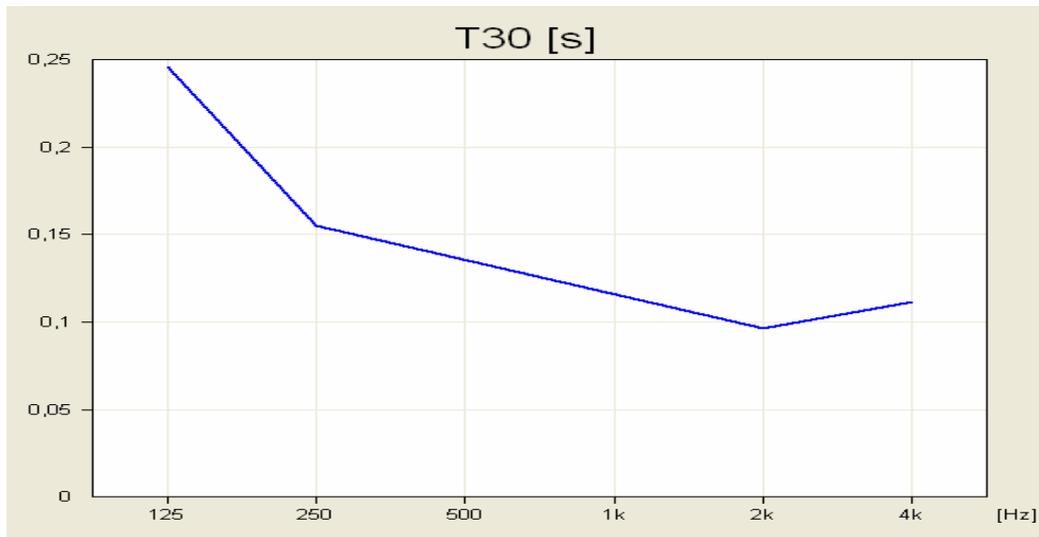


Fig 77

Curva decaimiento de Rt30 en la pos 6

La **tabla 31** posee los valores de **Rt30** y **Rt60** para la posición **6** de medición. Con un **Rt60** Promedio de **0,27** seg

Frec	125	250	500	1000	2000	4000
Rt30(Seg)	0,24	0,15	0,18	0,095	0,097	0,11
Rt60(Seg)	0,48	0,3	0,36	0,11	0,19	0,22

Tabla 31

Rt30 Y Rt60

Posición 7

	63	125	250	500	1000	2000	4000
G [dB]	-	-	-	-	-	-	-
EDT [s]	0,34	0,15	0,18	0,18	0,14	0,18	0,16
T20 [s]	0,39	0,20	0,19	-	0,10	0,10	0,12
T30 [s]	0,45	0,23	-	-	-	-	-
Ts [ms]	35,2	26,8	45,8	332,8	104,5	86,2	82,2
C80 [dB]	16,52	22,71	20,43	8,99	14,56	15,75	15,81
D50	0,93	0,98	0,94	0,87	0,96	0,97	0,97

Fig 78

Parámetros Acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 7

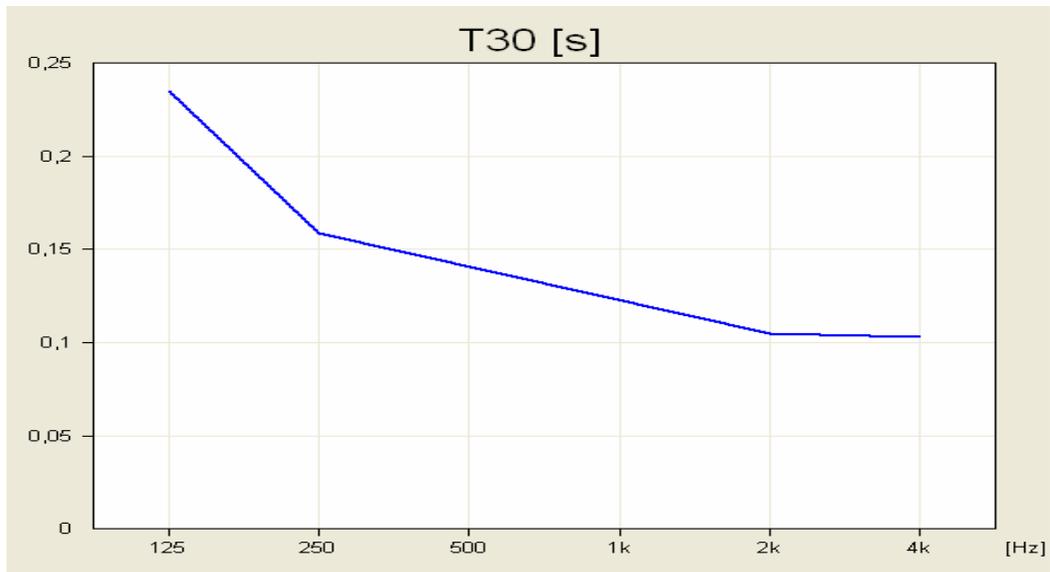


Fig 79

Curva decaimiento de Rt30 en la pos 7

La **tabla 32** posee los valores de **Rt30** y **Rt60** para la posición **7** de medición. Con un **Rt60** Promedio de **0,29** segundos

Frec	125	250	500	1000	2000	4000
Rt30(Seg)	0,23	0,159	0,19	0,09	0,105	0,103
Rt60(Seg)	0,46	0,31	0,38	0,18	0,21	0,2

Tabla 32

Rt30 Y Rt60

Posición 8

	63	125	250	500	1000	2000	4000
G [dB]	—	—	—	—	—	—	—
EDT [s]	0,29	0,14	0,17	0,20	0,14	0,18	0,16
T20 [s]	0,41	0,20	0,18	—	0,09	0,10	0,12
T30 [s]	0,40	0,25	0,17	—	—	—	—
Ts [ms]	33,5	26,1	44,8	316,5	126,3	105,1	61,7
C80 [dB]	17,07	23,06	20,37	9,33	13,68	14,72	17,51
D50	0,92	0,98	0,93	0,88	0,95	0,96	0,98

Fig 80

Parámetros Acústicos según la ISO 3382 EDT, Rt20, Rt30 para la pos 8



Fig 81

Curva decaimiento de Rt30 en la pos 7

La **tabla 33** posee los valores de **Rt30** y **Rt60** para la posición **8** de medición. Con un **Rt60** Promedio de **0,29** seg

Frec	125	250	500	1000	2000	4000
Rt30(Seg)	0,25	0,17	0,18	0,08	0,107	0,106
Rt60(Seg)	0,5	0,34	0,36	0,16	0,21	0,21

Tabla 33

Rt30 Y Rt60

Una vez hallados los tiempos de reverberación del cuarto de grabación para cada posición de medición, el siguiente paso fue hallar el tiempo de reverberación promediado en los **8** puntos para así tener un valor estadísticos de tiempo de reverberación del cuarto de grabación.

Rt60 Promediado de las 8 posiciones

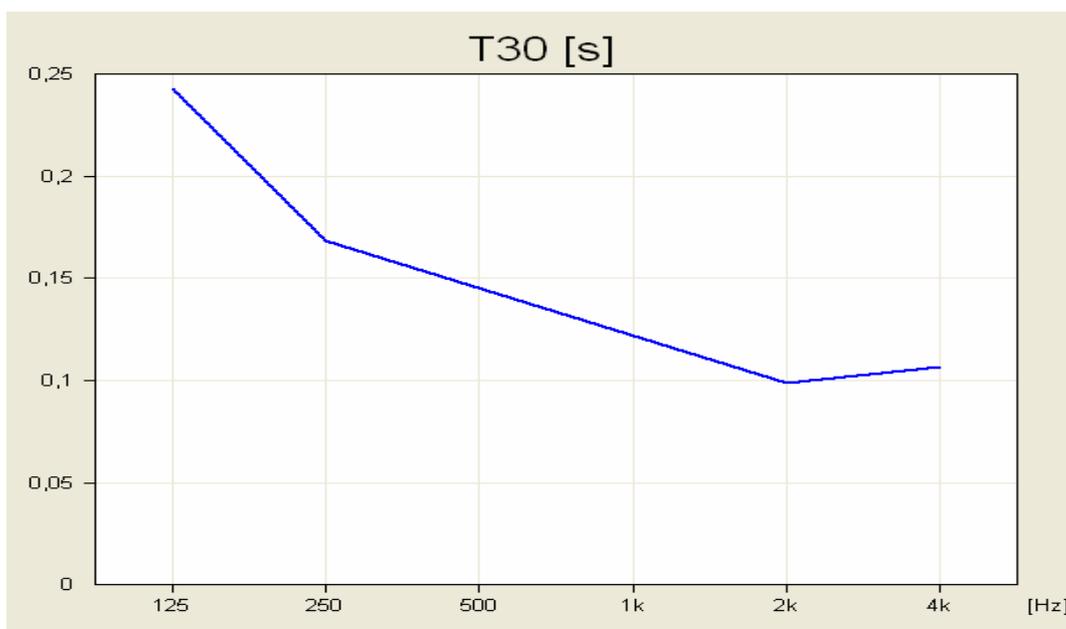


Fig 82

Curva decaimiento de Rt30 promedio del recinto

La **tabla 34** posee los valores de **Rt30** y **Rt60** promedio de las **8** posiciones de medición. Con un **Rt60** Promedio del cuarto de **0,28** seg

Frec	125	250	500	1000	2000	4000
Rt30(Seg)	0,24	0,16	0,16	0,088	0,099	0,107
Rt60(Seg)	0,48	0,32	0,32	0,17	0,19	0,21

Tabla 34

Rt30 Y Rt60

6. DESARROLLO INGENIERIL

6.1 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA ACÚSTICA DEL CUARTO DE GRABACIÓN

6.1.1 *Perdida Por Transmisión.* El aislamiento proporcionado por la pared doble y vidrio doble que separa los 2 cuartos de grabación (**Análogo/digital y Digital**) y la pared que separa el cuarto de control del cuarto de grabación del estudio digital, presenta deficiencia de construcción; la profunda depresión de resonancia presentada en los **315 hertz** como se mostró en la **Fig 56 a y b** de las curvas de perdida por transmisión y la depresión de coincidencia que se da en los **1200Hz**, ocasionara que estas frecuencia y frecuencias próximas a estas sean transmitida fácilmente por vibración al recinto receptor (Cuarto de grabación estudio digital). Esta poca perdida por transmisión ocasionara en frecuencias bajas y altas, que cuando se este grabando en los dos estudios simultáneamente y cuando se este reproduciendo lo que se graba en el cuarto de control de estudio digital , sonidos como el de un Bombo, un Bajo eléctrico, Guitarra, percusión (Tambora, alegre, congas, timbales y otros), Contrabajos, Chelos y otros instrumentos que tengan alta reproducción de bajos sea transmitidos de recinto a recinto y de esta manera estropear una sesión de grabación. Una producción musical realizada en este estudio se vera muy afectada por la alta transmisión de frecuencias bajas, debido a que estas frecuencias también afectaran a la respuesta modal del cuarto de grabación

- *Adecuaciones Realizadas Respecto a la Pérdida por Transmisión*

Una posible solución para mejorar el aislamiento en la zona de resonancia y coincidencia seria adherirle a las paredes una capa de material amortiguante,

(paneles diafragmáticos) con el fin de que la energía que incide en el material se disipe y de esta manera no pase a la pared.

Otra solución sería volver a diseñar las paredes dobles de los recintos con el fin de lograr un cavidad de aire apropiada, que cada partición posea poca rigidez y alta masa para que de esta manera las vibraciones entre el aire encerrado y la masa de la pared no sean tan bastas y además incorporar en la cavidad de aire material absorbente para bajar la frecuencia de resonancia y atenuarla para una ancho de banda mas grande.

La pared doble proporciona una pendiente aceptable de atenuación por ley de masa, sin tener en cuenta la depresión profunda presentada en los **315 Hz** Para mejorar el aislamiento por ley de masas, sería cambiar las paredes por unas de mayor espesor; es decir mayor densidad superficial, siempre y cuando se mantenga bajo la rigidez, para que no haya aproximación de la frecuencia de resonancia y la frecuencia de coincidencia y de esta manera no limitar la atenuación por ley de masas.

El efecto de coincidencia de la pared doble parte de **1200 Hz**, valor irregular, ya que el efecto de coincidencia se presenta normalmente en frecuencias mas altas, aprox. desde los 5000 Hz. En tabiques dobles el efecto de coincidencia esta determinado por el espesor de cada material y además el índice de atenuación de un tabique doble es mucho mayor que la atenuación dada por ley de masa en un tabique simple con la misma masa usada para un tabique doble. Para evitar el efecto de coincidencia en un tabique doble, es ventajoso usar las Particiones cada una con un diferente espesor con el fin de evitar que el efecto de coincidencia se presente en la misma frecuencia y de esta manera mejorar la atenuación del sonido en frecuencias altas. La frecuencia de coincidencia esta muy baja, de esta manera afectando el aislamiento por ley de masas. Las frecuencias alrededores de esta frecuencia de coincidencia también serán transmitidas al cuarto de grabación y afectaran al sonido que se desea capturar.

El vidrio doble, que está ubicado en la mitad de la pared doble, está proporcionando una alta transmisión en bajas frecuencias, debido a que la separación de ambos vidrios no es considerable; además el espesor de cada partición de vidrio es relativamente angosto, ocasionando de esta manera que el sistema entre en vibración constantemente por la cavidad de resonancia existente entre el aire encerrado y la masa de cada vidrio. Si se obtiene una alta masa de vidrio y una gran cavidad de aire entre ellos, la atenuación proporcionada por esta será mucho mejor en frecuencias bajas y altas y mejor aun si dentro de este se rellena con material absorbente para atenuar las resonancias

Hay que tener en cuenta que también existe transmisión por flancos, por borde comunes dentro de las paredes y vigas y travesaños que vinculen a las paredes.

Para obtener un sonido, el cual este por fuera de la energía que es transmitida al cuarto de grabación, lo que se hizo fue grabar cada instrumento aislado por medio de biombos o paneles, los cuales proporcionan un alto rendimiento en atenuación en bajas frecuencias y medias altas frecuencias y de esta manera obtener el sonido directo del instrumento, sin efectos de interferencia con la energía transmitida en las frecuencias críticas de transmisión que son alrededor de los **315 Hz** y alrededor de **1250 Hz**.

6.1.2 Análisis de la Respuesta Modal. El cuarto de grabación del estudio digital, posee una pésima distribución de los modos de resonancia, debido a que los modos axiales, que son los que poseen mas energía y los mas importantes a la hora de estudiar este fenómeno, están muy separados los unos de los otros como podemos ver en la **tabla 23** de modos axiales mostrada en el capítulo de análisis de los modos de resonancia.

Según **Gildford** la diferencia entre modos axiales no puede ser mayor de **20Hz**, debido a que si presentan diferencias mayores a esta, la sala estará caracterizada por una alta coloración, es decir habrá puntos del recinto en donde cada modo de

estos sobresalta y escuchado por el oído humano, generando así una mala respuesta en frecuencias bajas del cuarto.

Si se ubica un micrófono, en donde se excite un modo de estos axiales, se captura el sonido de instrumentos con rango de frecuencias bajas como una batería (Toms, Bombo, Redoblante), congas, bongoes, contrabajos, Bajos eléctricos amplificados, guitarras amplificadas y voces graves, capturarán un sonido con muy alta coloración y desagradable al oído humano. El efecto es aun mayor si se quiere capturar sonido ambiente con el micrófono, debido a que el efecto de coloración tendrá mucho mas fuerza que el sonido directo del instrumento. El problema será aun mucho mayor si se realiza una grabación en bloque, debido a que las frecuencias bajas se excitarán con mayor fuerza, ocasionando de esta manera que el recinto vibre en sus frecuencias modales y así los micrófonos capturen la alta coloración del cuarto.

Como se menciona anteriormente, las dimensiones del cuarto de grabación, no se hallan dentro del área de **bolt**, lo cual proporcionará una pésima distribución de las frecuencias modales del recinto.

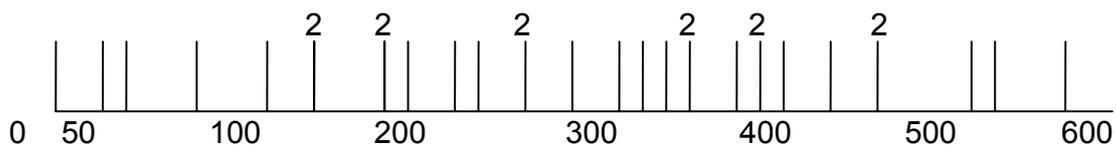


Fig 83

Distribución modal axial del cuarto de grabación

Si se observa la **Fig 83** en el rango de frecuencias que se realizó la medición que es de **30Hz – 600 Hz**, el cuarto de grabación posee una pésima distribución de los modos axiales, debido a que están muy separados. Entre sí, proporcionando coloración en el cuarto. También existe un gran problema para las frecuencias de **134Hz, 179Hz y 269Hz**, debido a que hay modos axiales coincidentes, ocasionando una mayor energía de coloración para esas frecuencias, la cual será

percibida por el oído humano fácilmente. Las frecuencias de **357Hz, 404Hz, y 474Hz** también posee modos coincidentes, pero estos no serán un mayor problema debido a que en estas frecuencias hay una gran densidad de modos y así las coloraciones serán desapercibidas para el oído humano.

Se debe tener mucho cuidado, en la ubicación de los micrófonos, cuando se van a capturar instrumentos que trabajen en estas frecuencias. Sobre todo si se van a usar micrófonos para captar el sonido ambiente del cuarto. Para el desarrollo de la producción musical, lo que se hizo fue generar estas frecuencias y las frecuencias de los modos axiales, y así analizar las ubicaciones de las coloraciones del recinto, el lugar donde se presentan las intensas coloraciones se presentan en la **Figura 84**

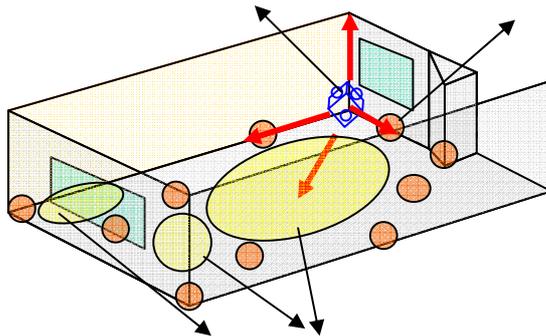


Fig 84

Representación de las zonas optimas y no optimas
De distribución modal en el recinto

En la anterior grafica los puntos sombreados en naranja, son las fuertes coloraciones que posee el cuarto en frecuencias de **134Hz, 179Hz y 269Hz**, es decir que en estos puntos la distribución modal no es optima, debido a que los modos allí encontrados son modos coincidentes, proporcionando altas coloraciones y la separación de modos, es lo suficientemente grande para ser percibida por el oído humano.

El área sombreada en amarillo, es la zona en donde el comportamiento modal del recinto es mucho mas uniforme, debido a que allí no hay una fuerte presencia de

modos axiales, y estos no están separados allí por mas de **20 Hz** y además en estas zonas según las mediciones, hay una gran densidad modal, lo cual proporcionara una respuesta mucho mas plana y uniforme del recinto.

Al dividir el cuarto de grabación en un espectro de regiones acústicas, se pudo determinas las zonas de trabajo ondulatorio y rayos sonoros de la sala y de esta manera poder analizar el comportamiento de los modos tanto axiales, oblicuos y tangenciales.

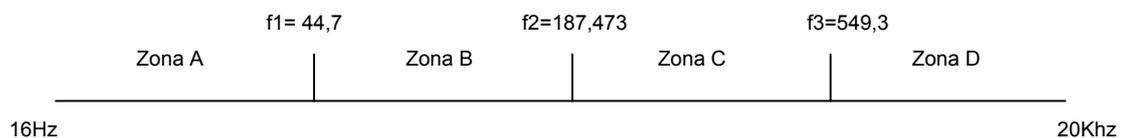


Fig 85

División en del espectro audible en zonas acústicas del cuarto de grabación

La frecuencia 1 que es igual a **44,7Hz**, es la frecuencia del primer modo de la dimensión mas baja del cuarto, en la **zona A** se encuentran las frecuencias que no afectaran la respuesta modal de la sala. A partir de esta frecuencia y la **F2** que es la frecuencia de **Schroeder** que es igual a **187,473Hz**, se encontrara la **zona B** la cual se vera afectada por las grandes longitudes de onda relacionadas con el volumen y el tiempo de reverberación del cuarto. En esta zona es donde las frecuencias modales serán más prominentes y debido a la mala distribución modal del cuarto, en esta zona se concentrara la alta coloración del cuarto. Entre mas baja sea la frecuencia de **schroeder** el comportamiento de los modos será mejor. A partir de la frecuencia de **schroeder** y **4** veces esta frecuencia se encuentra la **zona c** en la cual el cuarto experimentara fenómenos ondulatorios y de rayos sonoros. Además en esta zona las ondas modales estarán tan poco espaciadas que no afectaran a la coloración de la sala. En la **zona D** que parte de la frecuencia **3** que es **549,32Hz** hasta **20Khz**, el sonido se comportara como rayos sonoros y la densidad de modos será mayor.

Conociendo ya las regiones acústicas del cuarto de control, se ubico tanto los modos axiales y oblicuos y tangenciales dentro de las regiones acústicas observando la tabla del calculo de estos modos, ubicada en el capitulo de las mediciones de modos de resonancia.

Zona B: En la **tabla 35** se muestra la cantidad de modos ubicados en esta zona que comprende entre **44,7 Hz y 187Hz**

Nro	Nx	Ny	Nz	F(Hz)	Axiales	Tang	oblic	DeltaF	Deltaf axial	Gildford
1	1	0	0	44,7	x			44,7	44,7	
2	0	1	0	59,3	x			14,6	14,6	ok
3	0	0	1	67,5	x			8,1	8,2	
4	1	1	0	74,3		x		6,8		
5	1	0	1	80,9		x		6,7		
6	2	0	0	89,4	x			8,4	21,9	Mal
7	0	1	1	89,8		x		0,5		
8	1	1	1	100,3			x	10,5		
9	2	1	0	107,2		x		6,9		
10	2	0	1	112,0		x		4,7		
11	0	2	0	118,6	x			6,7	29,2	Mal
12	2	1	1	126,7			x	8,1		
13	1	2	0	126,8		x		0,1		
14	3	0	0	134,0	x			7,3	15,4	ok
15	0	0	2	134,9	x			0,9	0,9	ok
16	0	2	1	136,5		x		1,6		
17	1	0	2	142,1		x		5,7		
18	1	2	1	143,6			x	1,5		
19	3	1	0	146,6		x		3,0		
20	0	1	2	147,4		x		0,8		
21	2	2	0	148,5		x		1,1		
22	3	0	1	150,0		x		1,5		
23	1	1	2	154,0			x	3,9		
24	3	1	1	161,3			x	7,4		
25	2	0	2	161,8		x		0,5		
26	2	2	1	163,1			x	1,3		
27	2	1	2	172,3			x	9,2		
28	0	3	0	177,9	x			5,6	43,0	mal
29	4	0	0	178,7	x			0,8	0,8	ok
30	3	2	0	179,0		x		0,3		
31	0	2	2	179,6		x		0,7		
32	1	3	0	183,5		x		3,8		

33	1	2	2	185,1			x	1,7		
34	4	1	0	188,3		x		3,2		

Tabla 35

Modos de resonancia Axiales, Tangenciales y Oblicuas en la Zona A

Zona C: En la **tabla 36**, se muestra la cantidad de modos ubicados en esta zona que comprende entre **187Hz y 549,3**

Nro	Nx	Ny	Nz	F(Hz)	Axiales	Tang	oblic	DeltaF	Deltaf axial	Gildford
35	3	0	2	190,2		x		1,9		
36	0	3	1	190,3		x		0,1		
37	4	0	1	191,0		x		0,7		
38	3	2	1	191,3			x	0,3		
39	1	3	1	195,5			x	4,2		
40	2	3	0	199,1		x		3,6		
41	3	1	2	199,2			x	0,1		
42	4	1	1	200,0			x	0,8		
43	2	2	2	200,6			x	0,6		
44	0	0	3	202,4	x			1,7	23,7	mal
45	1	0	3	207,2		x		4,9		
46	2	3	1	210,2			x	3,0		
47	0	1	3	210,9		x		0,6		
48	4	2	0	214,5		x		3,6		
49	1	1	3	215,5			x	1,1		
50	2	0	3	221,2		x		5,7		
51	3	3	0	222,8		x		1,6		
80	4	3	1	261,0			x	0,1		
81	5	2	1	261,8			x	0,7		
82	2	4	1	262,3			x	0,6		
83	5	1	2	267,6			x	5,3		
84	6	0	0	268,1	x			0,4	30,9	mal
°101	4	3	2	286,0			x	0,4		
102	5	2	2	286,6			x	0,7		
103	2	4	2	287,2			x	0,5		
104	2	1	4	290,3			x	3,2		
105	5	3	1	293,4			x	3,1		
106	0	2	4	294,7		x		1,3		
202	0	4	5	412,3		x		1,6		
203	1	4	5	414,8			x	2,4		
204	0	7	0	415,2	x			0,4		
205	4	3	5	421,1			x	5,9		
206	5	2	5	421,6			x	0,4		

207	2	4	5	421,9			x	0,4		
208	3	5	4	422,7			x	0,8		
209	5	5	3	422,8			x	0,1		
210	5	4	4	423,1			x	0,2		
211	3	4	5	433,6			x	10,5		
212	4	5	4	438,9			x	5,4		
213	5	3	5	441,9			x	3,0		
214	10	0	0	446,8	x			4,8	42,1	mal
215	0	5	5	449,1		x		2,3		
216	4	4	5	449,4			x	0,3		
217	1	5	5	451,3			x	1,9		
218	2	5	5	457,9			x	6,6		
219	5	5	4	458,9			x	1,1		
220	3	5	5	468,7			x	9,7		
221	5	4	5	469,0			x	0,3		
222	0	0	7	472,2	x			3,2	25,4	mal
223	0	8	0	474,5	x			2,3	1,7	ok
224	4	5	5	483,3			x	8,9		
225	5	5	5	501,6			x	18,2		
226	0	9	0	533,8	x			32,2	59,3	mal
227	0	0	8	539,6	x			5,8	5,8	ok
228	0	10	0	593,1	x			53,5	53,5	mal
229	0	0	9	607,1	x			14,0		
230	0	0	10	674,5	x			67,5		

Tabla 36

Modos de resonancia axiales, oblicuos y tangenciales Zona D

Como se puede observar En la **zona B** la densidad modal es menor, lo que ocasiona que los modos axiales presentados en este, puedan ser percibidos por el oído humano y de esta manera proporcionar alta coloración en el cuarto. Ya en la **zona C** la densidad molar es mayor, lo que quiere decir que los espacios entre modos son menores y de esta manera las coloraciones no serán percibidas.

En las mediciones que se realizaron en las **4** posiciones en el cuarto de control, nótese que en la **posición 1** que es en el piso del cuarto de grabación, las distribución modal no es tan uniforme pero la energía proporcionada por los modos axiales no es muy alta para proporcionar fuertes coloraciones , también se puede notar que a partir de los **300 hertz** la densidad molar aumenta, lo que

ocasiona que la coloración disminuya, por la simultaneidad de modos axiales, oblicuos y tangenciales, proporcionando una respuesta más plana.

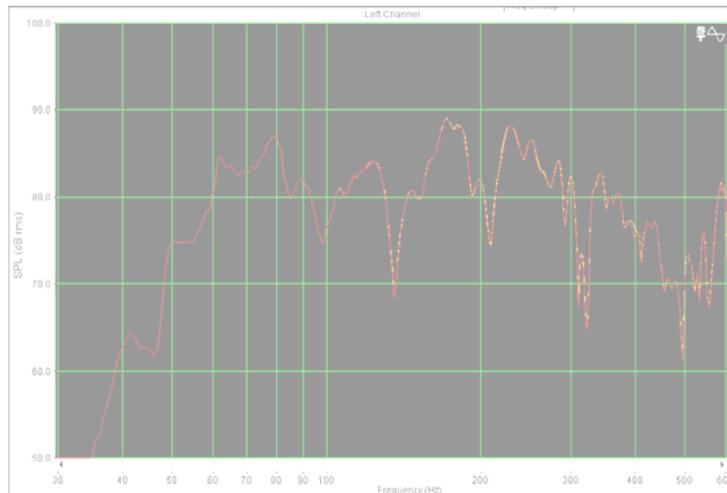


Fig 86

Respuesta modal posición 1

En la **posición 2**, la respuesta modal es más uniforme, debido a que no hay grandes diferencias entre modos axiales, generando que no haya coloración en la sala. El único problema que hay son en las frecuencias que están entre **50 y 70 hertz**, los cuales los modos axiales tienen una gran diferencia.

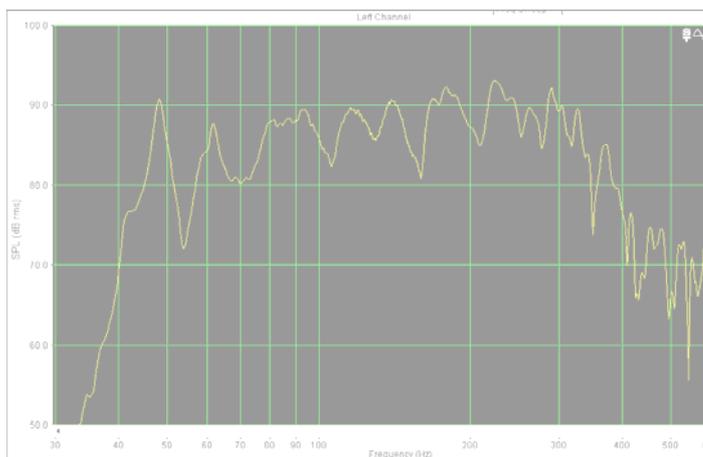


Fig 87

Respuesta Modal Posición 2

En la **posición 3**, nótese que hay gran presencia de modos axiales y coloración en el cuarto, debido a que los modos axiales están muy separados entre sí,

también nótese el gran ancho de banda de los modos que hay entre **80Hz** y **180Hz**, Esto es debido a que modos axiales son congruentes en esta frecuencia, lo cual causa problemas.

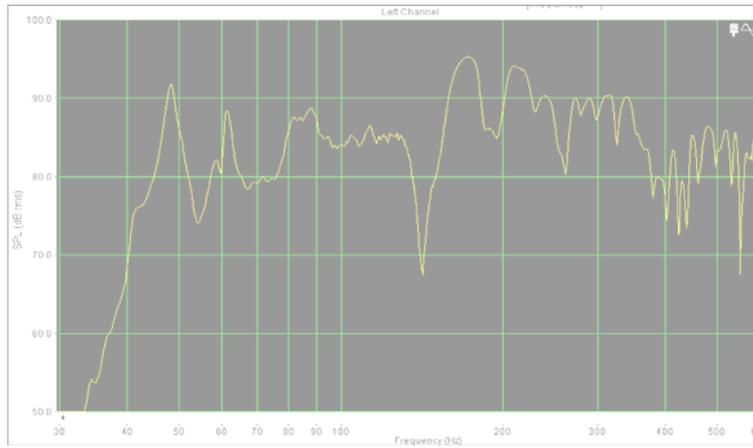


Fig 88
Respuesta Modal Posición 3

En la **Posición 4**, al igual que la **posición 3**, esta marcada por una gran cantidad de modos axiales, pero en este caso estos están un poco mejor distribuidos entre, lo cual la coloración del sonido no será tan pronunciada.

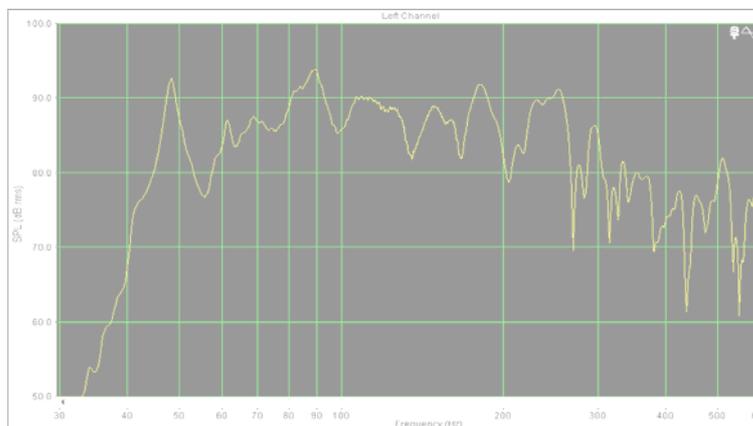


Fig 89
Respuesta modal Pos 4

- *Adecuaciones Realizadas Respecto a los modos de resonancia*

La soluciones proporcionadas para la captura de un sonido con óptima respuesta en bajos, fue primero identificar por medio de mediciones de respuesta modal del recinto, las zonas en donde este proporcionaba un sonido sin coloraciones, en las

frecuencias críticas que están en el rango de **44,7Hz – 200Hz**. Estas zonas como se dijo anteriormente son las amarillas expuestas en la **Figura 84**. Por medio de la captación de instrumentos de percusión como las congas, el cual es un instrumento que reproduce frecuencias bajas, se logro comparar espectralmente, como el comportamiento del sonido en bajas frecuencias es mucho mas uniforme sin coloraciones en las áreas de optima distribución modal en el recinto que en las áreas donde este presentaba coloración como lo muestra las **figura 90**.

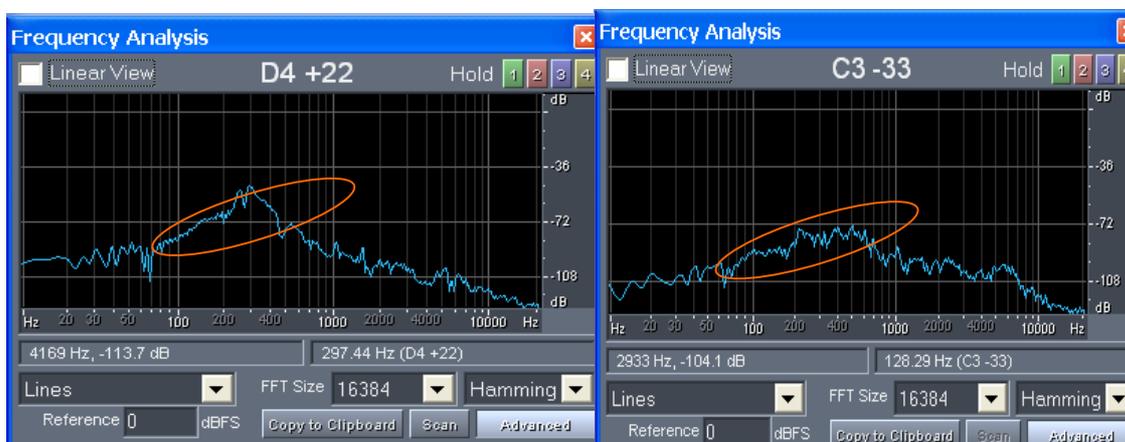


Fig 90

- a) Captación de la conga en presencia de la coloración del recinto
- b) Captación de la conga en las zona de distribución modal optima del recinto

Como se puede observar en la figura anterior, que al captar el instrumento en las áreas del recinto donde este posee fuertes coloraciones, el instrumento en un rango de frecuencias entre **100 y 500 Hz** es bastante afectado por la coloración del recinto, lo cual proporcionara un sonido bastante grave y seco debido a que hay una fuerte perdida de altas frecuencias. En comparación a la captura del sonido en la zona de optima distribución modal, en donde el sonido va a tener una respuesta en frecuencia mucho mas plana y de esta manera mejorando enormemente su comportamiento en bajas frecuencias y altas frecuencias.

También cada instrumento de percusión no fue ubicado sobre el piso del recinto, estos estaban suspendidos en el aire, con el fin de evitar la excitación de las frecuencias modales críticas del recinto por medio de la reducción de reproducción de frecuencias bajas al ubicar el instrumento de esta manera.

Como adecuación teórica para el control de modos de resonancia, se proponen resonadores de Helmholtz, con material absorbente en su interior para mejorar el ancho de banda las frecuencias de **134Hz, 179Hz y 269Hz**, las cuales son las frecuencias críticas de resonancia del recinto. Estas resonadores pueden ser ubicados en las esquinas del cuarto, que son los lugares donde se concentra mas la energía axial de los modos; también puede ser ubicados, sobre el borde de las paredes debido a que allí también los modos axiales no se comportan de manera uniforme.

Calculo de resonador de Helmholtz para la frecuencia crítica de **134Hz**

$V = 0,0012m^3$ (Volumen de la cavidad de aires)

$L = 0,04m$ (Longitud del tubo)

$r = 0,01m$ (Radio del tubo)

$A = \pi r^2$; $A = 3.14 \cdot 10^{-4}m^2$

Teniendo estos valores se calcula la compliancia acústica (Ca).

$$Ca = \frac{V}{1,4 \cdot 10^5 (N/m^2)}; \quad Ca = \frac{0,0012m^3}{1,4 \cdot 10^5 (N/m^2)}; \quad Ca = 8,5 \cdot 10^{-9} m^5 / N$$

Debido a que el tubo es corto, se debe realizar una conexión de extremos; en este caso la conexión de extremos esta dado como:

$$le = L + 0,61 \cdot r; \quad le = 0,04 + 0,61 \cdot (0,01m); \quad le = 0,0401$$

$$Ma = \frac{le \cdot \rho_0}{A}; \quad Ma = \frac{0,0401 \cdot 1,18 \frac{Kg}{m^3}}{3.14 \cdot 10^{-4} m^2}; \quad Ma = 150,64 Kg / m^4$$

Al conocer la masa acústica y compliancia acústica de la botella, se calculó la frecuencia de resonancia mediante la siguiente expresión.

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{Ma \cdot Ca}}; \quad Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{150.64 \frac{Kg}{m^2} \cdot 8,5 \cdot 10^{-9} \frac{m^3}{N}}};$$

$Fr = 140,1Hz$ La frecuencia de resonancia del resonador

Calculo de resonador de helmholtz para la frecuencia crítica de **179Hz**

Debido a que es una frecuencia más alta, el volumen es inversamente proporcional a la frecuencia

$V_2 = 0,0008$; (*Volumen de aire contenido*)

Si el volumen de aire cambia, entonces la compliancia acústica de la botella también se vera afectada, aunque la Masa Acústica es independiente de el volumen

$$Ca = \frac{0,0005m^3}{1,4 \cdot 10^5};$$

$$Ca = 5,71 \cdot 10^{-8} m^5 / N$$

Si la compliancia acústica de la botella cambia, la frecuencia de resonancia también cambiara.

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{186,66 \cdot 5,71 \cdot 10^{-8} \frac{m^3}{N}}};$$

$Fr = 170,92Hz$ La frecuencia de resonancia, la cual el resonador absorber

Calculo de resonador de Helmholtz para la frecuencia crítica de **269Hz**

$V = 0,00025m^3$ (*Volumen de aire contenido en la botella*)

Si el volumen de aire cambia, entonces la compliancia acústica de la botella también se vera afectada.

$$Ca = \frac{0,00025m^3}{1,4 \cdot 10^5}$$

$$Ca = 1,7857 \cdot 10^{-9} m^5 / N$$

Si la compliancia acústica de la botella cambia, la frecuencia de resonancia también cambiara.

$$Fr = \frac{1}{2\pi \sqrt{186,66 \cdot 1,7857 \cdot 10^{-9} m^3 / N}}$$

$Fr = 270,66 Hz$ Frecuencia critica, la cual el resonador absorberá

Con el uso de estos resonadores, la distribución modal del cuarto se comportará más uniformemente, así como también se disminuirán las fuertes coloraciones axiales que el cuarto presenta, en sus frecuencias criticas.

6.1.3 Análisis de la Reverberación. Debido a que el cuarto de grabación posee un volumen relativamente bajo, posee una gran área de materiales absorbentes en medias altas y altas frecuencias. El cuarto no poseerá campo reverberante, lo cual el sonido reproducido y capturado allí, no va a tener viveza y ni calidez sonora, debido a que los tiempos de reverberación tanto en altas como en bajas frecuencias son bajos para un cuarto de grabación.

Según **beranek** los cuartos de grabación que proporcionan una buena calidad sonora tanto en bajas y altas frecuencias, teniendo en cuenta el factor de tiempo de reverberación, son aquellos recintos que posee entre **0,6 y 1,2** segundos. Este cuarto de grabación posee un tiempo de reverberación promedio de **0,28** segundos, lo cual es un tiempo de reverberación muy corto. Este promedio fue obtenido en el análisis de las **8** posiciones, en las que fue medición el recinto como lo muestra la **figura 90**.

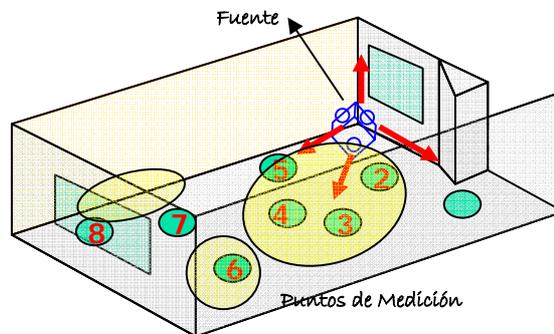


Fig 91

Representación grafica de los puntos de medición de Rt_{60} e identificación De las zonas optimas de grabación por uniformidad de energía

Al realizar las **8** mediciones, como se puede observar en el capítulo de representación y análisis de resultados, en las posiciones **2, 3, 4, 5 y 6** poseen un tiempo de reverberación alrededor de los **0,26** segundos al contrario de las posiciones **1, 7 y 8** que tienen tiempos de reverberación de **0.3 y 0.32** segundos. Lo cual indica que la mejor distribución de energía y difusión del sonido está en la zona amarilla expuesta en la **figura 91**, debido a la uniformidad del tiempo de reverberación en estas posiciones. Corroborando de esta manera que la zona amarilla, es la más adecuada para la captura de los sonidos de cada instrumento, debido a que la distribución modal como ya se explicó anteriormente es más uniforme y sin coloraciones acentuadas, y el tiempo de reverberación en esta zona es constante, otorgando una mejor difusión del sonido.

El tiempo de reverberación promedio por banda de octava del recinto se halla expuesto en la **Figura 82** y en la **tabla 34**, las cuales indican que el tiempo de reverberación del recinto en frecuencias altas está alrededor de los 0,1 segundo, lo cual proporcionará un sonido seco y sin viveza, es decir un sonido rico en armónicos y con claridad. En la **Figura 92** se puede observar una clara evidencia de la pérdida en altas frecuencias que presentó el recinto en la captura de la

guitarra, el cual el sonido de este instrumento se caracteriza por la reproducción de sus armónicos y la claridad en altas frecuencias.

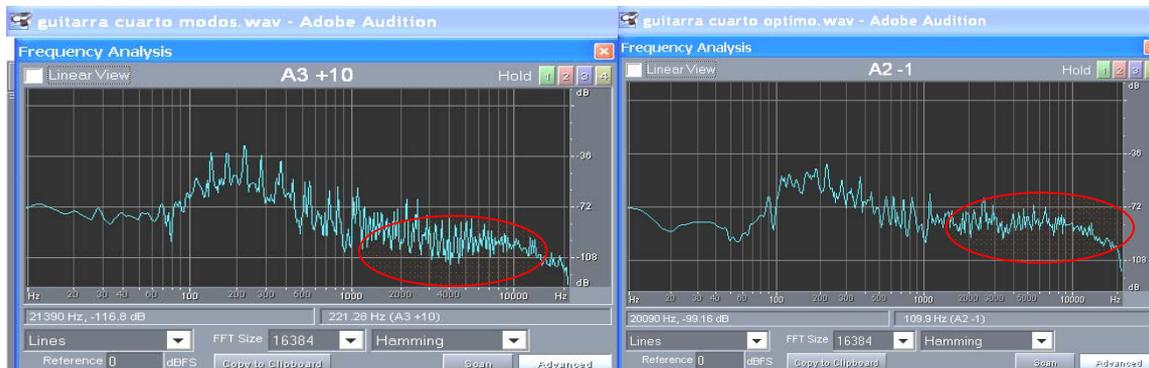


Fig 92

- a) Sonido capturado de la guitarra proporcionado por el cuarto sin adecuaciones
- b) Sonido capturado de la guitarra por el cuarto con adecuaciones

Como se puede observar en la **Figura 92a**, el sonido del cuarto en la captura de la señal de audio de la guitarra, sin las adecuaciones correspondientes, será un sonido con una fuerte presencia en bajas frecuencias en el rango de **(100Hz-350Hz)** por los modos y una alta pérdida en frecuencias altas, por la alta absorción que presenta el cuarto en estas frecuencias, proporcionando de esta manera un sonido sin brillos y viveza, de esta manera afectando la claridad del sonido original del instrumento. En cambio en la **Figura 92b**, al realizar las adecuaciones correspondientes, se obtuvo una señal con una respuesta mucho más plana y rica en altas frecuencias, recuperando de esta manera la viveza y los brillos del sonido original del instrumento.

Al usar un micrófono para capturar el sonido del cuarto, campo reverberante, se debe tener en cuenta la distribución modal del recinto y la distribución uniforme de la energía dentro del recinto. De esta manera el micrófono debe estar ubicado en la zona amarilla, para capturar un sonido con una respuesta más plana, aprovechando la difusión que proporciona la pared lateral del estudio de grabación, la óptima distribución modal y la uniformidad de energía en esta zona reverberación son muy cortos en especial en frecuencias altas.

- *Adecuaciones Realizadas Respecto al tiempo de reverberación*

Por medio de la medición del tiempo de reverberación del recinto, se logró identificar la zona en donde el tiempo de reverberación es constante, lo cual indica que el comportamiento de la energía allí es difuso y uniforme, proporcionando un sonido mucho más claro que en otras zonas del recinto. También en estas zonas la distribución en altas frecuencias es mucho mejor, dando viveza al sonido que se capture allí.

Debido a que el tiempo de reverberación del recinto es de **0.28** segundos, el cual es muy bajo, para una reproducción de un sonido balanceado en sus frecuencias, se decidió por ubicar áreas de madera por debajo del instrumento y en las paredes, con el fin de mejorar el tiempo de reverberación en altas frecuencias; de esta manera realzar en la captura de cada señal de audio las frecuencias altas. Tal como se mostró en la **figura 92**.

También se propuso recoger el sonido difuso proporcionado por los difusores, los cuales mejoraron la captura del sonido en altas frecuencias y también las reflexiones proporcionadas por el vidrio.

- *Mejoramiento del tiempo de reverberación por el uso las áreas de Triples (madera)*

Se usaron 2 áreas de madera con dimensiones de 2*2, es decir dos metros por lado, con área de superficie de $4m^2$ por sección de madera. El uso de este material, se propuso para elevar el tiempo de reverberación, en frecuencias altas (2000Hz y 1000Hz), con el fin de mejorar la viveza del recinto, es decir la reproducción de armónicos que otorgan un sonido claro y con color. Debido a que la sala presenta un tiempo de reverberación de aproximadamente 0.1 segundos de tiempo de reverberación en altas frecuencias, lo cual le da la característica de una sala seca y opaca.

Las características de coeficiente de absorción por banda de octava del material son:

<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>
<i>COEF.ABS (α)</i>	<i>0,19</i>	<i>0,14</i>	<i>0,09</i>	<i>0,06</i>	<i>0,05</i>	<i>0,1</i>

Tabla 91

Coefficiente de absorción del Triplex (madera)

Los materiales del estudio de grabación son:

Techo (Hormigón)

<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>
<i>COEF.ABS (α)</i>	<i>0,01</i>	<i>0,02</i>	<i>0,021</i>	<i>0,06</i>	<i>0,08</i>	<i>0,1</i>

Fig92

Tabla Coeficiente abs. del techo

Paredes con panel revestido de material poroso

<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>
<i>COEF.ABS (α)</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,45</i>	<i>0,5</i>	<i>0,057</i>	<i>0,68</i>

Fig93

Tabla Coeficiente abs. del techo

Pared revestida con difusores de madera

<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>
<i>COEF.ABS (α)</i>	<i>0,09</i>	<i>0,11</i>	<i>0,1</i>	<i>0,11</i>	<i>0,08</i>	<i>0,08</i>

Fig92

Tabla Coeficiente abs. Pared difusores

Vidrio

<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>
<i>COEF.ABS (α)</i>	<i>0,18</i>	<i>0,06</i>	<i>0,04</i>	<i>0,03</i>	<i>0,02</i>	<i>0,02</i>

Fig92

Tabla Coeficiente abs. del vidrio

93

Piso Alfombra

<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>
<i>COEF.ABS (α)</i>	<i>0,15</i>	<i>0,23</i>	<i>0,028</i>	<i>0,4</i>	<i>0,48</i>	<i>0,55</i>

Fig92

Tabla Coeficiente abs. del piso

Puerta madera

<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>
<i>COEF.ABS (α)</i>	<i>0,09</i>	<i>0,11</i>	<i>0,1</i>	<i>0,09</i>	<i>0,06</i>	<i>0,1</i>

Fig92

Tabla Coeficiente abs. De la puerta madera

Para hallar el tiempo de reverberación teórico del recinto, al adecuarle las secciones de madera, tanto en el piso como en la pared por banda de frecuencia, se utilizó el método de sabine.

Teniendo en cuenta la superficie de cada material dentro del recinto y calculando el coeficiente de absorción de cada material por banda de octava, el coeficiente de absorción promedio del estudio y el tiempo re reverberación por medio de las ecuaciones de sabine los resultados son los siguientes

Según Sabine:

$$Rt60 = 0,161 * Vt / St * \bar{\alpha}$$

Donde

Vt= Volumen total

St= Superficie Total

$\bar{\alpha}$ = Coeficiente de Absorción

$$\bar{\alpha} = \frac{S1 * \alpha' + S2 \bar{\alpha} + S3 \bar{\alpha}}{Stotal}$$

Donde

S= Superficie de cada material

α' = Venga al tequendama

Debido a que las dimensiones del cuarto de grabación son 2,9 de ancho, 3,88 de largo y 2,55 de alto, las áreas de cada material en el recinto son las siguientes en metros cuadrados.

Triplex: $8m^2$

Piso: $7,16m^2$

Techo: $11,6m^2$

Panel revestido material poroso: $17,85m^2$

Vidrio: $3m^2$

Puerta madera: $2,29m^2$

Teniendo las superficies de cada material y el coeficiente de absorción de cada material por banda de octava se procedió a medir el coeficiente de absorción promedio y el tiempo.

Coeficiente de absorción promedio por cada frecuencia

Frecuencia(Hz)	Coeficiente de absorción	Rt60 (Seg)
125	0.16	0,5
250	0.18	0.47
500	0.2	0.42
1000	0,24	0.35
2000	0.29	0.38
4000	0.3	0,34

Tabla 97

Coeficiente de absorción y tiempo de reverberación por banda de octava en el recinto después de poner la madera

Se puede notar que se mejoró la respuesta en altas frecuencias; Según la tabla el tiempo de reverberación del recinto era de 0,2, luego se logró aumentar las

reflexiones del cuarto y subir el tiempo de reverberación hasta 0.5 segundos. De esta manera, se logró subir la calidez del instrumento y captar un sonido más claro, con una respuesta mucho más balanceada entre frecuencias bajas y altas medias.

6.1.4 Determinación de las técnicas de posición de los micrófonos. Los instrumentos, que se usaron para la realización de la producción musical fueron una guitarra acústica profesional, un bajo eléctrico, Bongoes, congas, Dulcinea, Campana, Guiro y voces. En este inciso se explicara, cuales fueron las técnicas usadas de microfonia y ubicación de estos, para las capturas de estas señales auditivas, teniendo en cuenta la respuesta acústica del recinto

6.1.4.1 Percusión La percusión, fue uno de los mayores problemas, debido a que estos instrumentos trabajan en frecuencias bajas, que es donde la respuesta del comportamiento de los modos de resonancia del cuarto no es adecuada y posee una coloración muy grande, causando la captura de sonidos no agradables.

Teniendo en cuenta esto, por medio de de una fuente (dodecaedro), se excito la sala por medio de las frecuencias criticas en las cuales el cuarto entra en resonancia, de esta manera se pudo observar los puntos en donde la sala presentaba las inadecuadas coloraciones. Estas zonas de coloración inadecuadas están ubicadas en las esquinas de las paredes, el eje de las paredes y unos que están distribuidas por el centro del cuarto. Hubo un sitio el cual es alrededor de la pared que posee los difusores acústicos y en el centro del recinto en donde la distribución modal y el comportamiento de la energía es más uniforme, de esta forma la percusión se capturo con los micrófonos allí.

Para grabar los bongoes y las congas se experimento con varias técnicas stereo, como la **X-Y**, **ORTF**, **N.O.S** y **Spaced (A/B)**, la que arrojó mayor resultados fue la **Mid Side**, debido a que se buscaba un sonido el cual otorgara una amplia imagen stereo y además que aprovechara las condiciones que otorga el recinto de

sonido de cuarto, el cual que con la implementación de las secciones de triples sobre el piso y la pared se logro subir el tiempo de reverberación de 0,2 segundos a aproximadamente 0,5 segundos, logrando captar un sonido del cuarto agradable en el rango de frecuencias de 2000 Hz a 8000Hz. Por medio de un micrófono cardioide SM-57 el cual tiene un realce en la captura de audio alrededor de (4000Hz -8000Hz) en frecuencias altas y un micrófono bidireccional B2PRO el cual en su opción de dirección como figura de ocho, tiene una gran aprovechamiento de frecuencias medias y altas entre (1500Hz – 1000)Hz, logrando una buena captura en el rango de los 1000Hz y 2000HZ, para mejorar el ataque del sonido capturado. Otra razón por la cual se escogió esta técnica fue la de aprovechar de mejor manera el sonido

Que el cuarto proporciona en bajas frecuencias alrededor de los **(100Hz y 500Hz)** y **(1000Hz y 3000Hz)** los cuales son los rangos en los que se mueven las bongoes y las congas. Como se puede observar en la **Figura 93** la técnica **M-S** proporciono una adecuada captura en las frecuencias bajas **(100Hz -500Hz)** sin fuertes coloraciones y una adecuada respuesta en brillos dándole un mejor ataque al sonido capturado alrededor de los **(1000Hz y 3000 Hz)**. Las demás técnicas existentes no proporcionaron la imagen stereo y la captura del sonido con el mayor aprovechamiento de harmónicos para la claridad y la adecuada coloración del instrumento dada por el recinto.

La figura a) es la captación de los bongos con la técnica M-S sin ninguna adecuación acústica. Lo cual afecta la captura del sonido en las frecuencias entre **40Hz – 500Hz** proporcionando un sonido muy grave y sin brillos por la alta perdida entre **1000 y 3000 hertz** afectando el ataque del sonido reproducido por el instrumento. En la **Figura b** se puede observar como la técnica usada, dentro de las zonas optimas de grabación y las adecuaciones acústicas realizadas, mejoraron en forma notable la captura en las frecuencias entre **(100Hz – 500Hz)**, sin acentuaciones desagradables y también recupero la riqueza en harmónicos entre **(1000Hz y 300Hz)**.



Fig 93

- a) Sonido capturado bongos sin adecuaciones acústicas
- b) sonido capturado bongos con adecuaciones acústicas

6.1.4.2 *Guitarra Acústica*. La técnica usada para la captura de la guitarra fue la de **3 a 1** en donde el micrófono audio técnica, fue ubicado a 2 pies de la caja de resonancia, para la captura de las bajas y medias frecuencias reproducidas por el instrumento y otro micrófono ubicado tres veces esta distancia es decir 4 pies, para la captura del sonido del cuarto en frecuencias altas entre **(2000Hz – 8000 Hz)** . Las cuales con las adecuaciones acústicas hechas al recinto, en las áreas optimas de grabación, se obtiene una mejor respuesta en estas frecuencias y de esta manera mejorando el sonido armónico que reproduce la guitarra en el cuarto. Al obtener el sonido deseado en bajas y altas frecuencias por la técnica se balancearon las dos señales captadas por los micrófonos y los resultados fueron los siguientes expuestos en la **figura 94**.



Fig 94

- a) Captura de guitarra sin adecuaciones acústicas al recinto
- b) Captura de guitarra con adecuaciones acústicas al recinto

Nótese en la figura a) como la técnica usada en las áreas afectadas por los modos de resonancia, la no uniformidad de la energía y sin las adecuaciones acústicas correspondientes, el balance capturado por los 2 micrófonos, presenta realces entre las frecuencias de **(80Hz y 500Hz)** y una pérdida en las frecuencias de **(1000 – 10000Hz)** proporcionando un sonido sin armónicos, con fuertes coloraciones en bajas frecuencias y de esta manera presentando un desbalance entre frecuencias bajas y altas, quitando claridad del sonido capturado. Cuando se ubicaron los micrófonos en el área óptima de grabación y con las adecuaciones óptimas, en la figura b se puede observar como el sonido capturado posee una respuesta mucho más plana, con un óptimo balance entre frecuencias bajas **(80Hz – 500Hz) y (1000 – 10000Hz)** y de esta manera capturar un sonido mucho más claro y balanceado.

Esta misma técnica fue utilizada para la captura de las señales de audio y Voz, debido a que estos instrumentos, se comportan de igual manera que la guitarra y tratan el mismo rango de frecuencias. Con el fin de mejorar el comportamiento entre los **(80Hz - 500Hz) y (1000 -12000Hz)** aprovechando tanto el sonido directo del instrumento y el sonido proporcionado por el cuarto con las adecuaciones acústicas. Los resultados fueron los siguientes:

6.1.4.3 Flauta.

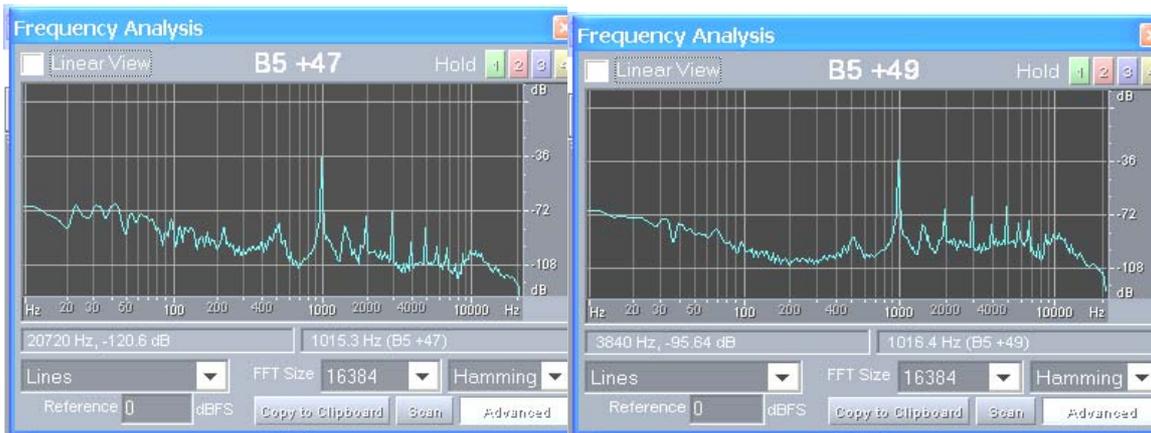


Fig 95

- a) Captura de Flauta sin adecuaciones acústicas al recinto
- b) Captura de Flauta con adecuaciones acústicas al recinto

6.1.4.4 *Las Voces* Las voces, son uno de los instrumentos más dispendiosos y difíciles de captura. Una voz capturada en buenas condiciones, da al tema que se esta desarrollando fuerza y confianza para la mezcla. Para la captura de este instrumento, el trabajo fue más engorroso y largo, debido a que el cuarto no proporcionaba un buen registro para esta. La mejor ubicación fue que el cantante se ubicara en el centro y el micrófono se situaba entre el músico y la pared de difusores del cuarto con la técnica mencionada anteriormente 3 a 1.



Fig 95

- a) Captura de Voz sin adecuaciones acústicas al recinto

b) Captura de Voz con adecuaciones acústicas al recinto

6.2 ETAPA DE PRODUCCIÓN (CAPTURA DE SEÑALES AUDITIVAS)

Conociendo bien la respuesta acústica del cuarto de control, se desarrolló la etapa de producción en donde se aplicaron los estudios realizados anteriormente para la captura de señal auditiva para cada instrumento musical, ubicando la microfonia en los puntos estratégicos por el comportamiento acústico del cuarto; al ubicar los instrumentos en su respectiva posición de microfonia se procedió a grabar en **Pro Tools** cada señal de audio.

6.2.1 Selección de Instrumentos. Es muy importante en una producción musical contar con instrumentos profesionales, así como con dispositivos de grabación profesionales. Para la realización de esta producción se contaron con instrumentos de alta calidad, los cuales proporcionaron un sonido balanceado en frecuencias y con claridad, para evitar problemas de ruidos por las malas condiciones de los instrumentos.

- *Dos guitarras españolas electroacústicas Alhambra*
- *Bajo Jackson Preamplificado*
- *Set de percusión menor LP*
- *Bongoes y congas LP*
- *Flauta Yamaha*

6.2.2 Selección de Micrófonos. **La universidad San Buenaventura** posee unos micrófonos adecuados para la captación de instrumentos de percusión, guitarras, vientos y voces como o son los Shure, Beta, Audio Técnica, AKG, Beringher entre otros.

a) Shure SM 57

Micrófono dinámico unidireccional, con dispersión polar cardioide, la cual aísla la fuente sonora principal y reduce los ruidos de fondo. Brindan un sonido claro y brillante con una respuesta en frecuencia excelente para la captación de tambores, Instrumentos de Viento y Guitarra.

- Respuesta en Frecuencia

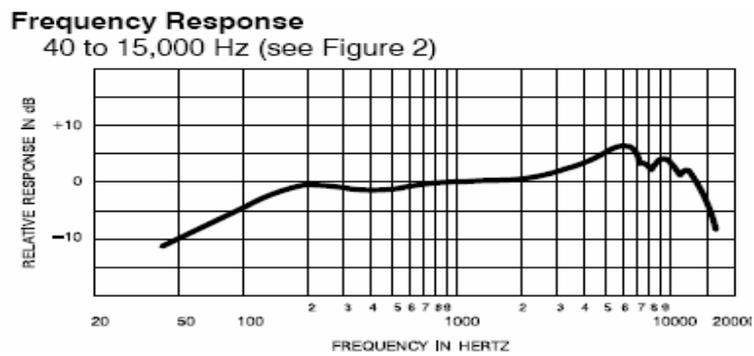


Fig96

Curva de respuesta en frecuencia con realces entre 3000 y 10000Hz

- Diagrama polar

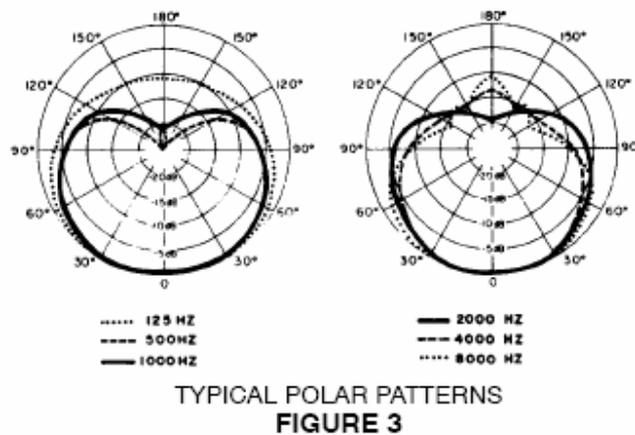


Fig 97

Diagrama Polar de captación y direccionalidad del micrófono

b) Shure SM 81

Micrófono de condensador unidireccional, posee una alta respuesta en Frecuencia de **20Hz-20KHz**, posee un bajo nivel de ruidos y alto nivel de recorte de señal, poca susceptibilidad, especiales para la captación de platillos, guitarras, piano.

- Respuesta en Frecuencia

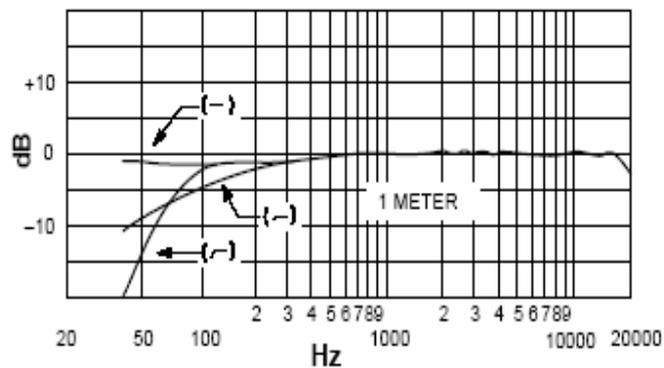


Fig98

Curva de respuesta en frecuencia con pendiente plana

- Diagrama Polar

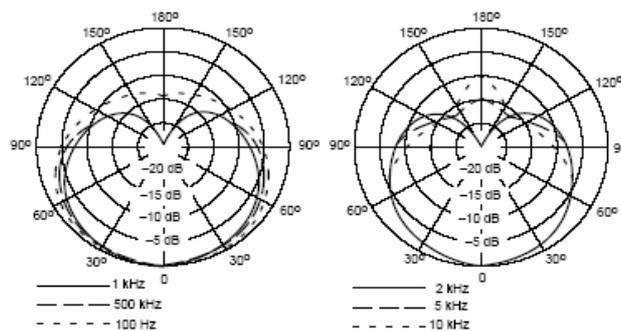


Fig 99

Diagrama Polar de captación y direccionalidad del micrófono

c) Beta 56

Micrófono dinámico unidireccional, con dispersión polar Supercardioides, el cual proporciona un alto rechazo de sonidos no deseados, su respuesta en frecuencia proporciona una excelente calidad en la captación de instrumentos de percusión, guitarras amplificadas, Instrumentos de viento.

- Respuesta en Frecuencia

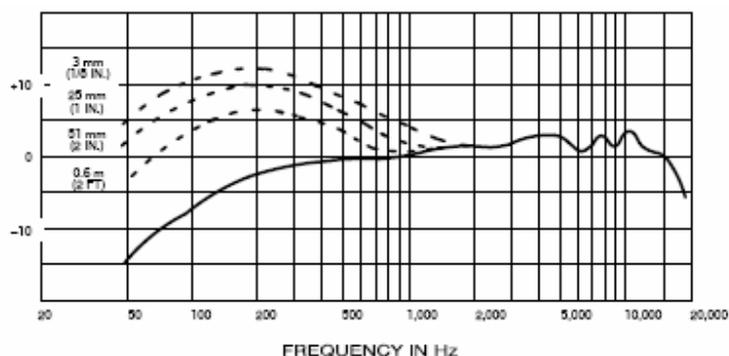


Fig100

Curva de respuesta en frecuencia con realces entre 3000 y 10000 Hz

- Diagrama Polar

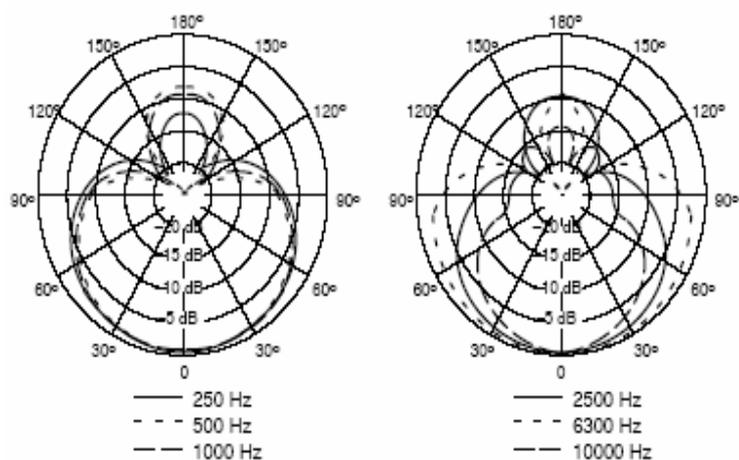


Fig101

Diagrama Polar de captación y direccionalidad del micrófono

d) *Beta 57*

Micrófono dinámico unidireccional, con un patrón de dirección supercardioide el cual ofrece, un aislamiento máximo de otras fuentes sonoras y una coloración mínima de los tonos fuera de su eje principal. Aprovecha muy bien el efecto de proximidad. Este micrófono es especial para la grabación de instrumentos de percusión, guitarras amplificadas e instrumentos de viento.

- Respuesta en Frecuencia

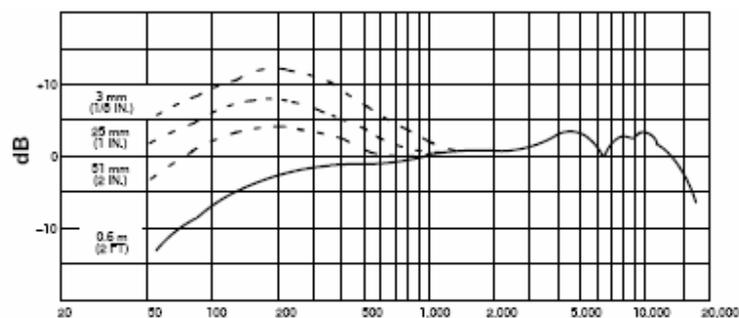


Fig102

Curva de respuesta en frecuencia con realces entre 3000 y 10000Hz

- Diagrama Polar

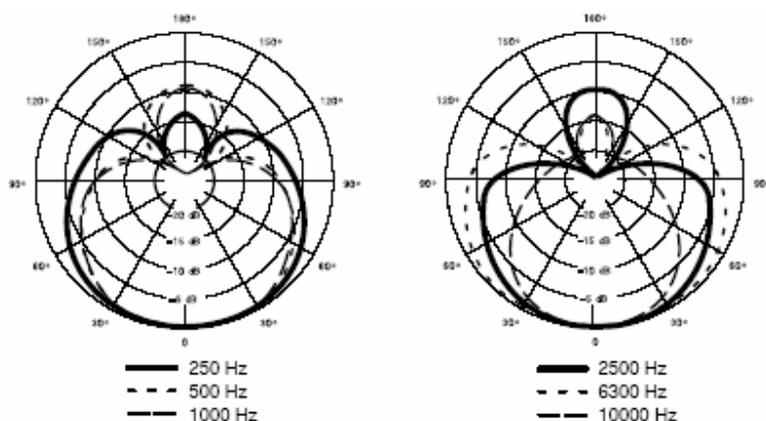
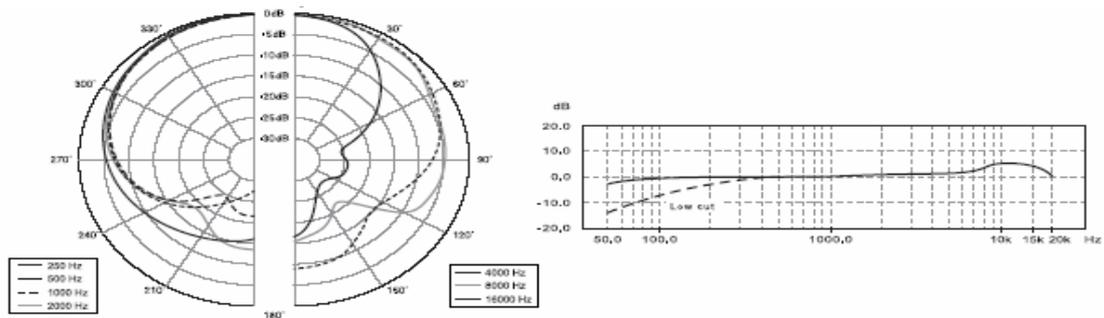


Fig101

Diagrama Polar de captación y direccionalidad del micrófono

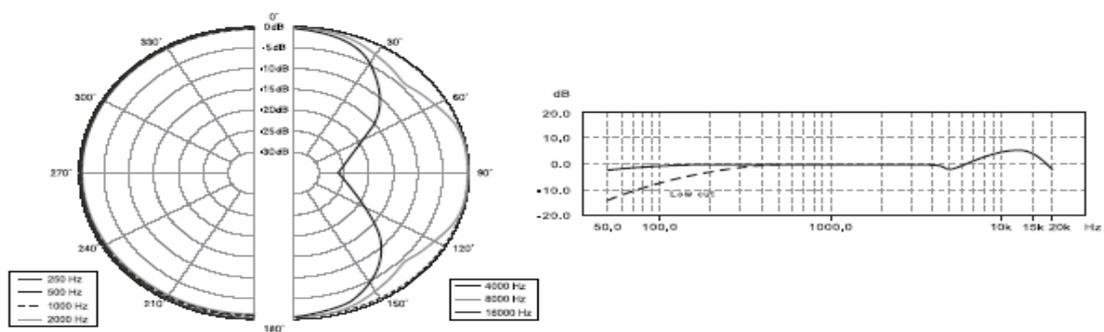
e) Behringer B2-PRO

Micrófono condensador de doble diafragma esencial para la captación de Voces, instrumentos de cuerda. Proporciona un rango ligeramente pronunciado de **12Khz** con la cual una fuente de sonido puede ser mejor percibido y captado. Posee un patrón de dirección variable, Cardioide, Figura de ocho y omnidireccional.



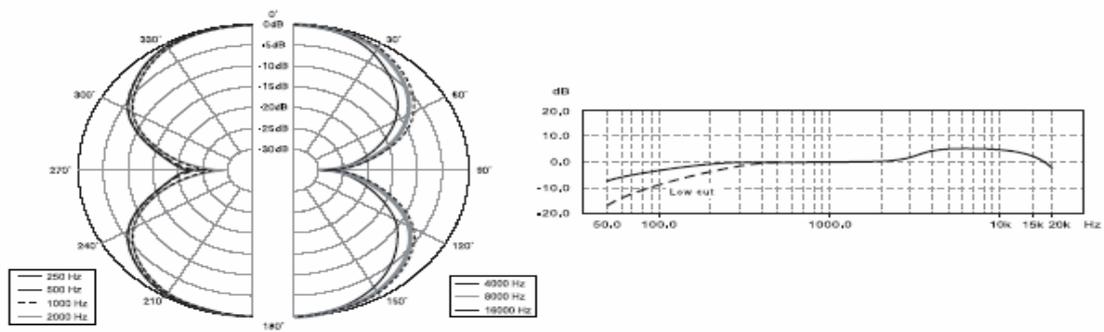
Polar pattern (cardioid)

Frequency response (cardioid)



Polar pattern (omnidirectional)

Frequency response (omnidirectional)



Polar pattern (figure eight)

Frequency response (figure eight)

Fig 102

Diagrama polar de cada patrón direccional y respuesta en frecuencia

f) Audio Técnica PRO-37R

Posee exactitud profesional, ideal para grabación de guitarras acústicas, pianos y voces. el micrófono entrega una salida no deformada incluso cuando es utilizado cerca de los instrumentos de alto-SPL. Posee un patrón polar cardioide.

6.2.3 Procedimiento de captura de señales auditivas. En esta etapa se realizo todo el proceso de grabación y captura de cada señal auditiva. La producción musical desde el principio fue planeada para seis temas de rumba flamenca.

Los temas que se grabaron fueron:

- ***Llovi – Llova de Gipsy Kings***
- ***Y Tu Eres Asi de Gipsy Kings***
- ***Canela – Son Cubano***
- ***Morena – Paso Doble***
- ***A mi Manera – Arreglada en Flamenco***
- ***La Gloria Eres Tu –Arreglada en Flamenco.***

Como se menciona anteriormente los instrumentos que se decidieron capturar para cada tema musical fueron los siguientes

- ***Bongoes***
- ***Percusión Menor***
- ***Guitarras electroacústicas***
- ***Bajo***
- ***Flauta***
- ***Voz***

La grabación se realizo en el Estudio Digital de la Universidad San Buenaventura, el cual posee un **Mac G4, Consola superficie de Control 24 Pro Tools, Interface Pro Tools 888 24 entradas 8 salidas y salida stereo por 1y2. Ecuilizador Grafico, Amplificador de Audífonos.**

Como se menciono anteriormente el software usado para grabación será el **Pro Tools** y para mezcla y procesamiento de señal será el **Logic**.

Se empezó grabando la base musical de los seis temas. Primero se grabo el bajo, este se grabo por línea el cual entraba en el canal **3** de la consola **control 24** hubo unos problemas por cables de líneas los cuales metían ruido, al final se cambio el cable y se soluciono el problema. El bajista a pesar de que se sabía la pieza musical y tenia metrónomo otorgado por el **Pro Tools**, se perdía en algunas partes, así que de esta manera se decidió grabar el bajo y los bongoes en bloque y con una ayuda de **Mario Sarmiento** Cantando para guiar a los músicos.

El percusionista grabo los bongoes en el cuarto de grabación, los cuales fueron capturados con la técnica Stereo **Mid Side**, los micrófonos usados para desarrollar esta técnica fue un **beta 56** y el **Beringher 2 PRO** el cual posee patrón bidireccional, la ubicación del arreglo se realizo como se menciono anteriormente en las técnicas de ubicación de los micrófonos teniendo en cuenta la respuesta acústica del recinto. El sonido capturado tiene claridad de frecuencias bajas y altas, cada micrófono estaba asignado a los canales **1 y 2 del Pro Tools** respectivamente. De esta manera se grabaron las bases rítmicas de los seis temas hubo problemas con el tema de **A mi Manera** debido a un cambio de tempo que se había arreglado para el final de la canción , así que toco esperar al guitarrista para grabar la base musical del tema debido a que necesitaban escuchar la guitarra guía. Luego de grabar las congas y bongoes, se capturo las señales de la dulcinea para el tema de **Morena** y el guiro y la campana para el tema de son cubano **Canela** y así terminar con la base rítmica de las canciones. Estos fueron capturados con el micrófono **Audio Técnica**.

Al tener las bases musicales ya capturadas, se grabaron algunas guitarras acústicas de los seis temas. Para la grabación de las guitarras se probaron técnicas stereo como **X-Y** y **ORTF** con los micrófonos **SM 81**, **Audio Técnica Y B2 PRO** pero el sonido captado por las técnicas, a pesar de que proporcionaba

una sonido abierto, el efecto de sonido que se deseaba era el de tener la guitarra que se escuchaba en un lado por decir **L**, sonora diferente en intervalos de tiempo y composición a la otra guitarra captada en **R**, para lograr esto se decidió que la guitarra fuera doblada igual o una octava mas alta y de esta manera escuchar a dos guitarristas tocando.

En el Primer tema el cual fue **Llovi Llova** de **Gipsy Kings** se doblo la guitarra una octava más alta al igual que el tema **2 y tú eres así** en el tema **3** el son cubano **canela** se grabo una guitarra rítmica y otra guitarra la cual realizaba armonías arpegiadas llevando el ritmo del son. En los temas **5 y 6** que son **A mi Manera** y **La gloria Eres tu (Tema Seleccionado)** Respectivamente se doblo las guitarras rítmicas las cuales tocaban ambas lo mismo proporcionando un efecto de percepción sonora agradable de retrasos de tiempo de arriba de la señal a cada oído y de esta manera logrando el concepto musical que proporcionaba las guitarras en la música flamenca expuesto anteriormente y también se grabo una guitarra la cual realizaba punteos cortos expresando una melodía sencilla flamenca En el tema **4** el cual es un paso doble llamado la Morena se grabo una sola guitarra rítmica.

La guitarras fueron grabadas con los micrófonos **Audio Técnica PRO 37-R** y el **B2 PRO**, ambos micrófonos son adecuados para grabación de guitarras acústicas, pero el sonido mas suave, rico en graves y agudos, transparente lo brindo el **Audio Técnica**. Fueron grabadas por la entrada **1** de **Pro Tools**

Luego de grabar las guitarras y ya tener la base rítmica capturada, se procedió a capturar las melodías arregladas de la flauta, este instrumento fue grabado con el **Audio Técnica**.

Por ultimo se capturo la voz y los coros, de cada tema. La captura se realizo con el **Audio Técnica PRO 37-R** el cual proporciono un muy buen sonido sin popeos y entendible además que es un de los mejores micrófonos para grabar voces. La

ubicación del micrófono fue tal como se explico anteriormente en el capitulo de las técnicas de microfonia teniendo e cuenta la acústica del cuarto. Ese día se grabo las voces de los seis temas con algunos coros.

Todas las voces y coros fueron grabados por **Mario Sarmiento**, ese día se logro el sonido que se deseaba el cual era un sonido con un acento español pronunciado con buen manejo de registro vocal y técnicas de sostenimiento y vibrato de las notas.

El primer tema en grabar fue **Llovi-Llova**, en este tema se doblaron los coros, el segundo fue **Y tu Eres Así**, en este tema se doblo la voz líder para que le diera la fuerza vocal que se quería llegar, y luego se grabaron **Canela, La Morena, A Mi Manera y la Gloria eres tu** en estos temas se doblaron los coros para tener un mayor peso musical.

Instrumentos Grabados y Micrófonos Usados

Instrumentos	Micrófonos
<i>Guitarra Acústica</i>	<i>Audio Técnica PRO 37-R – B2pro</i>
<i>Bongoes</i>	<i>Shure SM-57Beringher2 PRO</i>
<i>Percusión menor(Maracas, Guiro)</i>	<i>Audio Technica</i>
<i>Conga</i>	<i>Shure SM-5, Beringher 2 PRO</i>
<i>Flauta</i>	<i>Audio Técnica PRO 37-R – B2Pro</i>
<i>Voz</i>	<i>Audio Técnica PRO 37-R – B2Pro</i>

Tabla 36

Instrumentos y micrófonos usados

6.3 ETAPA DE POST-PRODUCCIÓN

En esta etapa se realizo la conclusión de todo el proyecto, se brindó una mezcla adecuada de volúmenes por medio de los faders de cada canal e instrumento grabado y una mezcla adecuada de frecuencia por medio de ecualizadores, logrando dar las coloraciones deseada a cada sonido. Luego de generar una

mezcla balanceada de volúmenes y frecuencias se proceso cada señal auditiva por medio de plug Ins como **Reverberaciones, Delay, Compresores, Limitadores, etc.** logrando el sonido que realmente se desea para cada instrumento.

Como se menciona anteriormente la Mezcla se realizó en el programa **Logic**, el cual es un software que brinda una gran cantidad y buena calidad de **plug ins** para procesar la señal. Lo primero que se hizo fue crear la sesión de **Logic**, al crearla se reseteo el programa borrando los tracks creados por default de la ventana de **Arregament y Enviroment**. Luego se procedió en la ventana de **Enviroment** la cual visualiza el aspecto físico de un canal de una consola, allí se crearon los track de audio necesario uno para cada instrumento que se grabo. Para el tema seis **La Gloria Eres TU** (El mismo concepto de mezcla se tuvo para todas las canciones) se crearon **8** tracks de audio los cuales fueron asignados de la siguiente manera:

- *Track 1: BongoeL*
- *Track 2: Bongoe R*
- *Track 3: Bajo*
- *Track 4: Guitarra Rítmica 1*
- *Track 5: Guitarra Rítmica 2*
- *Track 6: Solo Guitarra*
- *Track 8: Flauta*
- *Track 9: Voz Líder*

Al crear los Tracks se procedió a ecualizar cada señal auditiva con un plug In llamado **Fat EQ** empezando por los bongoes a los cuales al **bongoeL** que es el requinto se le asigno una ganancia en la frecuencia de **250 Hz** y al **bongoe Gordo** se le asigno una pequeña ganancia en la frecuencia de **190 Hz** y también u poco de brillos, logrando de esta manera un sonido con mejor color y mas acentuado.

Luego se le asigno un volumen adecuado para toda la pieza musical y el paneo asignado es que el **Bongoe L** va en el centro y el **Bongoe R** va paneado a la derecha un 40 %

La señal auditiva del **Bajo**, se aplico el mismo plug in para mejorar el color y la gordura de este. Se le aplico una ganancia en las frecuencias de **120 Hz** y **310 Hz** para lograr un sonido gordo y con peso y en la frecuencia de **4 Khz** un monto de ganancia para que tuviera un poco de brillos cuando hacia la técnica del slap. También se proceso la señal con un compresor para mejorar el rango del bajo, asignándole un poco de Threshold con un **ratio** de **5:1** y un **atack** rápido y **reléase** un poco lento. De esta manera el sonido del bajo es más entendible y con mejor presencia. Al tener el color y sonido deseado se asigno un volumen adecuado entre el los bongoes y el bajo los cuales son los que llevan la base musical de la pieza. El paneo asignado al bajo fue el del centro.

La guitarras Acústicas quedaron muy bien grabadas, el sonido era limpio y claro rico en graves y agudos, por medio de el plug in de ecualización se le quito un poco de ganancia frecuencias Medias Alrededor de los **1000Hz** y **2000Hz** y se le asigno un poco de monto de ganancia en frecuencias bajas y altas para mejorar el color del sonido.

A cada señal de guitarra acústica grabada se le asigno un **plug in** de compresor, El **logic** brinda una opciones de compresión en el **plug in**, es decir da la opción de comprimir la señal auditiva para un vocal, Guitarra Acústicas, Percusiones, Bombos etc, debido a que se trataba con guitarras acústicas, se asigno esa opción de compresión logrando mejorar de gran manera el sonido proporcionando mayor entendimiento y mejorando su rango. El paneo de cada guitarra fue que las guitarras Rítmicas **1** y **2** iban paneadas **100%** A la derecha y un **100%** a la izquierda respectivamente y la guitarra acústica que realizaba los punteos fue paneada un **50%** a la derecha, los volúmenes para cada señal de guitarras grabadas fue asignado de manera balanceada con respecto a os bongoes y el

bajo donde las guitarras rítmicas iban un poco en el fondo y la guitarra que puntea un poco mas presente que las guitarras rítmicas.

La flauta, se le asigno un poco mas de graves y brillos en las frecuencias de **500 Hz y 5000Hz** con el **plug In de Fat Eq del logic**, este instrumento también quedo muy bien grabado con una buena respuesta en graves y agudos.

Por ultimo a la señal de la voz por medio del **plug In Fat Eq**, el cual también brinda varias opciones de ecualización, se le asigno la opción de Ecualización **Voice K** Mejorando considerablemente el color del sonido y dando un mejor entendimiento de lo que pronunciaba el cantante. También se le aplico una compresión para voz brindada por el **plug In** de compresor del Programa y mejorando mucho mas lo que se cantaba. Los paneos asignados a la flauta fue a la Izquierda un **50%** y la Voz iba paneada en el centro llevando la melodía de la canción.

El manejo e volúmenes dado a la flauta y a la voz con respecto a las de demás señales auditivas fue la de que la flauta sobresaliera igual a la guitarra que puntea y la voz va por encima de todo casi igual al volumen del bajo.

Por ultimo se creo **8 tracks** auxiliares para el manejo de plug ins de efectos como **delay y reverberación** para las señales auditivas de **Bongoes, Guitarras, Flauta y Voz**. El orden establecido fue el siguiente:

- **Aux 1:** Reverberación de Percusión, el **plug in** escogido fue el **Platinum Reverb**, se le asigno un tiempo de reverberación corta de **700 ms** con un predelay de **50 Ms** y con un mix de **40%**, La señal de cada bongoe era enviada por el **Bus 1**
- **Aux 2:** Reverberación de Guitarras, el **Plug In** escogido fue **Platinum Reverb**, se le asigno un tiempo de reverberación largo alrededor de los **1,5** segundos con un predelay de **50 Ms** y un Mix de **30 %**, proporcionando un

sonido bastante limpio, entendible y vivo. %, La señal de cada guitarra era enviada por el **Bus 2**

- **Aux 3:** Delay Guitarras, el **Plug In** escogido fue el **Tape Delay**, se le asigno un tiempo delay en corcheas de acuerdo al tempo de la canción el cual es 120 con un Feedback de **20%** y un Mix de **10%** La señal de cada guitarra era enviada por el **Bus 3**
- **Aux 4:** Reverberación de Flauta, El **Plug In** escogido fue el **Platinum Reverb**, se le asigno un tiempo de reverberación de casi **2** segundos, con un predelay de **50ms** y un Mix de **30%** La señal de la flauta era enviada por el **Bus 4**
- **Aux 5:** Delay Flauta, el **Plug In** escogido fue el **Tape Delay**, se le asigno un tiempo delay en corcheas de acuerdo al tempo de la canción el cual es 120 con un Feedback de **35%** y un Mix de **15%** La señal de la flauta era enviada por el **Bus 5**
- **Aux 6:** Reverberación de Voz, El **Plug In** escogido fue el **Platinum Reverb**, se le asigno un tiempo de reverberacion de casi **1,5** segundos, con un predelay de **50ms** y un Mix de **30%** La señal de cada la voz era enviada por el **Bus 6**
- **Aux 7:** Delay de voz, el **Plug In** escogido fue el **Tape Delay**, se le asigno un tiempo delay en corcheas de acuerdo al tempo de la canción el cual es 120 con un Feedback de **20%** y un Mix de **15%** La señal de la voz era enviada por el **Bus 7**

El sonido final, es bastante acústico, como se deseaba con un buen juego de reverberaciones y delay para cada instrumento. Posee un buen manejo de frecuencias graves y altas y cada instrumento se entiende bastante bien.

6.4 Comparación subjetiva de la mezcla final, en condiciones acústicas iniciales, después de las adecuaciones y procesamiento de señales por medio de Plug ins.

Se desarrolló la comparación subjetiva, por medio de una prueba realizada con 10 personas, las cuales recibieron una explicación previa sobre la definición de 5 parámetros, viveza, claridad, calidez, intimidad y Coloración. De esta forma se logro obtener conceptos más técnicos, después de haber realizado la prueba.

Viveza: Sonido claro y con gran cantidad de armónicos

Claridad: Entendimiento de cada instrumento musical

Calidez: Agradable percepción de frecuencias graves para el oído humano.

Intimidad: Grado de conexión entre oyente e interpretación musical.

Coloración: Percepción agradable de sonoridad subjetiva de cada instrumento.

Cada persona tuvo la oportunidad de escuchar las tres diferentes grabaciones, grabación y mezcla de la canción (A mi manera) en condiciones iniciales, grabación y mezcla de la canción después de la adecuaciones realizadas y la mezcla por medio del procesamiento de cada señal de audio, a través de Plug ins.

Se registró la opinión de cada persona, respecto a los parámetros anteriormente explicados bajo las escalas de calificación bajo, medio, alto, y de esta manera completar el desarrollo de la comparación subjetiva.

Las personas encuestadas fueron:

Persona 1: Felipe Peña c.c. 5.828.880

Persona 2: Juliana Zamora c.c. 6.538.987

Persona 3: Luís Moreno c.c 71 345.768

Persona 4: Marina Moreno c.c 22.455.234

Persona 5: Carlos Guzmán c.c 17.191.517

Persona 6: Lynn Marie c.c 11.567.396

Persona 7: Daniel sarmiento c.c 34.991.434

Persona 8: Camilo Melo c.c 34.556.710

Persona 9: Marcel Parra c.c.4.280.183

Persona 10: Daniel Forero c.c 45.023.414

Los resultados de la encuesta se registraron en las siguientes tablas:

Para la grabación y mezcla de la canción (A mi manera) en condiciones iniciales (1):

Persona	Viveza			Claridad			Coloración			Intimidad			Calidez		
	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
1		x			x			x			X			x	
2		x		x			x				X			x	
3	x				x			x		x				X	
4			X			x			x		X				x
5			X			x		x				x		X	
6		x		x				x		x			X		
7	X			x				x		x			X		
8		x		x			x			x				X	
9		x			x				x		X				X
10			X			x		x				x		X	

El cuadro (1) refleja que la percepción de las personas 4, 5 y 10, es de calidad aceptable alta. El resto de los encuestados mantienen opiniones diversas dentro de parámetros medios y bajos.

Grabación y mezcla de la canción después de las adecuaciones realizadas (2):

Persona	Viveza			Claridad			Coloración			Intimidad			Calidez		
	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
1		x			x			x			X			X	
2		x		x			x			x				X	
3	X				x		x			x				X	
4		x				x		x				x			X
5			X		x				x		x				X
6		x		x				x			x		X		
7	X			x				x		x				X	
8		x		x			x				x			X	
9		x			x			x			x			X	
10			X		x			x				x		X	

El cuadro (2) arroja resultados bastante similares al primero, con opiniones de mejoría subjetiva para la mayoría de los encuestados. Los encuestados 4, 5 y 10 casi no perciben cambios y su percepción se mantiene relativamente constante.

Mezcla por medio del procesamiento de cada señal de audio, a través de Plug ins (3):

Persona	Viveza			Claridad			Coloración			Intimidad			Calidez		
	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
1		x				x		x				x		X	
2			X			x		x				x			x
3		x				x			x		x				X
4			X			x			x			x			x

5			x			x			x			x			X
6		x			x			x				X			X
7			X			x			x			X			x
8			x		x				x			X			X
9			X			x		x			x				x
10			x			x			x			X			X

El cuadro (3) refleja claramente para los encuestados una mejoría en calidad de audio y percepción sonora. Según ellos, existe claridad y sensación agradable del género. 7 encuestados manifiestan viveza alta, 8 alta claridad, 6 coloración alta, 8 alta intimidad y 9 de los encuestados perciben alta calidez. Esto nos indica de manera subjetiva, que la grabación final se aproxima a un producto de buena calidad.

Encuesta de la mezcla final, en condiciones acústicas iniciales, después de las adecuaciones y procesamiento de señales por medio de Plug ins.

Nombre:

C.C.:

Edad:

Profesión u ocupación:

Canción (1)

Viveza			Claridad			Coloración			Intimidad			Calidez		
B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A

Canción (2)

Viveza			Claridad			Coloración			Intimidad			Calidez		
B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A

Canción (3)

Viveza			Claridad			Coloración			Intimidad			Calidez		
B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A

CONCLUSIONES

Dado que el cuarto de grabación del estudio digital de la universidad San Buenaventura, posee un volumen pequeño y las proporciones de las dimensiones de este no son adecuadas, la respuesta acústica de este tendrá problemas serios en el comportamiento del tiempo de reverberación y modos de resonancia.

Todos estos inconvenientes tendrán una gran influencia en los proyectos de producción musical que allí desarrollen.

En el desarrollo del proyecto, se pronosticó teóricamente y se verificó prácticamente, la inadecuada respuesta acústica que posee el cuarto de grabación. A pesar de que el cuarto está por debajo (0,25 segundos) del intervalo de tiempo de reverberación óptimo en un estudio de grabación que es de 0,6 segundos a 1.5 segundos, lo cual reproducirá un sonido sin calidez y viveza. Teniendo en cuenta que el sonido de reverberación es muy bajo, se optó por mejorar el RT60 en altas frecuencias, superponiendo un material que realzara las frecuencias altas, alrededor de las frecuencias de 2kHz y 10kHz, y de esta manera mejorar el brillo y el ataque proporcionado por cada instrumento. El material utilizado fueron 2 metros cuadrados de triples, el cual cumplió con las condiciones requeridas por sus características reflejantes en frecuencias altas.

Además, por medio de las ocho mediciones realizadas en el recinto, se determinó que en el centro del recinto, la energía se comporta uniformemente y difusamente, proporcionando al sonido que se captó allí, una respuesta más plana, es decir un óptimo balance entre frecuencias altas y bajas.

El comportamiento de los modos de frecuencia del recinto no posee características uniformes, ocasionando coloraciones fuertes en el cuarto dadas por las separaciones enormes entre modos de resonancia axiales y la coincidencia de

estos en puntos del recinto. Por medio de las mediciones realizadas se determinó la ubicación de las coloraciones dentro del recinto, entre el rango de 47Hz y 200Hz, el cual es el rango crítico de respuesta modal del mismo. Al identificar dichas zonas, se determinó un área óptima de distribución modal, ubicada en el centro del recinto, debido a que en ese lugar los modos axiales se comportan de manera uniforme y la densidad modal es mayor, lo cual ocasiona que las coloraciones no sean percibidas por el oído humano. Además, para mejorar la respuesta modal del recinto, se diseñaron resonadores de helmontz, teóricamente los cuales proporcionan atenuación en las frecuencias críticas modales del recinto. Estos resonadores se pueden ubicar preferiblemente en las esquinas del recinto, ya que allí es donde se concentra la mayor parte de la energía modal axial.

Aparte de estos dos problemas, el cuarto de grabación también posee una inadecuada insonorización entre el y el cuarto de control; Además entre él y el cuarto de grabación del estudio análogo/digital. Por medio de las mediciones realizadas, pérdida por transmisión, se determinó que en frecuencias alrededor de los 315 Hz serán fácilmente transmitidas por el efecto de resonancia, proporcionado por el mal diseño de la pared doble y el vidrio doble que aíslan los dos cuartos. También, por efecto de coincidencia, las frecuencias alrededor de los 1250Hz serán transmitidas. Como propuesta de solución, se aplicó un aislamiento de los instrumentos por medio de paneles y biombos, los cuales atenuaban las frecuencias nombradas transmitidas. De esta manera lograr una captura, de la señal de audio de los instrumentos, sin la interferencia de dichas frecuencias.

Teniendo en cuenta todos estos análisis, se diseñó la forma adecuada de ubicar los micrófonos, para capturar las señales de audio, de los instrumentos que se usaron para el desarrollo de la producción musical. Los resultados de estas señales capturadas, fueron adecuados al concepto acústico que se quería lograr en la producción musical. La técnica usada para grabar la percusión fue la M-S, la cual proporcionó una imagen estereo más amplia que las otras técnicas estereo

existentes. Además, esta técnica proporcionó por medio de los dos micrófonos usados, un realce en altas frecuencias, con el fin de capturar el sonido del cuarto y obtener un sonido con más ataque alrededor de los 1000 y 3000Hz, que el recinto proporcionaba por medio de las adecuaciones que se aplicaron.

La técnica usada para la captura de señal de audio para los instrumentos de voz, viento y cuerdas, fue la de tres a uno, en donde un micrófono, fue ubicado a 2 pies del instrumento, para la captura de las bajas y medias frecuencias reproducidas por el mismo y otro micrófono ubicado tres veces esta distancia es decir 4 pies, para la captura del sonido del cuarto en frecuencias altas entre **(2000Hz – 8000 Hz)** . Las cuales con las adecuaciones acústicas hechas al recinto, en las áreas óptimas de grabación, se obtiene una mejor respuesta en estas frecuencias y de esta manera mejorando el sonido armónico que reproduce el instrumento en el cuarto. Al obtener el sonido deseado en bajas y altas frecuencias por la técnica se balancearon las dos señales captadas por los micrófonos.

A pesar de los numerosos problemas que posee el estudio, por medio de una óptima ubicación de los micrófonos y el conocimiento detallado del comportamiento acústico de este, el producto final, satisface las necesidades de concepto musical que se plantearon en la etapa de preproducción de la producción musical.

Por medio de las adecuaciones acústicas que se aplicaron, para el control de modos, tiempo de reverberación y pérdida por transmisión, se logró demostrar que la captura de señal de cada instrumento poseía un mejor comportamiento en el rango de frecuencias entre 80 y 500Hz, y entre 1000 y 10000Hz, proporcionando un sonido más entendible y agradable al oído humano; es decir, un sonido balanceado en el espectro de frecuencias.

Se comprobó la calidad de la grabación antes de las adecuaciones realizadas y después de las mismas, por medio del análisis espectral, obtenido por la captura de audio de cada instrumento, en condiciones iniciales y después de las adecuaciones. Además, se comprobó la calidad de la grabación, por medio de una encuesta subjetiva realizada a 10 personas, las cuales tuvieron la oportunidad de comparar la mezcla final, en condiciones iniciales y después de las adecuaciones aplicadas. Además, por medio del concepto de un experto, como lo es ingeniero Mauricio Cano, reconocido en el medio por su trabajo profesional. El cual resaltó que la grabación en condiciones iniciales, carecía de frecuencias altas y poseía fuertes coloraciones en bajas frecuencias proporcionando un sonido no entendible para cada instrumento. También, confirmó que la grabación realizada con las adecuaciones correspondientes se logró un balance óptimo entre frecuencias altas y bajas, y de esta manera obtener claridad para cada instrumento en la producción.

RECOMENDACIONES

En este proyecto aunque se tuvo en cuenta el análisis del tiempo de reverberación, los modos de resonancia, la pérdida por transmisión, la distribución de la energía y la difusión del cuarto de grabación, aun se pueden realizar muchas mediciones y análisis del comportamiento del sonido en este.

El análisis del comb filter podrá proporcionar las interferencias constructivas y destructivas que proporciona el cuarto a ciertas distancias entre micrófonos y entre músicos y micrófonos. Al conocer el efecto de comb filter se podrá aprovechar de los efectos que causan dichas interferencias.

También el análisis de las reflexiones tardías y tempranas dentro del cuarto, son una herramienta ventajosa, para capturar mejor el sonido directo y el reflejado en micrófonos de captura de ambiente, proporcionando un sonido más espacial uniforme de instrumento que se graba.

Sería de gran ventaja también realizar el análisis de la claridad, especialidad, energía de fracción lateral del sonido dentro del cuarto en varios puntos de medición.

En base a los resultados y conclusiones que ofrece este proyecto, estudiantes o personas externas a este, pueden diseñar un acondicionamiento acústico, a los problemas acústicos que el cuarto presenta y de esta manera disminuir las coloraciones del recinto, inadecuada distribución de la energía y mejorar el tiempo de reverberación. Con el fin de realizar una producción musical con los adecuamientos realizados y comparar la calidad del sonido capturado y procesado.

REFERENCIA DE FIGURAS

Figura 1, 2, 3 y 4 Capítulo Acústica Aplicada; Introducción; Francisco Ruffa.

Figura 5, 6, 7 y 8 Capítulo Acústica Aplicada; Reverberación; Francisco Ruffa.

Figura 9 Capítulo Acústica Aplicada; Ruido; Francisco Ruffa.

Figura 10 Capítulo Control y Calidad Sonora; Percepción Distorsión; Francisco Ruffa.

Figura 11 y 12 Unidad 5 Diseño de Teatros y Salas; Ingeniería Acústica e Insonorización; Pedro Valleta.

Figura 13 y 14 Capítulo Acústica Aplicada; Aislamiento; Francisco Ruffa.

Figura 15, 16 y 17 Capítulo Acústica Aplicada; Absorción; Francisco Ruffa.

Figura 18, 19 y 20 Capítulo Reflection of Sound; Master Handbook of Acoustics; Anton Everest.

Figura 21, 22 y 23 Capítulo Acústica Aplicada; Modos de Resonancia; Francisco Ruffa.

Figura 25 y 26 Capítulo Analog and digital signal processing; Master Handbook of Acoustic; Anton Everest.

Figura 27, 28, 29 y 30 Capítulo Acústica Aplicada; Difusión; Francisco Ruffa.

Figura 31 Capítulo Acoustic of Small recording studio; Master Handbook of acoustic; Anton Everest

Figura 32, 33, 34 y 35 Capítulo Acustica Aplicada; Modos de resonancia; Francisco Ruffa.

Figura 36, 37y 38 Fotografías tomadas del Tutorial por Video Clip Recording Techniques logic pro6.

Figura 39, 40, 41 y 42 Capítulo Pro Tools Reference Guide; Tutorial Software pro Tools.

Figura 43 Página web www.digidesign.com/products

Figura 44, 45, 46, 47 y 48 Capítulo Microphone Techniques for Studio recording; Master Handbook of RecordingTechniques.

Figura 49, 50, 51, 52 y 53 Capítulo Microphone Characteristics; Master Handbook of Recording Techniques.

REFERENCIA DE TABLAS

Tabla 1 Definición tomada del Capítulo Acústica Aplicada; introducción del Ing. Francisco Ruffa

Tabla 2 Capítulo 10 Acoustics of small recording studio; Master Handbook of Acoustics de Anton Everest.

Tabla 3, 4, y 5 Capítulo Acústica Aplicada; Modos de Resonancia del Ing. Francisco Ruffa.

Tabla 6, 7 y 8 Capítulo Pro Tools; Reference Guide del Tutorial del Software pro Tools.

Tabla 9, 10, 11, 12, 13, 15, 15, 16, 17, 18, 20 Capítulo Microphone Techniques for studio Recording; Master Handbook of recording Techniques.

Tabla 21 Capítulo Microphone characteristics; Master Handbook of recording Techniques.

BIBLIOGRAFIA

- EVEREST. F. Alton. Master Hand Book Of Acoutics. Cuarta Edicion. MC. GRAW. HILL
- EVEREST. F. Alton. Mater of Recording Techniques. Cuarta Edicion. MC. GRAW. HILL
- MARTINEZ. M. Javier. La música y el Arte de la Grabación. Primera edicion. DISONEX S.A
- RUFFA. Francisco. Acustica Aplicada. Capitulo de modos. Diapositivas Power Point
- RUFFA. Francisco. Acústica Aplicada. Capitulo de reverberación Diapositivas Power Point.
- RUFFA. Francisco. Acústica Aplicada. Capitulo de Aislamiento Diapositivas Power Point
- RUFFA. Francisco. Acústica Aplicada. Introducción Diapositivas Power Point
- RUFFA. Francisco. Acústica Aplicada. Capitulo difusión. Diapositivas Power Point
- RUFFA. Francisco. Acústica Aplicada. Capitulo Niveles de Referencia. Diapositivas Power Point
- RUFFA. Francisco. Apunte Electroacústica. Micrófonos, tipos y características. Diapositivas Power Point
- VALLETA. Pedro. Ingeniería Acústica e Insonorización. Unidad 5 Diseño de teatros y salas
- VALLETA. Pedro. Ingeniería Acústica e Insonorización. Unidad 1 El sonido y sus características

