

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**ANÁLISIS ACÚSTICO DEL AUDITORIO "JAVIER BARROS SIERRA"
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN LA UNAM**

T E S I S

QUE PRESENTA:

JUAN CARLOS ANDREWS GONZÁLEZ

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

MÉXICO D.F.

JUNIO 2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

A mi amada Maestra Gurumayi Chidvilasananda, por ser la fuente de inspiración y sabiduría que guía mi camino día con día.

A Gabriela, por ser la fuente de néctar que desborda mi corazón

A mi amada Maestra Gurumayi Chidvilasananda, por ser la fuente de inspiración y sabiduría que guía mi camino día con día.

A Gabriela, por ser la fuente de néctar que desborda mi corazón

¡Gracias Dios mío, por haber puesto en mi vida gente tan generosa!
Por Ti y por ellos,

Al tío Manuel por ser el ejemplo a seguir en mi vida, a mi madre por ser mi madre, a la tía Uge y a Mayrita por sus inmensos corazones, a la tía Aída por sus letras y su incansable valentía para llegar a la cima del mundo, a la tía Marta y el tío Alberto por su cariño, bondad y respeto. A todos mis primos por haber sido como hermanos. A Walter Von Thaden, Kevin Irelan y Carlos Martell por ser grandes amigos y maestros en todo lo que uno quiso saber acerca del audio y que nunca se atrevió a preguntar. A Lorena Maza por confiar en mi potencial. A Luis Lojo por siempre dejar una puerta abierta para trabajar juntos en grandes proyectos. A toda la gente de OCESA Teatro por permitirme crecer sin importar los tropiezos. A Jorge Urbano por sus publicaciones magistrales y los mejores eventos de calidad en México, ¡todo un ejemplo a seguir! A todos, todos, todos pero t-o-d-o-s en la SYDA Foundation por hacer de cada momento, uno especial. A Adriana y Karelia por ser las mejores *cuñadas* que uno pueda tener. A Laura por su paciencia ante la burocracia y aguantar hasta el final.... A Anabeli por los fig Newtons, los Scan Cubies y el vino blanco en taza de café. Al Robert por estar ahí hasta que se resuelvan las cosas sin importar que se le haga tarde. A Lorena Solís por sus tamales recién hehechitos y las tazas de chocolate caliente. A Rosa por dejar todo a un lado y *a-tender las cosas del joven*. A todos aquellos que tan amablemente escucharon mis historias de la *famosa* tesis una y otra y otra vez.... Pero qué les puedo decir, es un tema emocionante!

A mi querida Totoapa,
por haberme permitido disfrutar de su quietud y su silencio.
Gracias a la Madre Naturaleza por rodearla con tan exquisita belleza
Gracias a todos aquellos por los que se ha mantenido viva
Gracias por los recuerdos que guarda entre sus muros
Gracias!

A todos aquellos que cooperaron desinteresadamente en la elaboración de este trabajo, gracias!

Ing. Rodolfo Peters por asesorar este trabajo y confiar plenamente en el desarrollo que se le estaba dando.

Dr. Felipe Orduña por su tiempo para apoyar en la corrección del texto y pulirlo al máximo.

M.I. Sergio Tirado Ledesma por haber influido en la necesidad de llevar a cabo el análisis acústico del auditorio.

Ing. Carlos Lara Esparza y todo su equipo de colaboradores por todas las facilidades brindadas en la elaboración del análisis del auditorio.

A don Jorge, Marcos, Eric, don Arnulfo y todos aquellos que estuvieron ahí, apoyando las largas horas de pruebas de medición en el auditorio "Javier Barros Sierra".

Ing. Heriberto Iturbide y Blanca Aguirre, de Vari Internacional, por el préstamo de equipo para las mediciones.

Departamento de Acústica del Centro de Instrumentos, UNAM por facilitar el uso de *Nikita*.

Gustavo Coca por las fotografías a blanco y negro de los eventos realizados en 1980 en el auditorio.

Tía Marta por la computadora portátil en la que se pudieron llevar a cabo las pruebas en sitio

Agustín Núñez y Alejandra Mandujano por confiarme la cámara y la impresora, así sin más.

A la Subdirección de Innovación Tecnológica por todo su apoyo técnico.

Un agradecimiento especial a Bengt-Inge Dalenbäck por todo su apoyo en el correcto uso de CATT-Acoustic y el compartir tan desinteresadamente todo el material educativo que me hizo llegar.

Vari Internacional SA de CV proporcionó el micrófono Beyer Dynamic MCE 801 y la bocina Genelec 1029A para las pruebas realizadas en sitio.

En memoria del tío Nacho

Índice

Introducción	1
I. Los auditorios y su acústica	4
1.1 El oído	5
1.2 El sonido	6
1.2.1 Generación y propagación del sonido	7
1.2.2 Frecuencia del sonido (f)	9
1.3 El oído y la percepción del sonido	10
1.3.1 Nivel de sonoridad	12
1.3.2 Sonoridad	13
1.3.3 Sonoridad y ancho de banda	13
1.3.4 Timbre y altura tonal	14
1.3.4.1 Altura tonal- (<i>Pitch</i>)	14
1.3.4.2 Timbre y espectro	15
1.3.5 Localización del sonido	15
1.4 El habla	17
1.4.1 Comprensión del habla o Inteligibilidad	19
1.4.1.1 Enmascaramiento	20
1.5 Características físicas del sonido	21
1.5.1 Frentes de onda y rayos	21
1.5.2 Reflexión del sonido	22
1.5.3 Dispersión	22
1.5.4 Refracción	23
1.5.5 Difracción	24
1.5.6 Superposición e interferencia	25
1.5.7 Filtros acústicos de “peine” (Comb filtering)	26
1.6 El efecto de las reflexiones: Eco y reverberación	27
1.6.1 Eco flotante	28
1.6.2 Transmisión y absorción	29
1.6.3 Difusores	29
1.6.4 Sonido directo y sonido reflejado	30
1.6.5 Reverberación	30
1.6.6 Tiempo de reverberación (RT_{60})	31
1.6.7 Efecto del tiempo de reverberación en la comprensión de la palabra	32
1.7 La música	32
1.7.1 Instrumentos de cuerda	33
1.7.2 Instrumentos de aliento	33
1.7.3 Instrumentos de percusión	33
1.7.4 El pianoforte	34
1.7.5 Otros sonidos, otros instrumentos	34
1.7.6 Efecto del tiempo de reverberación y la música	37
1.8 Recintos acústicos	38
1.8.1 Recintos destinados a la palabra	38
1.8.1.1 Recintos para conferencias	38
1.8.1.1.1 Medidas para la inteligibilidad	39
1.8.1.1.1.1 %ALCons	39

1.8.1.1.1.2	STI/RASTI.....	39
1.8.1.2	Teatros	40
1.8.1.2.1	Claridad de la voz (C_{50})	41
1.8.1.2.2	Definición (D).....	41
1.8.1.2.3	Relación de las primeras reflexiones (ERR).....	41
1.8.1.2.4	Nivel de sonido de la voz (S).....	41
1.8.2	Recintos destinados a la música.....	42
1.8.2.1	Sonoridad del sonido directo	43
1.8.2.2	Sonoridad del sonido reverberante.....	43
1.8.2.3	Intimidad acústica (en función de t_f)	43
1.8.2.4	Claridad musical (C_{80})	44
1.8.2.5	Definición	44
1.8.2.6	Riqueza de tono.....	44
1.8.2.7	Viveza (liveness).....	44
1.8.2.8	Sonoridad de reverberación (R).....	44
1.8.2.9	Calidez acústica (BR)	45
1.8.2.10	Brillo (Br).....	45
1.8.2.11	Difusión	45
1.8.2.12	Textura	45
1.8.2.13	Calidad tonal	46
1.8.2.14	Factor de brío (G).....	46
1.8.2.15	Tiempo de decaimiento temprano (EDT)	46
1.8.2.16	Curva de energía reflejada (RECC)	46
1.8.2.17	Eficiencia lateral (LF).....	46
1.8.2.18	Correlación cruzada interaural (IACC).....	46
1.8.2.19	Índice de difusión (SDI).....	46
1.8.2.20	Espacialidad del sonido.....	47
1.8.2.20.1	Amplitud aparente de la fuente sonora (ASW)	47
1.8.2.20.2	Sensación de sonido envolvente (LEV)	47
1.8.2.21	Uniformidad.....	47
1.8.2.22	Acústica en el escenario.....	47
1.8.2.22.1	Inmediatez de respuesta (attack)	47
1.8.2.22.2	Balance.....	47
1.8.2.22.3	Integración (blend).....	47
1.8.2.22.4	Unidad (ensemble)	47
1.8.3	Salas de cine.....	48
1.8.4	Espacios multifuncionales.....	49
1.8.4.1	Modificación por medios arquitectónicos.....	51
1.8.4.2	Modificación por medio electrónicos	52
1.9	Valores recomendados en parámetros acústicos	53
1.9.1	Para recintos destinados a la palabra.....	53
1.9.2	Parámetros para recintos destinados a la música	54
1.10	Ruido en un recinto	57
1.10.1	Criterio de ruido (NC).....	57
1.11	Sistemas de refuerzo sonoro.....	59
1.11.1	Parámetros a medir en una sala con refuerzo sonoro.....	59
1.11.1.1	Ancho de banda útil	59
1.11.1.2	Distorsión armónica total (THD)	59
1.11.1.3	Distancia Crítica (Dc)	60

II.	Análisis	61
	2.1 Breve historia del auditorio "Javier Barros Sierra" de la Fac. de Ingeniería en la UNAM	62
	2.2 Descripción física del recinto	67
	2.3 Criterio de ruido	70
	2.4 Métodos de análisis	71
	2.4.1 Por cálculo matemático	73
	2.4.1.1 Ventajas y desventajas del método matemático	73
	2.4.1.2 Procedimiento para efectuar el método	73
	2.4.1.3 Resultados obtenidos por este método	73
	2.4.2 Medición en sitio con un programa de cómputo	80
	2.4.2.1 Ventajas y desventajas del análisis en sitio	80
	2.4.2.2 Procedimiento para efectuar las mediciones con computadora	80
	2.4.2.3 Respuesta de la sala con emulación de un solo emisor	81
	2.4.2.4 Respuesta de la sala con el sistema de sonido del auditorio	88
	2.4.3 Predicción con el programa de cómputo	98
	2.4.3.1 Ventajas y desventajas de la predicción con el programa de cómputo	98
	2.4.3.2 Procedimiento para efectuar la predicción con el programa de cómputo	98
	2.4.3.3 Predicción de respuesta con emulación de un solo emisor	99
	2.5 Comparación entre los métodos utilizados	108
	2.5.1 Observaciones a la comparación de los tres métodos	111
	2.6 Resumen de los parámetros obtenidos para el auditorio "Javier Barros Sierra"	111
III.	Propuesta	114
	3.1 Estadística de tipo de eventos que ocurren en el auditorio "Javier Barros Sierra"	115
	3.2 Sugerencias para el mejoramiento de los parámetros acústicos	116
	3.2.1 Propuesta de solución a los problemas de ruido de fondo	116
	3.2.1.1 Sistema de iluminación	117
	3.2.1.2 Ruido debido al exterior	118
	3.2.1.3 Sonidos debidos al sistema hidráulico	120
	3.2.1.4 Ruido debido al sistema de ventilación	120
	3.2.2 Propuesta de mejoramiento de los parámetros acústicos	122
	3.3 Sugerencias de carácter conceptual	126
IV.	Audio. Conceptos básicos y propuesta para un sistema de refuerzo sonoro 130	
	4.1 Componentes de un sistema de refuerzo sonoro	131
	4.2 Parámetros a considerar para sistemas de refuerzo sonoro instalados	131
	4.2.1 Atenuación de la señal conforme a la distancia	131
	4.2.2 Ganancia Acústica	132
	4.2.3 Efecto Larsen y Ganancia acústica potencial (PAG)	132
	4.2.4 Número de micrófonos abiertos (NOM)	132
	4.2.5 Margen de estabilidad de realimentación (FSM)	132
	4.2.6 Relación señal a ruido (SNR)	132
	4.2.7 Headroom (rango de seguridad)	133
	4.2.8 Distancia acústica equivalente (EAD)	133
	4.2.9 Ganancia acústica requerida (NAG)	133
	4.2.10 Potencia eléctrica requerida (EPR)	134
	4.3 Reverberación y sistemas de refuerzo sonoro	135
	4.4 Lineamientos de equipo para sistemas de refuerzo sonoro	135
	4.4.1 Altavoces	135

4.4.1.1 Ancho de banda	136
4.4.1.2 Directividad (Q).....	136
4.4.1.3 Capacidad potencial.....	137
4.4.1.4 Elección adecuada según el espacio	137
4.4.1.5 Ubicación de bocinas y el factor N	137
4.4.2 Amplificadores	138
4.5 Sistemas de altavoces	139
4.5.1 Conjuntos de bocinas.....	139
4.5.1.1 Conjunto central (Central cluster)	141
4.5.1.2 Conjunto central distribuido.....	141
4.5.2 Arreglos de bocinas separadas o distribuidas.....	142
4.5.2.1 Separados de punto de origen (Split point source)	142
4.5.2.2 En paralelo.....	142
4.5.2.2.1 Arreglo estrechamente separado.....	142
4.5.2.2.2 Arreglo ampliamente separado.....	143
4.5.2.3 En cruce de fuego, separados con punto de destino (Split crossfire).....	143
4.5.2.4 Sistemas distribuidos de columna	144
4.6 Microfonía	146
4.6.1 Diseño y uso	146
4.6.2 Tipo de emisor y patrón de recepción.....	148
4.6.3 Micrófonos inalámbricos.....	152
4.6.3.1 Ancho de banda de transmisión.....	152
4.6.3.2 Selección de frecuencia.....	153
4.6.3.3 Antenas de recepción	153
4.6.3.4 Tipo de transmisor	153
4.6.4 La elección del micrófono.....	154
4.7 Propuesta de diseño de audio para el Auditorio "Javier Barros Sierra".....	154
4.7.1 Metas del diseño	155
4.7.2 Características prácticas de diseño	155
4.7.3 Ubicación de bocinas	158
4.7.3.1 Procedimiento utilizado para el sembrado de bocinas	159
4.7.3.2 Justificación del diseño.....	161
4.7.3.3 Efectos sobre los parámetros acústicos que pueden ser afectados por el diseño	162
4.7.3.4 Consideraciones técnicas del diseño	163
4.7.4 Microfonía para el auditorio.....	166
4.7.4.1 Distancia entre la fuente y el micrófono.....	166
4.7.4.2 Colocación "por arriba".....	167
4.7.4.3 En el campo reverberante.....	167
4.7.4.4 Cancelaciones.....	167
4.7.5 Diagramas de conexión del sistema.....	168
V. Mantenimiento y calidad de servicio	169
5.1 Mantenimiento de materiales.....	170
5.2 Mantenimiento de equipo.....	170
5.3 El cuidado a la gente.....	171
5.4 El éxito de un evento	172
Conclusiones	174

Anexo 1.....	180
Anexo 2.....	183
Glosario.....	186
Referencias.....	188
Bibliografía.....	189

El término audio se refiere a señales de sonido que son procesadas dentro de equipos electrónicos. La acústica trata con señales de sonido que viajan en un medio como el aire o el agua, y observa su interacción con éste.

Introducción

Desde todos de los tiempos, la humanidad ha percibido su alrededor con los cinco sentidos. A través de ellos ha experimentado placer y dolor, así como la oportunidad de comunicarse e interactuar con el mundo que le rodea.

El oído es la *ventana* por la cual el sonido entra a nuestro cuerpo, permitiéndonos escuchar sonidos en toda dirección. Aún con esta gran cualidad que el sentido de la audición tiene, la vista es considerada quizá el más importante de los sentidos de percepción y con ello ha capturado gran parte de nuestra atención. Si algo *enamora* nuestra vista, es probable que nos sintamos atraídos por dicho objeto, y las más de las veces pongamos de lado nuestro sentido común y obremos en función de lo percibido por los ojos.

En la mayor parte de las culturas, el oído ha formado una estrecha relación en función de la vista. El campo visual, limitado hacia el frente demuestra que, si deseamos ver a espaldas nuestras, tendremos necesariamente que voltear. Si escuchamos un sonido de alerta de la misma posición, la reacción inmediata es girar para *ver* cuál ha sido el origen de éste. Parece ser entonces que el oído se ha vuelto una herramienta receptora de mensajes íntimamente ligados a la vista más que quizá, cualquier otro de los sentidos del cuerpo humano.

Si cerramos los ojos y nos enfocamos en el sentido del oído, seremos conducidos a la experiencia del sonido por el sonido mismo, y descubriremos que no somos *cortos de escucha*. La capacidad natural del oído humano en relación con la percepción del espacio es tal que, si nos volvemos consientes de ella, podemos definir la posición y la distancia de una fuente sonora sin el auxilio de la vista.

Cuidamos nuestra vista de luz intensa poniéndonos gafas o entrecerrando los ojos. Quizá porque no podemos *cerrar* los oídos es que no ponemos la necesaria atención a su protección. Toleramos todo aquello que a ellos penetra, desde el ruido constante del tráfico hasta aquellos sonidos de gran nivel de presión que pueden llegar a dañar para siempre este canal de recepción. Perdemos el sentido del oído al paso de los años porque no sabemos cómo cuidar de él y porque quizá tampoco nos damos a la tarea de investigar su funcionamiento.

Se puede decir que un sonido *juega* con su movimiento –con gran dinamismo suena muy fuerte en un momento y al siguiente se ve acallado en quietud. Se escabulle a través de la grieta de un gran muro para salir del otro lado, o toca la superficie de un asiento no ocupado de una sala de conciertos y se pierde por completo en su absorción. Permitirnos observar cómo es que el sonido es capaz de hacer todo esto y que nuestros oídos puedan notar los distintos aspectos que le caracterizan es como maravillarnos con nuestros propios ojos del colorido de un arco iris, del efecto del brillo del sol sobre una superficie de agua, o del asomo de la Luna en la oscuridad.

Escuchar puede ser un deleite, y hacerlo en el espacio adecuado es aún más agradable a nuestro cuerpo. Hemos sido tolerantes de las condiciones acústicas inadecuadas de un recinto, primordialmente por nuestra capacidad de adaptación al medio que nos rodea. Sin embargo, si el recinto puede ser mejorado, la tolerancia no será requerida si la acústica es la adecuada para dicho espacio.

El Hombre crea espacios para su utilidad y el deleite de su belleza. Desdichadamente esta última ha sido primordialmente de carácter visual, dejando al sonido en segundo término. Usamos paredes, cortinas y otros materiales para que el espacio se *vea* bien y muchas veces olvidamos su efecto en la acústica. Incluso construimos habitaciones y recintos con materiales económicos que de raíz pueden ser un problema al permitir la entrada del ruido del exterior, literalmente invadiendo el espacio.

Conocer el comportamiento del sonido nos permite explorar y redimensionar el espacio que nos rodea ya no nada más en función de su utilidad, su belleza y su potencial acústico. La meta ideal bajo este concepto es integrar la Acústica y la Arquitectura para embellecer un espacio íntegramente.

El objetivo de esta tesis es presentar una introducción del concepto de la acústica a lo largo del primer capítulo y a través de ello, poder fomentar un criterio en la evaluación de recintos destinados al deleite del sentido del oído. Este caso en concreto es el del Auditorio "Javier Barros Sierra" de la Facultad de Ingeniería en la UNAM.

Si bien no se pretenden evaluar absolutamente todos los parámetros existentes para una sala de conciertos, si existe un acercamiento a aquellos considerados los más importantes para un recinto de uso multifuncional. Un auditorio escolar hace las veces de teatro, de aula, de taller de danza, de cine, y de un sinfín de actividades, además de las conferencias que ahí se puedan impartir.

La intención es investigar en el Capítulo 2, si el auditorio cumple o no con los parámetros que en conjunto le pueden dar una buena calidad acústica.

Los métodos utilizados para este análisis son:

- El cálculo a través de las fórmulas clásicas,
- Por medición en sitio con el auxilio de un programa de cómputo
- A través del análisis de un modelo virtual del auditorio generado por computadora, pudiendo además predecir diversas posibilidades.

Es en función de estos resultados que se determina, en el tercer capítulo, la necesidad de un cambio elemental en la estructura física del espacio y poder mejorar los valores obtenidos por el análisis acústico del recinto. Cosas tan elementales como la reducción del ruido en el interior del recinto se hacen presentes en esta propuesta de cambios.

Con el auge de la modernidad en nuestras vidas, y la posibilidad de amplificar el sonido natural reproducido por una fuente emisora, se han podido trascender las limitaciones físicas del recinto llevando el sonido a los escuchas a través del uso de bocinas. La función más elemental de estos sistemas ha sido la de reforzar el sonido natural y la reproducir de material grabado. Sin embargo, esta tarea tan sencilla no siempre se lleva a cabo con éxito. Un sistema de sonido puede estar compuesto de una gran red de equipo y uno debe comprender los principios básicos de la acústica del espacio además de poder interactuar con el curso del evento mismo. La falta de conocimiento en el uso correcto del equipo puede contraer efectos negativos alterando el sonido original una vez que es procesado y amplificado. Con esto en mente, el Capítulo 4 se dedica a una introducción al tema de Audio para compilar la teoría básica, así como a una propuesta en la instalación de un sistema de sonido que apoye los requerimientos primarios para las actividades del auditorio "Javier Barros Sierra".

Cualquier persona que tome asiento en un recinto, debe recibir el mejor de los tratos, y no únicamente en el sentido humano, sino también en el aspecto de calidad del evento al que asista. Una serie de sugerencias en torno a la elevación de la calidad de un evento son presentadas al final del texto.

Una de las características innatas en el hombre racional es entender causa y efecto. Una persona que brinca de una cierta altura hacia el suelo, sabe que va a caer sin tener que conocer las fórmulas matemáticas de la ley de la gravedad. Es bajo esta premisa que se rige este trabajo, la intención es que quien lea esto comprenda conceptos y no tenga que comprender forzosamente su formulación matemática.¹

Se pretende que este texto, con todas sus páginas, logre transmitir la importancia que tiene el sonido en nuestras vidas y siembre una semilla de conciencia en el campo de la Acústica y el Audio para quien lo lea.

¹ Quien desee revisar las fórmulas matemáticas, puede hacerlo en el Anexo 1

Capítulo Primero
Los Auditorios y su acústica

En nuestro andar por la vida, los sonidos que escuchamos se vuelven una parte muy importante de nuestra relación con el mundo. Desde pequeños reconocemos la voz de nuestros padres, algunos sonidos nos ponen en alerta ante el peligro, y otros tantos nos tranquilizan e incluso nos permiten conciliar el sueño.

Sentados frente al televisor, con imagen y sin sonido. ¿Qué tanta información comprenderemos? El sonido que acompaña la imagen es fundamental para captar de mejor manera lo que estamos viendo.

Encendemos la radio y nos deleitamos con la música que podemos escuchar y nos dan ganas de escuchar en vivo, en la sala donde se está llevando a cabo el evento.

También comprendemos la trama de una obra de teatro cuando podemos entender claramente las frases del actor y cómo las emociones se exaltan cuando la música les acompaña.

¿Y qué decir de cuando podemos escuchar en un auditorio un concierto en el que se escucha no nada más el sonido de los instrumentos sino que además el espacio mismo hace de las notas musicales aún más bellas?

Todo ello nos lleva entonces a generar un par de tantas reflexiones:

¿Qué sería de nosotros si no tuviésemos oídos para escuchar?

¿Y qué tipo de comunicación podríamos desarrollar si estuviéramos faltos del habla?

Ahora bien, ¿cómo es que podemos escuchar?

1.1 El oído

Nuestro mecanismo auditivo es un sistema que envuelve otros tantos. El cerebro y su manejo en la información auditiva es quizá el menos comprendido. Parte de este sistema es metabólico, ya que nuestro aparato auditivo es un sistema vivo.

Al oído humano se le considera por lo general, dividido en tres partes: oído externo, medio e interno.

El sonido es recibido y modificado por la primera parte del oído externo, llamado *pinna*, y dirigido al canal auditivo o *meato acústico externo*. Las ondas llegan, a través de éste, a la membrana timpánica o *tambor* que reproduce fielmente la frecuencia del sonido. El otro lado del *tambor* corresponde al oído medio o caja del tímpano donde los huesecillos *martillo*, *yunque* y *estribo* transmiten las vibraciones de la membrana timpánica a la ventana oval o *vestibular* para hacerlas llegar al oído interno formado por la *cóclea*.

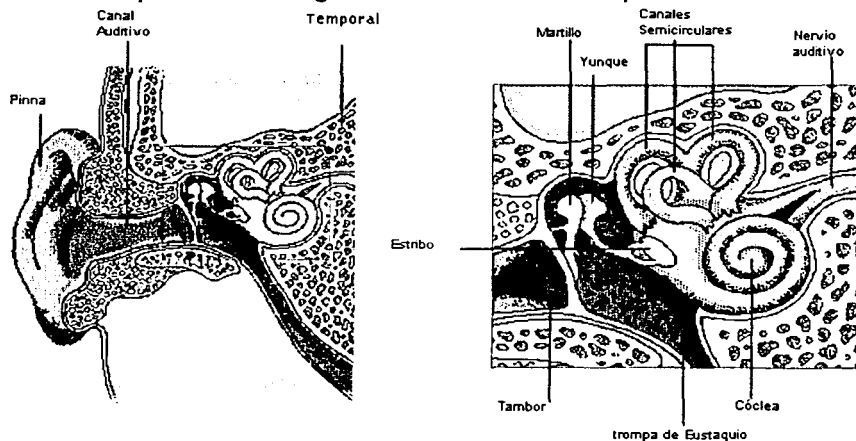


Fig. 1-1

La presión del sonido en el líquido de la *cóclea*, al otro lado de la ventana oval, aumenta de 30dB a 40dB sobre la presión de aire que actúa en el *tambor* gracias al sistema mecánico del oído medio. La *ventana oval* es relativamente flexible a la liberación de presión, permitiendo que la energía del sonido se transmita al líquido interno a través de la *ventana vestibular*.

En la *cóclea* existen varias membranas: *tectorial*, *de Reissner* y *basilar*.

En esta última se encuentra apoyado el órgano de Corti que contiene unos filamentos que transforman el movimiento relativo entre las membranas tectorial y basilar en pulsos nerviosos hacia el nervio auditivo.

La energía y la frecuencia de las vibraciones de estos líquidos se transmiten al órgano espiral o *caracol* donde se hallan los filamentos nerviosos que, al ser estimulados, originan los impulsos nerviosos que han de llegar hasta los centros auditivos del cerebro.

La *teoría de la resonancia* de Helmholtz (ca. 1863) dice que el caracol es el analizador del sonido y que las cerca de 25,000 fibras de la membrana basilar actúan como resonadores.¹ Estas fibras son de longitud variable; miden alrededor de 130micrómetros en su base y alcanzan unos 275micrómetros en el vértice del caracol.

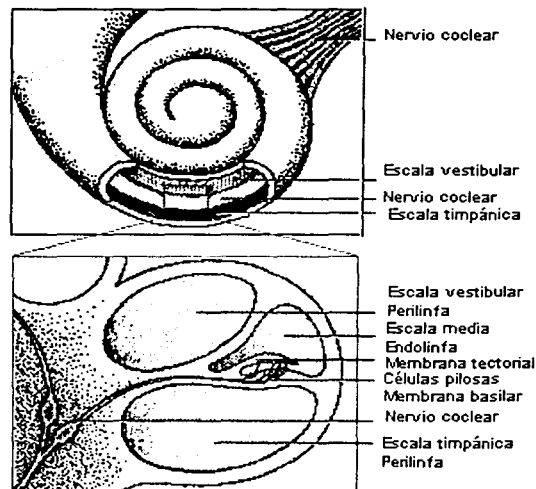


Fig. 1-2

Bien, ya sabemos ahora cómo se conforma esta pieza tan importante que nos ayuda a andar por la vida reconociendo sonidos. Y entonces ¿qué es el sonido?

1.2 El sonido

Al sonido se le considera con una doble naturaleza:

- Una vibración mecánica de un medio, tal como el aire, de material denso y elástico, capaz de producir una sensación auditiva.
- La sensación auditiva como resultado de la estimulación de nervios de la corteza auditiva en el cerebro debida a una vibración mecánica que se propaga a través de un medio elástico o denso.

¹ MILLER, MARJORIE A., et. al. "Manual de Anatomía y fisiología" Pág. 321

Existe una pregunta filosófica conocida por muchos que dice: 'Si un árbol se cae en medio del bosque y nadie lo escucha, ¿éste produce algún sonido?'²

Las respuestas pueden ser varias a esa única pregunta y se le puede abordar desde diversos puntos de vista:

La Física nos puede mostrar el mecanismo por el cual el disturbio se propaga por el aire, y si esa es la definición que tomamos para el sonido, el árbol cayendo no necesita testigo alguno. Sin embargo, en este caso tenemos que, para esta rama de la ciencia, no existen límites en la frecuencia ni en sus niveles, y éstos deben ser tomados en consideración para nuestro caso.

La Biología, nos puede decir que el oído tan solo responde a un rango limitado de frecuencias determinado además por el nivel de umbral que exceda. Si tomamos esta definición como buena, entonces la situación se simplifica bastante, ya que la reproducción del sonido que llevaríamos a cabo con instrumentos y equipos electrónicos debe corresponder únicamente a niveles y frecuencias que el oído pueda detectar.

La psicoacústica puede describir cómo nuestra percepción auditiva tiene una resolución finita tanto en tiempo como en frecuencia tal que, todo aquello que percibimos es en realidad una impresión inexacta. Algunos aspectos del disturbio no pueden ser escuchados por el ser humano y son definidos como inaudibles o enmascarados.

El sonido se puede analizar desde el punto de vista netamente físico, desde el punto de vista psicoacústico o una combinación de los dos.

Del primero, se pueden llevar a cabo una serie de métodos con análisis vectoriales, aplicaciones de series de Fourier, diagramas de Nyquist y obtener una serie de resultados matemáticos muy interesantes.

En la psicoacústica en cambio, se analiza el comportamiento y reacciones humanas ante ciertos sonidos.

Sin embargo, la práctica acústica no se centra completamente en uno u otro análisis. Lo que nos concierne es la relación de la acústica del recinto, su efecto modificado por el espacio mismo y los equipos utilizados. Una vez analizado este aspecto, no podemos olvidar que habrá alguien escuchándolo, de modo que debemos saber cómo llega finalmente el sonido al que lo percibe.

Un estudio de la resolución limitada del oído, demuestra cómo algunas combinaciones de tonos son placenteras mientras que otras son muy molestas. La música ha evolucionado empíricamente para ahondar en el primer caso. Y aún así, seguimos teniendo un conflicto para poder explicar porqué disfrutamos de la música y porqué algunos sonidos nos hacen sentir alegres y otros nos pueden llevar al llanto. Y éstas, son características deben estar presentes en la reproducción del sonido.³

1.2.1 Generación y propagación del sonido

Para que un sonido se pueda transmitir de un sitio a otro, se requiere de un medio que comprenda elasticidad e inercia. El aire, agua, madera, concreto, acero, vidrio, entre otros, cumplen con estas características. Es debido a esta cualidad que el sonido no se puede propagar en el vacío.

La generación del sonido tiene lugar cuando una fuente sonora, tal como una cuerda de violín, las cuerdas vocales, o un tambor, entra en vibración. Cuando una partícula de aire es perturbada por este fenómeno, transmite su momento a la siguiente partícula, regresando -al cabo de oscilar en su espacio- a su posición de equilibrio, a esto se le conoce como *propagación de la onda sonora*.

Ante la vibración del diafragma de una bocina, las partículas de aire próximas a su superficie se acumularán, formando una zona de *compresión* al desplazarse hacia fuera. Por el contrario, cuando el diafragma

² WATKINSON, JOHN, "The Art of Sound Reproduction" Pág.. 74

³ ibid

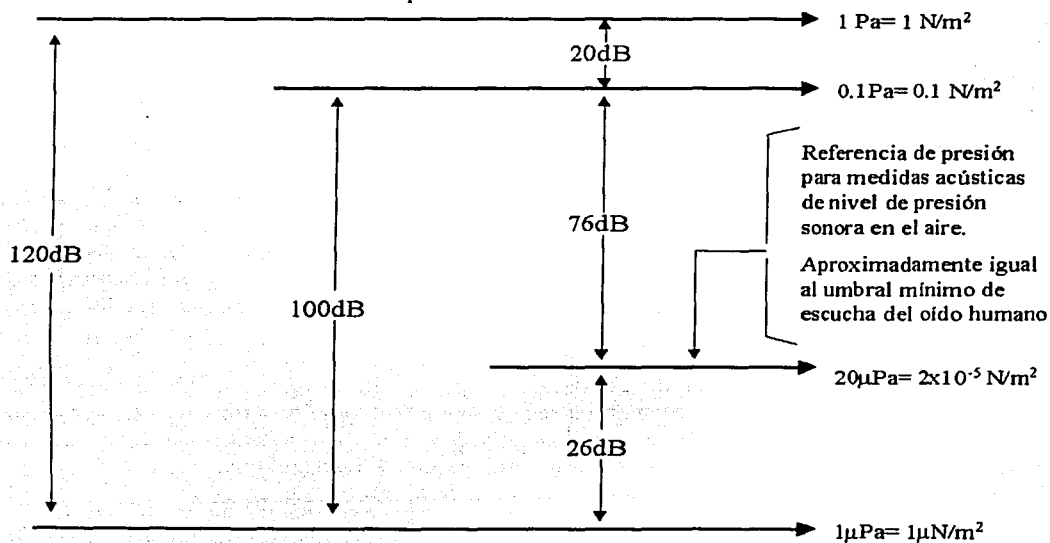
se desplaza hacia adentro, las partículas se separan, creando una zona de enrarecimiento. Este efecto, será transmitido a las siguientes partículas de manera longitudinal, es decir perpendicularmente al plano del diafragma.

La compresión de partículas de aire constituye un incremento en presión con respecto a la presión natural del medio. La rarefacción o enrarecimiento constituye una disminución en la presión con respecto a la normal. Como este efecto ocurre dentro de la gran masa de aire que nos rodea, los cambios ocurrirán dentro de la presión atmosférica en particular. Las modulaciones en realidad serán bastante pequeñas. El sonido más débil que el oído humano puede percibir es cercano a los $20 \mu\text{Pa}$ y equivale a una cinco mil millonésima parte de la presión atmosférica. En cambio, el sonido más intenso que el oído humano puede soportar es de 100Pa .⁴

Si para medir la presión que el sonido provoca utilizáramos un rango tan grande de medidas, la situación sería un poco compleja así es que se determinó algo más práctico.

La relación entre el sonido más débil de $.0000002$ Pascales y 100 Pascales como el máximo a soportar, no corresponde a una línea recta es decir, el oído se comporta con un comportamiento aproximadamente logarítmico en su respuesta.

Siendo así, se toma el umbral mínimo como la referencia estándar. Y se aplica una relación de presiones en una escala logarítmica. Dando como resultado el uso práctico de los decibeles (dB) contra el uso de un rango tan amplio en la sensibilidad auditiva con la que contamos.⁵



Pascal (Pa)- Una medida de presión correspondiente a la fuerza de 1 newton actuando uniformemente sobre un área de 1 metro cuadrado, de modo que $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

Fig. 1-3

No está por demás aclarar ahora, que el sonido entonces es energía mecánica que, al ser captada por el oído, se transforma en energía eléctrica en su interior para llegar a la zona de percepción auditiva del cerebro y entonces es que respondemos de una u otra manera.

⁴ "Handbook for Sound Engineers" Pág. 17

⁵ cfr. Glosario

Se recordará del apartado 1.1 que la energía y la frecuencia de las vibraciones se *transmitían* de un líquido a una terminación nerviosa. Éste el efecto de un transductor: Transformar un tipo de energía a otro. Y es esto justamente lo que hace un micrófono al captar el habla, ya que la transforma en un impulso eléctrico, como lo hace el oído, y después de viajar en esta forma a través del procesamiento de la señal en el equipo, llega finalmente a una bocina, otro transductor que transforma la energía eléctrica amplificada que le ha llegado en energía mecánica una vez más.

¿Qué factor juega la frecuencia en relación con las vibraciones?

Sin darnos cuenta usamos las frecuencias de arriba para abajo y nunca nos preguntamos qué con ellas. Sabemos que nuestra estación favorita en la radio se sintoniza a cierta *frecuencia* y que los micrófonos inalámbricos operan a una determinada *frecuencia*.

Y también utilizamos la palabra *frecuencia* cuando alguien nos pregunta: ¿Con qué frecuencia vas al cine? O ¿con qué frecuencia visitas a tus familiares?

¿Bueno sí, y esto qué tiene que ver?

Tiene mucho que ver, la frecuencia está en función del tiempo. En el caso del cine podemos contestar dos veces *por* mes, en el caso de la familia 20 veces *por* año. La frecuencia es la regularidad en la que ocurre un fenómeno en cierto *tiempo*.

Así que la frecuencia a la que nos referimos en Física es:

1.2.2 Frecuencia del sonido (*f*)

El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora se denomina frecuencia del sonido y se mide en ciclos por segundo o más comúnmente en Hertz *Hz*

En suma a ello, la frecuencia multiplicada por el periodo debe ser igual a la unidad.

De modo que $f=1/t$ o $t=1/f$

Así pues, si la frecuencia es, qué tantas veces por segundo se completó un ciclo de 360°, entonces la frecuencia de 1000Hz significa que el ciclo se repitió 1000 veces en un segundo.

A continuación se muestran las ondas generadas por distintos instrumentos:

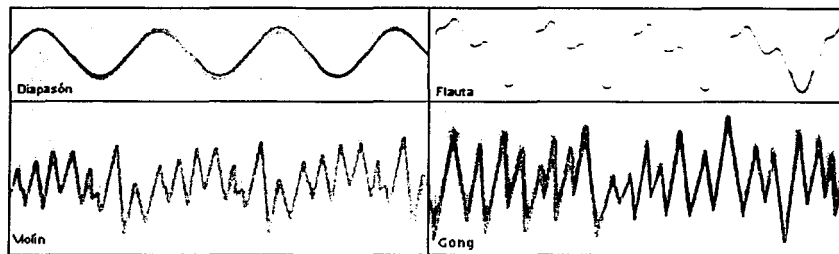


Fig 1-4

Puede verse que salvo en el caso del diapasón, los sonidos no constan de una sola frecuencia, sino que están constituidos por múltiples frecuencias superpuestas.

En el caso de la voz, la música y el ruido, los tonos puros son raramente escuchados. Una nota musical contiene, además de una frecuencia fundamental, tonos más altos que son *armónicos* de dicha frecuencia. La voz hablada contiene una mezcla de sonidos, algunos de los cuales –no todos– son armónicos entre sí. El ruido consiste de una mezcla de distintas frecuencias dentro de un cierto rango. Diversos ruidos son distinguidos por diferentes distribuciones de energía en los distintos rangos de frecuencia.

Se puede conocer entonces, qué frecuencias componen un sonido observando el denominado *espectro frecuencial* del mismo, entendiendo por tal la representación gráfica de las frecuencias que lo integran con su correspondiente nivel de presión sonora.

CLASIFICACIÓN	No. De BANDA	USO	RANGO FRECUENCIAL
MF (Medium Frequencies)	6		300kHz-3MHz
		Transmisión comercial AM	530-1700kHz
HF (High Frequencies)	7		3-30MHz
VHF (Very High Frequencies)	8		30-300MHz
		Banda baja AM y FM para transmisión inalámbrica en VHF	25-50MHz
		Televisión comercial de banda baja (2 al 6)	54-88MHz
		Transmisión comercial FM	88-108MHz
		Televisión comercial de banda alta (7 al 13) y banda alta de FM para transmisión inalámbrica en VHF	(150)174-216MHz
UHF (Ultra High Frequencies)	9		300MHz-3GHz
	10	Transmisión inalámbrica en UHF	450-952 MHz
SHF (Super High Frequencies)	11		3-30GHz
EHF (Extremely High Frequencies)	12		30-300GHz
-	13	-	300GHz-3THz

Tabla 1-1

Esta tabla muestra los rangos de frecuencia determinados en función de sus ciclos por segundo. Su uso puede variar en función del tipo de onda.

Estas bandas son por lo general utilizadas para transmisión de señales y el tipo de onda es electromagnético, viajando a la velocidad de la luz pudiéndose además, transmitir en el vacío.

1.3 El oído y la percepción del sonido

El oído humano es capaz de percibir un rango determinado de frecuencias, y está muy cercano al límite inferior de la escala hertziana. Dentro del intervalo de audibilidad, la sensibilidad del oído varía con la frecuencia. El *umbral de audibilidad* a cualquier frecuencia es la intensidad mínima de sonido que se puede percibir a esa frecuencia. El espectro sonoro está considerado en un rango de 20Hz a 20 kHz. En la realidad, el límite superior en la escucha de tonos puros está entre 12 y 18 kHz, dependiendo de la edad de la persona y que tan bien han estado sus oídos protegidos contra sonidos de alta intensidad.⁶ Las frecuencias arriba de los 20kHz no pueden ser escuchadas como tales, pero el efecto producido por éstas, como un tiempo de subida veloz, sí puede ser escuchado.

Aunque existe gente que detecta 20kHz a muy altos niveles, existe evidencia que sugiere que la mayoría de los escuchas no pueden determinar si su límite superior es 20kHz o 16kHz.⁷

Para un adulto joven promedio con audición normal, el umbral de audibilidad a 1000Hz es, aproximadamente 0dB y en los 50Hz y 18,000Hz es de unos 40dB. Por consiguiente, la sensibilidad del oído decae en los extremos bajo y alto de la escala de frecuencias.

Por mucho tiempo se llegó a creer que las frecuencias debajo de 40Hz no eran importantes, sin embargo ahora es claro que la reproducción de frecuencias hasta 20Hz mejora ambiente y realismo.⁸

⁶ Ibid Pág. 1426

⁷ WATKINSON, JOHN, "The Art of Sound Reproduction", Pág. 78

⁸ ibid

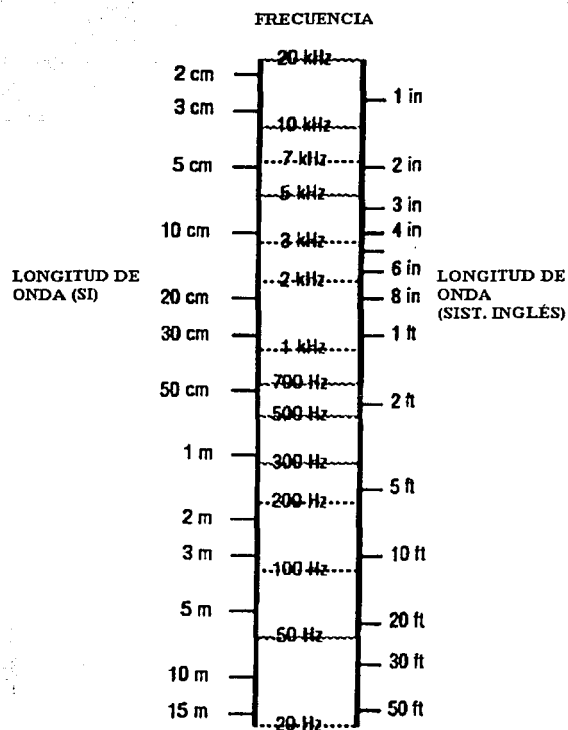


Fig. 1-5
Rango de escucha del ser humano

CLASIFICACIÓN	No. De BANDA	CARACTERÍSTICAS	RANGO FRECUENCIAL
ELF (Extremely Low Frequencies)	2		30-300Hz
VF (Voice Frequencies)	3	Rango aproximado de la voz humana	300Hz-3kHz
VLF (Very Low Frequencies)	4		3-30 kHz
LF (Low Frequencies)	5	Rango superior de escucha de otros seres vivientes	30-300kHz

Tabla 1-2

Las ondas sonoras son vibraciones de tipo mecánico que se transportan necesariamente a través de un medio y que viajan a la velocidad del sonido.

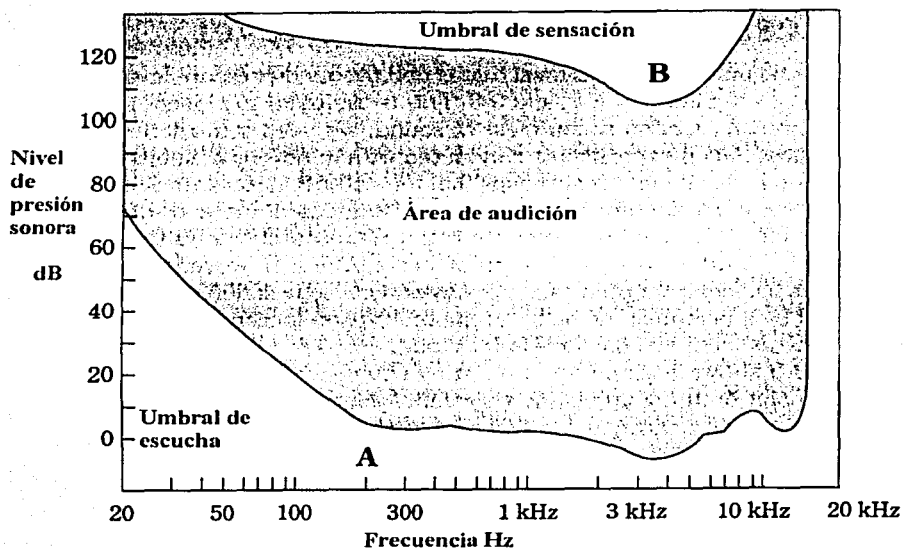


Fig. 1-6

1.3.1 Nivel de sonoridad

A las curvas límite superior e inferior de la gráfica anterior se les conoce con el nombre de contorno de sonoridad equivalente -equal loudness contours-. Debido a que Fletcher y Munson de los laboratorios Bell fueron los primeros en trabajar en este campo, también se les conoce como *curvas Fletcher-Munson*. Sin embargo, los experimentos de Robinson y Dadson llevaron a cabo un refinamiento mayor y éste es reconocido como un estándar internacional (Recomendación ISO 226)⁹

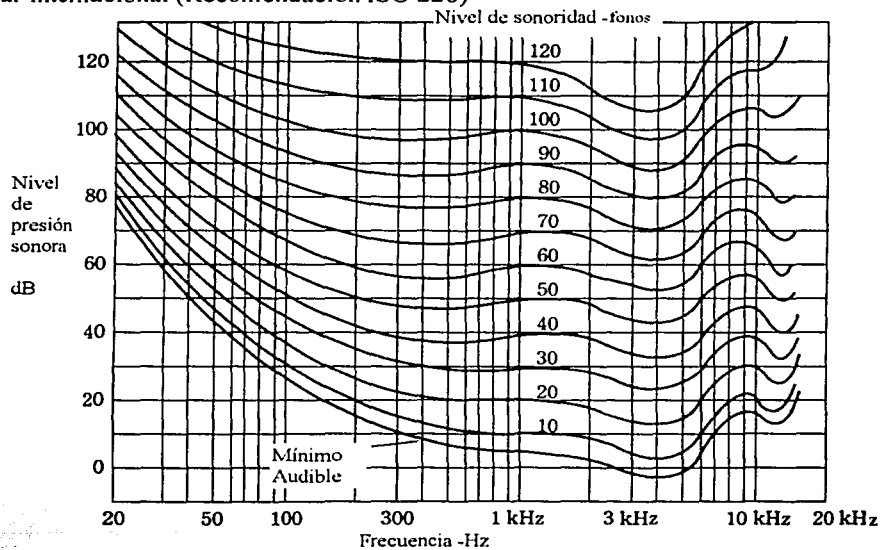


Fig. 1-7

⁹ EVEREST, F. ALTON, "The Master Handbook of Acoustics", Pág.. 40

Por definición, un tono de 1kHz a 20dB_{SPL} tiene un nivel de sonoridad de 20 fones. Para dar la misma sensación de sonoridad a 100Hz, el nivel de presión sonora tiene que ser aumentado 17dB. Para dar los mismos 20 fones de sonoridad a 20Hz se requieren 62dB_{SPL} más que para 1kHz. Esto quiere decir que la sensibilidad del oído es mucho menor a frecuencias inferiores a 1kHz.

Nótese además, las irregularidades causadas por la resonancia del *meato* en el oído cerca de los 4kHz y los 13kHz.

Por lo general, los oídos de la gente son más sensitivos entre 2 y 5kHz y esto está relacionado también con la necesidad innata de la comprensión del habla como veremos más adelante.

De estas curvas se hace evidente que la respuesta en frecuencia de nuestros oídos es más uniforme a mayores niveles de presión sonora lo cual, desafortunadamente para el sentido del oído, muchos han optado por escuchar la reproducción de piezas musicales a niveles exageradamente altos.

1.3.2 Sonoridad

Técnicamente hablando, la sonoridad es un término estrictamente subjetivo. No tiene sentido a menos que los humanos estemos envueltos en la cuestión en algún punto. El término *nivel de sonoridad* es definido como el nivel de presión sonora a 1kHz, en fones. En cambio la *sonoridad* se definió por medio de sujetos en términos de *sones*. Por definición, un *son* es la sonoridad de un tono de 1kHz al nivel de sonoridad de 40 fones, el único punto donde los fones y el nivel de presión sonora en dB se cruzan gráficamente.

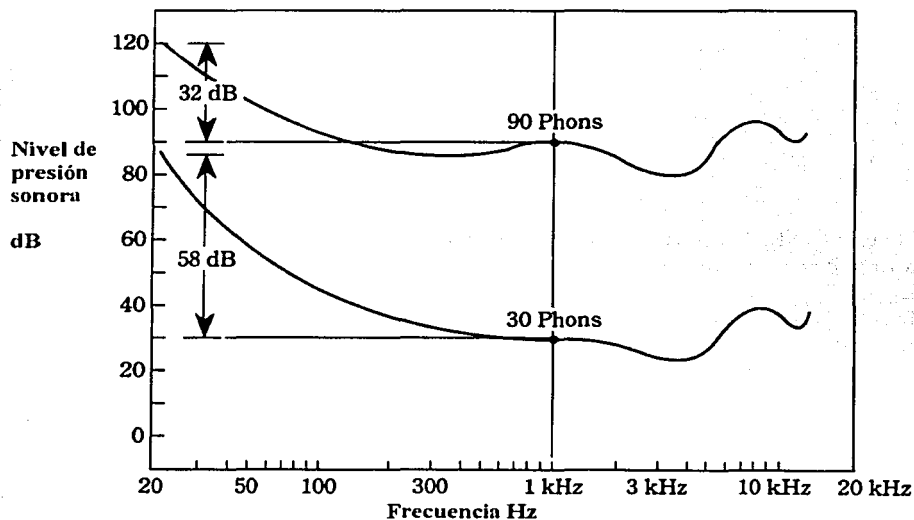


Fig. 1-8

1.3.3 Sonoridad y ancho de banda

Parece ser que sonidos de banda ancha, tales como un cohete despegando o un avión dejando la pista, son mucho más sonoros que un tono puro o ruidos de banda estrecha con el mismo nivel de presión sonora. De hecho, ampliar el ancho de banda no incrementa la sonoridad a menos que se exceda el *ancho de banda crítico*. Después de ese punto, varias bandas críticas son excitadas y la sonoridad se percibe en aumento a medida que se incrementa el ancho de banda.

1.3.4 Timbre y altura tonal

Para todos aquellos relacionados con la música, hablar de frecuencias quizá no es algo muy común, en cambio el término *altura tonal* –pitch en inglés– resulta algo de casi todos los días. De igual forma, les será conocido el término *timbre*, lo que para los que no tocamos instrumento alguno es raro que hablemos de ello. Sin embargo, la mayoría lo hemos usado o escuchado al comentar sobre “el timbre de voz de una persona”.

1.3.4.1 Altura tonal- (del inglés pitch)

Se entiende claramente que la *frecuencia* es una medida objetiva, mientras que la *altura tonal* es su equivalente subjetivo. Queda claro que la primera es independiente del nivel que se le dé. Sin embargo, no ocurre lo mismo con la altura tonal. Esto se ve un poco más claro en la figura.

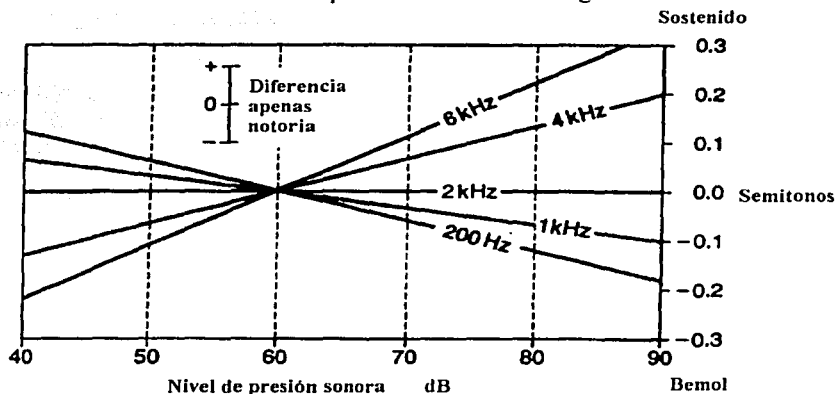


Fig 1-9

La teoría de la localización (en el oído interno) indica que el mecanismo auditivo puede detectar una sola frecuencia de forma bastante precisa como una función del lugar que tome en la máxima vibración de la membrana basilar.

Sin embargo, la mayoría de los sonidos periódicos y los instrumentos musicales reales producen una serie de armónicos además de la fundamental. La membrana basilar es excitada en diversos sitios espaciados ante la percepción de un sonido rico en armónicos. Parece ser que el oído está bastante acostumbrado a escuchar armónicos en diversas cantidades y su respectivo patrón regular de excitación. Es el patrón completo el que contribuye a la sensación de altura tonal incluso si las partes individuales varían enormemente en nivel relativo.

También la altura tonal está estrechamente relacionada con el tiempo. En este caso, los filamentos de la membrana reaccionan al tiempo y fase que coinciden con la fundamental. El oído está acostumbrado a dichos patrones y los utilizará en conjunto con aquellos de la localización para poder determinar la altura tonal adecuada. A muy bajas frecuencias, la localización de máxima vibración no se mueve con la frecuencia, aún así, la sensación de altura tonal sigue presente ya que se sigue utilizando la activación de los nervios basilares.

Biológicamente hablando, a medida que la frecuencia fundamental se eleva, se hará más difícil obtener un patrón completo de armónicos, ya que la mayoría caen fuera del rango de audibilidad. La habilidad para detectar la altura tonal es afectada y requiere de más tiempo para operar.

En la figura, se muestra la cantidad de ciclos de excitación necesarios para determinar la altura tonal en función de la frecuencia. Se ve además que el desempeño del oído comienza a fallar cerca de los 5 kHz debido a los pocos armónicos audibles que quedan. También falla la detección de fase alrededor de este punto. Es

interesante notar que los instrumentos musicales evolucionaron de acuerdo a esto, ya que la mayoría de los instrumentos concluyen las frecuencias fundamentales de sus tonos más altos debajo de los 5kHz.¹⁰

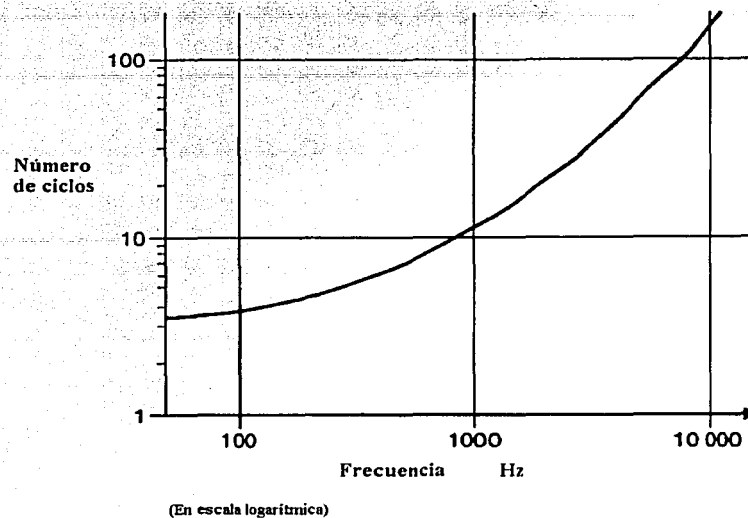


Fig. 1-10

1.3.4.2 Timbre y espectro

Una medida física, medible con equipo, es el *espectro*. Éste se mide con analizadores con un porcentaje constante de ancho de banda (por ejemplo: de 1 Octava, 1/3 de octava) o con un ancho de banda constante. El *timbre* en cambio, es otra medida subjetiva que debe diferenciarse muy bien del término *espectro*. La sonoridad de los sonidos difiere de *nivel* y varía con la frecuencia. La percepción de *altura tonal* de la fundamental y armónicos o partes de la música cambian también con la frecuencia. La manera en la que un sonido se *escucha* –su *timbre*– está relacionado a su espectro sólo a través de una interrelación muy compleja con los factores arriba mencionados. El timbre de un sonido en una sala de conciertos incluso varía con respecto a la posición donde el escucha se encuentre, porque el aire absorbe algunas frecuencias de manera distinta a otras y por el efecto que ocasionan las superficies del recinto. Se trata quizá de uno de los atributos más complejos del sonido, algunos le consideran como la *riqueza* de un sonido producido.

También se le puede ver como un aspecto del sonido o una calidad específica que lo hace distinguible de otros sonidos de mismo volumen y altura tonal.

El timbre hace que los instrumentos suenen distintos entre sí aún cuando estén reproduciendo las mismas notas musicales.¹¹

1.3.5 Localización del sonido

Se trata de un fenómeno biológico que ocurre en todo ser viviente que cuente con dos orificios que llevan al oído, y mejor aún que cuenten con orejas, y además que exista una *distancia* relativa entre sí.

El humano puede determinar con bastante precisión de dónde proviene un sonido. El tener un par de oídos genera una serie de mecanismos.

¹⁰ WATKINSON, JOHN, "The Art of Sound Reproduction" Pág. 90

¹¹ CEDIA CD, Audio Systems, Acoustic Terms

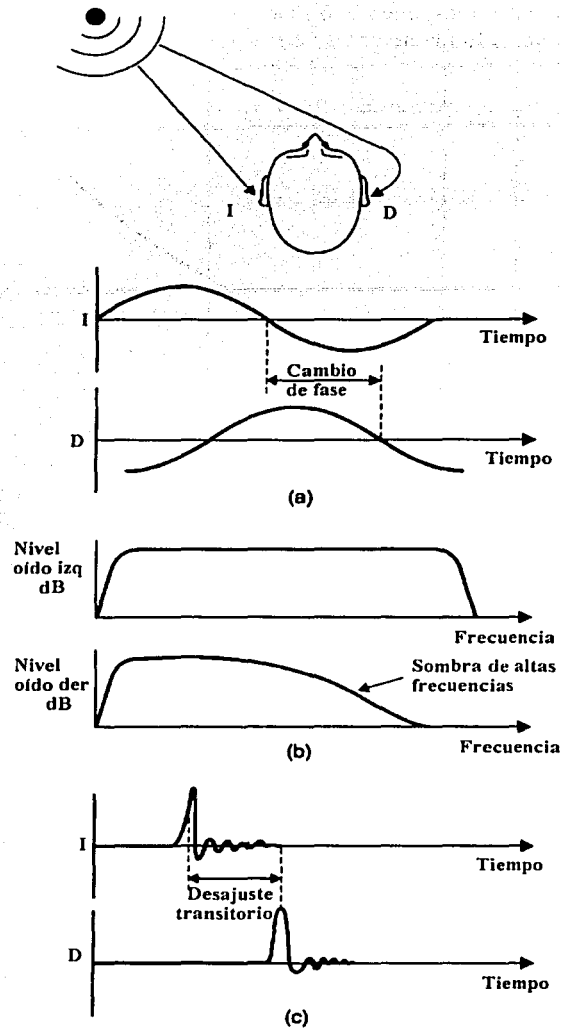


Fig. 1-11

En (a) el desfase será aparente entre dos versiones de un tono percibido por los dos oídos a menos que este tono se encuentre alineado exactamente frente a nosotros o detrás.

En (b) el oído distante recibe un "sombreado" de la cabeza resultando de una respuesta reducida comparada con el oído más cercano a la fuente.

En (c) un sonido transitorio llega ligeramente más tarde al oído lejano.

El efecto de desfase varía en función de la frecuencia. A frecuencias bajas, como por ejemplo 30Hz (longitud de onda de aprox. 11.5 m), la distancia entre orejas de aproximadamente 20cms tendrá un desfase de apenas 6° y esto demuestra que este mecanismo es débil a frecuencias bajas, en cambio para altas frecuencias como 10kHz este desfase crea confusión, debido a que la distancia entre las orejas es de

varias longitudes de onda de esta frecuencia. Los tonos puros son bastante difíciles de localizar, ya que pueden crear ondas estacionarias en el recinto donde estemos escuchando, provocando falsas impresiones de localización de sonido. Este mecanismo está restringido a frecuencias de longitud mediana para dar un cambio razonable de desfaseamiento, en experimentos se ha visto que la frecuencia límite es de 1500Hz.¹²

El mecanismo de "ensombrecimiento" está ligado al *número de onda* sugiriendo que a frecuencias bajas y medias el sonido va a ser difractado¹³ alrededor de la cabeza y no existirá diferencia significativa en el nivel entre ambos oídos. Sólo a frecuencias altas es que el sonido es suficientemente direccional para que la cabeza "ensombrezca" al oído distante, esto se conoce como *diferencia de intensidad interaural*. A muy altas frecuencias la forma de la pinna (parte exterior del oído como se describió inicialmente) debe tener algún efecto en el sonido en función de la dirección. Se piensa que la pinna permite cierta discriminación en todos los ejes con respecto al canal auditivo.¹⁴

Por fortuna, los sonidos que escuchamos cotidianamente tienen un cierto timbre y un ancho de banda amplio, en especial aquellos que indican peligro, y tampoco son exclusivamente tonos puros. Los sonidos transitorios, de amplio ancho de banda y con timbre difieren de los tonos puros en que éstos contienen distintas frecuencias. La ventaja de este tipo de sonidos es que, debido a su forma de onda aperiódica, no puede haber ambigüedad en el retraso de señal interaural entre dos versiones, además de ser más fáciles de localizar.¹⁵ El cambio de posición de la fuente sonora en 1° con respecto a la original, produce un retraso de señal interaural cercano a los 10µs; incluso el menor detectable se encuentra en 6µs.¹⁶

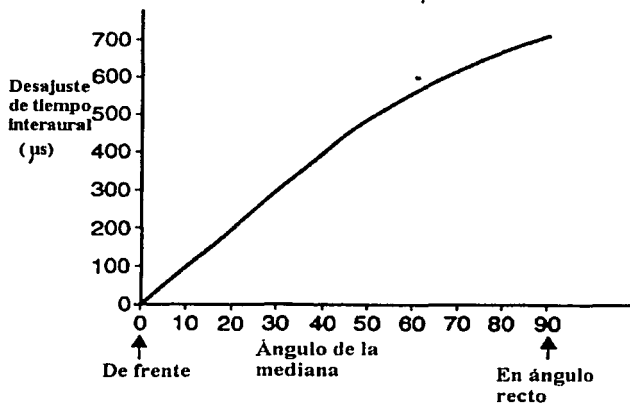


Fig. 1-12

1.4 El habla

Los órganos que constituyen el denominado tracto vocal son: pulmones, laringe, faringe, cavidad nasal y cavidad bucal.

El flujo de aire impulsado por los pulmones pasa por la laringe. La cavidad de la laringe está dividida en dos partes por dos pliegues de mucosa que van de adelante hacia atrás sin que se encuentren en la línea media, por lo que dejan una fisura alargada llamada *glotis*. Las cuerdas vocales se componen de ligamentos elásticos y fibrosos, situados en la mucosa de los bordes de la apertura glótica. Dicho aire provoca un movimiento rápido de apertura y cierre de las cuerdas (vibración) produciéndose una modulación del flujo de aire.

¹² WATKINSON, JOHN "The Art of Sound Reproduction", Pág.. 196

¹³ ver *difracción* más adelante

¹⁴ cfr. EVEREST, F. ALTON "The Master Handbook of Acoustics", Pág.. 51

¹⁵ WATKINSON, JOHN "The Art of Sound Reproduction", Pág.. 197

¹⁶ *ibid*

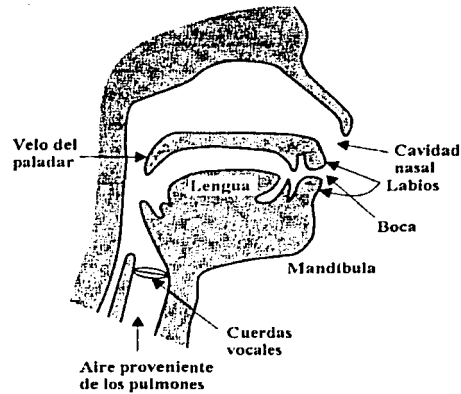


Fig. 1-13

La duración de un ciclo completo de apertura y cierre es de aproximadamente 8 milisegundos. Es el denominado pulso glotal. En dicho intervalo la velocidad volumétrica del aire pasa de un valor máximo, *máxima elongación de las cuerdas vocales*, a un valor nulo, *cuerdas vocales en posición de equilibrio*.¹⁷

En consecuencia, el espectro frecuencial de la señal generada presenta una máxima contribución a la frecuencia fundamental de 125Hz y un conjunto de armónicos situados a frecuencias múltiplos de ésta.

A estos armónicos, de comportamiento cambiante, se conocen con el nombre de *formantes*.

El espectro resulta alterado como consecuencia de la faringe, la cavidad nasal y la bucal, éstos actúan como cavidades resonantes. Esto da como consecuencia la voz característica de cada persona.

Es debido a estas modificaciones y al diseño físico de cada ser humano que el habla tendrá, una frecuencia fundamental promedio cercana a los 100Hz para los hombres y 200Hz para las mujeres. Aunque puede llegar a haber casos con un rango inferior a los 100Hz o superiores hasta 400Hz.

Los *formantes* crean los variados sonidos vocales y las transiciones entre ellos.

Estos sonidos se denominan de tipo sonoro. A este espectro pertenecen todas las vocales y aquellas consonantes que se generan con las cuerdas vocales (/b/, /d/, /g/, etc)

Los sonidos sordos se generan con una constricción del aire que atraviesa la cavidad bucal sin vibración alguna de las cuerdas vocales. Son impulsivos y/o ruidosos, y tienen lugar en el rango de los 2kHz a los 9kHz. Entre ellos se encuentran la mayoría de las consonantes (/t/, /p/, /f/, /s/, etc)

La potencia sonora del habla es llevada por las vocales y emplean un tiempo mayor en su emisión que las consonantes. El rango para las vocales es de 30 a 300 ms con un promedio de 90ms. En el caso de las consonantes es de 10 a 100ms de duración y el promedio es de 20ms.

El hecho de que la duración de las vocales sea más elevada hace que el nivel de presión sonora asociado a las mismas sea en promedio del orden de 12dB mayor que el correspondiente a las consonantes. La potencia de la señal hablada varía como un todo, y la potencia de los rangos de frecuencia individuales varía con respecto a los otros según cambian los "formantes".¹⁸

Por otro lado, el grado de inteligibilidad de la palabra está estrechamente relacionado con la correcta percepción de las altas frecuencias. En consecuencia, son las consonantes las que determinan la comprensión del mensaje oral. En cambio, la información vocal es redundante.

¹⁷ MILLER, MARJORIE A., et. al. "Manual de Anatomía y Fisiología" Pág. 497

¹⁸ CARRIÓN ISBERT, ANTONI "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos" Pág.. 45

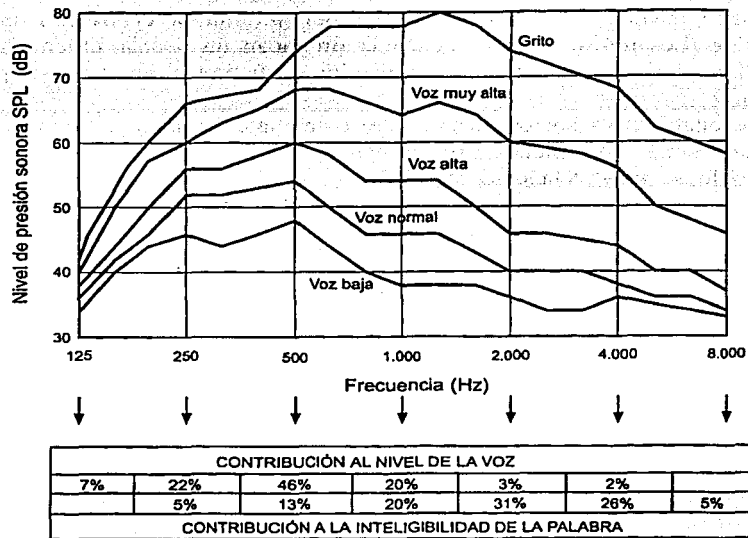


Fig. 1-14

Muchas veces estamos platicando con alguien cerca de una calle poco transitada, y la comunicación es clara y se entiende. Al paso de un auto cerca de nosotros, lo que una persona le está diciendo a la otra tiende a *enmascararse* con el ruido del vehículo. ¿Qué es lo que está ocurriendo entonces?

1.4.1 Comprensión de la habla o Inteligibilidad

Antes que nada, hay que entender que en nuestra percepción existen diferencias entre la música y la palabra. El cerebro es "capaz" de completar una buena porción de la información perdida cuando escuchamos música, pues hay un alto grado de redundancia, ya sea en compases, ritmo, tono, etc. En cambio, el lenguaje hablado es muy rico en información que cambia continuamente y existe menos redundancia que en la música. Basta con que un pequeño porcentaje de la información se pierda o distorsione, para que al cerebro le resulte difícil descifrar el mensaje.

El desafío de un escucha ante el sonido hablado es dividir los sonidos en unidades de lenguaje significativas. Los intervalos en el sonido no necesariamente corresponden a divisiones de palabras o de sílabas. Los sonidos del habla tampoco son eventos discontinuos, por lo general se combinan y se superponen en el tiempo, y la articulación de un fonema dado difiere según el contexto y el orador.

La disminución de la inteligibilidad está asociada con una pérdida de información que se ha codificado en una cantidad bastante alta de elementos interactuantes, y muchos factores influyen en ella. Los factores como el ruido, la duración y el contenido espectral ciertamente afectan la percepción del habla. **Tanto la dirección desde donde el oyente percibe la fuente**, y la dirección del ruido que la interfiere, pueden alterar el grado del enmascaramiento.

La inteligibilidad también se ve afectada por lo predecible del mensaje, por la articulación del orador y por la agudeza auditiva del oyente.

1.4.1.1 Enmascaramiento

La reacción de los filamentos en la membrana basilar del oído interno ocurre en respuesta a un pico para cada frecuencia escuchable. Los tonos de alta frecuencia producen un desplazamiento máximo en la zona próxima a la ventana oval y, a medida que la frecuencia disminuye, dicho máximo se ve desplazado hacia puntos más alejados de la misma.

Por otro lado, la excitación es asimétrica ya que presenta una cola que se extiende hacia la ventana oval, mientras que por el otro lado sufre una atenuación repentina.

A manera de ejemplo, se muestra la siguiente gráfica:

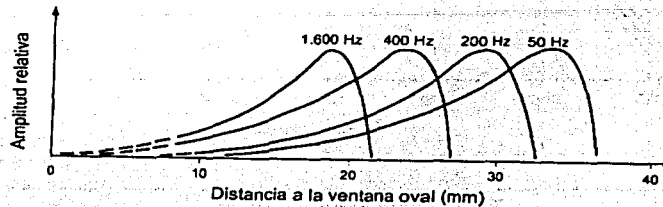


Fig. 1-15

La consecuencia de tal asimetría ocasiona que un tono de baja frecuencia *enmascare* uno de frecuencia mayor, y cuanto mayor sea su nivel de presión sonora, más larga será su cola y con ello el enmascaramiento será mayor.

A continuación se ve la respuesta de la membrana basilar a diferentes combinaciones de tonos puros.

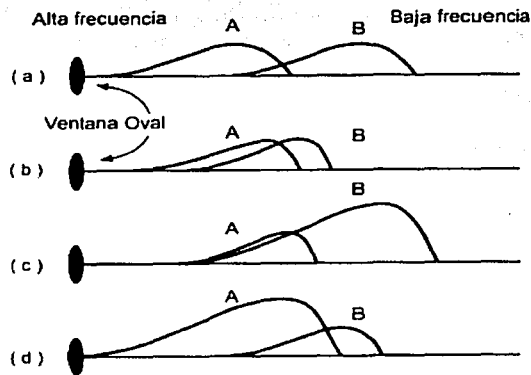


Fig. 1-16

Aún así, nuestro cerebro tiene una cierta capacidad de aislamiento de sonidos. Este puede enfocar toda su atención a la emisión de una fuente sonora específica, descartando los sonidos ajenos a ella. Tal es el caso de una conversación en un restaurante o en una calle con tránsito. Sin embargo, ello no garantiza que parte del mensaje sea difícil de comprender.

1.5 Características físicas del sonido

La energía radiada por una fuente sonora en un recinto cerrado llega a un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo de dos formas diferentes: Una parte de la energía le llega de forma directa, mientras que la otra parte lo hace de forma indirecta —sonido reflejado— al ir asociada a las sucesivas reflexiones que sufre la onda sonora cuando incide sobre diversas superficies del sitio.

¿Cómo es que se comporta el sonido entonces: es cómo una onda o cómo un rayo? ¿Cómo es que se refleja en una superficie?

Así como la luz se puede analizar como paquetes de energía —cuantos— o como rayos, de igual manera, el sonido se puede analizar con dos tipos de comportamiento: se puede ver como frente de onda o se puede ver como rayo. En ambos casos, las ondas de sonido siguen teniendo una frecuencia determinada, simplemente esta forma de estudiarlas permite una visualización más clara de su interacción con el medio que las rodea.

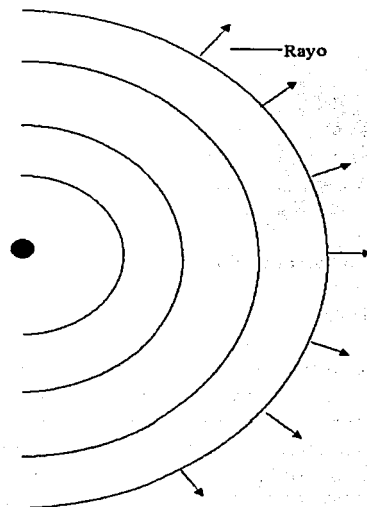
1.5.1 Frentes de onda y rayos

Todos alguna vez hemos tirado una piedra a una superficie de agua y hemos visto cómo, desde el punto en que ha caído la roca, se generan ondas desde dicho centro hacia fuera y a mayor distancia, menor intensidad en la onda. Similarmente el sonido reacciona de esa forma y se le conoce formalmente como un frente de onda.

Un *frente de onda* se define como una línea de puntos en el medio en que se propagan y que se encuentran en el mismo punto dentro del ciclo de vibración, es decir, *en fase*. Esto significa que todos los puntos de un frente de onda se encuentran equidistantes a la fuente. Las ondas emitidas de una fuente puntual producen frentes de onda esféricos. A distancias relativamente lejanas de la fuente los frentes de onda tenderán a formar líneas, en otras palabras, frentes de onda *planos*.

Y este tipo de frentes son los más importantes para el análisis acústico.

Un *rayo* de sonido es el camino que persigue un frente de onda y siempre es perpendicular al frente de onda.



A. Frentes de onda esféricos desde el punto fuente



B. Frentes de onda planos de una fuente distante

Fig. 1-17

1.5.2 Reflexión del sonido

Si hemos tirado la roca cerca de la orilla notaremos cómo sus ondas, al pegar con la orilla, “regresan”. Si la orilla es “recta” como la de una alberca, las ondas regresarán en el mismo sentido en el que vinieron.

Una onda mecánica literalmente es reflejada a su encuentro con la “línea” entre el medio que lleva la onda y otro medio con propiedades dinámicas distintas.

Un rayo de sonido sufrirá reflexión cuando toca una superficie sólida y suave con dimensiones mayores a su longitud de onda. De la misma forma en la que ocurre con la luz, el ángulo de reflexión del rayo de sonido será igual al ángulo de incidencia con el que tocó la superficie.

Una superficie convexa dispersa los rayos de sonido. La superficie cóncava en cambio, tiende a concentrar el sonido. Y una superficie parabólica lo hace además acertadamente. **Este último tipo de formas en la arquitectura de un auditorio puede crear graves problemas acústicos.**

Las reflexiones normales a una superficie plana son muy fáciles de detectar, incluso intuitivamente. Sin embargo, las reflexiones en las esquinas tienen un comportamiento un tanto más complejo.

Se puede ver de la figura 1-18 D. que, de los rayos que representan al sonido, el incidente en una esquina de dos paredes a 90° , se refleja directamente a su origen. No importa cuál sea la fuente de sonido, siempre se reflejará la onda a su fuente en este tipo de esquinas. Esto también es cierto para esquinas de paredes y techo o paredes y piso. Por fortuna, este tipo de reflexiones incluye dos o tres rebotes en superficies que reducen su amplitud.

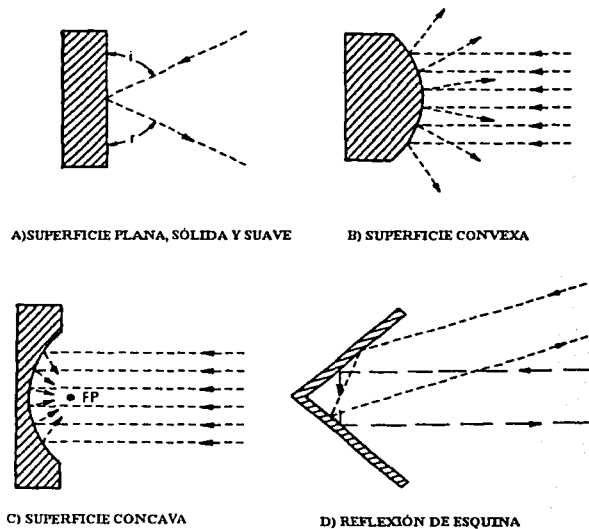


Fig. 1-18

1.5.3 Dispersión

La dispersión es una particularidad de las reflexiones, en especial de las superficies convexas. Las formas de onda del sonido incidente son fragmentadas. Los obstáculos que son mucho más pequeños que la longitud de onda de un sonido, lo dispersan en todas direcciones y con poca amplitud, a menos que dichos obstáculos tengan capacidad de resonancia. Dicho en otras palabras, la dispersión es una reflexión en la cual una porción del flujo de la energía del sonido incidente es redistribuida en varias direcciones.

1.5.4 Refracción

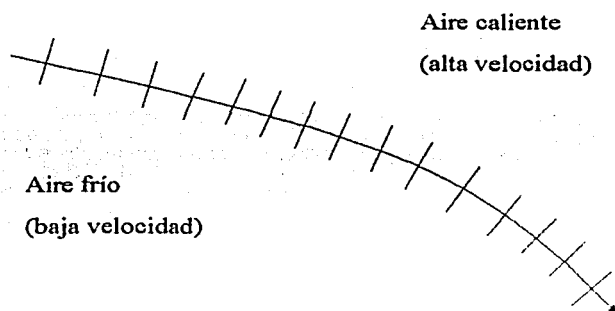
Esta es una característica relacionada con la velocidad del sonido según el medio en el que se propaga.

MEDIO	VELOCIDAD (m/s)
Aire 21°C	344
Agua fresca	1480
Agua salada a 21°C con 3.5% de salinidad	1520
Plexiglass	1800
Madera suave	3350
Madera dura	3800
Concreto	3400
Acero templado	5050
Aluminio	5150
Vidrio	5200
Tabla roca	6800

Tabla 1-3

Si un rayo de sonido se encuentra en un medio de densidad d y pasa a uno de menor densidad, el rayo viajará más lento porque la velocidad del sonido es proporcional a la densidad. La longitud de onda será menor porque ésta es proporcional a la velocidad del sonido. Si el rayo de sonido regresa al medio de densidad d entonces retomará su dirección original.

La velocidad del sonido en el aire aumenta con la temperatura. La condición más común durante el día, es aquella en la que la temperatura del aire a nivel del suelo, disminuye con la altura y “dobla” la dirección de propagación “hacia arriba”. Este es un ejemplo de una transición gradual. Desde la superficie de la tierra, parece ser que el sonido no viaja tan lejos porque su energía es dirigida hacia arriba. Durante el día, el sol causa que la capa superior de aire tenga mayor temperatura que la inferior, dando la impresión de que el sonido viaja más rápido durante la tarde o la noche. El aire caliente en la parte superior de un auditorio tendería a hacer que los rayos de sonido “bajen” hacia la audiencia, sin embargo el efecto es prácticamente despreciable para distancias cortas, a menos que la diferencia en temperaturas fuera realmente alta.

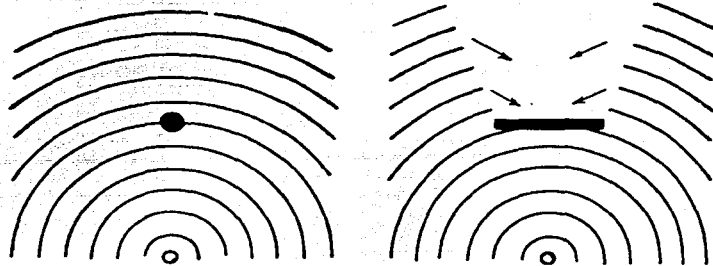


Transiciones graduales en la densidad del medio *doblan* el trayecto de la onda plana

Fig. 1-19

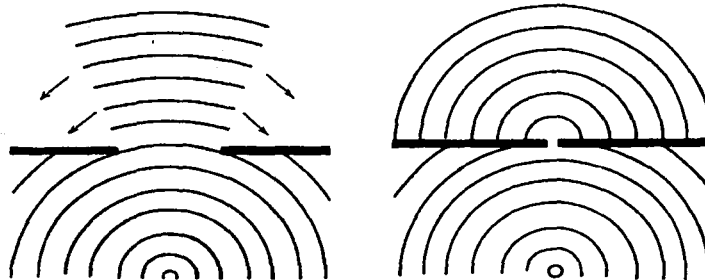
1.5.5 Difracción

La difracción es el efecto creado por la presencia de uno obstáculo —o más— al movimiento de la onda, que deforman el frente de onda a su paso. El fenómeno es ocasionado por *extraer* una porción del frente de onda incidente. Su efecto además, está íntimamente relacionado con la longitud de la onda.



A) SONIDO CON UNA LONGITUD DE ONDA LARGA COMPARADA CON EL TAMAÑO DEL OBSTÁCULO, EL CUAL PRÁCTICAMENTE NO LE AFECTA AL SONIDO

B) UN OBSTÁCULO COMPARATIVAMENTE LARGO EN TÉRMINOS DE LA LONGITUD DE ONDA DEL SONIDO PROVOCA UNA SOMBRA DE ESTE ÚLTIMO. LA DIFRACCIÓN ENVIARÁ UN POCO DE SONIDO HACIA EL ÁREA ENSOMBRECEDA



C) UNA APERTURA LARGA COMPARADA CON LA LONGITUD DE ONDA DEL SONIDO PERMITE EL PASO DEL SONIDO COMO SI LAS PAREDES NO EXISTIESEN. UNA VEZ MÁS LA DIFRACCIÓN ENVÍA SONIDO A LAS ZONAS ENSOMBRECEADAS.

D) UNA APERTURA PEQUEÑA EN COMPARACIÓN CON LA LONGITUD DE ONDA DE LA SEÑAL ACTÚA COMO UNA NUEVA FUENTE PUNTUAL IRRADIANDO EN FORMA DE FRENTES DE ONDA POR EL PRINCIPIO DE DIFRACCIÓN

Fig. 1-20

Este efecto es cualitativamente comprensible por el principio de Huygens. Este enuncia que, cada punto en un frente de onda se comporta como si fuese un centro de disturbio, enviando pequeños frentes de onda de sí mismo.

La difracción que ocurre alrededor de nuestras cabezas afecta el modo en que escuchamos los sonidos. Afecta la respuesta direccional de los micrófonos y ocurre en los bordes de los altavoces. Se trata de un fenómeno muy presente en la vida cotidiana.

1.5.6 Superposición e interferencia

El principio de superposición dice que la misma proporción de un medio puede transmitir simultáneamente cualquier número diferente de ondas de sonido sin que existan efectos mutuos adversos. Si varias ondas sonoras viajan simultáneamente por una región de aire, las partículas de dicha región responderán a la suma vectorial de los desplazamientos requeridos para cada sistema de onda.¹⁹

El proceso de interferencia que resulta de la superposición lineal de disturbios de onda subraya muchos problemas acústicos. La superposición se aplica a cualquier campo de sonido lineal, ya sea continuo o transitorio, generado por fuentes compactas y discretas —como en el caso de pequeñas chispas, o por fuentes de sonido complejas tales como máquinas vibratorias, o por el campo creado de sonido directo y reflejado. La interferencia ocurre incluso si las fuentes son aleatorias en el tiempo y amplias en frecuencia, sin embargo ésta se hace evidente sólo cuando el campo sonoro es analizado en varias frecuencias. Patrones de interferencia espacial estable de campos sonoros de más de una fuente son observados únicamente en casos donde las fuentes contribuyentes son coherentes o relacionadas en fase, como el caso de los altavoces.

Los fenómenos de interferencia constructiva (aditiva) y destructiva (substractiva) ocurren en casos donde existen varias fuentes discretas y estables o regiones con una fuente extendida estable que operan con una frecuencia común y una relación de fase igual.

En otras palabras esta es una característica que puede ocurrir en la colocación y orientación de altavoces, como se verá en el capítulo 4.

Lo que estos fenómenos harán, es crear patrones estables en el espacio pero con amplitudes de presión sonora altos y bajos.

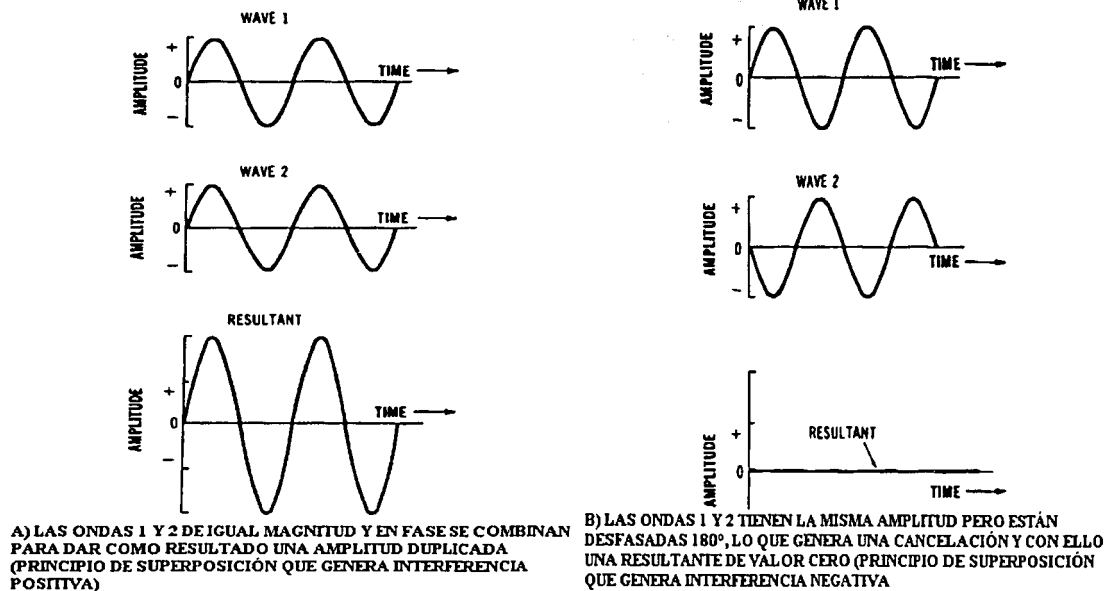


Fig. 1.21

¹⁹ FAHY, FRANK "Foundations of Engineering Acoustics" Pág. 12

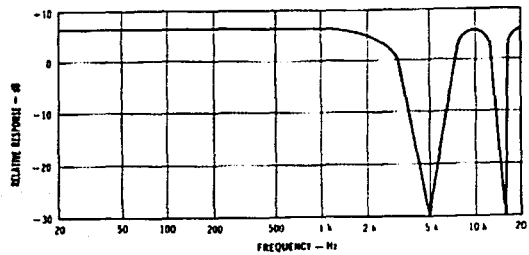
1.5.7 Filtros acústicos de "peine" (Comb filtering)

Cuando dos ondas de distinta amplitud, frecuencia y fase se combinan, el resultado es más complejo pero se conserva el principio de superposición.

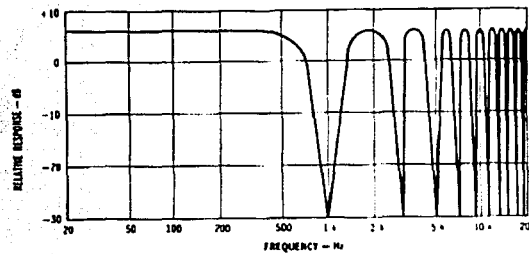
En la figura anterior se combinaron señales idénticas con diferencia de tiempo (retraso de fase). Si ambas ondas son idénticas pero realmente complejas, como pueden ser la voz o la música, se deben tomar en consideración los efectos del desajuste de tiempo de señal en el espectro audible.

Cuando se suman dos señales idénticas separadas por un desajuste de tiempo de fase, la amplitud de la suma dependerá de éste. Si el retraso de tiempo es $\phi=0$, las dos señales están en fase. Sumar las dos señales de amplitud A dará como resultado 2A en amplitud. Si dos ondas con amplitud A se suman con un retraso de 180° (o π radianes) fuera de fase, se cancelarán mutuamente y la amplitud resultante será 0.

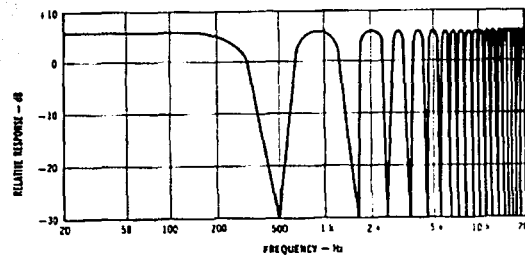
A frecuencias que lleven ambas señales en fase, la amplitud se duplica (+6dB), cuando están a 180° , se cancelan resultando un nodo profundo (-∞dB).



A) Respuesta para un desajuste de 0.1ms



B) Respuesta para un desajuste de 0.5ms



C) Respuesta para un desajuste de 1.0ms

Fig. 1-22

Las imágenes mostradas se pueden considerar para cualquier señal simple o compleja que se combina consigo misma y con una cierta cantidad de desajuste de tiempo. Para un desajuste de tiempo de 0.1ms habrá nodos nulos

a 5kHz y 15kHz. A dichas frecuencias, este desajuste de tiempo coloca las señales alineada y desajustada, en oposición de fase y ocurrirá un nodo nulo. Entre ellos, habrá señales en fase y con una amplitud duplicada. Ocurrirán más nulos en desajustes de tiempo de señal de 0.5 ms y de 1.0 ms.

A partir de esto se puede generalizar que:

- El espacio entre crestas y nulos siempre será $(1/t)$ Hz.
- El nulo de menor frecuencia será $(1/2t)$ Hz.
- Los nulos ocurrirán cuando la velocidad del sonido c en pies iguales a $c/2, 3 c/2, 5 c/2$, etc. (donde c es la velocidad del sonido)
- Para señales con desajustes de tiempo largos, la distancia entre crestas será pequeña.
- Pequeños desajustes darán como resultado un espaciamiento entre crestas.

¿Y cómo ocurren estos desajustes?

Se trata de reflexiones, interacción entre bocinas, interacción entre micrófonos e interacción entre la señal directa y el micrófono.

Todas las características físicas del sonido son efectos que pueden ocurrir en recintos cerrados y son la base para la comprensión del eco y la reverberación.

1.6 El efecto de las reflexiones: Eco y reverberación

Un recinto cerrado está formado por varias superficies y en ciertas ocasiones de dimensiones irregulares. Estos factores afectarán de un modo u otro al sonido, dando origen a reflexiones, difracciones, refracciones y superposiciones.

Cuando una superficie refleja un sonido que proviene de su fuente original, y éste contiene la suficiente energía para llegar a una superficie opuesta al ángulo con el que fue reflejado el rayo, se crearán primeras reflexiones.

Se denominan primeras reflexiones a aquellas en las que el rayo sonoro ha incidido con un orden bajo -3 o menos veces- sobre las diferentes superficies antes de llegar al receptor. Se dice que una reflexión es del orden "n" cuando el rayo sonoro asociado ha incidido "n" veces sobre las diferentes superficies del recinto antes de llegar al receptor.²⁰ Las reflexiones tardías, o aquellas de orden mayor a 3, darán forma a una *cola reverberante*

Se suele establecer, para fines prácticos, un límite temporal de 100ms para las primeras reflexiones desde la llegada del sonido directo al receptor. Aunque en realidad, este valor varía de caso en caso en función de la forma y el volumen del recinto.

Por lo general las primeras reflexiones presentan un nivel energético mayor que las de la cola reverberante por ser de un orden más bajo. Y como dependen directamente de las formas geométricas de la sala, son específicas para cada punto y, junto con el sonido directo éstas serán las que determinen las características acústicas propias de la misma.

Todas aquellas reflexiones que llegan al receptor dentro de los primeros 50ms desde la llegada del sonido directo son integradas por el oído humano y su percepción no es diferenciada de este último.

Cuando se trata de un mensaje oral, contribuyen incluso a mejorar la inteligibilidad del mensaje y producen un aumento de sensación de amplitud del sonido.

En cambio, cuando al oyente arriba un sonido con un tiempo superior a los 50ms es contraproducente a la obtención de una buena inteligibilidad de la palabra, porque se escucha como la repetición del sonido directo. Este tipo de reflexión se conoce como *eco*.

A continuación se observa una gráfica que muestra las cuatro zonas características que determinan sonido retardado e inteligibilidad de la palabra.

²⁰ CARRIÓN ISBERT, ANTONI "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos", Pág.. 49

En el eje de las abscisas se indica el retardo temporal entre la reflexión y el sonido directo, y en el de las ordenadas la diferencia de niveles entre ambos sonidos. La curva de separación entre zonas es aproximada.²¹

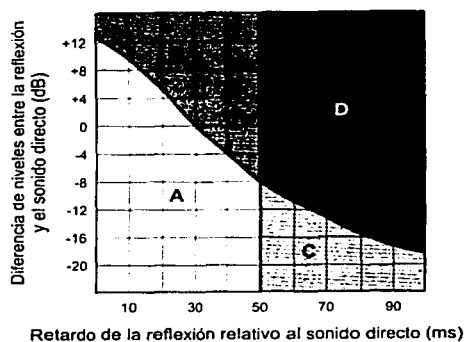


Fig. 1-23

Zona A

La reflexión llega antes de los 50ms: El oído integra la reflexión y se produce un aumento de inteligibilidad y sonoridad.

Zona B

La reflexión llega antes de los 50ms con un nivel relativo más elevado: El oído integra la reflexión, pero se produce un desplazamiento en la localización de la fuente generadora del sonido directo hacia la superficie generadora de la reflexión —en inglés esto se conoce como “image shift”.

Zona C:

La reflexión llega después de los 50ms: La reflexión no es perjudicial para la inteligibilidad debido a que su nivel relativo es suficientemente bajo.

Zona D:

La reflexión llega después de los 50ms, con un nivel relativo más elevado: La reflexión es percibida como un eco y se produce una pérdida de inteligibilidad.

1.6.1 Eco flotante

Ante la existencia de dos paredes paralelas, muy reflectantes y lisas, se percibe el eco flotante —flutter echo, en inglés—. Consiste en una repetición múltiple, en un breve intervalo de tiempo, que proviene de un sonido generado por la fuente sonora.

Este efecto está en función de la distancia entre las paredes y la longitud de onda de la frecuencia que rebota, llegando a crear picos y valles de zona en zona entre las paredes. Queda claro además que, a mayor frecuencia, menor longitud de onda y menor posibilidad de que esto ocurra. Sin embargo, a medida que la distancia disminuye entre paredes, mayor será el rango que las frecuencias bajas producirán el fenómeno para dar origen a la *coloración* del sonido dentro de la sala. Este efecto también está ligado a la existencia de ondas estacionarias y los modos naturales de vibración del recinto. Y no están limitados por determinadas características geométricas del espacio.

²¹ Ibid Pág.. 53-55



Fig. 1-25

1.6.2 Transmisión y absorción

En la práctica, pocos son los materiales que reflejan el sonido de manera “perfecta”. En la figura 1-26 se ve que parte del sonido es reflejado, otro tanto transmitido y el resto es absorbido. Las proporciones de cada una de estas características variará generalmente con la frecuencia en función con las características del tipo de material. Los materiales porosos son efectivos absorbentes del sonido. El aire en movimiento pierde velocidad por la fricción a lo largo de las fibras. Entre este tipo de materiales se encuentran la alfombra, tela, madera, hule espuma, fibra de vidrio, etc.; siendo las altas frecuencias por lo general, las más afectadas. A bajas frecuencias, grandes paneles se pueden mover con el sonido y disipar la energía en amortiguamiento interno. Los materiales nulos en porosidad pueden reflejar o transmitir, de acuerdo a su masa. Materiales delgados y duros, como el vidrio, reflejan las altas frecuencias y permiten el paso de las bajas. Y para prevenir la transmisión de bajas frecuencias no existe nada mejor que los muros de mampostería.

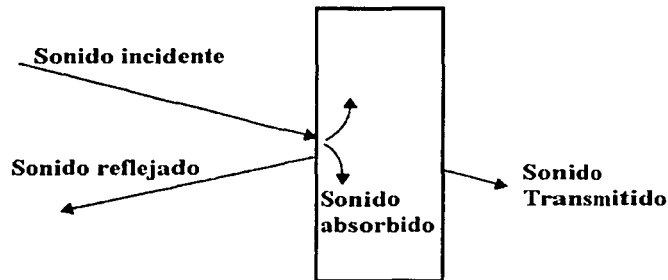


Fig. 1-25

Para un punto cualquiera de un recinto, la energía que corresponde al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende del camino que el rayo sonoro haya recorrido, así como el grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos en las superficies de la sala. Cuanto mayor sea la distancia recorrida y más absorbentes sean los materiales utilizados, menor será la energía asociada tanto al sonido directo como a las sucesivas reflexiones.

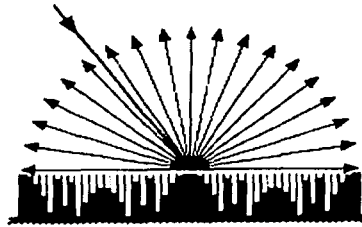
1.6.3 Difusores

Ya que la reflexión no puede y no debe ser eliminada, estudios de grabación, salas de escucha y salas de conciertos deben ser diseñadas de modo que las resonancias ocurran tan juntas una a la otra que ni una de ellas parezca dominante. Independientemente de contar con un recinto de proporciones irregulares, esta meta se puede alcanzar con el uso de *difusores*, que son reflectores de formas irregulares.

Si tenemos una pared, de material reflectante, escalonada en dos planos, a ciertas longitudes de onda habrá interferencia destructiva entre el sonido reflejado de la cara superior y el sonido reflejado de la inferior. De

modo que el sonido no podrá reflejarse por el mismo camino por el que vino, consecuentemente se difractará en cualquier sentido donde la interferencia constructiva pueda ocurrir.

Un difusor hecho con varios escalones de diversas dimensiones reflejará el sonido de manera compleja. Prevendrá la existencia de eco flotante —sin crear un efecto anecoico, que podría ser ocasionado por colocar sobre las superficies únicamente material absorbente.



Difusor
Fig. 1-26

1.6.4 Sonido directo y sonido reflejado

Casi todo parámetro en música y acústica se ve influenciado por la relación entre los campos de sonido directo y sonido reflejado (este último creará un *campo reverberante*). El campo reverberante es creado exclusivamente por la arquitectura de la sala y el patrón de los asientos en ella. El sonido directo no se ve influenciado por la arquitectura, aunque sí se ve influenciado por su interacción con el público. La sonoridad percibida del sonido directo, resulta en parte debido a la arquitectura del espacio. En sitios de amplias dimensiones, las frecuencias altas tanto del sonido directo como del reflejado se verán afectadas por la temperatura y la humedad.

El sonido reflejado resulta necesario en salas de conciertos para amplificar de manera natural el sonido de los instrumentos y añadir riqueza o *reverberación* a éste.

1.6.5 Reverberación

En una época se llegó a pensar que la reverberación era la característica más importante de un espacio cerrado para música o voz. Ha disminuido en importancia debido a la influencia de investigaciones muy importantes en materia de acústica. De hecho, representa tan sólo una de las características a medir en una sala.

La reverberación inicia con unas cuantas reflexiones que se incrementan rápidamente en cantidad hasta que la densidad es tan alta que el campo reverberante en el recinto se vuelve completamente homogéneo.

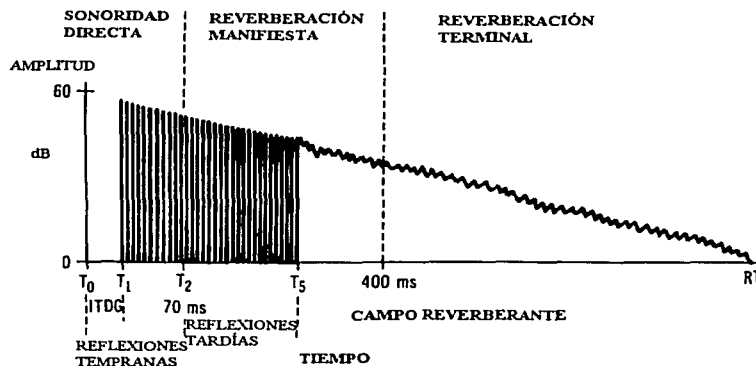


Fig. 1-27

En esta figura, el eje horizontal divide el evento en cuatro periodos que definen la reverberación.

1. El *espacio de retraso de tiempo inicial* (del inglés *initial time delay gap- ITDG*) es el tiempo que ocurre entre la llegada del sonido directo t_0 y la llegada de la primera reflexión t_1 .
2. Las primeras reflexiones que llegan entre t_1 y aproximadamente 70ms o t_2 .
3. Las reflexiones tardías que llegan entre 70ms y el inicio del campo reverberante uniforme t_5 .
4. El campo reverberante que decae en función del tiempo de reverberación del recinto.

La línea divisoria entre las reflexiones tardías y el campo reverberante uniforme es algo arbitraria. Cremer sugiere que t_5 se defina como el punto en el que el escucha no pueda distinguir un incremento en la densidad de reflexiones²². Ya que el límite del escucha promedio en la percepción de la presencia de una reflexión está en un intervalo de tiempo de 0.5ms, la máxima detección de densidad de reflexiones es cercana a 2000. Cremer demuestra que esta densidad se obtendrá en:

$$t_5 = \frac{\sqrt{V}}{3}$$

donde

V es el volumen en pies cúbicos

t_5 está en milisegundos

1.6.6 Tiempo de reverberación (RT_{60})

En una sala con paredes altamente reflectantes, el sonido continuará impactándose sobre las superficies después de cierto tiempo una vez que la fuente sonora haya cesado, es decir, el sonido pierde energía, toda vez que toca una superficie. El tiempo que toma para que el sonido decaiga 60dB es conocido como *tiempo de reverberación* de una sala.

El tiempo de reverberación, sea cual fuere su método de cálculo, está en función del volumen del recinto, el área de las superficies y el coeficiente de absorción de la superficie.

Está por demás decir que mientras más material absorbente se coloque, este tiempo disminuirá.

El concepto es de tipo estadístico y se basa en asumir que existe una distribución uniforme de energía en el recinto y una total aleatoriedad en la dirección del sonido propagado. Esto quizá sea cierto para salas de gran tamaño, pero no del todo correcto en un recinto reducido, ya que puede que dicha uniformidad no exista y más bien se tienda a una coloración del sonido, debido a frecuencias de tipo modal.

La ecuación simple de Sabine es $RT_{60} = 0.161(V/Sa)$

Donde

V es el volumen de la sala en m^3

S es la superficie total en m^2

a es el coeficiente promedio de absorción.

Debido a que las salas cuentan con diversas superficies de distintos materiales, será posible entonces tomar en cuenta Sa como la sumatoria de las distintas superficies con el coeficiente respectivo de absorción de cada una de ellas, es decir:

$$Sa = S_1a_1 + S_2a_2 + \dots + S_n a_n$$

El coeficiente de absorción a determina el grado de absorción de un material y se define como la relación entre la energía absorbida por dicho material y la energía incidente —es decir, la que se refleja.

²² "Handbook for Sound Engineers" Pág. 182

Existen tablas en las que se puede consultar el coeficiente de absorción de varios materiales determinado para octavas de 125Hz a 4kHz.²³

Aunque esta fórmula tiene otras variantes realizadas por otros investigadores, quedará como primera referencia.

1.6.7 El efecto del tiempo de reverberación en la comprensión de la palabra

Recordemos algo que se mencionó anteriormente acerca del habla: La duración de las vocales y su nivel de presión sonora son mayores que en el caso de las consonantes, además de ser más ricas en bajas frecuencias que las segundas, y que estas últimas presentan un mayor contenido de altas frecuencias.

En una sala con tiempo de reverberación alto, o lo que es lo mismo un recinto muy "vivo", sumado a que el decaimiento energético de una vocal emitida es más lento que el decaimiento propio —aquel que se genera en el espacio libre—, provocará un empalme de la consonante que le siga.

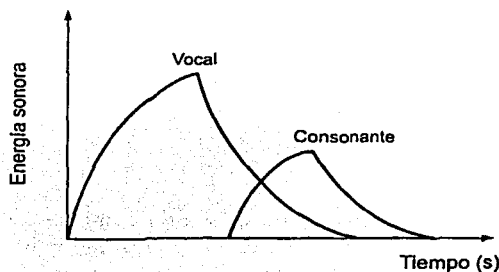


Fig. 1-28

El hecho de que la vocal y la consonante con sus niveles respectivos y características espectrales ocurran al mismo tiempo, son las causantes del enmascaramiento parcial o total de la consonante, producido por la vocal.

²⁴

Concluyendo, la relación entre el grado de la inteligibilidad y la correcta percepción de las consonantes por su importante contenido de frecuencias altas se ve evidentemente afectado por un exceso de reverberación que ocasiona un enmascaramiento, provocando una cierta pérdida de inteligibilidad en la sala.

1.7 La música

Es probable que no exista ser humano que niegue su gusto por algún tipo de ritmo o de música. Si somos realmente perceptivos, podemos apreciar el ritmo de las gotas de lluvia al caer, el ulular del viento al roce con los árboles, e incluso el repetitivo sonido de una máquina retroexcavadora —siempre y cuando se esté de buen humor y a buena distancia de esta—.

Apreciamos el trinar de los pájaros y no podemos negar tampoco cuánto nos gusta cantar en la regadera. Y luego está la música compuesta por instrumentos y por voces con sus diversos estilos, ritmos....

Las características del oído, especialmente el ancho de banda crítico²⁵, son las responsables de la forma en que la música ha evolucionado. Con sus raras excepciones, la música ha sido creada para ser agradable de

²³ Autores varios como Beranek, Kuttruff, Bies Hansen, Lawrence, etc

²⁴ CARRIÓN ISBERT, ANTONI "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos", Pág. 69

²⁵ "Handbook for Sound Engineers" Pág. 30

modo que la disonancia sea evitada. Se dice que dos tonos musicales que suenan bien juntos están en armonía o que son *consonantes*.

Los sonidos musicales son extremadamente variables en su complejidad y de un solo instrumento o voz pueden generar desde ondas sonoras de forma casi senoidal hasta el sonido mezclado más complejo de una orquesta sinfónica. Además, cada instrumento y cada voz tienen una textura tonal distinta para cada tono.

Un tono musical cubre un amplio espectro entre su fundamental y sus armónicas. Además de que se encuentran separados por más de una banda crítica del oído. Sin embargo, la existencia de armónicas superiores a la séptima, pueden percibirse como *disonantes* ya que se escucharán como frecuencias pertenecientes a la siguiente banda crítica del oído. La fabricación de instrumentos musicales ha evolucionado naturalmente, evitando la reproducción de armónicas superiores a la séptima.

1.7.1 Instrumentos de cuerda

Muchos instrumentos como el violín, la viola, el contrabajo, el cello, producen sus tonos de la vibración de cuerdas. Los sobretonos o armónicos generados en una cuerda estirada son múltiplos exactos de la fundamental es decir, el tono más grave producido.

Si la cuerda tiene un puente a la mitad, se le dará énfasis a las armónicas noes debido a que éstas y la fundamental tienen ahí su mayor amplitud. Al hacerlo de esta forma, las armónicas pares tenderán a ser débiles ya que ahí tienen nodos. Por lo general se coloca el puente cerca del final de las cuerdas, en especial a 1/7 de la distancia al final, y de este modo se elimina la disonancia de la séptima y subsecuentes armónicas, además de permitir un sonido rico en el resto de las armónicas de la cuerda.

En el caso del violín, un tono agudo tendrá un timbre “delgado” ya que sus sobretonos están espaciados ampliamente, en cambio, uno grave tendrá mayor riqueza porque sus armónicas tienen menor espacio entre sí. El contenido armónico y la forma del espectro del sonido producido, están en función de la forma, el tamaño, el estado de la madera e incluso de su acabado. La razón por la cual existen tan pocos violines tan exquisitos sobre la mayoría de los buenos es un problema que aún no se ha aclarado del todo.²⁶

1.7.2 Instrumentos de aliento

Esta clase de instrumentos utiliza un tubo que se comporta de manera resonante ante la excitación del aire a través de un borde de tono, una boquilla o por la colocación de los labios en cierta posición sobre la entrada de aire del instrumento. El comportamiento del órgano es similar, con la salvedad que su generación de sonidos proviene de efectos mecánicos.²⁷

El comportamiento del sonido en un tubo caerá en la categoría de ondas estacionarias. Si el aire en un tubo delgado es encerrado por ambos lados, se formarán en su interior la frecuencia fundamental (dos veces el largo del tubo) y sus respectivas armónicas. En el caso en que un lado esté abierto, habrá resonancias en la frecuencia en la que el tubo es 4 veces la longitud de onda y se formarán armónicas noes.

Este es el principio básico de la formación de sonidos en instrumentos de aliento, el largo de la columna de aire estará en constante cambio, ya sea en el caso del deslizamiento en el trombón, o por medio de la apertura y cierre de agujeros a lo largo del tubo como es el caso de la flauta, el saxofón, el oboe o el clarinete.

En la trompeta, las claves presionadas elevan la altura tonal uno dos o cuatro semitonos. Las claves pueden formar una combinación binaria para obtener una escala cercana a la musical. Y es de este tipo por la forma en la que las válvulas interactúan entre sí.

1.7.3 Instrumentos de percusión

Éstos son quizá, los más antiguos en la historia de la humanidad, ya que sólo involucran el golpe de un objeto contra otro. El impacto puede resultar como un ruido de gran ancho de banda que no tenga una altura tonal definida. Sin embargo, se puede crear una modificación en la forma de resonancia, de modo que el impacto producido provoque una serie de armónicos. Los primeros son instrumentos de altura tonal indefinida, mientras

²⁶ EVEREST, F. ALTON “The Master Handbook of Acoustics”, Pág.. 82

²⁷ cfr. WATKINSON, JOHN, “The Art of Sound Reproduction” Pág.. 121

que los segundos son de *altura tonal definida*. Estos últimos son incluso más complejos en su construcción para poder generar un rango de notas musicales.

El caso de los primeros se deja a instrumentos como el triángulo, el gong o los platillos.

En la segunda categoría tenemos los tambores de piso, la batería y el de pedal.

Los timbales tienen una membrana de piel de becerro estirada sobre una cámara sellada. Tanto la tensión de la piel como el efecto de resonancia de la cámara determinan la frecuencia fundamental del instrumento.²⁸

1.7.4 El pianoforte

Aunque hayan sido fabricados para ser tocados por teclas, el órgano y el clavicordio no eran sensibles al tacto (el primero se comporta de modo similar a los instrumentos de aliento y el segundo a los de cuerda)

El piano *e forte* (del italiano suave y fuerte) fue el instrumento que dio la oportunidad a quien lo tocara que el nivel de sonido producido estuviese en función de la presión de la tecla. Este instrumento utiliza cuerdas de acero estiradas sobre un marco metálico. Hay tres cuerdas por nota en las primeras cinco octavas, un par en las siguientes dos y una sola cuerda en la última octava. Para evitar disonancia las cuerdas graves están envueltas (con acero más delgado, como el de algunas de las cuerdas de la guitarra). El mecanismo opera con un martillo y un atenuador. El primero regresa a su posición inicial una vez que ha sido activado y el atenuador sólo opera al momento en que la tecla es devuelta a su posición natural.

El impacto del martillo está en función de la energía del pianista. Los teclados fuertes obviamente aumentarán el nivel sonoro, pero también modificarán su timbre.

El piano tiene un gran rango de frecuencias y con ello un amplio rango dinámico, de modo que es uno de los instrumentos más demandantes en lo referente a reproducción sonora.

1.7.5 Otros sonidos, otros instrumentos

Se podrá notar de este apartado, que los instrumentos mencionados corresponden a aquellos creados en occidente y se hace evidente que su desarrollo ha estado en función de la escala musical conocida y su evolución ha girado en torno a ella. Sin embargo, no está por demás denotar instrumentos que crean armonías y consonancias sin entrar en el rango de las escalas musicales conocidas en Occidente. Tal es el caso de los instrumentos en Oriente, como Japón, India, China, Arabia, sólo por mencionar algunos. La música se desarrolló con otros parámetros y cumple con ritmos aún más complejos que los conocidos en occidente, así como las entonaciones propias de cada instrumento.

Gran parte del material que escuchamos en televisión o en cine es de carácter no musical y sin embargo merece una reproducción adecuada.

Los principios generales de este tipo de sonidos no son tan diferentes a los de los instrumentos excepto que el ruido es un producto accidental de un proceso. Existirá una excitación debida a cierta vibración, una respuesta debida a características resonantes y una modificación adicional debido al entorno acústico.

¿Qué sería de una película de terror sin el chirrido de una puerta o el ruido de la tormenta? ¿Qué ocurre en las versiones dobladas a nuestro idioma con los sonidos originales de los pasos de la gente, el motor de un auto, el ruido de la calle, el sonido de la máquina de escribir?

A continuación se puede apreciar la escala y el rango de frecuencias en las que se encuentran una gran mayoría de los instrumentos, además de la voz humana, considerándola un instrumento musical.

²⁸ Es bajo el mismo concepto que fueron diseñados instrumentos como el *tabla* (instrumento musical originario de la India)

que los segundos son de *altura tonal definida*. Estos últimos son incluso más complejos en su construcción para poder generar un rango de notas musicales.

El caso de los primeros se deja a instrumentos como el triángulo, el gong o los platillos.

En la segunda categoría tenemos los tambores de piso, la batería y el de pedal.

Los timbales tienen una membrana de piel de becerro estirada sobre una cámara sellada. Tanto la tensión de la piel como el efecto de resonancia de la cámara determinan la frecuencia fundamental del instrumento.²⁸

1.7.4 El pianoforte

Aunque hayan sido fabricados para ser tocados por teclas, el órgano y el clavicordio no eran sensibles al tacto (el primero se comporta de modo similar a los instrumentos de aliento y el segundo a los de cuerda)

El piano e forte (del italiano suave y fuerte) fue el instrumento que dio la oportunidad a quien lo tocara que el nivel de sonido producido estuviese en función de la presión de la tecla. Este instrumento utiliza cuerdas de acero estiradas sobre un marco metálico. Hay tres cuerdas por nota en las primeras cinco octavas, un par en las siguientes dos y una sola cuerda en la última octava. Para evitar disonancia las cuerdas graves están envueltas (con acero más delgado, como el de algunas de las cuerdas de la guitarra). El mecanismo opera con un martillo y un atenuador. El primero regresa a su posición inicial una vez que ha sido activado y el atenuador sólo opera al momento en que la tecla es devuelta a su posición natural.

El impacto del martillo está en función de la energía del pianista. Los teclados fuertes obviamente aumentarán el nivel sonoro, pero también modificarán su timbre.

El piano tiene un gran rango de frecuencias y con ello un amplio rango dinámico, de modo que es uno de los instrumentos más demandantes en lo referente a reproducción sonora.

1.7.5 Otros sonidos, otros instrumentos

Se podrá notar de este apartado, que los instrumentos mencionados corresponden a aquellos creados en occidente y se hace evidente que su desarrollo ha estado en función de la escala musical conocida y su evolución ha girado en torno a ella. Sin embargo, no está por demás denotar instrumentos que crean armonías y consonancias sin entrar en el rango de las escalas musicales conocidas en Occidente. Tal es el caso de los instrumentos en Oriente, como Japón, India, China, Arabia, sólo por mencionar algunos. La música se desarrolló con otros parámetros y cumple con ritmos aún más complejos que los conocidos en occidente, así como las entonaciones propias de cada instrumento.

Gran parte del material que escuchamos en televisión o en cine es de carácter no musical y sin embargo merece una reproducción adecuada.

Los principios generales de este tipo de sonidos no son tan diferentes a los de los instrumentos excepto que el ruido es un producto accidental de un proceso. Existirá una excitación debida a cierta vibración, una respuesta debida a características resonantes y una modificación adicional debido al entorno acústico.

¿Qué sería de una película de terror sin el chirrido de una puerta o el ruido de la tormenta? ¿Qué ocurre en las versiones dobladas a nuestro idioma con los sonidos originales de los pasos de la gente, el motor de un auto, el ruido de la calle, el sonido de la máquina de escribir?

A continuación se puede apreciar la escala y el rango de frecuencias en las que se encuentran una gran mayoría de los instrumentos, además de la voz humana, considerándola un instrumento musical.

²⁸ Es bajo el mismo concepto que fueron diseñados instrumentos como el *tabla* (instrumento musical originario de la India)

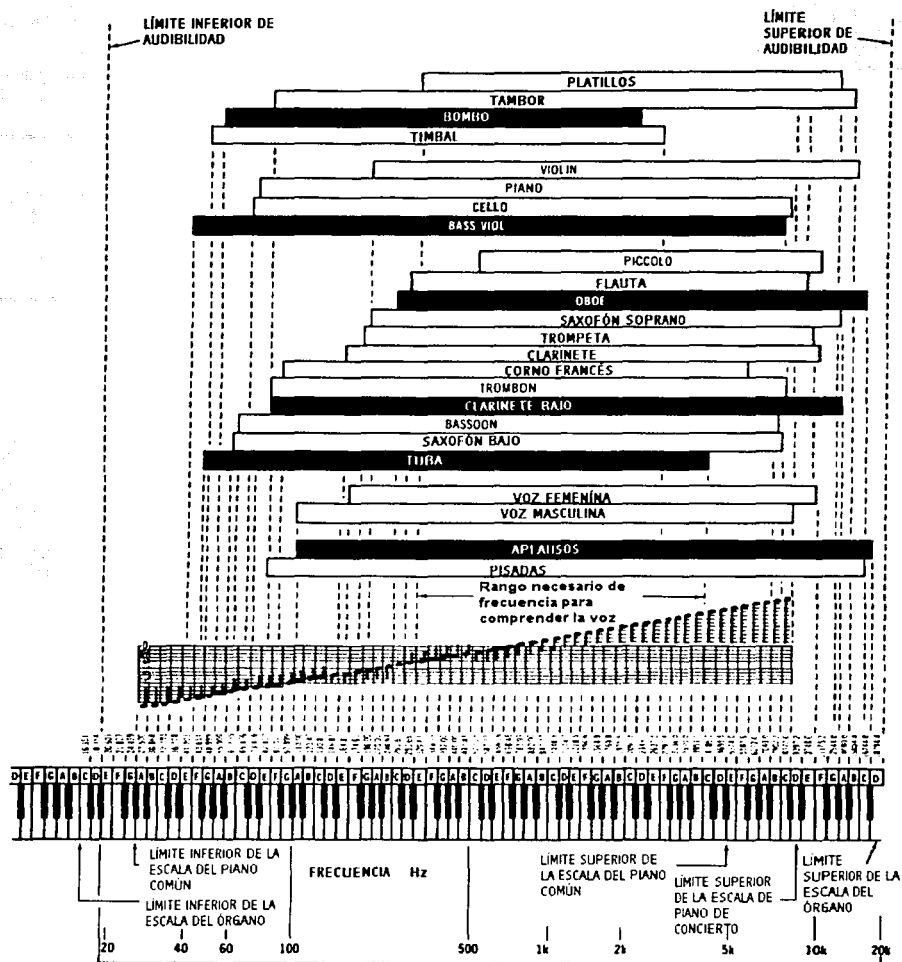


Fig 1-29

El habla, el canto, la música, los sonidos incidentales, merecen ser apreciados por nuestros oídos de la mejor manera. Cada uno de ellos cumple con un rango dinámico y frecuencial característico y que además genera una serie de demandas sobre nuestros oídos.

Tanto la voz como la música utilizan sólo una porción del área auditiva humana. Como se puede ver a continuación, el habla se localiza centralmente en ésta área, y con justa razón porque ni los sonidos extremadamente fuertes osuaves, ni de alta o baja frecuencia son generados por el tracto vocal humano. Esta área es el resultado de una serie de promedios y sus límites en realidad no están tan definidos como en la imagen debido a las áreas de excursión transitoria. El habla humana tiene un rango dinámico de 42dB y su rango de frecuencias fundamentales va de 170 a 4000Hz en promedio, cubriendo cerca de 4.5 octavas.²⁹

²⁹ EVEREST, F. ALTON "The Master Handbook of Acoustics", Pág.. 86

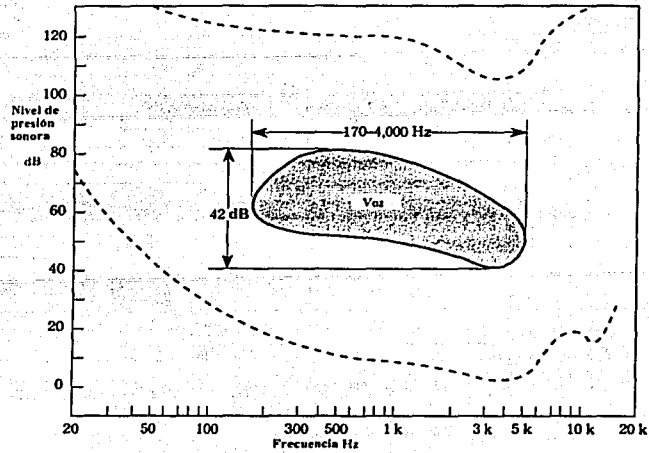


Fig. 1-30

La música en cambio, abarca una proporción mucho mayor del área auditiva. Aquí también se han empleado promedios de largas investigaciones, y los límites se encontrarían formalmente difusos debido a los transitorios en dichas zonas. La música tiene un rango dinámico de 75dB y el rango de frecuencias fundamentales abarca de 50 a 8.5kHz.³⁰

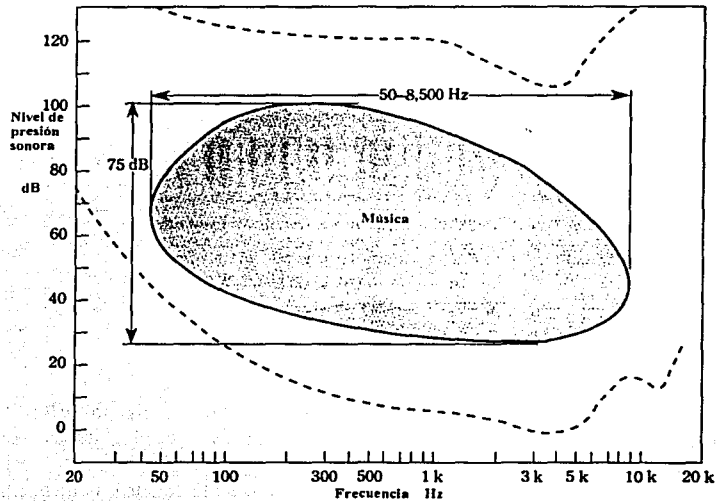


Fig. 1-31

Es importante hacer notar en este punto, que los límites de los que hablamos son las frecuencias fundamentales y no incluye el área de armónicos.

³⁰ Ibid Pág. 88

1.7.6 El efecto del tiempo de reverberación en la música^{31 32}

Mucho tiempo antes de que la electrónica nos diera las herramientas para medir la relación entre la música y la acústica, los músicos llegaron a comprender por su parte una relación entre la calidad del recinto y los espacios donde representarían su obra.

Las iglesias de la época medieval requerían un tipo de composición musical muy diferente a las casas de la nobleza. En las primeras, la música coral predominó y, debido a las dimensiones del espacio y los largos tiempos de reverberación de estos espacios, las notas finales del canto tendían a alargarse.

A lo largo de la historia de la música, existe una estrecha relación entre el estilo de la composición y el lugar acostumbrado de representación.

Los periodos de la música clásica en Occidente, permiten observar un estudio claro en la relación entre el tiempo de reverberación y la música.

El período barroco (aproximadamente 1600-1750) en el que destacan Handel y J.S. Bach, la sonata y el concierto eran las formas principales de la música instrumental de este periodo. Su estilo es muy ornamentado y bastante contrapuntual. Las constantes líneas independientes en contrapunto requerían que el escucha notase el detalle de la música muy claramente, de modo que no debería haber enmascaramiento a causa de la reverberación. Esta atención del detalle fue hecha posible por el tamaño relativamente “pequeño” ($RT_{60} < 1.5$ seg., *intimidad* y de alta *definición*) ya fuera en la corte o en las casas de la nobleza donde se llevaban a cabo recitales de este tipo. No era una época en la que se llevaran a cabo representaciones orquestales en grandes salas al público.

El periodo clásico inicia con la muerte de Bach (1750-1820). Los principales compositores de la época fueron Beethoven, Haydn y Mozart. Continuaron con la sonata e introdujeron un nuevo estilo, la música sinfónica, que evolucionó hasta dominar la forma musical de nuestro tiempo. Éste estilo requería un número mayor de músicos y por ende, un espacio mayor para sus representaciones. Las apariciones orquestales iniciaron a finales del siglo XVIII, principalmente en los escenarios de las salas de ópera. No fue sino hasta mediados del siglo XIX que se comenzaron a edificar recintos de grandes dimensiones pensados específicamente para orquesta. Conforme las salas empezaron a crecer de tamaño, también el tiempo de reverberación. De modo que al periodo clásico se le asocia con tiempos cercanos a los 1.7 segundos.

La claridad en el detalle siguió siendo importante como lo fue en la época del barroco. Pero con tiempos de reverberación más largos y una orquesta de mayor tamaño, la *riqueza de tono* comenzó a adquirir mayor importancia. Las sinfonías del último periodo de Beethoven inician la transición de lo estructural del periodo clásico al estilo más emocional que trae la música del periodo romántico.

El periodo romántico (1820-1890+) se vio integrado por orquestas de tamaños aún mayores y con armonías más complejas que intentaban transmitir ricas experiencias emocionales en vez de llevar al escucha un detalle más intelectual del contrapunto del período barroco o del estilo clásico. Las grandes salas de conciertos construidas a finales del siglo XIX reflejan el deseo de los músicos para construir riqueza de tono y sonoridad aunque ello implicara una pérdida de definición. El tiempo de reverberación asociado a esta época es de 2.2 segundos.

El siglo XX produce una serie de cambios diametrales en el estilo de la música. Además de la continuación del emocionalismo y la experimentación del periodo romántico tardío, ha aparecido un interés por revivir la música de las primeras etapas.

Hasta inicios del siglo pasado (el XX) los programas de conciertos por lo general hacían énfasis en la obra contemporánea y con especial atención en las nuevas composiciones, que eran por lo general patrocinadas por alguien. La música antigua, e incluso de la generación anterior a la música de la época era rara vez tocada. A título de ejemplo, la música de Bach no fue tocada desde su muerte hasta que Mendelssohn interpretó “La Pasión según San Mateo” en 1829.

El repertorio orquestal actual se expande a más de 400 años de desarrollo musical. También incluye 400 años de cambios acústicos, incluyendo la preferencia por tiempos de reverberación superiores a 1.5 segundos.

³¹ Los terminos en *italicas* serán definidos más adelante

³² “Handbook for Sound Engineers” Pág. 182

1.8 Recintos acústicos

El autor de una obra, el compositor de una pieza musical, el director de una película, el lector de un discurso han preparado su creación con el fin de llegar al público con una cierta intención.

En el mundo contamos con una gran cantidad de auditorios, cines, teatros, salas de conciertos, aulas, etc. Algunos de estos recintos han corrido con la suerte de haber sido diseñados o reconstruidos multidisciplinariamente entre gente dedicada a la Acústica y a la Arquitectura.

33

Sin embargo, la gran mayoría de los auditorios de carácter multifuncional, teatros, salas de conferencias, etc.; han sido simplemente puestos en marcha sin tomar en cuenta las importantísimas características acústicas con las que debe cumplir el recinto.

Con el advenimiento del audio –refuerzo de sonido electrónico– los micrófonos, bocinas, consolas, procesadores de efectos, y toda una serie de equipos electrónicos, se pretendió sustituir en los espacios mencionados la acústica natural del recinto. Se trató de modificar la sonoridad natural de la sala, no con paneles absorbentes, difusores o reflectantes, sino con altavoces al por mayor, generando en vez de sonido, estruendoso ruido. A la voz de: “*No se oye, hay muchos rebotes, súbele más a las bocinas...*” perdiendo por completo la noción de que existe toda una ciencia detrás, la Física, que fundamenta el comportamiento del sonido.

En esta sección del capítulo la intención es describir las características básicas con las que debe cumplir un espacio para la voz, un recinto para la música y un complejo espacio multifuncional.

1.8.1 Recintos destinados a la palabra

Hemos de recordar muchos de nosotros, lo agradable que es la conversación en una sala de estar, con algunos sillones, una que otra ventana, paredes con cuadros, paredes lisas, etc.

También sabemos que se hace incómodo hablar en un cuarto vacío, sin cortinas, ni muebles.

Y aunque la comprensión de la palabra es excelente, tampoco es muy agradable la presencia sonora en un lugar totalmente cubierto de tela o muebles mullidos.

No se pretende hablar de confort visual, sino de *confort acústico*, y los ejemplos arriba mencionados mucho tienen que ver con esto. Las características físicas del sonido (apartados 1.5 y 1.6) se hacen presentes en este tipo de espacios.

1.8.1.1 Recintos para conferencias

La cualidad de confort acústico está en función de que el campo sonoro existente no generará ninguna molestia significativa los asistentes a un recinto.

Incluso se puede tener un grado de inteligibilidad alto y no necesariamente el óptimo para dicho espacio.

Para cumplir con ambas características en un lugar donde la comprensión de la palabra y el confort acústico son esenciales se requiere que, tanto el nivel de campo reverberante como el ruido de fondo sean bajos y que no existan ecos ni focalizaciones de sonido ni eco flotante.

El campo reverberante está en función del tiempo de reverberación del recinto. Si una sala es de gran volumen, y cuenta con poco (o ningún) material absorbente, el nivel de campo reverberante resultará amplio, ya que el tiempo de reverberación del sitio será demasiado elevado. De modo que, si uno se aleja de la fuente emisora, uno pasa del campo de sonido directo a una zona de campo reverberante donde la inteligibilidad de la palabra probablemente no sea buena.

Los ecos, focalizaciones y eco flotante están en función de la forma del recinto. La forma del espacio guarda una estrecha relación entre los escuchas, el charlista, y las superficies reflectantes de techo y paredes.

Dichas superficies deben ser aprovechadas para generar reflexiones y deben ser diseñadas cuidadosamente para su provecho. La pared posterior y el piso no brindan reflexiones adecuadas. Se considera

³³ Cfr. Home:Tech octubre 2001 Pág.. 34

como regla general que toda superficie que no sea aprovechada para reflexiones, se cubra con material absorbente.³⁴

La relación angular vertical entre la fuente de sonido y el público tendrá mayor efecto sobre el factor de absorción de este último. Es conveniente que exista una elevación en el área de público. Si el ángulo es menor a 10° ocurre un fenómeno conocido como: incidencia rasante. En ese caso, el sonido se ve afectado por una disminución de potencia sonora. Existen dos fuerzas para que ocurra este efecto. Por un lado la absorción de frecuencias medias y altas por las cabezas y los hombros de los escuchas y por el otro, el efecto de los respaldos de los asientos en atenuación de medios-graves.³⁵

También se hace necesaria la elevación del charlista con el uso de una plataforma para que en asientos ubicados con gran pendiente, la absorción no atenúe el nivel de sonido.

Existe una estrecha relación entre escuchar adecuadamente y tener una buena visual. Por ello en auditorios para conferencias se colocan los asientos sobre una pendiente; de esta forma el público tiene buena visual y se aprovecha la acústica natural del recinto.

1.8.1.1.1 Medidas para la inteligibilidad

1.8.1.1.1.1 %ALCons Pérdida de articulación de consonantes.

Esta técnica fue desarrollada originalmente por V.M.A. Peutz de Bélgica, a finales de la década de los sesenta. Inició con pruebas que se podrían considerar de carácter subjetivo, y más adelante encontraría una ley matemática basada en parámetros acústicos del recinto de estudio.

Logró determinar una fórmula matemática en función de: el tiempo de reverberación, la constante de la sala, el volumen, la distancia entre el emisor y el receptor, el volumen del recinto y el factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada.

El valor obtenido es un porcentaje, como su nombre lo indica, y mayor valor, mayor será la pérdida de articulación de consonantes (que determinan la comprensión de la palabra).

Por lo general este parámetro se calcula para 2kHz por ser la banda de máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra.

1.8.1.1.1.2 STI/RASTI

El STI fue desarrollado a principios de 1970. El índice de transmisión del habla es un instrumento de medición de la inteligibilidad, cuyos valores varían de 0 (completamente ininteligible) a 1 (inteligibilidad perfecta).

En esta prueba, el habla es modelada por una señal especial cuyas características son similares al habla misma. Basándose en el concepto de que el habla puede ser descrita como una forma de onda fundamental que es modulada por señales de baja frecuencia, el STI emplea un esquema complejo de modulación de amplitud para generar dicha señal de prueba. En el extremo final donde es recibida la señal, la profundidad de la modulación será comparada con la señal original en diversas bandas de frecuencias. Las reducciones en la profundidad de la modulación se asocian a pérdida de inteligibilidad.

El RASTI es una versión simplificada del STI. La simplificación consiste en reducir el número de frecuencias de modulación, así como las bandas de octava a tener en cuenta. De modo que el número de índices de modulación calculados es únicamente 9 en vez de 98 en el caso del STI.

Ambos métodos son realmente complejos y existen pocos instrumentos de medición que puedan determinar estos valores.

A continuación se muestra una tabla de valores comparativos entre ambos métodos de medición para la inteligibilidad de la palabra y su valoración subjetiva³⁶.

³⁴ "Handbook for Sound Engineers", Pág.. 175

³⁵ ibid Pág.. 186

³⁶ Dr. Carrión, Pág.. 69

%ALCons	STI/RASTI	VALORACIÓN SUBJETIVA
1.4%~0%	0.88-1	Excelente
4.8%~1.6%	0.66~0.86	Buena
11.4%~5.3%	0.50~0.64	Aceptable
24.2%~12%	0.36~0.49	Pobre
46.5%~27%	0.24~0.34	Mala

Tabla 1-4

1.8.1.2 Teatros

El teatro ha evolucionado en el mundo en toda clase de género, tipo de producción, lugar –al aire libre o recinto cerrado-, con música o sólo de carácter verbal, con sonidos incidentales...

Lo más importante en una obra teatral es quizá, poder comprender la palabra del actor. Aunque el teatro se inunde de música, la voz debe prevalecer sobre todos los demás sonidos. Es por ello, que aquí también se hace indispensable la inteligibilidad de la palabra.³⁷

La situación entre un teatro al aire libre y uno en espacio cerrado es bastante distinta. Aunque el grado de inteligibilidad depende de igual forma entre la señal útil recibida -sonido directo y primeras reflexiones- y el ruido de fondo; éste último juega un papel muy importante en un recinto cerrado.

El ruido de fondo está en función de dos aspectos: El ruido en el interior puede deberse al sistema de ventilación, al sistema de iluminación, a instalaciones hidráulicas o mecánicas, y al ruido del exterior a causa del tráfico. El segundo aspecto está en función del nivel de campo reverberante de la sala. Éste se encuentra en función del volumen del recinto, así como de los materiales de los que estén conformadas las superficies interiores.

El tiempo de reverberación juega un papel importante para este tipo de recintos.

El diseño de un recinto con materiales de baja absorción acústica y/o un volumen excesivo dan lugar a tiempos de reverberación elevados. Esto crea un campo reverberante amplio y con ello una pérdida en la comprensión de la palabra.

Se recomienda que la relación entre el volumen (V) y el número de asientos (N) de un teatro se sitúe entre

$$4/V/N/6$$

es decir, disponer de 4 a 6 m³ por asiento.³⁸

Por otro lado, se obtendrá una señal útil dirigida hacia el público con el uso de superficies reflectantes generadoras de primeras reflexiones ya que estas son integradas por el oído humano como si fuera sonido directo. Recordaremos del apartado 1.6 el comportamiento de las reflexiones antes de los primeros 50ms de reverberación. Ello supone un aumento de inteligibilidad y de nivel de sonido de la voz.

Si contamos con un tiempo de reverberación muy alto la sala resultará excesivamente “viva” para utilizarse como teatro, aunque quizá cumpla con el parámetro adecuado para la música, como se verá más adelante. Si por el contrario, se trata de un tiempo de reverberación bajo, la sala será excesivamente “seca”, y aunque la comprensión de la palabra será buena, habrá una falta de confort acústico y de nivel sonoro.

Es conveniente que el tiempo de reverberación se mantenga lo más constante posible, ya que si aumenta en las frecuencias bajas ~calculado en las bandas de 150 y 250Hz~, habrá una disminución en el grado de inteligibilidad.

³⁷ Para leer más sobre la historia de la evolución de los espacios teatrales véase el Capítulo 4 de “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos

³⁸ CARRIÓN, ISBERT ANTONI “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”, Pág.. 191.

Para lograr una reducida invariancia en el tiempo de reverberación se deben, en general, cumplir los siguientes parámetros:

- Que las butacas sean recubiertas de materiales absorbentes. Si bien el tiempo de reverberación de una sala vacía nunca igualará al de una con público, sí se asemejará más que con butacas de metal o de madera sin recubrimiento, ya que este tipo de materiales son altamente reflectantes. No resulta adecuado que el tiempo de reverberación esté en tan estrecha relación con la cantidad de público asistente, ello provocará un detrimento en la calidad del evento.
- El área de escenario, especialmente en los teatros de proscenio, no debe afectar el tiempo de reverberación de la sala en función del cambio de escenografía. Ésta no debe ser percibida, acústicamente hablando, al ser cambiada en determinada escena.

Con las primeras reflexiones veremos la existencia de tres parámetros que las cuantifican. Se trata de relaciones energéticas que ayudarán a la existencia de una mejor inteligibilidad, tal es el caso de la *claridad de la voz* (C_{50}), la *definición* (D), y la *relación de las primeras reflexiones* (ERR).

1.8.1.2.1 Claridad de la voz (C_{50})

En inglés *speech average*, es expresada en decibeles, y se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 50ms desde la llegada del sonido directo (incluidas las primeras reflexiones) y la que llega después de este tiempo.

1.8.1.2.2 Definición (D)

Del alemán *Deutlichkeit*, según Thiele³⁹ es la relación entre la energía que llega al oyente en los primeros 50ms (al igual que en C_{50}) y la energía total recibida por el mismo.

El valor de D varía en función de la posición del actor respecto a la sala. El grado máximo será de frente al público e ira decreciendo conforme el actor vaya girando.

1.8.1.2.3 Relación de las primeras reflexiones (ERR)

Del inglés *early reflection ratio*- se define como la relación entre la energía que llega al oyente durante los primeros 50ms y la energía correspondiente al sonido directo.

Este parámetro indica el número de primeras reflexiones existentes en un punto determinado de la sala.

Cuando se definen las formas de la sala, es conveniente fijar como objetivo la obtención de valores ERR lo más constantes posible en todos sus puntos, salvo los más próximos al escenario, por la razón de estar cerca de la fuente sonora.

1.8.1.2.4 Nivel de sonido de la voz (S)

Otra característica importante es el *nivel de sonido de la voz* (del inglés "speech sound level") que es un indicativo del grado de amplificación natural producido por la sala. Nótese que este valor no implica el refuerzo de sonido por medio de aparatos electrónicos.

Se define en un punto cualquiera de la sala como la diferencia entre el nivel medio de presión sonora existente en el mismo, producido por un actor situado en el escenario, y el nivel medio de referencia de 39dB. Este valor corresponde al nivel de presión sonora -promediado en el espacio- que produciría dicha persona al aire libre a una distancia de 10m.⁴⁰

Al igual que en los recintos para conferencias (apartado 1.8.1) se deben evitar los ecos y focalizaciones del sonido, ya que éstas pueden afectar negativamente tanto a los espectadores como a los actores.

³⁹ ibid, Pág.. 184

⁴⁰ cfr. ibid Pág.. 186

Los ecos de vuelta al actor provienen de paredes posteriores (efecto "slap back") ya que éstas se pueden hallar exactamente en oposición a él como fuente emisora de sonido. Otro caso es el de esquinas con ángulos de 90°, como mencioné en el apartado 1.5.2 porque rebotan el sonido directamente al emisor.

En el caso del público, las focalizaciones se pueden deber a superficies cóncavas, éstas tienden a concentrar el sonido en el foco central (tal es el caso de una parábola)

La sala no debe producir ningún realce o atenuación de las frecuencias que componen el espectro de la fuente emisora, a este fenómeno se le conoce como coloración. Y puede ocurrir debido a que el espacio tenga paredes paralelas o de dimensiones no muy grandes.⁴¹ También es posible que, si existen superficies planas completamente lisas, de grandes dimensiones, pensadas para producir primeras reflexiones sobre el público, éstas puedan generar una tonalidad metálica en la combinación del sonido directo con el reflejado. Además de poder originar un efecto de falsa localización de la fuente sonora.

1.8.2 Recintos destinados a la música

Debido a que las necesidades entre la palabra y la música son tan diferentes, los recintos destinados a la última son diseñados de maneras totalmente distintas.

Los recintos para el habla tienen como requisito indispensable la inteligibilidad y naturalidad en el sonido de la voz. En cambio, en los destinados a la música, determinar un orden claro en las necesidades no es tan sencillo, la acústica musical es mucho más compleja.

En ocasiones, la música es tocada en salas de recitales para 300 personas en una escuela, auditorios de usos múltiples, una sala de conciertos con una orquesta sinfónica, un espacio deportivo donde un grupo de gira llegue a tocar, etc.

Las disciplinas musical y acústica han evolucionado separadamente a lo largo de los años. No es de extrañar que los vocabularios técnicos no sean consistentes en ambos mundos, y que los términos *resonancia* e *intensidad* no signifiquen lo mismo para un músico que para una persona dedicada a la acústica.

A lo largo de las últimas décadas se han hecho importantes esfuerzos para relacionar valoraciones subjetivas sobre la calidad acústica de una sala con una serie de parámetros físicamente medibles.

Es importante aclarar que en cuanto al diseño acústico de las salas de conciertos, el margen de valores recomendados no ha sido fruto de estudios matemáticos, sino del análisis de recintos considerados unánimemente como excelentes desde el punto de vista acústico y elegidos como patrón para el diseño de nuevas salas.

El estudio de la acústica en música es básicamente el estudio de la relación de los campos directo y reverberante: La diferencia en niveles, los tiempos de llegada y la dirección de la que llegan.

La siguiente es una lista de cualidades musicales y acústicas determinada por el Dr. Leo Beranek eminencia reconocida a nivel mundial por sus estudios en acústica de salas de conciertos:

⁴¹ cfr. "Handbook for Sound Engineers", Pág. 229

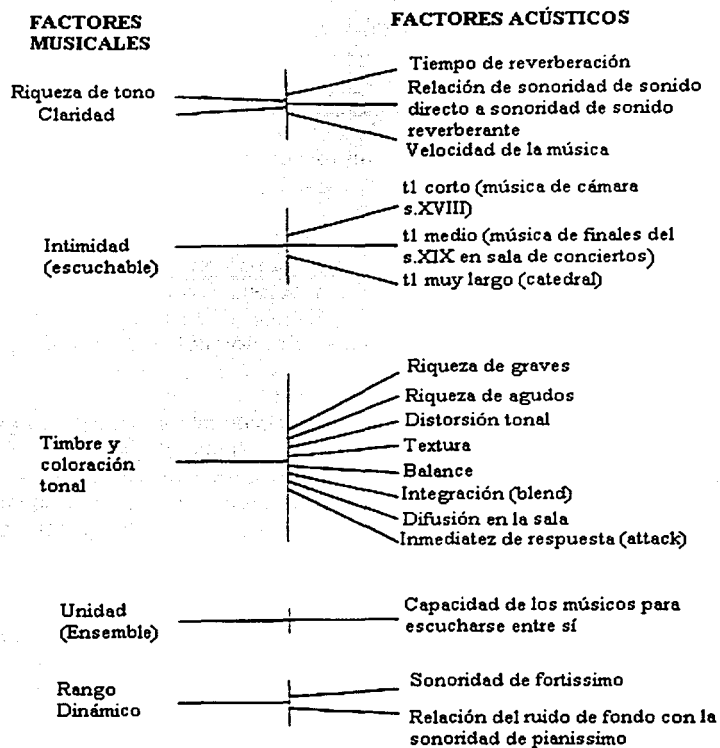


Fig. 1-32

1.8.2.1 Sonoridad del sonido directo

Es nuestra percepción de la señal directa combinada con sus reflexiones dentro de los primeros 70ms. Esta sonoridad depende en parte por el área de la orquesta, pero también está en función de la distancia a ella.

1.8.2.2 Sonoridad del sonido reverberante

Está determinado por la absorción presente en el recinto y el tiempo de reverberación en éste.

1.8.2.3 Intimidad acústica (en función de t_1)

También conocida como la *presencia de una sala*, se considera como el factor más importante. La intimidad acústica de una sala se mide en parte por la relación de niveles de sonido entre directo y reverberante, y especialmente por el *espacio de retraso de tiempo inicial* (ITDG) t_1 (mencionado en el apartado 1.6.5). Ampliando el concepto se trata del intervalo entre el sonido directo del escenario y la llegada de la primera reflexión de las paredes o el techo. Beranek asocia la valoración de intimidad acústica con la sensación que tiene el oyente de escuchar la música en un espacio con dimensiones más reducidas que las dimensiones reales de la sala.⁴²

⁴² CARRIÓN ISBERT, ANTONI "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos" Pág.. 228

1.8.2.4 Claridad musical (C_{MI})

Del inglés *music average*, indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical.

Según Cremer, se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80ms desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de este tiempo.

La elección de este tiempo se debe a que, cuando se trata de música, las reflexiones que llegan al oyente dentro de dicho intervalo son integradas por el oído junto con el sonido directo y por tanto, contribuyen a aumentar la claridad musical.⁴³

1.8.2.5 Definición

Se puede comparar con la inteligibilidad en el caso de la palabra. Como la presencia, se ve afectada por el tiempo y acomodo de las primeras reflexiones. También se relaciona con el tiempo de reverberación y la distancia a la que se esté del instrumento u orquesta. Es una función de la relación entre los niveles de sonido directo y reverberante. La importancia de la definición está en función del tipo de música.

1.8.2.6 Riqueza de tono

Es el cambio del sonido directo de un instrumento después de que se ve envuelto por la reverberación del espacio a su alrededor. La reverberación suspende las notas y llena el espacio entre ellas, generando una interrelación de las notas sucesivas. Ciertos tipos de música dependen mucho de esta interrelación, y algunos instrumentos, como el órgano, requieren de reverberación para obtener su potencial musical total. La riqueza de tono es el inverso de la definición. El tipo de música así como el tiempo y las frases de la pieza están relacionados con la definición y el tono.

1.8.2.7 Viveza (*liveness*)

Está relacionada principalmente con el tiempo de reverberación promedio de 500 y 1000Hz y el balance entre los niveles de sonido directo y reverberante. La viveza también está relacionada con el volumen de una sala relativa al área de público. Esta relación también puede estar expresada en función de la altura del techo. Si la única área de absorción es la del público y los músicos, el tiempo de reverberación promedio será aproximadamente

$$RT_{60} = (H/27) + 0.35$$

Donde

H es la altura promedio del techo en pies

RT_{60} es el tiempo de reverberación (definido en el apartado 1.6.5)

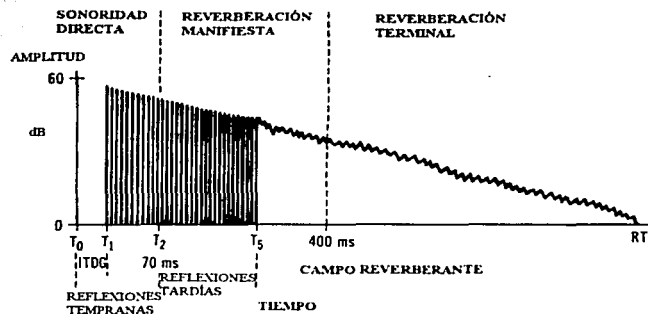
1.8.2.8 Sonoridad de reverberación (*R*)

Retomando la gráfica del apartado 1.6.5, en la parte superior podemos notar una serie de divisiones de tiempo de un evento resonante que están relacionadas con la percepción de la sonoridad y de su efecto en la música.

La primera división, de t_0 a t_2 combina, al igual que nuestro oído, el sonido directo y sus primeras reflexiones. El segundo periodo de t_2 a 400ms es conocido como *reverberación manifiesta* (del inglés *running reverberance*). El último tramo se conoce como *reverberación terminal*.

La reverberación manifiesta es percibida por el oído como viveza, aumenta la riqueza tonal y degrada la definición. La reverberación terminal es el sonido pendiente –y en ocasiones emocionante– que persiste después de concluida una parte musical.

⁴³ Ibid Pág.. 230



La relación entre la sonoridad de los periodos directo y manifiesto determinan el balance más delicado entre la música y la acústica. Schultz propone que la sonoridad de reverberación sea la relación de la energía sonora que llega al escucha de 50ms a 400ms entre la energía sonora hasta los primeros 50ms.

La experiencia de escuchar en un gran número de salas indica que el rango aceptable para R es de tan solo 7dB y que una diferencia de 2dB puede ser escuchada claramente.

1.8.2.9 Calidez acústica (BR)

Se dice que una sala tiene calidez acústica si tiene un tiempo de reverberación más largo en graves en relación con la banda media. La palabra calidez representa la riqueza de graves, la suavidad y la melosidad de la música en la sala.

La medida objetiva para la calidez es la "relación de graves" (del inglés Bass Ratio BR) y se define como la relación entre la suma de los tiempos de reverberación a frecuencias bajas (125 y 250Hz) y la suma de los correspondientes a las frecuencias medias (500Hz y 1kHz)

1.8.2.10 Brillo (Br)

Es una medida de la respuesta de la sala a las frecuencias altas. Describe un sonido rico en armónicos y en altas frecuencias. Se define como la relación entre la suma de los tiempos de reverberación a frecuencias altas (2 y 4kHz) y la suma de aquellos a frecuencias medias(500Hz y 1kHz).

1.8.2.11 Difusión.

La *difusión* es una medida de la orientación espacial del sonido reflejado. La música se engrandece con reflexiones altamente difusas, especialmente en el plano lateral. La difusión debe ser tal que el campo sonoro debe ser sustancialmente distinto para cada escucha. Nuestro mecanismo auditivo es bastante sensible a la dirección de llegada del sonido, (como se vio en el apartado 1.3.7) El disfrute de la música está estrechamente relacionado con las primeras reflexiones que llegan de los lados, las primeras reflexiones que llegan del frente, arriba o detrás son menos importantes en este aspecto.

1.8.2.12 Textura

Es la impresión subjetiva del sonido percibido por un escucha en un punto cualquiera de un recinto, producida por el espacio y cantidad de reflexiones que percibe entre el *espacio de retraso de tiempo inicial* t_1 y el inicio del sonido difuso. Una buena textura exige una gran cantidad de primeras reflexiones (determinada por un t_1 suficientemente corto) hasta 80ms desde la llegada del sonido directo, una distribución uniforme de éstas y la ausencia total de reflexiones discretas de nivel elevado.

1.8.2.13 Calidad tonal

La calidad tonal de una sala de conciertos es la medida del efecto del recinto debida al campo reverberante. Por lo general se nota como una característica negativa, tal como una absorción no uniforme de ciertos tonos o la suma de vibraciones de ciertas superficies en el recinto.

1.8.2.14 Factor de brío (S)

Del inglés *strength factor*, está aunado al grado de amplificación producido por la sala de manera natural. Depende de la distancia del escucha al escenario, la energía asociada a las primeras reflexiones, la superficie ocupada por el público y el nivel de campo reverberante.

Se define como la diferencia entre el nivel total de presión sonora producido por una fuente omnidireccional en cierto punto del escenario y el nivel de presión sonora producido por la misma fuente en campo libre y medido a 10 metros de distancia. (nivel de referencia).

Ambos niveles se miden por bandas de frecuencia de octava (entre 125Hz y 4kHz) y aplicando la misma potencia a la fuente sonora. El nivel de referencia en cada banda de frecuencias es de 69dB_{SPL}.

1.8.2.15 Tiempo de decaimiento temprano (EDT)

Del inglés *Early Decay Time*, se define como seis veces el tiempo que transcurre desde que la fuente emisora deja de radiar sonido hasta que el nivel de presión sonora decae 10dB.

1.8.2.16 Curva de energía reflejada acumulada (RECC)

Se define como la energía que llega a un oyente dentro de los primeros t segundos desde la llegada del sonido directo, sin considerar la energía asociada al mismo.

Esta curva, del inglés *Reflective Energy Cumulative Curve*, da una indicación de cómo se acumula la energía reflejada a lo largo del tiempo en cierto punto de la sala, y permite detectar cualquier anomalía que en él se pueda producir. La banda considerada va desde 250Hz hasta 2kHz. Para valores de t inferiores a aproximadamente 10ms, el valor de RECC corresponde a la energía asociada con las primeras reflexiones.

1.8.2.17 Eficiencia lateral (LF)

Del inglés *Lateral energy Fraction*- se define como la relación entre la energía que llega lateralmente al oyente durante los primeros 80ms desde la llegada del sonido directo -sin incluir el sonido directo- y la energía recibida en todas las direcciones en dicho intervalo de tiempo.

1.8.2.18 Correlación cruzada interaural (IACC)

Del inglés *InterAural Cross-Correlation* Se define como la correlación entre los sonidos que llegan a ambos oídos, y es indicativa del grado de similitud que existe entre las dos señales. Si son iguales, el IACC será igual a 1, mientras que si son señales aleatorias independientes, el IACC valdrá cero.

Se definen para las primeras reflexiones (antes de los primeros 80ms) y los sonidos que llegan después de 80ms hasta 1 segundo. Se ha comprobado que las bandas de frecuencia más representativas están centradas en 500Hz, 1 y 2 kHz. Y se identifica con IACC_{E3}

1.8.2.19 Índice de difusión (SDI)

Del inglés *Surface diffusivity Index* se determina a través de la inspección visual de la sala con objeto de averiguar el grado de irregularidades de las paredes laterales y del techo. Los expertos en acústica llaman *grado de difusión* a la cantidad de irregularidades en las superficies y se les asigna un cierto grado.

- 1 para paredes con altas irregularidades
- 0.5 para superficies intermedias
- 0 para superficies lisas

Se lleva a cabo una ponderación de superficie asociada y se divide el resultado por la superficie total de las paredes laterales y techo. El valor obtenido oscila entre 0 y 1.

1.8.2.20 Espacialidad del sonido

1.8.2.20.1 Amplitud aparente de la fuente sonora (ASW)

La sensación de que el sonido proveniente del escenario llega de una fuente de mayor amplitud que la fuente real está determinada por esta característica. Constituye uno de los componentes básicos de la impresión espacial del sonido, y cuanto mayor sea esta sensación, mejor resultará la valoración subjetiva de la calidad acústica del recinto.

La amplitud aparente aumenta con el número de primeras reflexiones laterales que provocan un aumento en disimilitud entre ambos oídos. De modo que la cuantificación de esta característica está determinada por la eficiencia lateral y la correlación cruzada interaural. Cuanto mayor sea el valor de $IACC_E3$ y LF mejor será ASW.

1.8.2.20.2 Sensación de sonido envolvente (LEV)

Se dice que el grado de LEV (del inglés *Listener Envelopment*) es alto cuando un sonido da la sensación de sentirse envuelto por el campo sonoro.

Esta sensación se ve favorecida por el sonido reverberante que llegue por igual de todas las direcciones hacia los oídos del escucha. Y para ello el grado de difusión –ligado al SDI- debe ser elevado.

La correlación cruzada interaural para reflexiones tardías ($IACC_L$) también afecta esta característica, sin embargo los valores de su categoría, no distan mucho entre sí. Lo cierto es que si su valor es bajo, es posible afirmar que en general el recinto objeto de estudio tiene una pobre difusión de sonido.⁴⁴

1.8.2.21 Uniformidad

La uniformidad de la calidad sonora en una sala es muy importante y debiera ser la meta principal en el diseño. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que no siempre se puede llevar a cabo. No existen dos asientos en una sala que tengan exactamente el mismo campo sonoro.

Un buen escucha no debería notar diferencia alguna entre los asientos laterales, frontal o posterior a él.

Recintos con anchos superiores a los 20 metros y asientos más allá de los 30 metros del escenario son candidatos a tener problemas de uniformidad.

Los requerimientos para la uniformidad son cumplidos cuando la intimidad acústica y la textura son satisfactorias en todos los asientos (aunque no exista una medida objetiva para la textura de un recinto).

1.8.2.22 Acústica en el escenario

El sonido que se aprecia en el escenario es muy importante y he aquí algunas definiciones que Beranek propone. Están relacionadas con la forma en la que los músicos están dispuestos sobre el escenario, los patrones de reflexión y el control que mantiene el conductor musical.

1.8.2.22.1 Inmediatez de respuesta (del inglés *attack*)

Indica la percepción de respuesta de la sala que tiene la persona sobre el escenario. Para tener un buen desempeño, un músico debe percibir parte del sonido reverberante de la sala. Si el retorno del área del escenario, es muy fuerte y rápido, entonces no se percibirá la sensación de la sala. Si por el contrario, el retorno es tardío, se vuelve entonces un eco distractor.

1.8.2.22.2 Balance

El balance mantiene un equilibrio de sonoridad relativa de las secciones de la orquesta entre la sonoridad relativa de la orquesta total y los solistas.

1.8.2.22.3 Integración (del inglés *blend*)

Es la mezcla del sonido de los instrumentos individuales para formar un solo conjunto agradable.

1.8.2.22.4 Unidad (del inglés *ensemble*)

Es la habilidad de los músicos de poder tocar al unísono y que depende enormemente de la capacidad de escucharse entre sí.

⁴⁴ *ibid*, Pág.. 238

1.8.2.22.5 Soporte objetivo (ST1)

Es representativo de las condiciones que experimentan los músicos en el escenario de escucharse a sí mismos y al resto de la orquesta.

Expresado en decibeles, se define como la relación entre la energía asociada a las primeras reflexiones entre 20ms y 100ms debidas al techo y paredes del escenario, y la energía recibida en los primeros 20ms. A distancia de 1 metro de una fuente omnidireccional en el escenario.

1.8.3 Salas de cine

Independientemente de que las salas de cine utilicen equipo de amplificación en su totalidad y con el advenimiento del sonido *surround* y los conceptos 5.1 y 7.1, THX, Dolby Digital, etc.; no está por demás hacer algunas notas aclaratorias en cuanto a las necesidades arquitectónicas de este tipo de espacios.

Deben cumplir con un tiempo de reverberación tal que se pueda comprender la palabra y al mismo tiempo disfrutar de la música y los efectos que lleva. Para esto, además de un diseño que permita un tiempo de 0.85s⁴⁵, lo primordial es que los sonidos ajenos a la película y no contemplados en la grabación o en la mezcla sean excluidos del cine donde se lleva a cabo la función.

El factor más importante en un cine es el ruido del público. Y no para ser juzgado negativamente, estar inmersos en un momento de risa compartida es agradable.

W.A. Mueller de la Warner Brothers Studios hizo una serie de investigaciones en torno al ruido provocado por el público. Se concluyó que el ruido promedio de los espectadores oscila entre 42 y 48dB_{SPL}.

Esto quiere decir que, si el rango dinámico del filme estuviese debajo de dicho nivel no se escucharía y por el contrario, que las partes con fuertes lastimarían el oído de la gente.

Al igual que en los otros tipos de recinto, se hace indispensable evitar los ángulos rectos que provocan ecos indeseables, además de evitar paredes paralelas que pueden generar coloraciones evidentes debido a la formación natural de ondas estacionarias.

Otro factor importante es el ruido exterior, y las divisiones entre salas deben ser lo suficientemente buenas para que el sonido de una sala no llegue a la otra a través de la pared. Lo mismo se debe pensar en el ruido del tráfico o de la gente en tiendas aledañas a la sala.

El ruido del equipo también debe ser tomado en consideración. Debido a que el proyector necesita un vidrio por el que pase la imagen, se hace necesario colocar "trampas" de paneles de fibra de vidrio alrededor del rayo de proyección en la pared divisoria entre el cuarto de proyección y la sala.

⁴⁵ "Handbook for Sound Engineers", Pág.. 216

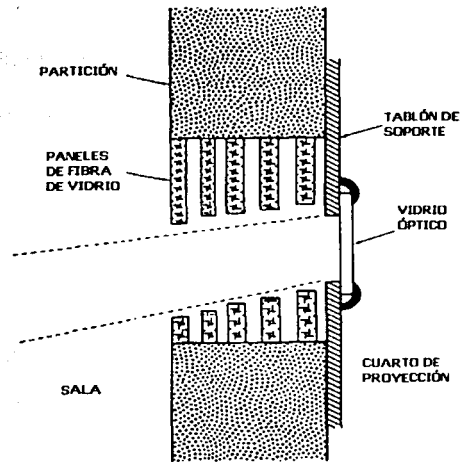


Fig. 1-33

Se debe considerar una base adecuada para los equipos de proyección, ya que el sonido también se propaga a través de materiales sólidos, a causa de la vibración.

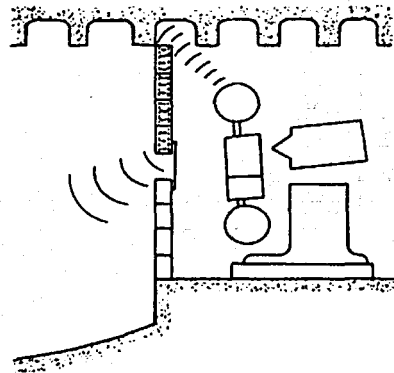


Fig. 1-34

Todas las piezas en el recinto deben funcionar silenciosamente. Tal es el caso de cortinas, butacas, puertas y el sistema de ventilación. Cuando las cosas son nuevas, por lo general operan de manera silenciosa, al paso del tiempo un síntoma de ruido no es nada más un problema para el equipo sino además un problema de tipo acústico.

1.8.4 Espacios multifuncionales

Tener una sala destinada a un solo tipo de evento es más que un lujo. Se espera que muchos auditorios y espacios para las artes puedan cumplir con las características adecuadas para representar obras de teatro, danza, música, conferencias e incluso cine.

Se hace indispensable entonces, determinar los parámetros con los que debe cumplir un recinto de este tipo.

¿Con qué espacio se cuenta y qué tipo de eventos se llevarán a cabo principalmente?

- ¿Se trata de una aula de conferencias en la que de vez en cuando se va a tocar música popular?
- ¿Es un espacio para la danza donde se pretende proyectar películas?
- ¿Es una sala de conciertos donde se desarrollarán obras teatrales en algunas ocasiones?

Es preciso, para una sala de uso multifuncional, poder tratar de albergar la mayor variedad de eventos posible sin sacrificar la acústica para ninguno de ellos.

La pregunta entonces es:

¿Será esto posible?

La siguiente tabla muestra las necesidades comparativas entre la música y el habla en un espacio cerrado.

FACTOR ACÚSTICO	HABLA	MÚSICA
RT ₆₀	<1.2 s	>1.5s
RT ₆₀ contra frecuencia	Prácticamente plana	Suavemente contorneada
t ₁ (ITDG)	No es importante	Muy importante
Reflexiones tempranas	De 0 a 40ms las más posibles	De 0 a 70ms evitando falsa localización del sonido; es importante el arribo por lateral
Reflexiones tardías	Después de 50ms; evitar las más posibles	Después de 70ms; las más que RT ₆₀ pueda soportar; difusas
Sonoridad de reverberación <i>Coefficiente R</i>	Lo menos posible	0>R>10; ajustado con cuidado
Difusión	Poca utilidad	De gran utilidad
Absorción añadida	Mucha; sobre cualquier superficie que no produzca una reflexión temprana	Ninguna; uso de difusión para controlar las reflexiones no deseadas
Máxima distancia a escenario	< 23m	>30m
Buenas líneas visuales	Importantes	Importantes
Ancho de área de público	Limitado por las visuales	Óptimo <20m
Ruido de fondo	Bajo	Muy bajo
Relación general entre refuerzo de sonido y la acústica de la sala	Se acepta en general, pero no adecuado para drama	Poco utilizable. No se recomienda para música de concierto. Se acepta para música popular.

Tabla 1-5

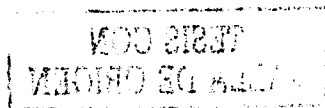
De esta tabla podemos concluir que la diferencia más significativa está en el tiempo de reverberación, la concentración de primeras reflexiones y el uso de difusión. Estos tres factores modifican la sonoridad de reverberación y la textura.

La existencia de recintos multifuncionales es posible si la señal directa es lo suficientemente fuerte para escuchar bien y la pérdida de articulación es baja para tener una buena inteligibilidad.

Ello sugiere que se puede tener un recinto adecuado para la palabra y diseñar un sistema aparte, que eleve el tiempo de reverberación y tomando en cuenta que, algunos de los otros parámetros requeridos para la música también cambiarán.

Otra opción es cumplir con los parámetros adecuados para la música en el recinto y tener los medios para reducir el tiempo de reverberación.

Existen dos métodos para poder cumplir con la mayoría de los requisitos según el tipo de evento a ejecutar.



1.8.4.1 Modificación por medios arquitectónicos

Reducir el tiempo de reverberación de un espacio reduciendo su volumen, es algo que en teoría se puede llevar a cabo, pero que en la práctica no ocurre mucho. Ello modificaría también la absorción del espacio. Resulta más sencillo dividir un espacio en secciones (paneles divisorios o cortinas) que modificar la altura de un falso techo. Lo segundo es estructuralmente complejo y costoso. Además de tener limitantes debido a los sistemas de iluminación de la sala, implicaría quizá un problema a considerar en las líneas de visibilidad de las partes altas del recinto. Sin embargo, existen auditorios diseñados con este tipo de sistemas, como se muestra a continuación.

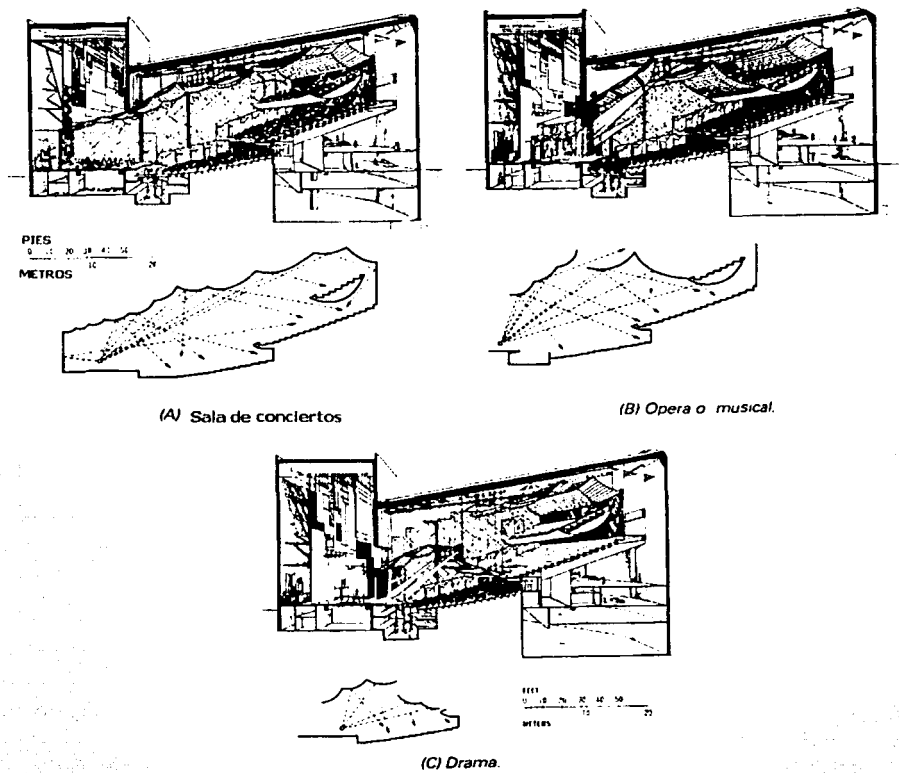
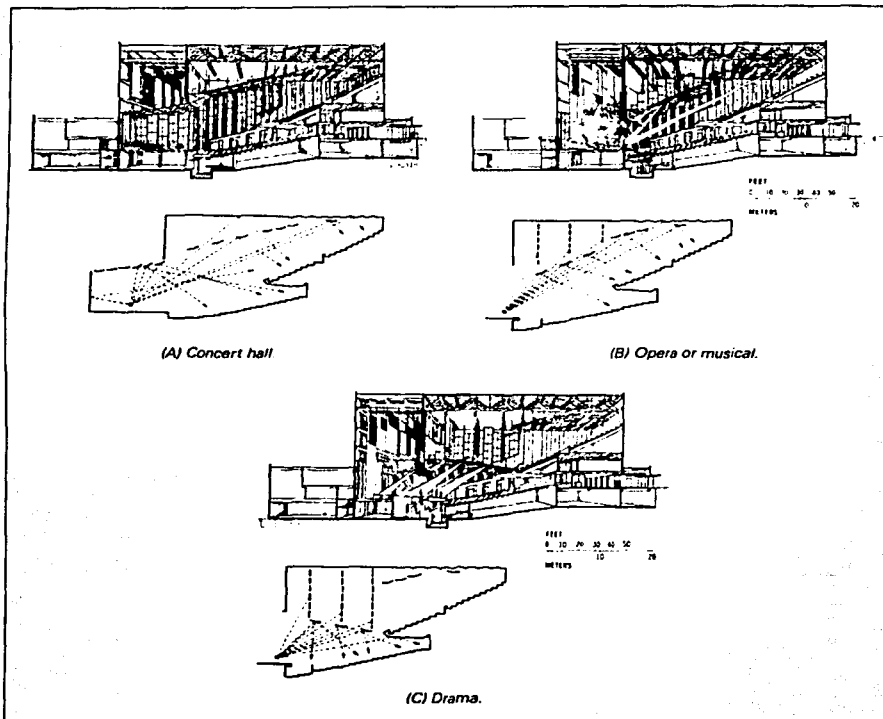


Fig. 1-35

Existe también el uso de elementos más sencillos como “nubes”, ya sean reflectantes o absorbentes, que desciendan hacia la zona de público. De esta forma se pueden ajustar las piezas a las necesidades en la sala según el tipo de evento, aumentando primeras reflexiones a ciertas zonas o reduciendo el tiempo de reverberación, lo que se necesite en cada caso.



Cain Auditorium, 1800 or 950 seats, Kansas State University, Manhattan, Kansas.

Fig. 1-36

1.8.4.2 Modificación por medios electrónicos

Existen dos métodos para obtener un aumento de reverberación en una sala. Ambos operan tomando una muestra del campo reverberante del recinto, amplifican la señal y luego la procesan.

En el *Sistema de amplificación del campo sonoro*, diseñado por la Phillips, se utiliza un gran número de micrófonos y bocinas que se colocan en paredes y techo. El sonido tomado por un micrófono es reproducido por una bocina a la distancia. Puede haber hasta cien canales de este tipo y trabajando todos a muy poca ganancia. Este sistema puede sufrir riesgos de inestabilidad del sonido (efecto Larsen, conocido en inglés como *feedback*) porque trabaja con todo el ancho de banda.⁴⁶

Otra opción es en sistemas de banda angosta. El sistema se conoce como *de resonancia asistida*. Los micrófonos son colocados en resonadores simples, y ajustados para operar a la frecuencia de resonancia de dicho implemento. De modo que del conjunto de señales obtenidas, cada una puede operar a distinta frecuencia. El sistema es eficiente sólo a frecuencias debajo de 2kHz.

Existe otro sistema, pero éste crea nuevas reverberaciones. Consiste en colocar uno o dos micrófonos cerca del campo sonoro del escenario, procesar la señal y utilizar varias bocinas distribuidas por la sala y a

⁴⁶ Este fenómeno se tratará en el Capítulo 4.

niveles de señal que no les permitan ser detectadas como una fuente sonora. Existen varias ventajas, por un lado, el sistema es más estable por la posición de los micrófonos. Puede modificarse la señal y generar cierta coloración en el sonido. Debido a que el sistema no depende de la reverberación del recinto, se puede emplear en salas muy *secas* o en espacios al aire libre.

1.9 Valores recomendados en parámetros acústicos

1.9.1 Para recintos destinados a la palabra

A través de largas investigaciones varios autores, entre ellos el Dr. Carrión, se han dado a la tarea de recopilar los valores recomendados de las características que deben cumplirse para tener una buena calidad acústica.⁴⁷

A continuación se muestra un compendio de los parámetros para salas destinadas al habla:

1. Sala de conferencias

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
RT _{mid} (500Hz – 1kHz) sala ocupada	0.7/RT _{mid} /1.0 s
%ALCons Inteligibilidad sala ocupada	%ALCons ≤ 5%
STI/RASTI Inteligibilidad sala ocupada	STI/RASTI/0.65

2. Teatro

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
RT _{mid} (500Hz – 1kHz) sala ocupada	0.7/RT _{mid} /1.2 s
%ALCons Inteligibilidad sala ocupada	%ALCons ≤ 5%
STI/RASTI Inteligibilidad sala ocupada	STI/RASTI/0.65
C ₅₀ (<i>speech average</i>) sala ocupada	C ₅₀ > 2dB
D (Definición) (125Hz- 4kHz) sala ocupada	D > 0.50
ERR sala vacía u ocupada	2 ≤ ERR ≤ 6
S (<i>Speech sound level</i>) (500Hz-2kHz) sala ocupada	4 ≤ S _{mid} ≤ 8dB (actor de frente) 2 ≤ S _{mid} ≤ 6dB (actor de lado)

⁴⁷ cfr. CARRIÓN ISBERT, ANTONI "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos" Capítulos 1 al 3

3. Cine

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
RT_{mid} (500Hz – 1kHz) sala ocupada	$0.85^{48}/RT_{mid}/1.0$ s
%ALCons Inteligibilidad sala ocupada	%ALCons ≤ 5%
STI/RASTI Inteligibilidad sala ocupada	STI/RASTI/0.65

4. Iglesia/Catedral

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
RT_{mid} (500Hz – 1kHz) sala ocupada	$2.0/RT_{mid}/3.0$ s
%ALCons Inteligibilidad sala ocupada	%ALCons ≤ 11.4%
STI/RASTI Inteligibilidad sala ocupada	STI/RASTI/0.50

5. Espacio Deportivo cerrado

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
RT_{mid} (500Hz – 1kHz) sala ocupada	$1.5/RT_{mid}/2$ s
%ALCons Inteligibilidad sala ocupada	%ALCons ≤ 11.4%
STI/RASTI Inteligibilidad sala ocupada	STI/RASTI/0.50

1.9.2 Parámetros para recintos destinados a la música

Los estudios acústicos más detallados en cuanto a apreciación musical se deben al Dr. Leo L. Beranek y fueron publicados en 1962 en *Music, Acoustics and Architecture*, que sigue siendo acreditado como la guía fundamental en el diseño de salas de conciertos del mundo contemporáneo.⁴⁹

A través de sus investigaciones llegó a establecer una forma de evaluación de características acústicas de los espacios destinados a la música, que a continuación se muestra.

⁴⁸ Ted Uzzle en "Handbook for Sound Engineers" Pág. 216.

⁴⁹ cfr. "Handbook for Sound Engineers" Pág. 178

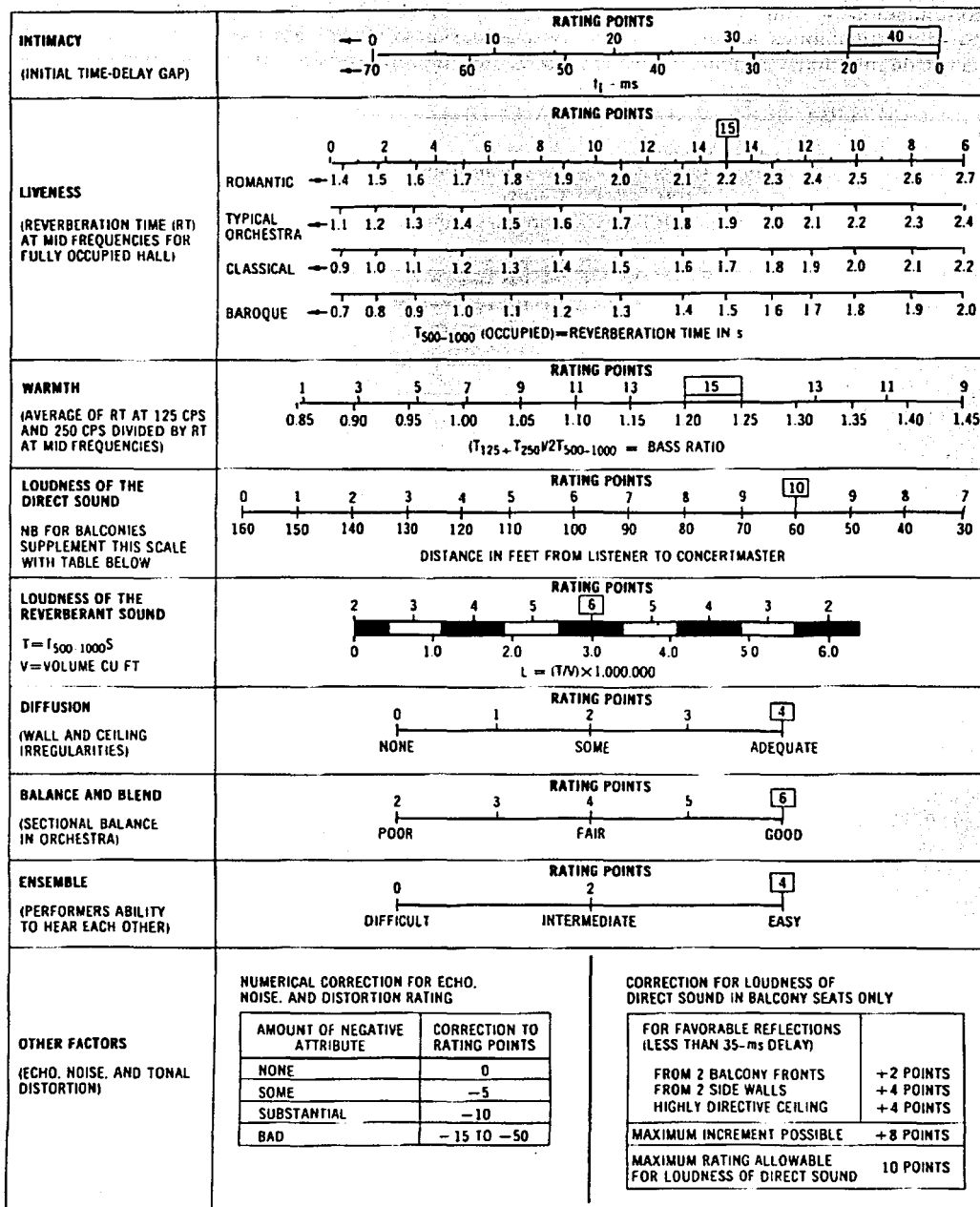


Fig. 1-36

A continuación se muestra la tabla del Dr. Carrión con los valores recomendados para salas de conciertos. Sus investigaciones se basan en el análisis de varias salas de este tipo que se consideran de calidad "excelente" a escala mundial.⁵⁰ Muchos de estos valores fueron propuestos originalmente por Beranek.

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO	VALORACIÓN SUBJETIVA
RT _{mid} (500Hz – 1kHz) sala ocupada	1.8/RT _{mid} /2 s Música sinfónica 1.6/RT _{mid} /1.8 Clásica 1.3/RT _{mid} /1.7 Barroca y cámara 1.2/RT _{mid} /1.5 Ópera	Grado de viveza de la sala
BR (<i>Bass Ratio</i>) sala ocupada	1.10 ≤ BR ≤ 1.25 (si RT _{mid} = 2.2s) 1.10 ≤ BR ≤ 1.25 (si RT _{mid} = 1.85s) (BR por interpolación para valores intermedios)	Riqueza en sonidos graves, melosidad y suavidad de la música
Br Brillo sala ocupada	Br/0.87	Riqueza en sonidos agudos
EDT (<i>Early decay time</i>) [medio] (500Hz-1kHz) sala ocupada	EDT _{mid} ≈ RT _{mid}	Grado de viveza de la sala
S (Strength factor) sala vacía	4 ≤ S ≤ 5.5dB	Grado de amplificación producido por la sala
t ₁ (<i>Initial time delay gap</i>) centro platea	t ₁ ≤ 20ms	Intimidad acústica
C ₈₀ (3) Claridad musical media (500Hz- 2kHz)	-4 ≤ C ₈₀ (3) ≤ 0dB (sala vacía) -2 ≤ C ₈₀ (3) ≤ +2dB (sala ocupada)	Grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical
LF _{E4} Eficiencia lateral media (125Hz- 1kHz) sala vacía	LF _{E4} /0.19	Amplitud aparente de la fuente sonora (ASW)
1-IACC _{E3} Correlación cruzada interaural (500Hz-2kHz) sala vacía	1-IACC _{E3} ≈ 0.70	Amplitud aparente de la fuente sonora (ASW)
SDI Índice de difusión	SDI → 1	Sensación envolvente (LEV)
ST1 _{mid} Soporte objetivo medio (250Hz-2kHz), sala vacía y escenario sin músicos pero con los elementos que le son propios	-14 ≤ ST1 _{mid} ≤ -12.5dB	Capacidad de los músicos de escucharse a sí mismos y al resto de la orquesta

Tabla 1-6

⁵⁰ Cfr. CARRIÓN ISBERT, ANTONI "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos" Pág.. 242 y Apéndice 3

1.10 Ruido en un recinto

Anteriormente se mencionó brevemente el efecto del ruido de fondo en un recinto. Sin embargo, es el ruido no deseado el que más afecta la calidad de un evento.

El ruido de fondo, debido al exterior se ve estrechamente relacionado con el tipo de materiales de construcción de muros pisos y techos. Más sin embargo, la grieta más pequeña o el resquicio debajo de la puerta, pueden permitir la entrada de sonido como si se tratara de un pequeño emisor de ruido. Debido a la difracción, el fenómeno ocurre incluso si existe una mala colocación de luminarias en un falso techo o un hueco mal cerrado alrededor de una tubería. Entiéndase entonces que se hace necesario el asilamiento en espacios por los cuales el ruido pueda viajar a través del aire para disminuir este efecto.

Las fuentes de ruido suelen ser siempre las mismas: tráfico, ya sea de gente, automovilístico e incluso aéreo; sistemas de ventilación; sistemas y aparatos eléctricos, como el caso de balastos para iluminación, radios o televisores en espacios aledaños al recinto, motores, sistemas hidráulicos, etc.

El ruido transmitido por una estructura sólida otro factor importante. Sonidos no deseados pueden afectar un recinto por transmisión mecánica a través de madera, metal, concreto o piedra. Los ruidos del sistema de ventilación se pueden transmitir a una sala a través de los conductos de aire, por el metal mismo de éstos o por ambos. Las tuberías de agua también cumplen con excelentes características de transmisión de sonido.

Es difícil que una estructura sólida pueda llegar a vibrar a causa de ruido creado en el aire, debido a la transferencia de energía ineficiente que existe entre el aire y un material denso. Sin embargo, un motor atornillado al piso por ejemplo, puede ocasionar que una estructura vibre de modo bastante significativo. Estas vibraciones pueden viajar largas distancias con poca pérdida. Con vigas de madera, concreto o ladrillo, las vibraciones longitudinales pierden 2dB cada 30 metros. Para el caso de acero, se pierden 2dB pero cada 600 metros.

1.10.1 Criterio de ruido (NC)

El método más utilizado para especificar el ruido de fondo que se permite en un recinto es el denominado *Criterio de ruido* (del inglés Noise Criteria). Las curvas de este método son bastante útiles para determinar el límite deseado.

Existen otras curvas, como las PNC (Preferred Noise Criteria) y las NR (Noise Rating) utilizadas en Europa, sin embargo éstas no se aplican directamente a espacios destinados al sonido (contrario a lo que se tiene con las curvas NC que se acercan al ideal). Las curvas NC además, siguen de forma aproximada la evolución de la sensibilidad del oído en función de la frecuencia.

La evaluación objetiva del grado de molestia que un determinado ruido de fondo provoca en un escucha, se ha realizado por comparación de los niveles de ruido existentes en un recinto, en cada banda de octava comprendida entre 63Hz y 8kHz.

La ventaja de NC es que la especificación del espectro se resume en un solo número.

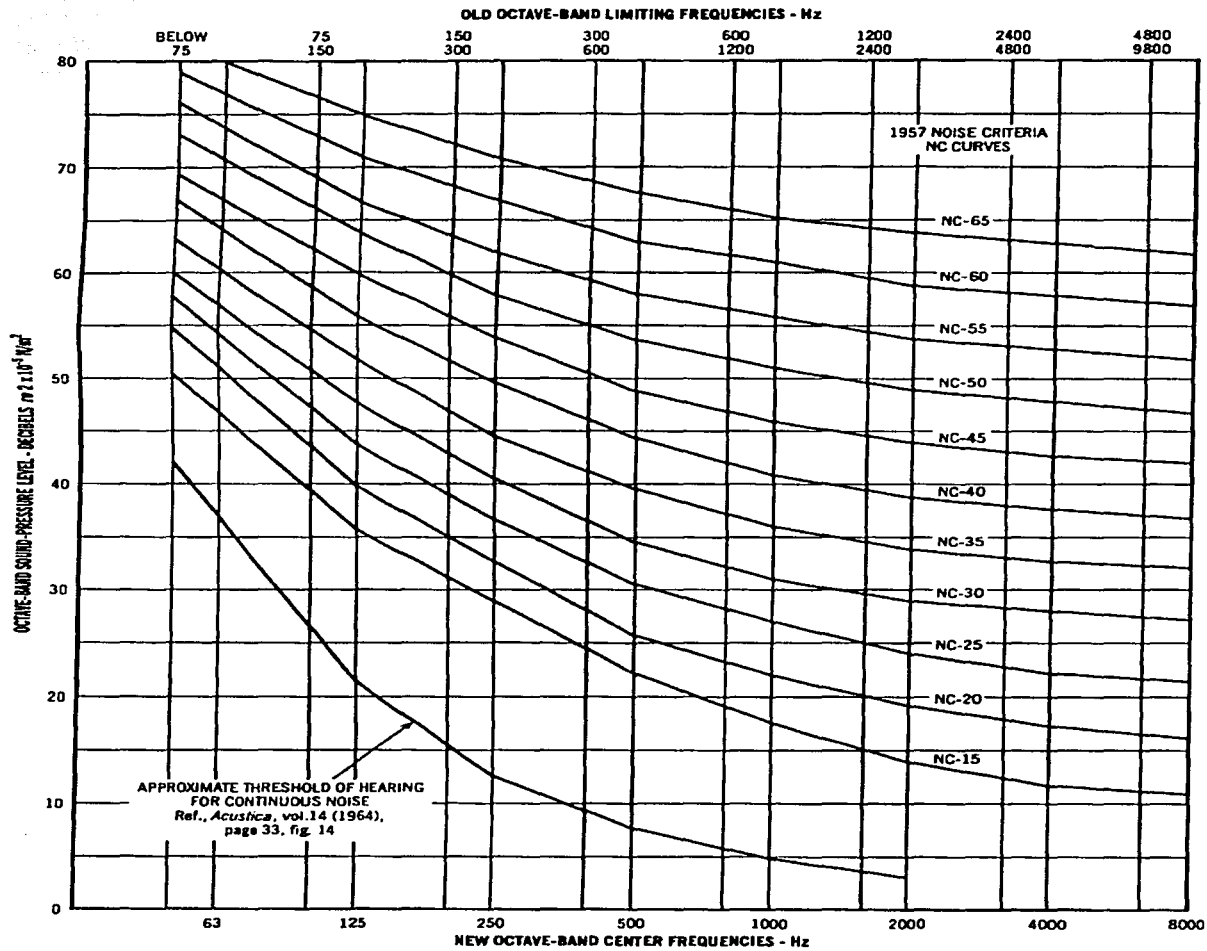


Fig. 1-37

Se dice que un espacio cumple con una determinada especificación NC cuando los niveles de ruido de fondo medidos en cada una de dichas bandas están por debajo de la curva NC correspondiente.

TIPO DE RECINTO	RANGO DE CURVA NC SUGERIDA
Estudios de grabación	15-25
Salas de conciertos o teatro	15-25
Salas de conferencias	20-30
Cines	30
Iglesias	20-30
Espacios deportivos	40-50

Tabla 1-7

1.11 Sistemas de refuerzo sonoro

Cierto tipo de eventos requerirá el uso del sistema de sonido aún cuando la acústica del espacio sea adecuada, tal es el caso de recintos de tamaño mediano a grande, donde se llevarán a cabo conferencias, eventos de música popular, comedia musical y desde luego cine. Para drama y ópera, el refuerzo sonoro dependerá de la sonoridad de reverberación o de la inteligibilidad de la palabra, el tamaño de la audiencia, la capacidad de los actores y en ocasiones lo más importante, la decisión del productor.

Con un sistema de sonido se hace necesario cumplir los siguientes objetivos:

- Nivel adecuado de presión sonora para cubrir todos los puntos del recinto.
- Uniformidad de cobertura, es decir, mínima fluctuación de niveles de presión sonora en el recinto.
- Adecuada inteligibilidad de la palabra en todos los puntos.
- Ausencia de ecos. Debe entenderse que una mala ubicación de bocinas en el recinto puede ocasionar ecos aún más graves a los ya existentes.
- Respuesta en frecuencia adecuada por parte de las bocinas. Este margen se conoce como *ancho de banda útil*, cuanto mayor sea, más natural se escuchará la voz o la música reproducida.
- Distorsión armónica total mínima. La existencia de distorsión armónica ocasiona en la señal reproducida por las bocinas la aparición de frecuencias inexistentes en la señal original y que generan ruidos molestos.

Cabe aclarar que, independientemente del diseño fijado para cumplir con dichos objetivos, pueden llegar a ser alterados por el técnico en turno en el evento si desconoce las limitaciones y el uso correcto del equipo.

1.11.1 Parámetros acústicos a medir en una sala con refuerzo sonoro

Se pueden medir, para el sistema de refuerzo sonoro, los parámetros mencionados en los apartados anteriores. Y los resultados pueden llegar a ser comparados con aquellos medidos sin el sistema para comprobar que si existen en los resultados de los parámetros con esta nueva modalidad.

Además de ellos, se pueden llevar a cabo los siguientes para cumplir con la mejor calidad acústica posible:

1.11.1.1 Ancho de banda útil (BW)

La curva de respuesta en frecuencia de un sistema de sonido está formada por un conjunto de valores de nivel de presión sonora y cada uno asociado a una frecuencia de interés. El caso ideal debería cumplirse para todo el espectro auditivo humano, es decir, de 20Hz a 20kHz

El *ancho de banda útil* está formado por todas aquellas frecuencias comprendidas entre las frecuencias límite f_{L1} y f_{L2} , inferior y superior respectivamente. Cumpliendo además con que f_{L1} sea menor que 1kHz y f_{L2} mayor que 1kHz. Ya que a cada una deberá tener el mismo nivel de presión sonora y serán iguales a la presión sonora a 1kHz menos 10 decibelios. Ello se debe a que esta última será el nivel de referencia.

Cabe aclarar que, por norma, el ancho de banda útil debe estar comprendido como mínimo entre 150Hz y 16kHz.

1.11.1.2 Distorsión armónica total (THD)

El aplicar una determinada frecuencia a una bocina que no funciona correctamente, generará una respuesta con nuevas componentes espectrales, es decir nuevas señales de frecuencias múltiplos de la frecuencia aplicada, en otras palabras armónicos de la fundamental.

La distorsión armónica total se define como la relación entre la potencia correspondiente a los diferentes armónicos y la potencia de la frecuencia fundamental, en tanto por ciento.

Es claro que, a menor distorsión armónica total, mejor será la calidad del sonido reproducido por la bocina en cuestión.

Cuantitativamente, la distorsión armónica total debe ser menor o igual al 4% para las bandas de octava centradas en 125 y 250Hz y de 2% en el resto de las bandas de octava a analizar.

1.11.1.3 Distancia crítica (Dc)

Esta no es una medida del sistema pero sí es debida a la ubicación de la fuente emisora de sonido.

La distancia crítica es aquella en donde el sonido directo tiene el mismo nivel de presión sonora que aquel debido al campo reverberante.

Este valor es muy importante como se verá en los sistemas de refuerzo sonoro que se tratarán más a detalle en el capítulo 4.

Capítulo Segundo
Análisis

2.1 Breve historia del Auditorio “Javier Barros Sierra” de la Facultad de Ingeniería en la UNAM

El auditorio de la actual Facultad de Ingeniería fue construido junto con la obra del edificio de en aquel entonces “Escuela Nacional de Ingeniería” en la nueva Ciudad Universitaria partiendo del proyecto de 1946.

El 6 de agosto de 1959, el Rector Nabor Carrillo y el H. Consejo Universitario aprueban el reglamento para la División del Doctorado, y a partir de ese momento dejó de ser Escuela Nacional de Ingeniería para convertirse en Facultad de Ingeniería.

El proceso de este fenómeno había iniciado el 23 de Abril de 1957 cuando el H. Consejo Técnico aprobó tanto el proyecto de reglamento como el plan de estudios para la División de Estudios Superiores. Y más adelante, el impulsor de todo este proceso, el Director de la Escuela Nacional de Ingeniería, el Ing. Javier Barros Sierra, había llevado a cabo la modificación de la organización de ésta.

Fue años más tarde y en reconocimiento a estos y otros hechos más por parte del Ing. Javier Barros Sierra” que el auditorio recibió su nombre.

En el año de 1964 el director en Conservación de Obras Universitarias el Arq. Eugenio Peschard, mandó dibujar un nuevo plano del auditorio, sin embargo en este no se ven cambios con respecto al que parece ser el original.

En cuanto a la construcción original del auditorio, éste no incluía las paredes laterales del escenario como actualmente las vemos.

Estos dos planos (apreciables en páginas siguientes), junto con el del techo (no incluido en este texto), son los únicos con los que cuenta el Departamento de Conservación de la Dirección General de Obras de la UNAM. Y al parecer son los únicos existentes de este recinto.

Las obras posteriores llevadas a cabo en el auditorio no han sido documentadas en ninguna forma, de modo que toda la información existente en cuanto a las fechas de remodelaciones que se han llevado a cabo ha sido conferida oralmente.¹

A finales del año de 1980 es inaugurado el mural del Maestro Federico Silva, tanto en la parte exterior del auditorio como en la pared posterior de éste.

Anterior al mural, la documentación es visual como se puede ver a continuación:



Ello indica entonces que, en algún momento entre el año de 1964 (el diseño del último plano) y 1979, se colocaron las tablas de madera de pino a lo largo de los muros del auditorio. De la fotografía se puede apreciar una cortina en la parte superior de los muros, donde antiguamente había ventanas, y desde hace ya un tiempo han sido recubiertas con tabla roca.

¹ Entrevista con Gustavo P. Coca de la División de Ciencias Sociales y Humanidades de la Facultad de Ingeniería, UNAM

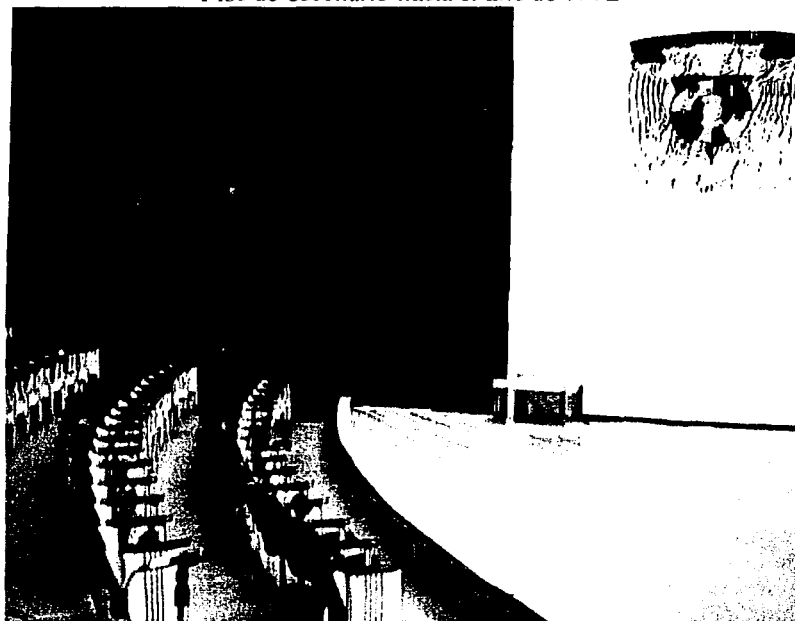
Los muros laterales (debajo de las ventanas) están contruidos a base de piedra volcánica y mortero.

En aquella época, la sonorización e iluminación de los eventos llevados a cabo, ocurrían a través del apoyo del Ing. Lincoln de la Dirección de Apoyo a la Comunidad Universitaria y el equipo se instalaba exclusivamente para el evento. Más adelante se fijaron primero, bocinas convencionales y luego de tipo columna, distribuidas en las paredes laterales del recinto. Para ser parte de un sistema fijo.

En el año de 1992, el piso del escenario fue extendido casi dos metros, y con ello la eliminación de la primera fila de asientos; reduciendo el aforo de 400 a 378 personas.



Piso de escenario hasta el año de 1992



Extensión del piso del escenario

En el año de 1995 las bocinas de columna fueron retiradas y se sustituyeron por las actuales.

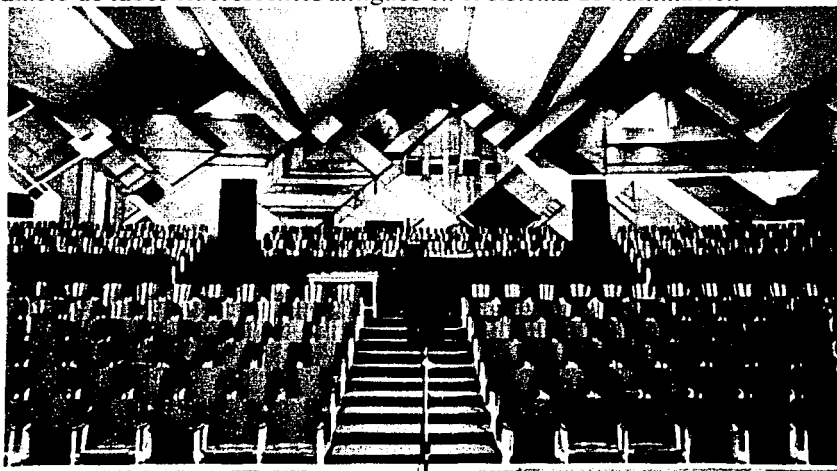


Sistema actual de bocinas

Durante los meses de diciembre del 2001 y enero del 2002 se cambió el cableado para microfónica de la cabina de proyección hacia el estrado y se instaló una conexión fija de conectores RCA y RF por la parte interior del murete central en luneta, se añadieron también más receptáculos eléctricos, distribuidos a lo largo del borde frontal del escenario.

En enero del presente año, con el apoyo de las donaciones del Programa UNAM-BID, se le hicieron algunas mejoras de menor orden al auditorio, entre las que se encuentran²:

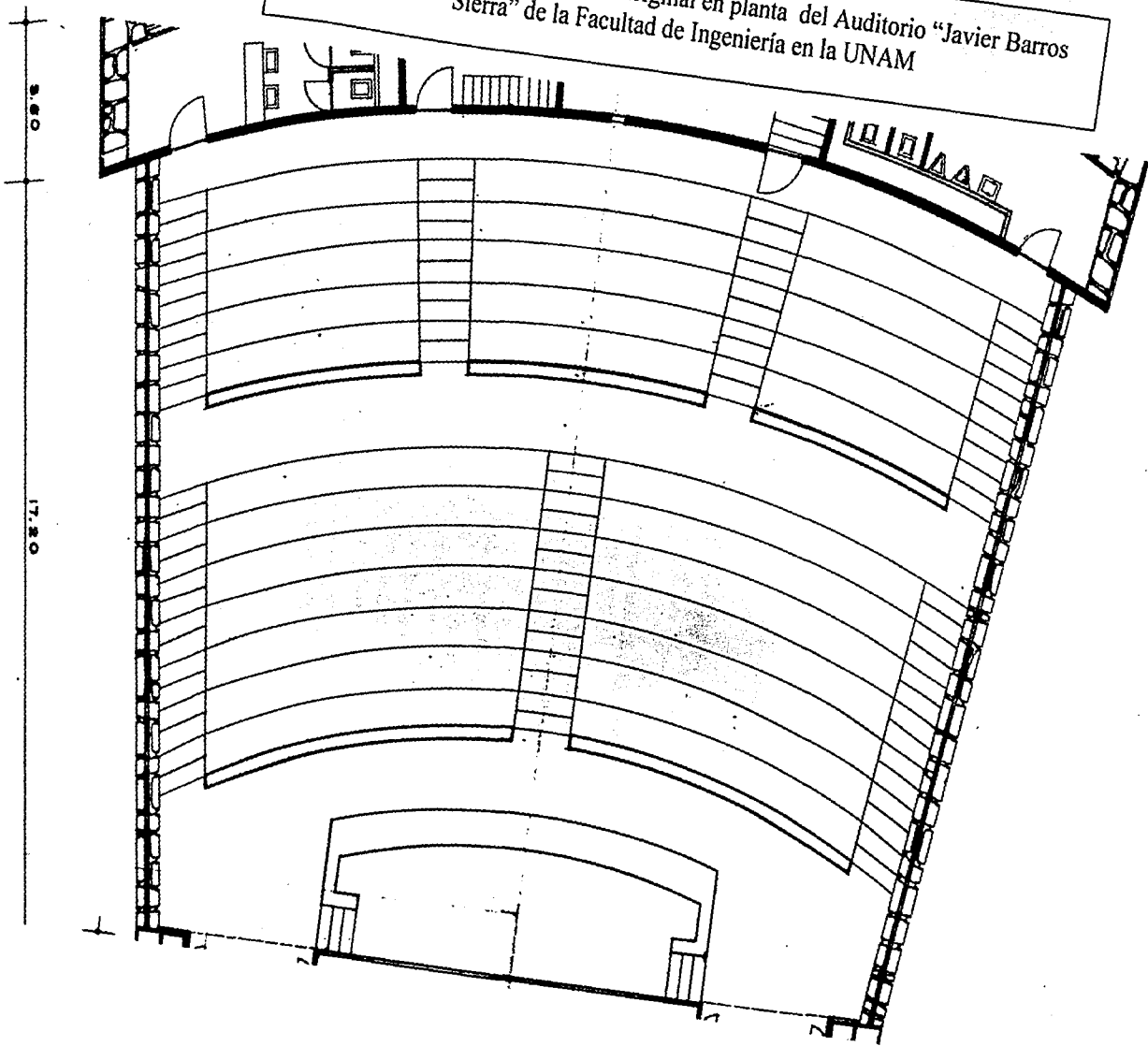
- Colocación de alfombra de uso rudo, de baja densidad en los pasillos.
- Aplicación de pintura vinílica al techo
- Aplicación de pintura de esmalte a todas las butacas de madera
- Aplicación de pintura de esmalte al piso en área de butacas
- Aplicación de barniz brillante al piso del escenario
- Cambio de tubos fluorescentes antiguos en el sistema de iluminación



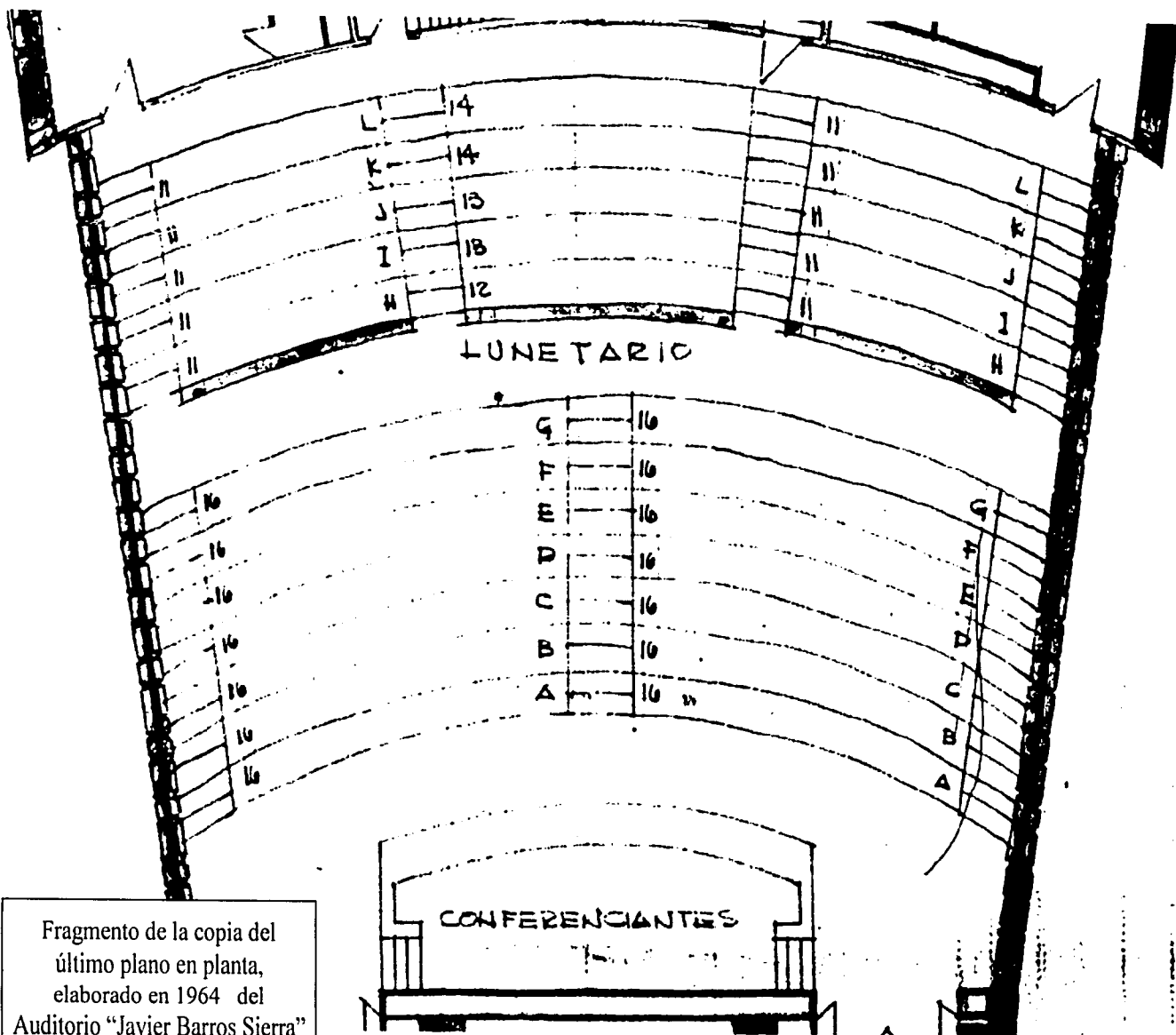
Fragmento del mural del Maestro Federico Silva en la parte posterior del Auditorio

² La Gaceta de la Facultad de Ingeniería en su número 2 del 11 de Febrero de 2002 indica que también se cambió el plafón, e instalación eléctrica, pero esto no se llevó a cabo durante esta remodelación.

Fragmento de la copia del plano original en planta del Auditorio "Javier Barros Sierra" de la Facultad de Ingeniería en la UNAM



TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



Fragmento de la copia del último plano en planta, elaborado en 1964 del Auditorio "Javier Barros Sierra" de la Facultad de Ingeniería en

2.2 Descripción física del recinto

Recinto de planta tipo trapezoidal con:

Ancho menor de 18.5m,

Ancho mayor de 23.6m y

Largo de 19.3m

Pared posterior diseñada en arco de 60° para una cuerda de 23.6m conformada por el ancho mayor del trapecioide.

Accesos:

Dos, únicamente por la parte frontal del auditorio de 2m de ancho, a cada lado del escenario.

Pasillos:

Dos laterales de 1.10m de ancho que desembocan en los accesos.

Uno central para platea de 1.52m de ancho

Dos intermedios para luneta de 1.25m de ancho.

Uno medio de 1.5m de ancho.

Uno posterior de 1.10m de ancho.

Escenario:

De planta tipo trapezoidal con:

Ancho menor de 9m

Ancho mayor de 17m

Largo de 5.6m

Frente de escenario diseñado en arco de 60° para una cuerda de 17m conformada por el ancho mayor del trapecioide.

Área público:

2 Áreas de platea delimitadas por escenario, pasillos central, medio y laterales, conforman 6 niveles de 1 metro de ancho cada uno.

3 Áreas de luneta;

Una central delimitada por murete y pasillos intermedios y posterior

Dos laterales delimitadas por murete y pasillos intermedio, lateral y posterior.

Conformadas por 5 niveles de 1 metro de ancho cada uno.

En corte:

Escenario: una sola elevación de 0.47m

Accesos: sin elevación

Área Público: Elevación de asientos, irregular de nivel en nivel, que en total tiene una pendiente de 17° para el triángulo rectángulo que forman la planta sin elevación y la hipotenusa de 12.5m

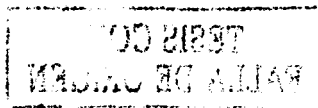
Los niveles varían desde los 22 hasta los 30 cms.

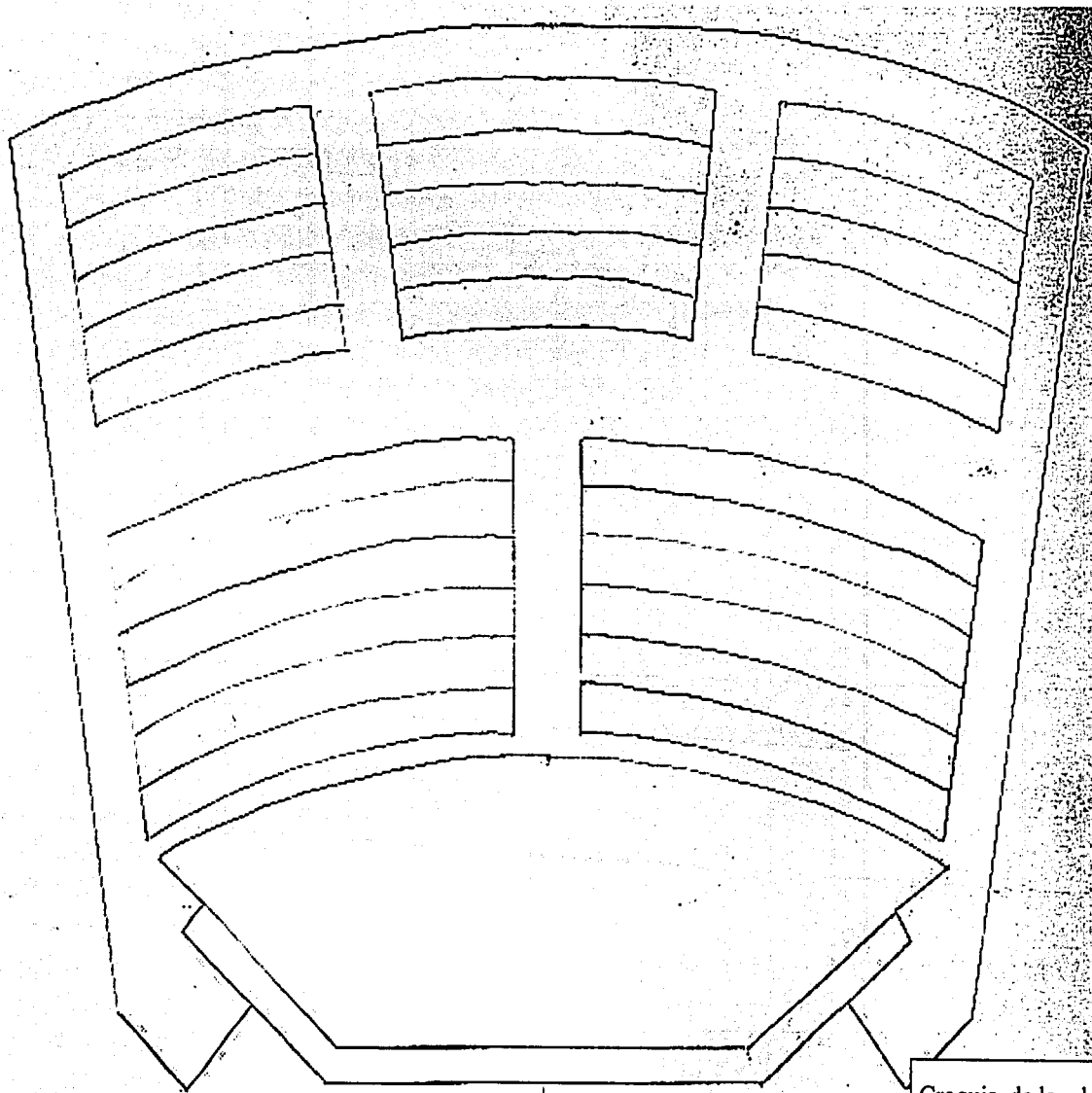
Paredes laterales:

Tiras de madera de pino de 15cms de ancho hasta 6.64m de altura

Techo: De forma irregular. En la pared frontal las traveses inferiores tienen una altura de 6.85m, mientras que en la parte posterior están a una altura de 7.57m

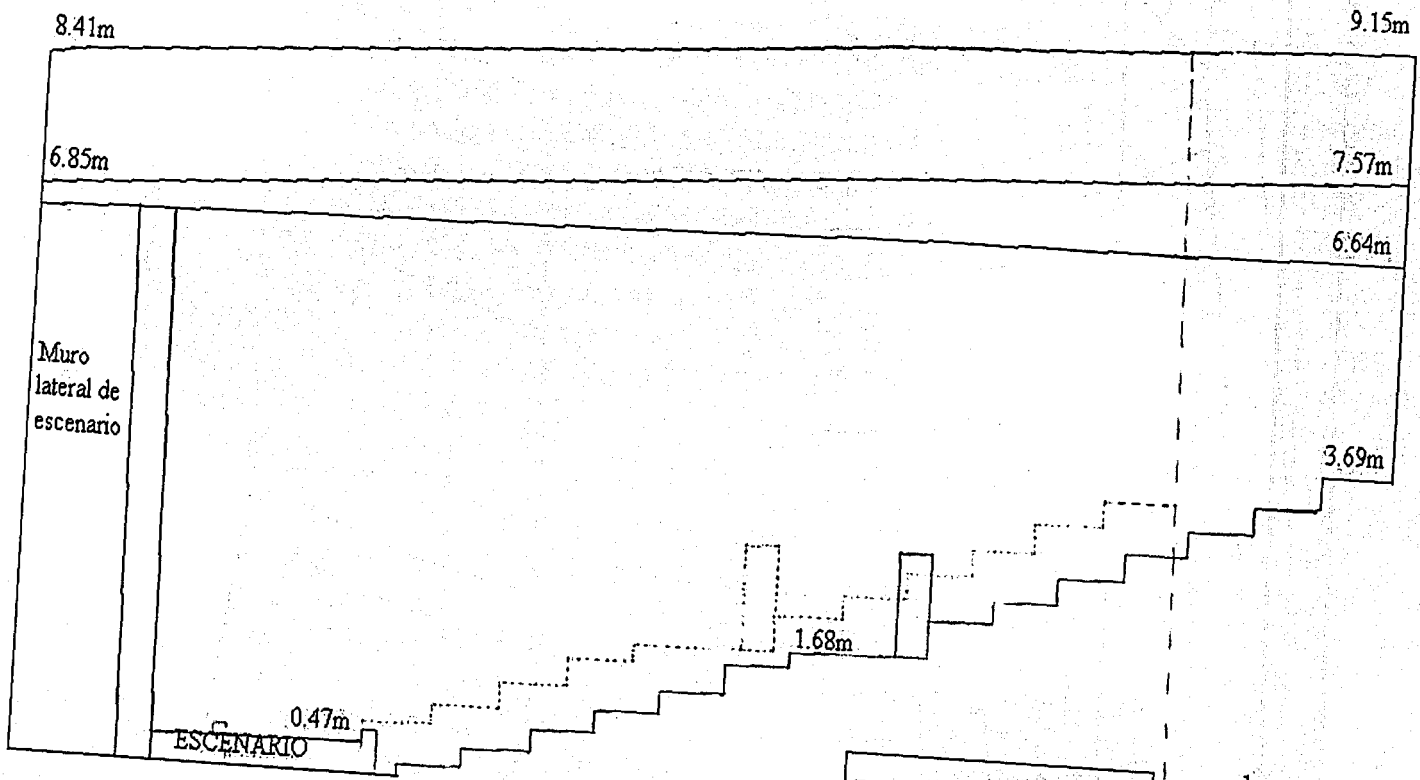
La parte superior del techo, también con pendiente, inicia a 8.41m en la pared frontal y su elevación final es de 9.15m en la pared posterior.





Croquis de la planta actual
del Auditorio "Javier Barros
Sierra" de la Facultad de
Ingeniería en la UNAM

Croquis de corte del Auditorio "Javier Barros Sierra" de la Facultad de Ingeniería en la UNAM



Debido a la forma irregular del recinto, este plano representa en líneas firmes el corte al centro, y en línea punteada el corte a la altura



Superficies y materiales:

<i>SUPERFICIE</i>	<i>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</i>	<i>ÁREA aprox. en m²</i>
Techo	Tirol rugoso	480
Paredes laterales	Madera de pino con barniz mate	230
Paredes de escenario	Concreto pintado	180
Parte superior pared	Tabla roca sobre antiguo espacio de ventanas	84
Mural	Madera de pino variada y lamina de acero inoxidable	118
Pasillos	Alfombra delgada sobre cemento	162
Butacas	De madera de pino montadas en metal, ambos con pintura de esmalte brillante	194 (277)
Piso de área público	Cemento con pintura de esmalte brillante	222
Escenario	Duela de pino con barniz brillante	67
Accesos	Puertas de metal y hoja triplay de pino Cortinas de algodón	8.8

Volumen aproximado del recinto³: 2425 m³

Superficie aprovechable total del recinto: 1750m²

Capacidad: 378 personas sentadas en el área de público

2.3 Criterio de ruido

Antes de proceder a los métodos de análisis por los cuales se definieron los parámetros acústicos de la sala, es preciso establecer qué nivel de ruido tiene la sala. Ello es también con el objeto de utilizar dicha medición para el análisis por predicción por medio de un programa de cómputo.

Como mencioné en el capítulo anterior, las fuentes más comunes de ruido suelen ser de carácter eléctrico, hidráulico, de ventilación o debido al exterior.

Para el caso del auditorio "Javier Barros Sierra" existen las cuatro fuentes arriba mencionadas como generadoras de ruido. Las mediciones se llevaron a cabo con ayuda de un sonómetro en dBA⁴, con respuesta lenta.⁵ Se estableció el mínimo de ruido existente, sin ninguna fuente encendida y posteriormente se fueron encendiendo los sistemas.

A continuación se muestra una tabla con las fuentes generadoras y la curva de criterio de ruido a la que pertenecen.

Fuente de ruido	Medición en dBA	Forma de medición	Curva NC correspondiente
En "silencio"	37	En el centro de la sala, 2 min	25
Balastos	45	En el centro de la sala, 2 min	35
Sistema de ventilación	47	En el centro de la sala, 2 min	35
Ambos sistemas encendidos	50	En el centro de la sala, 2 min	40
Golpe de ariete	55	A 1m del piso, instantánea	45
Puerta abierta	65	A 1m del distancia, 2 min.	55
Puerta cerrada	55	A 1m de distancia, 2 min.	45

Los balastos del sistema eléctrico generan ruido desde una, hasta todas las fuentes de iluminación encendidas, aquí se tomó en cuenta para el caso extremo. Este resulta utilizado para eventos de diversa índole como conferencias, interpretación de música popular, danza y otros.

³ Calculado por geometría.

⁴ Cfr. Glosario

⁵ Simpson Sound Level Meter. Mod. 886

Es posible que el sistema de ventilación por sí sólo (sin el uso de iluminación) se llegue a utilizar para funciones de cine o durante conferencias en que se utiliza proyección de imagen.

Ambos sistemas encendidos se utilizan durante eventos de gran magnitud, en los que la sala está ocupada por completo. Esto ocurre generalmente durante conferencias.

La tubería de agua que corre debajo de la luneta central en el auditorio pertenece a una toma de agua en el "Foto Club Ingeniería" Tiene problemas de *golpe de ariete* que se manifiestan en transmisión de ruido a la estructura. No es un ruido constante, ya que está en función de la utilización de la válvula de salida, sin embargo, sí es considerable debido a su intensidad sonora.

La puerta se ubicó en sus dos posiciones debido a que es una fuente de ruido bastante interesante. Independientemente de la existencia de cortinas colocadas posteriormente hacia la sala, el ruido del exterior se hace notorio, incluso con el sistema de iluminación encendido. Es por ello que se han tomado las mediciones con referencia a 1 metro de distancia, para medir la calidad de absorción de dicha barrera de sonido.

La fuente de ruido proveniente del exterior es primordialmente debida al sistema de audiovisual -televisor- colocado a unos metros de distancia de la entrada del auditorio. Si bien no se maneja a niveles muy elevados de presión sonora, la reverberación del espacio exterior es lo suficientemente alta para volverlo una fuente de ruido presente en el interior de la sala. Añadido a esto se encuentra el tráfico habitual de gente por los pasillos y escaleras, ubicados en el exterior del recinto.

2.4 Métodos de análisis

Para poder analizar el recinto se utilizaron tres métodos:

- Por cálculo matemático para los parámetros de predicción teórica
- Por medición en sitio con el uso de programa de cómputo
- Por predicción con programa de cómputo

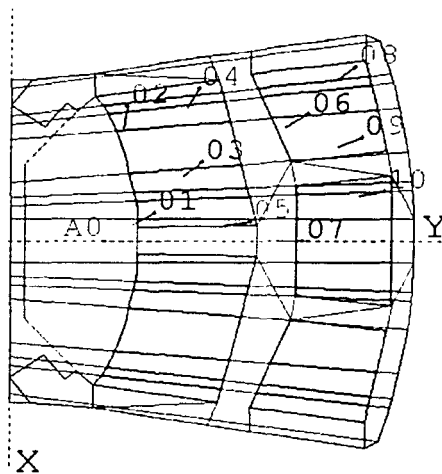
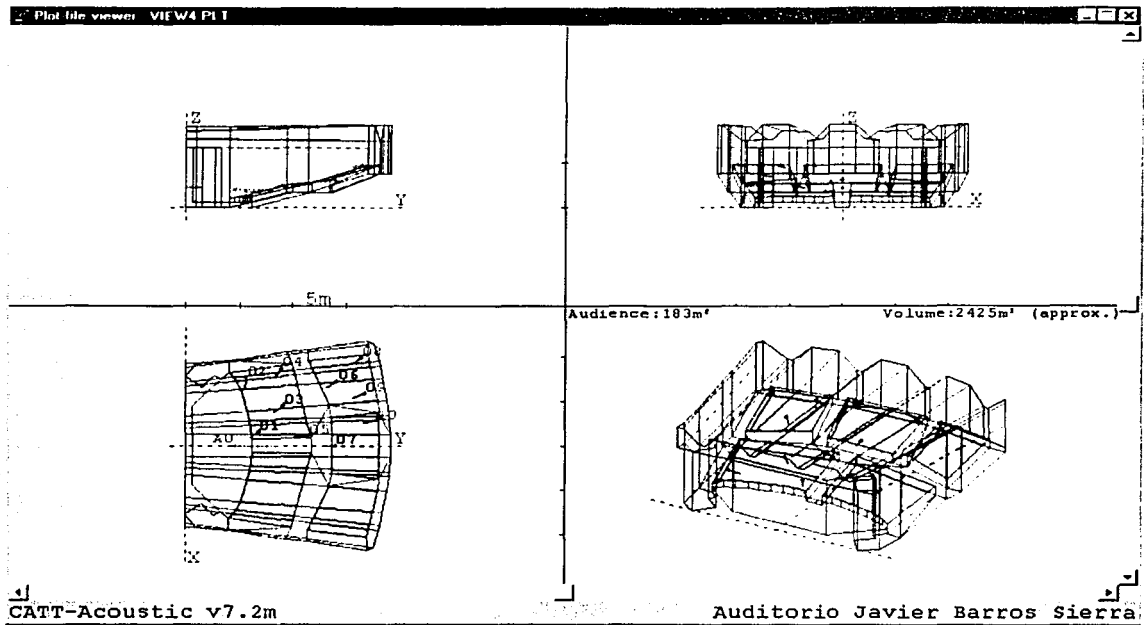
Para todos los análisis se utilizaron las frecuencias centrales de las bandas de octava según prescribe la norma ISO 266, y que son las siguientes:

			1	2	3	4	5	6		
16	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000

Aquellas numeradas del 1 al 6 corresponden a las tomadas en consideración para el análisis acústico de recintos, según se podrá apreciar a lo largo de las mediciones llevadas a cabo.

La norma ISO3382 establece un mínimo de medidas a obtener en un recinto, y es de esperarse que en los métodos llevados a cabo con programas de cómputo (sea medición en sitio o predicción) se cumpla con lo que indica la norma internacional.

Para la obtención de un cálculo estadístico de varios puntos de la sala, se han elegido los siguientes a la altura de 1.2m sobre la elevación correspondiente como se ve en la imagen. Se toma esta altura como estándar de la ubicación de las orejas en el cuerpo humano promedio, cuando éste se encuentra sentado.



Es de esperarse que, al llevar a cabo las mediciones de un solo lado de la sala, se podrá conocer la respuesta de la zona opuesta por simetría.

2.4.1 Por cálculo matemático⁶

Los parámetros a analizar por el método matemático se ven limitados a aquellos que requieren únicamente, el área y el volumen del recinto y la distancia a la fuente emisora

Y son:

- RT Tiempo de reverberación
- C₅₀ Claridad de la voz
- D Definición
- %ALCons Inteligibilidad de la palabra por pérdida de consonantes
- C₈₀ Claridad musical
- BR Calidez acústica
- Br Brillo

2.4.1.1 Ventajas y desventajas del método matemático

Ventajas

- Predecir los parámetros acústicos más importantes desde su etapa de diseño. Incluso si el recinto ya existe, contar con sus dimensiones basta para poder obtener un cálculo rápido.
- Se aproxima a la realidad del espacio en materia de algunos parámetros sin tener que estar presente en el sitio y hacer mediciones que requieran mayor elaboración.
- Permite, a través del modelado matemático, la elección de sustitución de materiales en las superficies y de esa manera ver si las modificaciones son convenientes o no.
- Es el método más económico y rápido de los tres.

Desventajas

- Los coeficientes de absorción de las superficies se basan en tablas ya existentes que, a pesar de que ofrecen una buena noción de la absorción del material, no es necesariamente la existente en el recinto. (Especialmente aquellos recintos de construcción anterior al proceso de análisis acústico de materiales)
- No considera el efecto de las primeras reflexiones, ecos ni focalizaciones del área de estudio.
- No se contempla la existencia de coloración del sonido ni “filtros de peine”
- No toma en cuenta el ruido de fondo del recinto que pueda ocasionar enmascaramiento de señal.
- No incluye la energía radiada por la fuente emisora.

2.4.1.2 Procedimiento para efectuar el método

1. Se toman medidas del recinto y se definen los materiales de las superficies del mismo.
2. Se calculan las áreas de las superficies cubiertas por los distintos materiales.
3. Se obtiene el volumen del recinto.
4. Se define el punto de ubicación del emisor.

2.4.1.3 Resultados obtenidos por este método

- Tiempo de reverberación con sala vacía y sala ocupada

⁶ Para ver las fórmulas matemáticas utilizadas consúltese el Anexo I

Tiempo de reverberación calculado con sala vacía
Auditorio "Javier Barros Sierra"
Facultad de Ingeniería
UNAM

Material	Area (m2)	125Hz		250Hz		500Hz		1kHz		2kHz		4kHz		
		α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	
<i>Paredes laterales:</i>														
Tiras de madera de 15cm	230.1	0.12	27.61	0.1	23.01	0.08	18.41	0.07	16.11	0.03	6.90	0.02	4.60	
<i>Escenario:</i>														
Muro de concreto	180.5	0.08	14.44	0.06	10.83	0.06	10.83	0.05	9.03	0.03	5.42	0.02	3.61	
<i>Superficie paredes lat.:</i>														
Muro enyesado	83.40	0.15	12.51	0.1	8.34	0.09	7.51	0.08	6.67	0.04	3.34	0.02	1.67	
<i>Pared posterior:</i>														
Mural	118.2	0.12	14.18	0.1	11.82	0.08	9.46	0.07	8.27	0.03	3.55	0.03	3.55	
<i>Techo:</i>														
Yeso tirolado pintado	479.5	0.12	57.54	0.09	43.16	0.05	23.98	0.03	14.385	0.02	9.59	0.02	9.59	
<i>Piso escenario:</i>														
Pisos de madera	66.64	0.12	8.00	0.1	6.66	0.09	6.00	0.08	5.3312	0.05	3.33	0.02	1.33	
<i>Pasillos:</i>														
Alfombra	162.07	0.12	19.45	0.11	17.83	0.1	16.21	0.08	12.966	0.1	16.21	0.12	19.45	
<i>Butacas:</i>														
Madera	276.8	0.2	55.36	0.3	83.04	0.4	110.72	0.4	110.72	0.45	124.56	0.5	138.40	
<i>Accesos:</i>														
Cortina	8.8	0.12	1.06	0.11	0.97	0.15	1.32	0.27	2.376	0.37	3.26	0.42	3.70	
<i>Aire</i>														
Absorción del aire	(4*V) [m3]	9700	0.0001	0.97	0.0003	2.91	0.0006	6.11	0.00107	10.379	0.00228	22.12	0.00683	66.25
Promedio		0.128		0.119		0.122		0.126		0.124		0.130		
RT Sabine	1.86		1.85		1.87		1.85		2.05		1.97		1.55	
Volumen	2425.00													

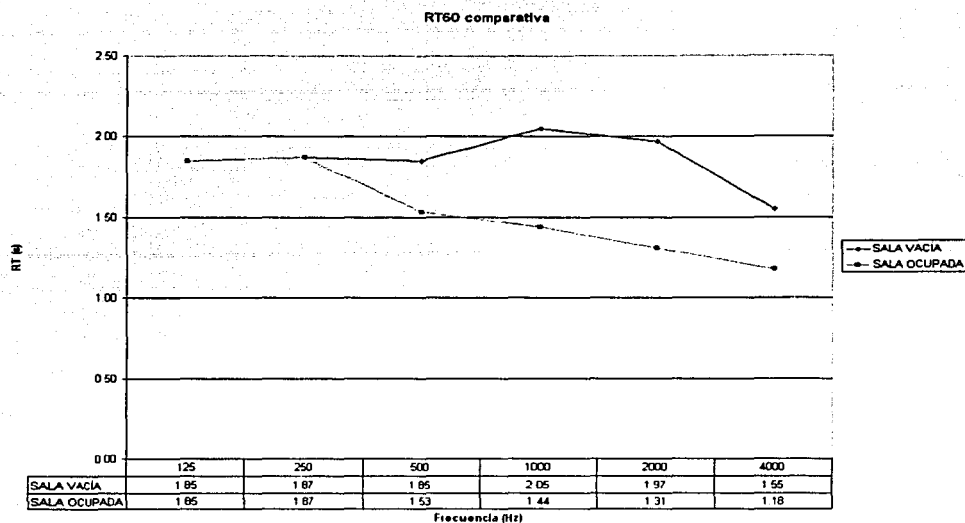
Tiempo de reverberación calculado para sala ocupada
 Auditorio "Javier Barros Sierra"
 Facultad de Ingeniería
 UNAM

Material	Area (m ²)	125Hz:		250Hz:		500Hz:		1kHz:		2kHz:		4kHz:		
		α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	
<i>Paredes laterales:</i>														
Tiras de madera de 15cm	230.1	0.12	27.61	0.1	23.01	0.08	18.41	0.07	16.11	0.03	6.90	0.02	4.60	
<i>Escenario:</i>														
Muro de concreto	180.5	0.08	14.44	0.06	10.83	0.06	10.83	0.05	9.03	0.03	5.42	0.02	3.61	
<i>Superficie paredes lat.:</i>														
Muro enyesado	83.40	0.15	12.51	0.1	8.34	0.09	7.51	0.08	6.67	0.04	3.34	0.02	1.67	
<i>Pared posterior:</i>														
Mural	118.2	0.12	14.18	0.1	11.82	0.08	9.46	0.07	8.27	0.03	3.55	0.03	3.55	
<i>Techo:</i>														
Yeso tirolado pintado	479.5	0.12	57.54	0.09	43.16	0.05	23.98	0.03	14.385	0.02	9.59	0.02	9.59	
<i>Piso escenario:</i>														
Pisos de madera	66.64	0.12	8.00	0.1	6.66	0.09	6.00	0.08	5.3312	0.05	3.33	0.02	1.33	
<i>Pasillos:</i>														
Alfombra	162.07	0.12	19.45	0.11	17.83	0.1	16.21	0.08	12.966	0.1	16.21	0.12	19.45	
<i>Butacas:</i>														
Madera	276.8	0.2	55.36	0.3	83.04	0.56	155.01	0.69	190.99	0.81	224.21	0.78	215.90	
<i>Accesos:</i>														
Cortina	8.8	0.12	1.06	0.11	0.97	0.15	1.32	0.27	2.376	0.37	3.26	0.42	3.70	
<i>Aire</i>														
Absorción del aire	(4*V) [m ³]	9700	0.0001	0.97	0.0003	2.91	0.0006	6.11	0.00107	10.379	0.00228	22.12	0.00683	66.25
	Promedio	0.128		0.119		0.140		0.158		0.164		0.161		
RT Sabine	1.53		1.85		1.87		1.53		1.44		1.31		1.18	

Tiempo de reverberación calculado para sala ocupada
 Auditorio "Javier Barros Sierra"
 Facultad de Ingeniería
 UNAM

Material	Area (m ²)	125Hz		250Hz		500Hz		1kHz		2kHz		4kHz	
		α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa
<i>Paredes laterales:</i>													
Tiras de madera de 15cm	230.1	0.12	27.61	0.1	23.01	0.08	18.41	0.07	16.11	0.03	6.90	0.02	4.60
<i>Escenario:</i>													
Muro de concreto	180.5	0.08	14.44	0.06	10.83	0.06	10.83	0.05	9.03	0.03	5.42	0.02	3.61
<i>Superficie paredes lat.:</i>													
Muro enyesado	83.40	0.15	12.51	0.1	8.34	0.09	7.51	0.08	6.67	0.04	3.34	0.02	1.67
<i>Pared posterior:</i>													
Mural	118.2	0.12	14.18	0.1	11.82	0.08	9.46	0.07	8.27	0.03	3.55	0.03	3.55
<i>Techo:</i>													
Yeso tirolado pintado	479.5	0.12	57.54	0.09	43.16	0.05	23.98	0.03	14.385	0.02	9.59	0.02	9.59
<i>Piso escenario:</i>													
Pisos de madera	66.64	0.12	8.00	0.1	6.66	0.09	6.00	0.08	5.3312	0.05	3.33	0.02	1.33
<i>Pasillos:</i>													
Alfombra	162.07	0.12	19.45	0.11	17.83	0.1	16.21	0.08	12.966	0.1	16.21	0.12	19.45
<i>Butacas:</i>													
Madera	276.8	0.2	55.36	0.3	83.04	0.56	155.01	0.69	190.99	0.81	224.21	0.78	215.90
<i>Accesos:</i>													
Cortina	8.8	0.12	1.06	0.11	0.97	0.15	1.32	0.27	2.376	0.37	3.26	0.42	3.70
<i>Aire</i>													
Absorción del aire	(4*V) [m ³] 9700	0.0001	0.97	0.0003	2.91	0.0006	6.11	0.00107	10.379	0.00228	22.12	0.00683	66.25
	Promedio	0.128		0.119		0.140		0.158		0.164		0.161	
RT Sabine	1.53		1.85		1.87		1.53		1.44		1.31		1.18

Gráfica comparativa de tiempo de reverberación



Claridad de voz C_{50}

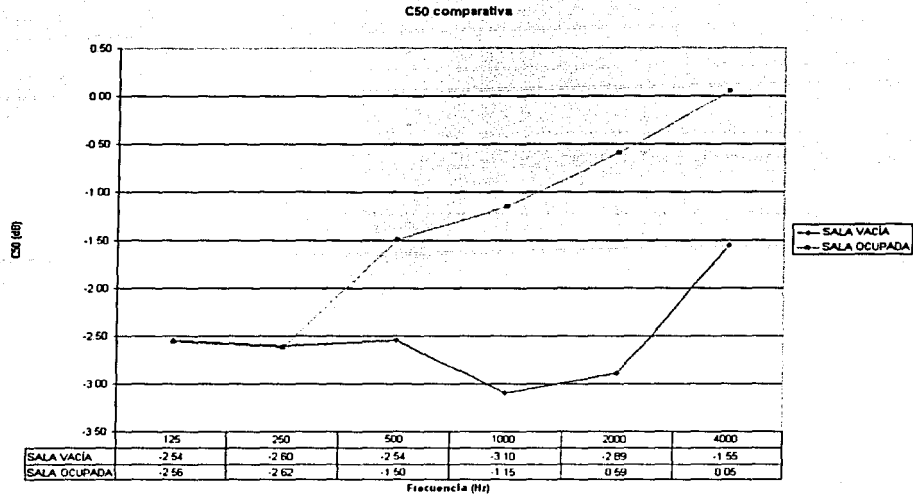
C_{50} para sala vacía

C_{50}	125	250	500	1000	2000	4000
P1	-0.84	-0.90	-0.84	-1.42	-1.19	0.20
P2	-2.48	-2.54	-2.48	-3.03	-2.82	-1.48
P3	-2.12	-2.18	-2.12	-2.68	-2.46	-1.11
P4	-2.73	-2.79	-2.73	-3.28	-3.07	-1.74
P5	-2.36	-2.41	-2.36	-2.92	-2.70	-1.36
P6	-2.92	-2.97	-2.92	-3.47	-3.25	-1.94
P7	-2.80	-2.85	-2.80	-3.35	-3.13	-1.81
P8	-3.13	-3.18	-3.13	-3.67	-3.46	-2.16
P9	-3.04	-3.10	-3.04	-3.59	-3.38	-2.07
P10	-3.05	-3.11	-3.05	-3.60	-3.39	-2.08

C_{50} para sala ocupada

C_{50}	125	250	500	1000	2000	4000
P1	-0.88	-0.94	0.24	0.61	1.20	1.87
P2	-2.49	-2.55	-1.42	-1.07	-0.51	0.14
P3	-2.14	-2.20	-1.06	-0.70	-0.13	0.52
P4	-2.74	-2.80	-1.69	-1.34	-0.78	-0.14
P5	-2.38	-2.43	-1.30	-0.95	-0.38	0.27
P6	-2.93	-2.98	-1.87	-1.53	-0.98	-0.35
P7	-2.81	-2.87	-1.75	-1.40	-0.85	-0.21
P8	-3.13	-3.19	-2.09	-1.75	-1.20	-0.58
P9	-3.05	-3.11	-2.00	-1.66	-1.11	-0.49
P10	-3.06	-3.12	-2.02	-1.67	-1.13	-0.50

Gráfica comparativa para Claridad de la voz



Definición

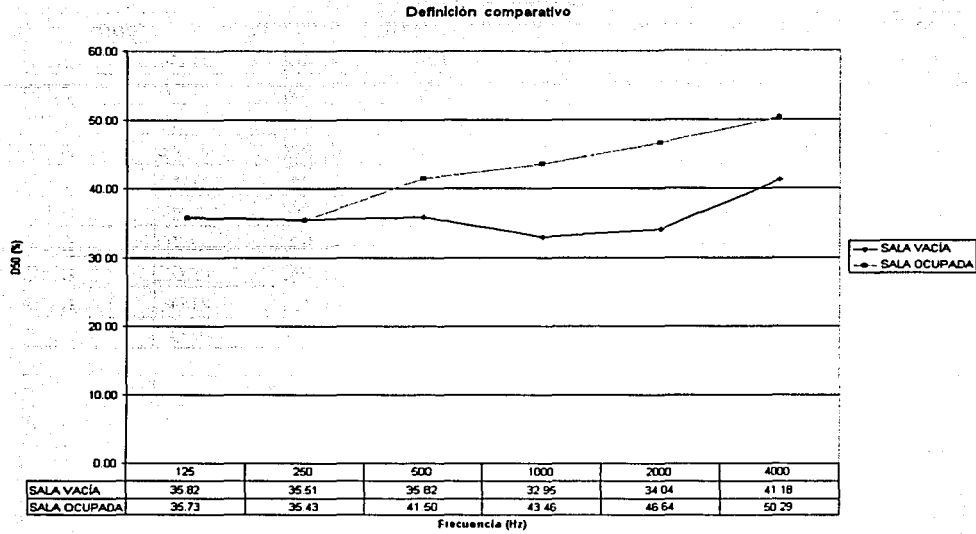
D para sala vacía

Definición	125	250	500	1000	2000	4000
P1	45.20	44.85	45.20	41.92	43.17	51.16
P2	36.12	35.81	36.12	33.21	34.32	41.56
P3	38.05	37.72	38.05	35.03	36.18	43.65
P4	34.78	34.47	34.78	31.95	33.02	40.09
P5	36.77	36.45	36.77	33.82	34.94	42.26
P6	33.82	33.52	33.82	31.05	32.10	39.03
P7	34.44	34.14	34.44	31.63	32.70	39.72
P8	32.75	32.45	32.75	30.05	31.07	37.83
P9	33.18	32.89	33.18	30.45	31.49	38.31
P10	33.11	32.82	33.11	30.38	31.42	38.24

D para sala ocupada

Definición	125	250	500	1000	2000	4000
P1	44.97	44.62	51.37	53.49	56.85	60.62
P2	36.02	35.71	41.87	43.86	47.08	50.78
P3	37.92	37.60	43.93	45.97	49.25	53.01
P4	34.71	34.40	40.42	42.37	45.53	49.18
P5	36.66	36.34	42.56	44.57	47.81	51.54
P6	33.77	33.47	39.37	41.29	44.41	48.01
P7	34.38	34.08	40.05	41.99	45.14	48.77
P8	32.71	32.42	38.18	40.06	43.11	46.65
P9	33.14	32.84	38.67	40.56	43.64	47.21
P10	33.07	32.78	38.59	40.48	43.56	47.12

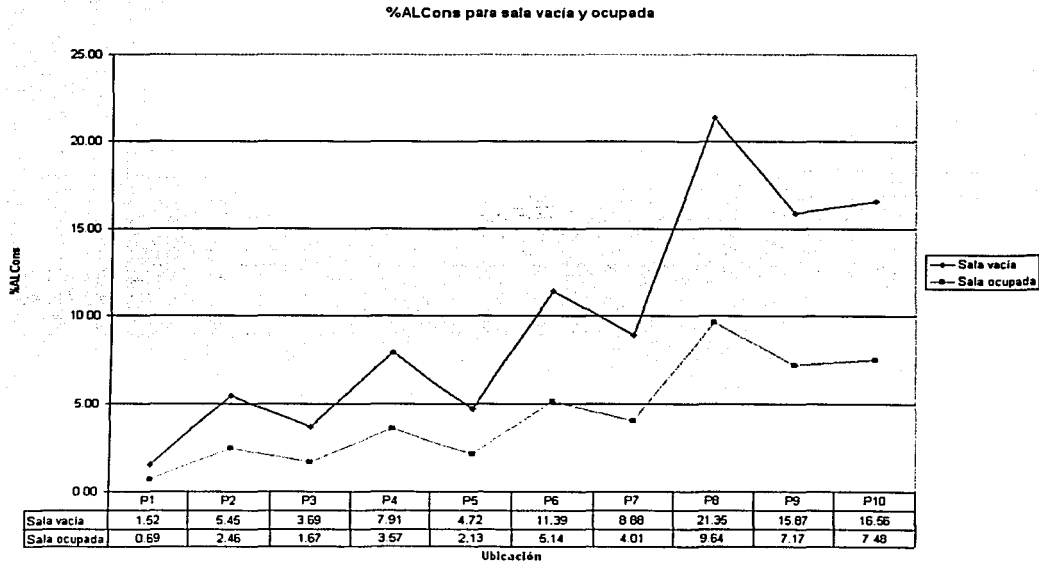
Gráfica comparativa para Definición



- Inteligibilidad de la palabra por pérdida de consonantes

%ALCons	Sala vacía	Sala ocupada
Promedio	9.73	4.40

Gráfica comparativa sobre Inteligibilidad con sala vacía y sala ocupada



▪ Claridad musical media

C_{80} para sala vacía

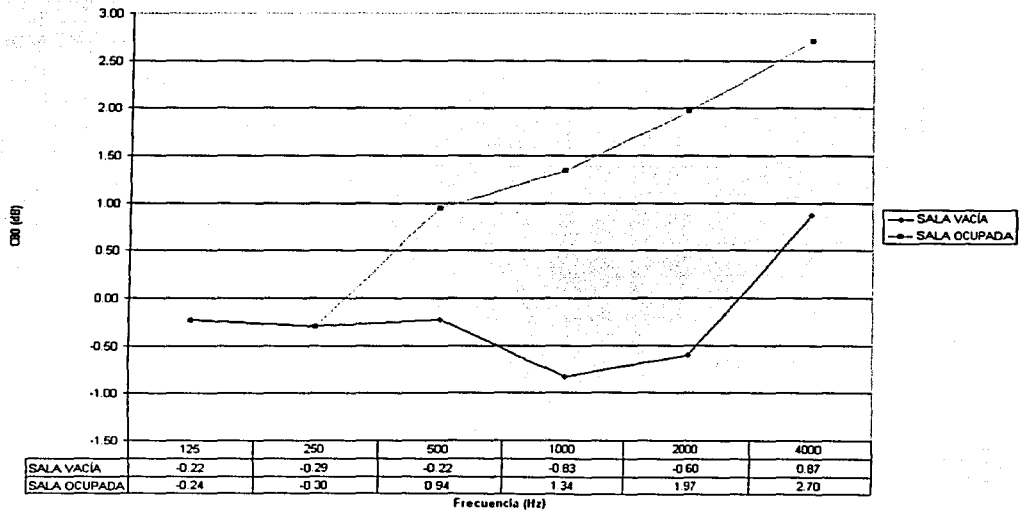
C80	125	250	500	1000	2000	4000
P1	1.08	1.02	1.08	0.44	0.69	2.24
P2	-0.18	-0.25	-0.18	-0.79	-0.56	0.92
P3	0.08	0.02	0.08	-0.53	-0.30	1.20
P4	-0.37	-0.43	-0.37	-0.98	-0.74	0.72
P5	-0.09	-0.16	-0.09	-0.71	-0.47	1.01
P6	-0.50	-0.57	-0.50	-1.10	-0.87	0.58
P7	-0.42	-0.48	-0.42	-1.02	-0.79	0.67
P8	-0.65	-0.72	-0.65	-1.25	-1.02	0.42
P9	-0.59	-0.66	-0.59	-1.19	-0.96	0.49
P10	-0.60	-0.67	-0.60	-1.20	-0.97	0.48

C_{80} para sala ocupada

C80	125	250	500	1000	2000	4000
P1	1.05	0.98	2.29	2.71	3.39	4.16
P2	-0.20	-0.26	0.99	1.39	2.02	2.76
P3	0.07	0.00	1.27	1.67	2.32	3.06
P4	-0.38	-0.44	0.79	1.19	1.82	2.54
P5	-0.11	-0.17	1.08	1.48	2.12	2.86
P6	-0.51	-0.57	0.66	1.04	1.67	2.39
P7	-0.43	-0.49	0.75	1.14	1.77	2.49
P8	-0.66	-0.72	0.50	0.88	1.50	2.21
P9	-0.60	-0.66	0.56	0.95	1.57	2.28
P10	-0.61	-0.67	0.55	0.94	1.56	2.27

Gráfica comparativa sobre Claridad de la música con sala vacía y sala ocupada

C_{80} comparativo



- Calidez acústica

Para sala vacía:

BR=	0.95
-----	------

Para sala ocupada:

BR=	1.25
-----	------

- Brillo

Para sala vacía:

Br=	0.90
-----	------

Para sala ocupada:

Br=	0.84
-----	------

2.4.2 Medición en sitio con un programa de cómputo

Para llevar a cabo este método se requiere el siguiente equipo:

- Una computadora con una tarjeta de sonido de buena calidad
- Un micrófono de patrón omnidireccional
- Una bocina autoamplificada de tamaño pequeño
- Equipo existente de bocinas y amplificador del auditorio

2.4.2.1 Ventajas y desventajas del análisis en sitio

Ventajas

- Ofrece la obtención de resultados de los parámetros acústicos por medición directa por llevarse a cabo en el sitio de análisis con todas las posibles variables que pueden afectar los valores de los parámetros (temperatura, humedad, características de los materiales del recinto, etc).
- Las curvas se pueden almacenar para un análisis fuera del sitio (una vez que se tienen capturadas en el sistema de cómputo).
- Puede determinar resonancias del sistema (el recinto en sí)
- Si se conecta a un ecualizador en etapa previa, se pueden hacer correcciones a la curva de respuesta en frecuencia que esté generando el sistema de sonido

Desventajas

- No se puede utilizar para predecir cambios si no se efectúan en el momento con los materiales propuestos.
- El sistema de cómputo puede generar ruido por lo que hay que hacer varias pruebas sobre el mismo punto, y tomar en cuenta este probable error en el momento de analizar la señal.
- Dicho ruido puede llegar a hacer que las curvas RT consideren tiempos de reverberación más altos a los reales.

2.4.2.2 Procedimiento para efectuar las mediciones con computadora

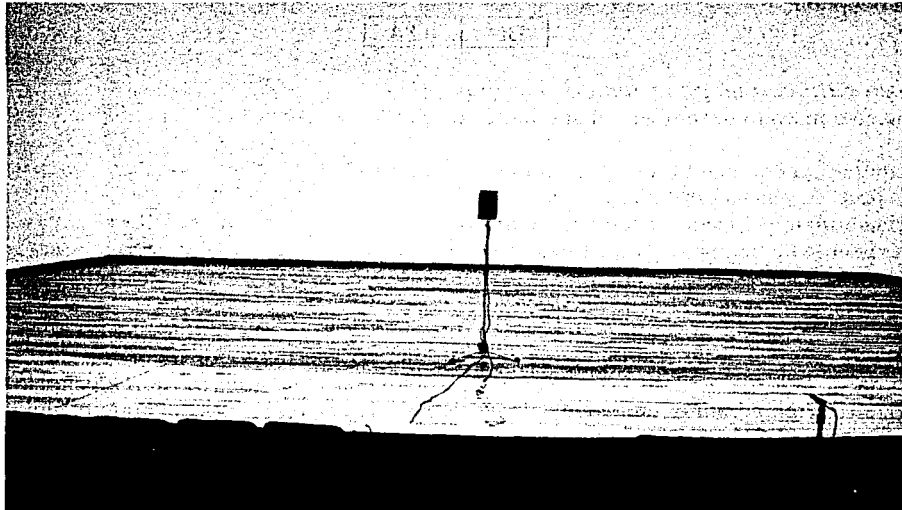
- Se define el punto de ubicación del emisor y de los receptores -sitio donde se colocará el micrófono.
- Se llevan a cabo las conexiones pertinentes
- Se calibra el sistema
- Se generan señales MLS para el rango completo de frecuencias y para frecuencias bajas.
- Se llevan a cabo de dos a tres pruebas por sitio para cada curva a analizar.
- Se guarda la información para posteriormente ser analizada.

2.4.2.3 Respuesta de la sala con emulación de un solo emisor⁷

En este apartado veremos las diferentes curvas obtenidas considerando en que la única fuente de sonido será la bocina autoamplificada en el centro del escenario.

Con el propósito de que exista coherencia entre el método matemático y este método, se hace indispensable mantener constante la ubicación de la fuente sonora.

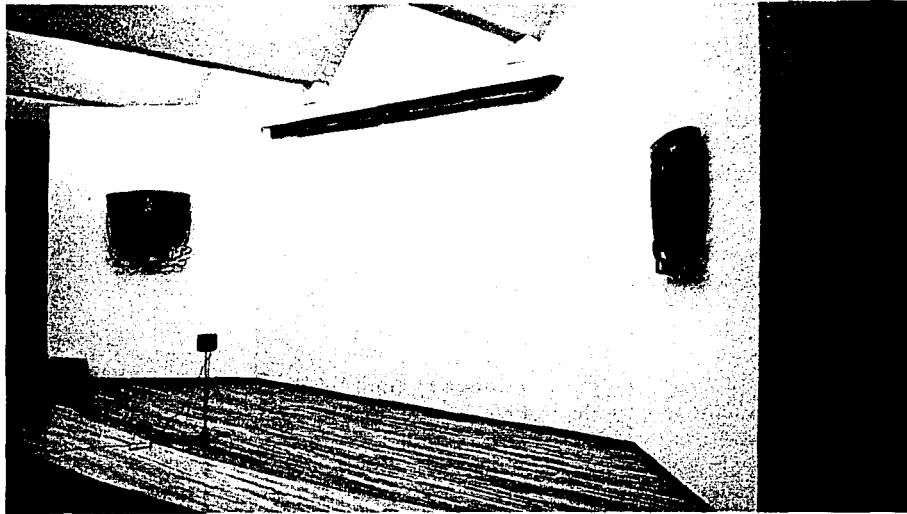
Debido a lo corto que resulta el escenario, se ubicó la bocina autoamplificada a 3.60 metros de la pared de escenario sobre el eje longitudinal de la sala y a 1.50 metros de altura. Todo esto con el fin de emular a una persona de altura promedio, de pie sobre el escenario.



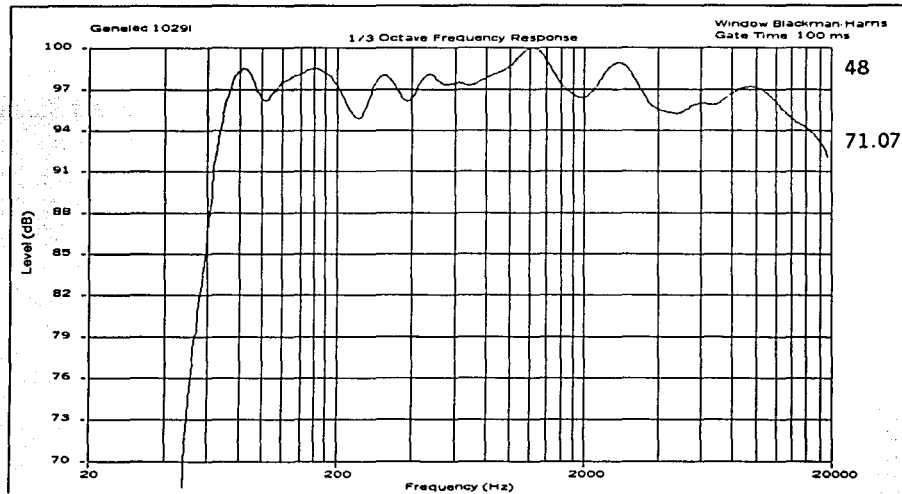
Micrófono Beyer Dynamic MC801 cortesía de Vari Internacional SA de CV

⁷ Cabe aclarar que las mediciones sólo se pueden llevar a cabo en sala vacía debido a la generación de ruido blanco. No es recomendable hacer pruebas con público con este tipo de sonido debido a la naturaleza de éste.

Bocina Genelec 1029 cortesía de Vari Internacional SA de CV



Curva de respuesta en frecuencia de la bocina Genelec 1029 sobre el escenario:



El programa utilizado para llevar a cabo estas mediciones es el ETF versión 5.8117 de Acousti Soft⁸

⁸ Para leer más al respecto consúltese el Anexo2

El método consiste en generar una señal de *ruido blanco* (en este caso MLS⁹) de corta duración (5.6seg) la señal es captada por el micrófono y el programa genera

- Gráfica de respuesta al impulso
- Respuesta en frecuencia lineal y logarítmica
- Curva de decaimiento temprano
- Curva de energía-tiempo

A partir de estas curvas podemos obtener¹⁰¹¹:

- Cancelaciones por filtrado de peine
- Tiempo de llegada de reflexiones al receptor
- Efecto de las reflexiones en la generación de coloración del sonido

- De la respuesta impulso se pueden obtener:
 - Tiempo de reverberación
 - Claridad
 - Definición

Sin embargo, como el programa no ha sido diseñado cumpliendo con la norma ISO3382 para el análisis de los últimos tres parámetros indicados, se ha tomado el sonido almacenado del impulso para cada punto y ha sido analizado con el programa Aurora versión 6.1 que sí cumple con dicha regulación.

Por lo general, una señal de sonido grabada en un equipo de cómputo puede acarrear ruido de la tarjeta de sonido, de la conexión eléctrica y hasta del giro del disco duro. Por esto, la señal es revisada y se limpia el ruido extra que puede causar anomalías en el registro de datos.

Primeramente, de las curvas obtenidas, se describirán los mismos parámetros que se obtuvieron para la sala por el método de cálculo matemático, sin embargo se añadirán algunas más, correspondientes a lo establecido por la norma internacional.

- Tiempo de reverberación

Tiempo de reverberación obtenido "in situ"

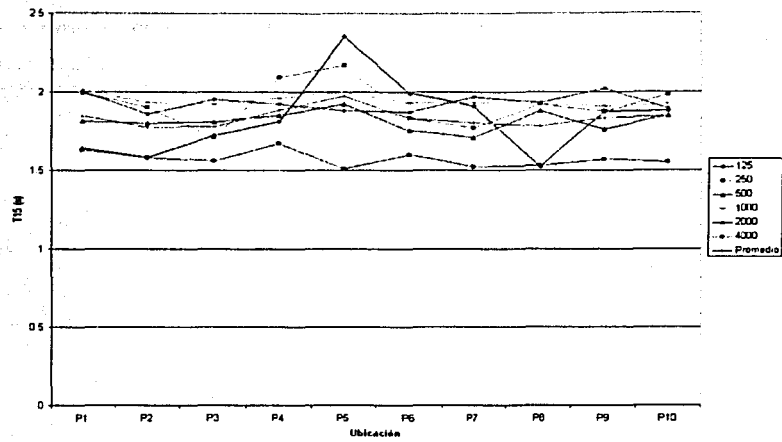
<i>T15</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>Promedio de medición para las 6 bandas</i>
P1	1.64	1.99	1.81	2.01	2	1.63	1.85
P2	1.58	1.9	1.8	1.93	1.86	1.58	1.78
P3	1.72	1.71	1.81	1.92	1.95	1.56	1.78
P4	1.81	2.09	1.85	1.96	1.92	1.67	1.88
P5	2.35	2.17	1.92	2	1.88	1.51	1.97
P6	1.99	1.83	1.75	1.93	1.87	1.6	1.83
P7	1.91	1.77	1.71	1.93	1.97	1.52	1.80
P8	1.52	1.92	1.88	1.92	1.93	1.53	1.78
P9	1.87	1.87	1.76	1.91	2.02	1.57	1.83
P10	1.88	1.98	1.85	1.92	1.89	1.55	1.85
Promedio	1.83	1.92	1.81	1.94	1.93	1.57	1.83

⁹ ibid

¹⁰ Sólo se analizará el primer punto en este texto.

¹¹ Estos parámetros son complejos en su análisis ya que se debe tener experiencia en el reconocimiento de cambios ligeros en la forma de las curvas que determinan ciertos comportamientos del sonido.

Tiempo de reverberación para sala vacía con AURORA

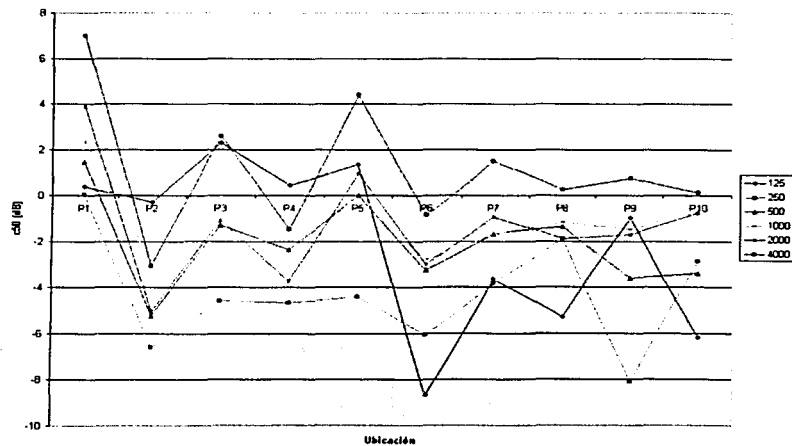


Claridad de la voz

C₅₀ obtenido "in situ"

C ₅₀	125	250	500	1000	2000	4000
P1	0.4	0.03	1.46	2.36	3.88	6.98
P2	-0.28	-6.6	-5.22	-2.87	-5.05	-3.06
P3	2.29	-4.57	-1.3	-1.1	-1.09	2.58
P4	0.44	-4.67	-2.35	-2.49	-3.71	-1.48
P5	1.33	-4.39	0	0.12	0.96	4.39
P6	-8.66	-6.06	-3.26	-2.82	-2.98	-0.86
P7	-3.64	-3.85	-1.68	-1.7	-0.93	1.5
P8	-5.29	-1.88	-1.35	-1.17	-1.88	0.23
P9	-0.98	-8.11	-3.61	-1.46	-1.71	0.75
P10	-6.18	-2.87	-3.39	-0.69	-0.75	0.13

C₅₀ para sala vacía con AURORA

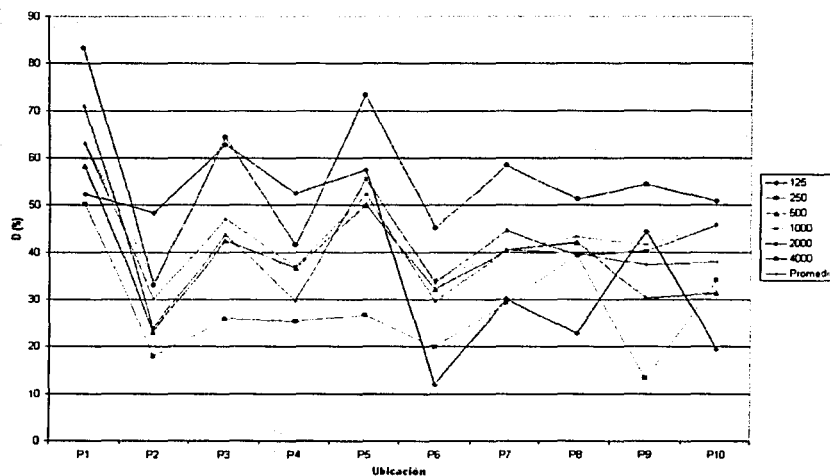


▪ Definición

D obtenido "in situ"

D50	125	250	500	1000	2000	4000
P1	52.31	50.2	58.35	63.28	70.97	83.31
P2	48.37	17.96	23.1	34.05	23.82	33.07
P3	62.91	25.89	42.55	43.73	43.79	64.42
P4	52.51	25.45	36.77	36.03	29.85	41.58
P5	57.59	26.69	49.98	50.69	55.52	73.3
P6	11.99	19.85	32.08	34.34	33.51	45.09
P7	30.17	29.17	40.45	40.34	44.68	58.53
P8	22.83	39.33	42.31	43.32	39.34	51.34
P9	44.36	13.38	30.35	41.7	40.27	54.33
P10	19.41	34.07	31.41	46.04	45.7	50.75

Definición para sala vacía con AURORA



▪ Determinación de la inteligibilidad por pérdida de consonantes

En este caso, la obtención de %ALCons es con el uso del tiempo de reverberación obtenido.

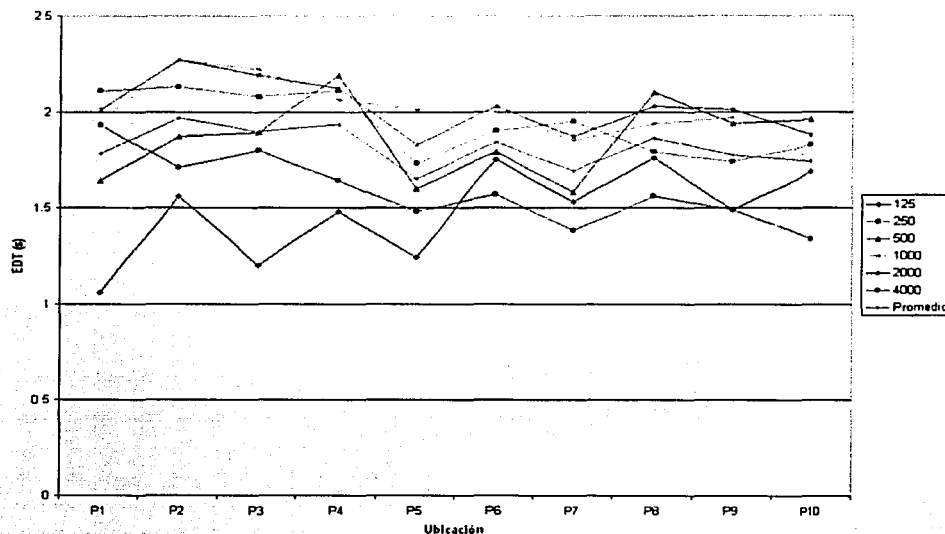
%ALCons obtenido "in situ"

Ubicación	%ALCons
P1	1.64
P2	5.08
P3	3.78
P4	7.84
P5	4.49
P6	10.72
P7	9.27
P8	21.40
P9	17.42
P10	15.91
Promedio	9.75

▪ Tiempo de decaimiento temprano (EDT)

EDT	125	250	500	1000	2000	4000	Promedio de medición para las 6 bandas
P1	1.06	2.11	1.64	1.95	2.01	1.93	1.78
P2	1.56	2.13	1.87	2.27	2.27	1.71	1.97
P3	1.2	2.08	1.89	2.22	2.19	1.8	1.90
P4	1.48	2.11	2.19	2.06	2.12	1.64	1.93
P5	1.24	1.73	1.6	2.01	1.83	1.48	1.65
P6	1.75	1.9	1.79	2	2.03	1.57	1.84
P7	1.53	1.95	1.58	1.85	1.87	1.38	1.69
P8	1.76	1.79	2.1	1.94	2.03	1.56	1.86
P9	1.49	1.74	1.94	1.97	2.01	1.49	1.77
P10	1.69	1.83	1.96	1.75	1.88	1.34	1.74
Promedio	1.48	1.94	1.86	2.00	2.02	1.59	1.81

EDT para sala vacía con AURORA

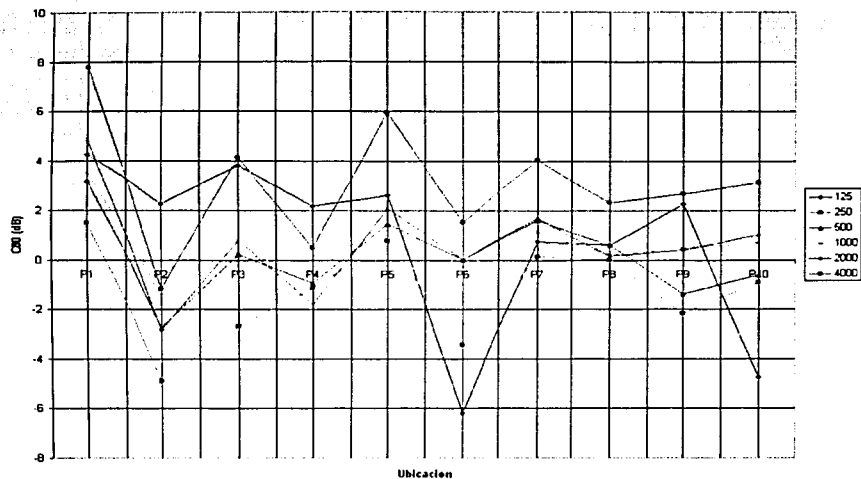


▪ Claridad musical

C_{80} obtenido "in situ"

C_{80}	125	250	500	1000	2000	4000
P1	4.26	1.5	3.23	3.54	4.85	7.77
P2	2.28	-4.89	-2.73	-1.41	-2.81	-1.16
P3	3.81	-2.66	0.24	0.31	0.79	4.14
P4	2.17	-1.12	-0.91	-0.51	-1.79	0.51
P5	2.64	0.79	1.48	1.61	2.09	5.93
P6	-6.18	-3.44	0.01	-0.31	0.02	1.53
P7	0.76	0.13	1.63	1.16	1.71	4.04
P8	0.62	0.01	0.62	0.22	0.17	2.34
P9	2.26	-2.17	-1.38	0.51	0.42	2.7
P10	-4.73	-0.88	-0.61	0.69	1.04	3.12

C80 para sala vacía con AURORA



- Calidez musical
Obtenida a partir de los valores de RT

BR obtenido "in situ"

<i>Ubicación</i>	<i>BR</i>
P1	0.95
P2	0.93
P3	0.92
P4	1.02
P5	1.15
P6	1.04
P7	1.01
P8	0.91
P9	1.02
P10	1.02
Promedio	1.00

- Brillo
Obtenido a partir de los valores de RT "in situ"

<i>Ubicación</i>	<i>Br</i>
P1	0.95
P2	0.92
P3	0.94
P4	0.94
P5	0.86
P6	0.94
P7	0.96
P8	0.91
P9	0.98
P10	0.91
Promedio	0.93

2.4.2.4 Respuesta de la sala con el sistema de sonido del auditorio

A diferencia del apartado anterior, la bocina autoamplificada es desconectada y la señal de ruido blanco se conecta directamente al sistema de sonido de la sala.

En este auditorio se cuenta con mezcladoras con amplificador incluido, de modo que determinar la distorsión armónica del amplificador es una tarea compleja, debido a que existen muchas variantes. La opción que resulta es calibrar la entrada del preamplificador de los canales a utilizar para evitar distorsión armónica. Esto se llevó a cabo con un analizador de tiempo real y con una señal de barrido de frecuencias de 20Hz a 20kHz.

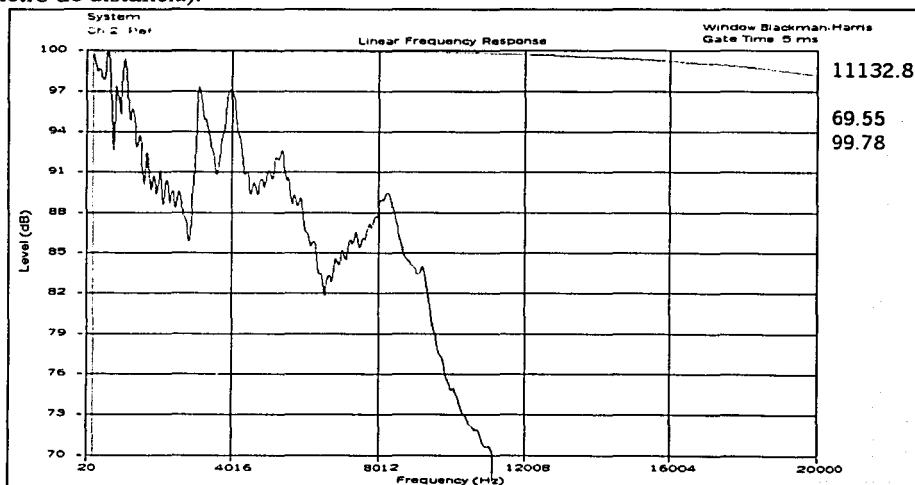
Debido a la baja calidad de los preamplificadores, la señal es recortada (escuchándose distorsión) a menos de $\frac{3}{4}$ de vuelta en el potenciómetro lineal de la ganancia. Para evitar que la respuesta dinámica de la señal de ruido blanco pudiese llegar a causar distorsión, se trabajó con los potenciómetros a $\frac{1}{4}$ de vuelta. Sólo así se estuvo libre de este fenómeno y se logró generar una señal de 90dB a un metro de distancia de la bocina.

Aún habiendo sido corregido este problema, cabe aclarar que debido a la resonancia acústica de la caja de la bocina, aparece una vibración en la estructura que las sostiene cuando se generan frecuencias por debajo de los 100Hz, este problema se hizo evidente únicamente con la señal de barrido.

La señal de barrido permitió observar una señal deteriorada en los altavoces instalados. Su ubicación los hace difícil de analizar propiamente (a 1 m de distancia exactamente sobre el eje axial). Sin embargo, se presenta un decaimiento de frecuencias agudas sumamente rápido que se puede comprobar con el analizador de tiempo real. Se determinó por este método, que la bocina ubicada en el lado izquierdo de la sala, no supera los 16kHz y que la de la derecha no pasa de los 12kHz.

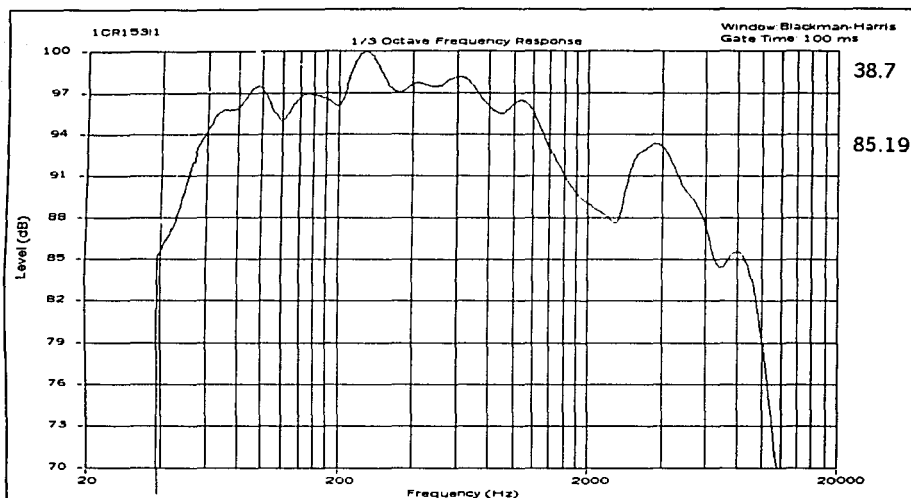
Ello demuestra que el ancho de banda que deben generar las bocinas está por debajo del recomendado.

Se muestra a continuación, a manera de ejemplo, el análisis para una de las bocinas que se utilizan en la parte posterior del auditorio¹² y que fue colocada al centro del escenario para su medición (con el micrófono ubicado a un metro de distancia).



Y su respuesta total en escala logarítmica es:

¹² Algo nada aconsejable debido al exceso de cancelación, el tema de bocinas se ahondará en el capítulo 4.



Nótese que en esta escala son décadas lo que vemos en el eje de las abscisas y que el punto donde cae la señal es anterior a los 12kHz.

Es probable que en las bocinas exista una desconexión al cono de reproducción de agudos, que los filtros de corte (cross over) pasivo ya estén dañados o peor aún, que la bobina del cono ya esté dañada.¹³

Lo que interesa primordialmente a analizar para una sala con sistema de sonido, es

- El tiempo de reverberación –Investigar si el sistema no crea más reverberación de la ya existente en el recinto, debido a la ubicación de los altavoces.
- La pérdida de inteligibilidad de la palabra
- Cancelación frecuencial por ubicación de las bocinas

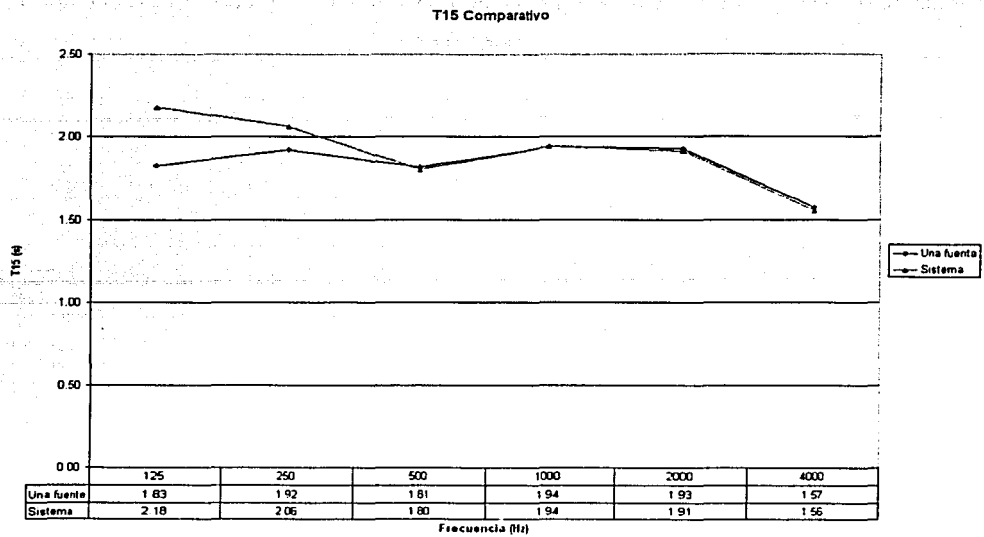
▪ Tiempo de reverberación

Tiempo de reverberación de sistema obtenido “in situ”

T15	125	250	500	1000	2000	4000	Promedio para las 6 bandas
P1	2.4	2.09	1.69	2.03	1.97	1.58	1.96
P2	2.15	2.04	1.71	1.77	1.86	1.6	1.86
P3	2.49	2.01	1.91	1.98	1.89	1.52	1.97
P4	2.15	1.86	1.84	2.04	1.89	1.55	1.89
P5	1.79	2.14	1.85	1.89	1.92	1.59	1.86
P6	2.09	2.15	1.86	1.94	1.87	1.56	1.91
P7	2.3	1.89	1.76	2	1.98	1.52	1.91
P8	1.89	2.28	1.87	1.91	1.91	1.55	1.90
P9	2.46	2.01	1.85	1.91	1.91	1.58	1.95
P10	2.08	2.15	1.67	1.95	1.92	1.51	1.88
Promedio	2.18	2.06	1.80	1.94	1.91	1.56	1.91

Comparación de tiempo de reverberación entre la sala con un solo emisor y con el uso del equipo de sonido

¹³ Tres de cuatro bocinas presentaron la misma anomalía, esto puede ocurrir por deterioro al paso del tiempo o por incorrecta operación del equipo. Dicho tema se analizará en capítulos posteriores.



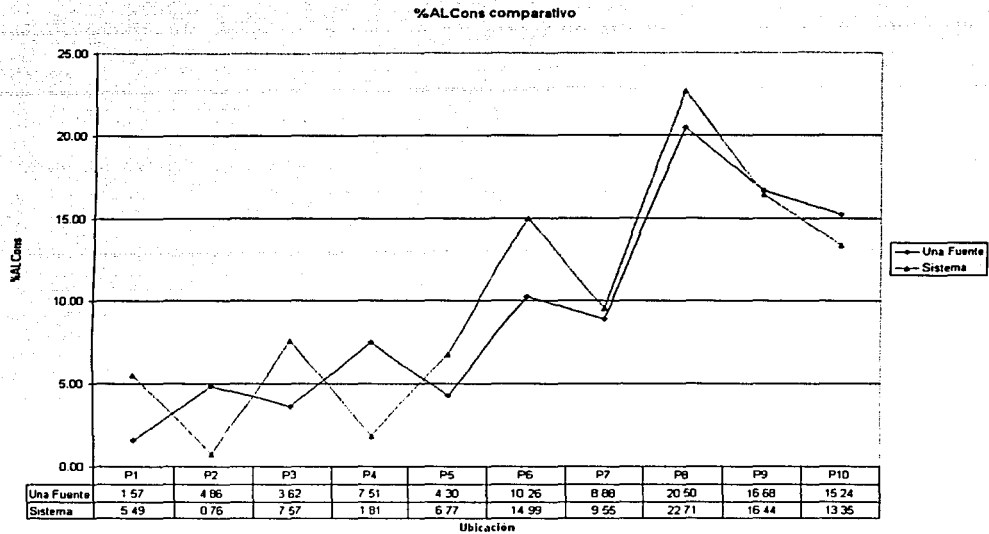
- Determinación de la inteligibilidad por pérdida de consonantes

En este caso, la obtención de %ALCons es con el uso del tiempo de reverberación obtenido para el sistema.

%ALCons para el sistema obtenido "in situ"

Ubicación	%ALCons
P1	5.49
P2	0.76
P3	7.57
P4	1.81
P5	6.77
P6	14.99
P7	9.55
P8	22.71
P9	16.44
P10	13.35
Promedio	9.94

Comparación de pérdida de inteligibilidad entre la sala con un solo emisor y con el uso del equipo de sonido



De ambas comparaciones realizadas se puede observar lo siguiente:

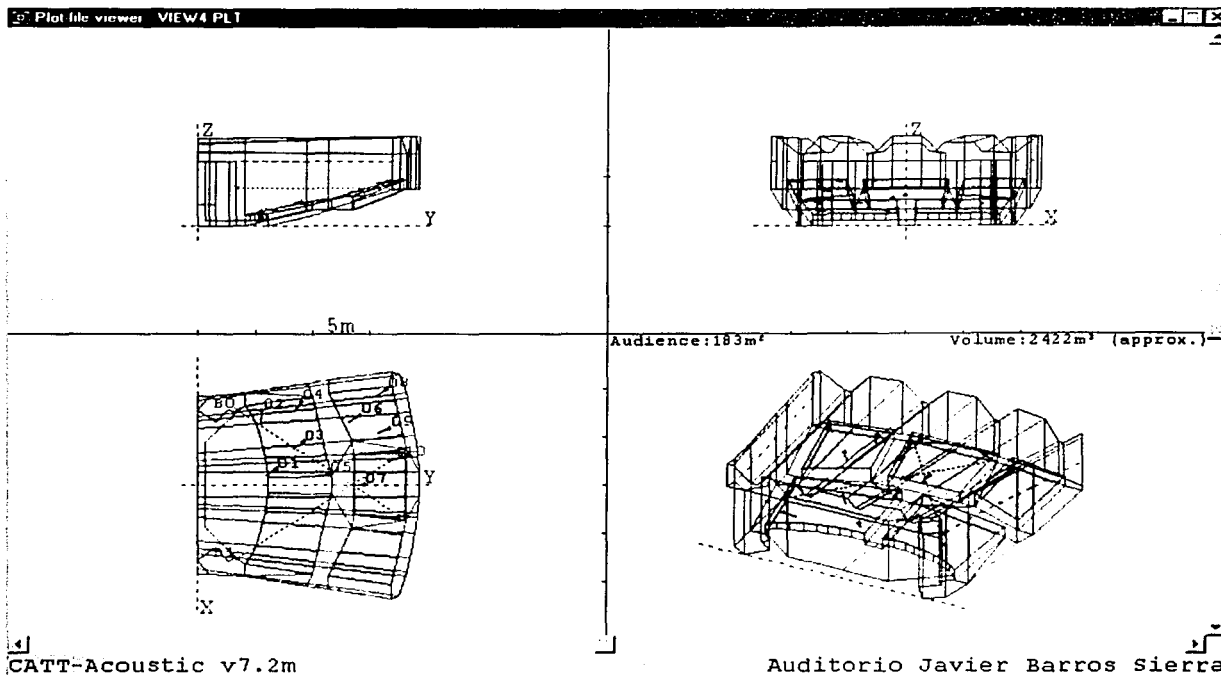
- Con el uso del sistema de sonido del auditorio, el tiempo de reverberación es más alto en las frecuencias graves (125Hz y 250Hz) que el obtenido con una sola fuente. La posible explicación a esto es que, en el caso del sistema de refuerzo sonoro hay más fuentes generando señal (en este caso, dos). Esto puede hacer que ciertos modos de vibración de la sala al ser excitados, produzcan dicha diferencia. La fuente al centro del escenario, en cambio, podría no estar excitando modo de vibración alguno o quizá algunos que decaen más rápido que otros, por lo que la respuesta del tiempo de reverberación es diferente en ambos casos. Estos fenómenos no son tan fáciles de predecir y no pueden ser analizados con el sistema que se utilizó para las mediciones en sitio.
- La pérdida de inteligibilidad es consecuencia del tiempo de reverberación, la directividad de la bocina, el número de bocinas en el sitio y la distancia entre el receptor y la fuente. El factor predominante en la respuesta de la curva comparativa es ocasionada por la distancia a la fuente, de ahí que, para el punto 2 por ejemplo, haya una “mejor” inteligibilidad con el sistema encendido que sin él.

Cancelaciones por filtro de “peine”

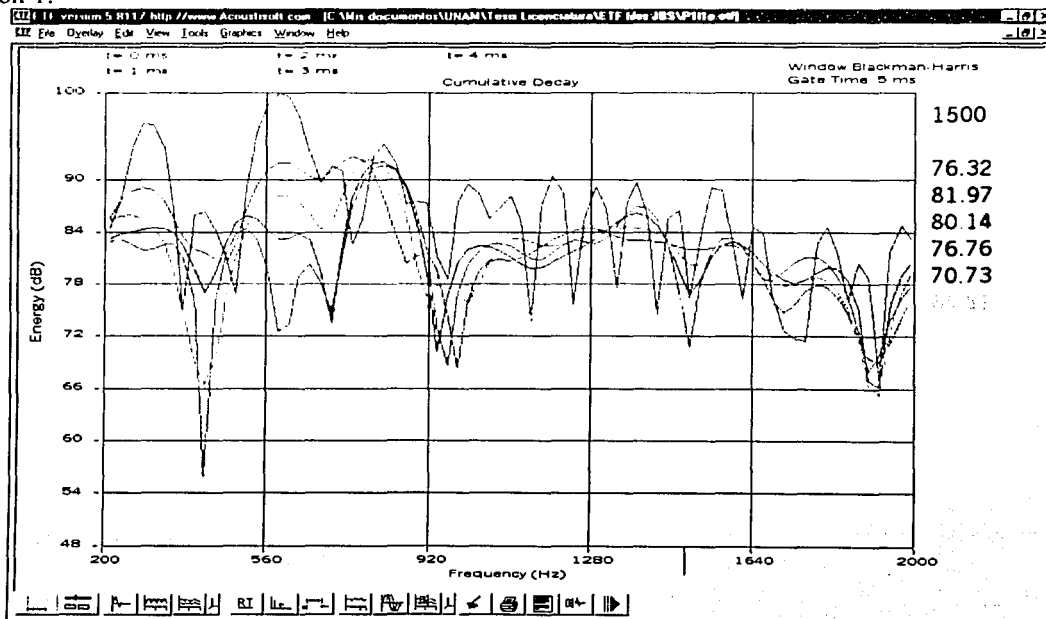
El concepto de este tema fue visto dentro de las características del sonido en el primer capítulo. La información que se verá a continuación es de carácter visual, en estas gráficas se podrá observar el efecto que tiene la ubicación de las bocinas en este fenómeno.

El orden de las gráficas corresponde con la ubicación de los “escuchas”, la ubicación actual de las bocinas se observó en las fotografías del inicio. A continuación se muestra su ubicación y orientación.

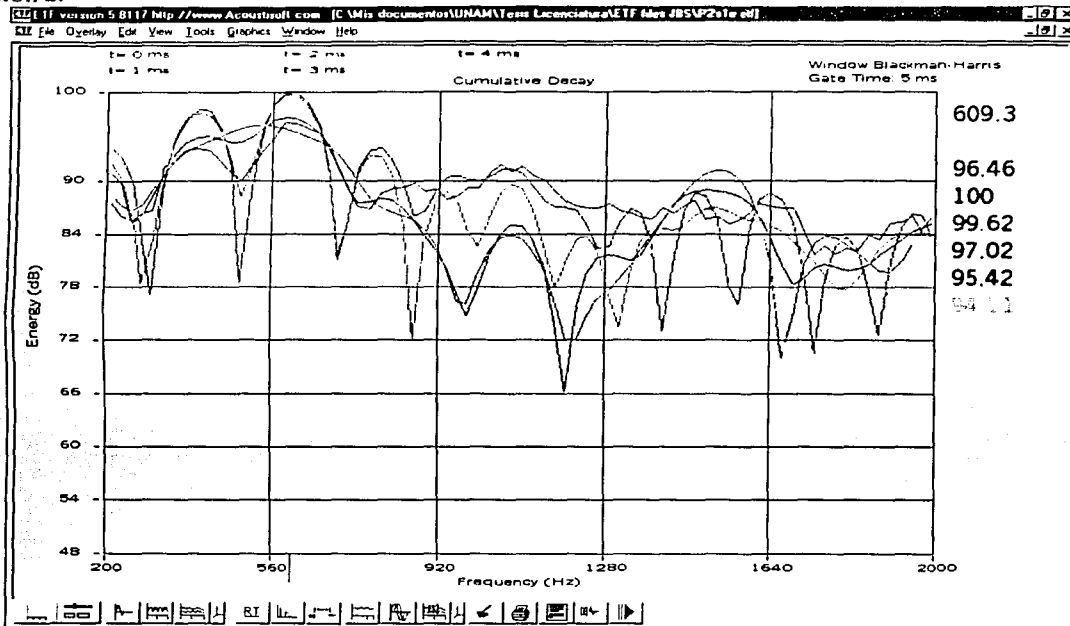
Los altavoces son los puntos B0 y B1 en la gráfica, y están dirigidos en “cruce de fuego”. Las gráficas de cancelación están ampliadas en el espectro de 200Hz a 2000Hz para una mayor comprensión del problema y en específico en lo relacionado a la inteligibilidad de la palabra.



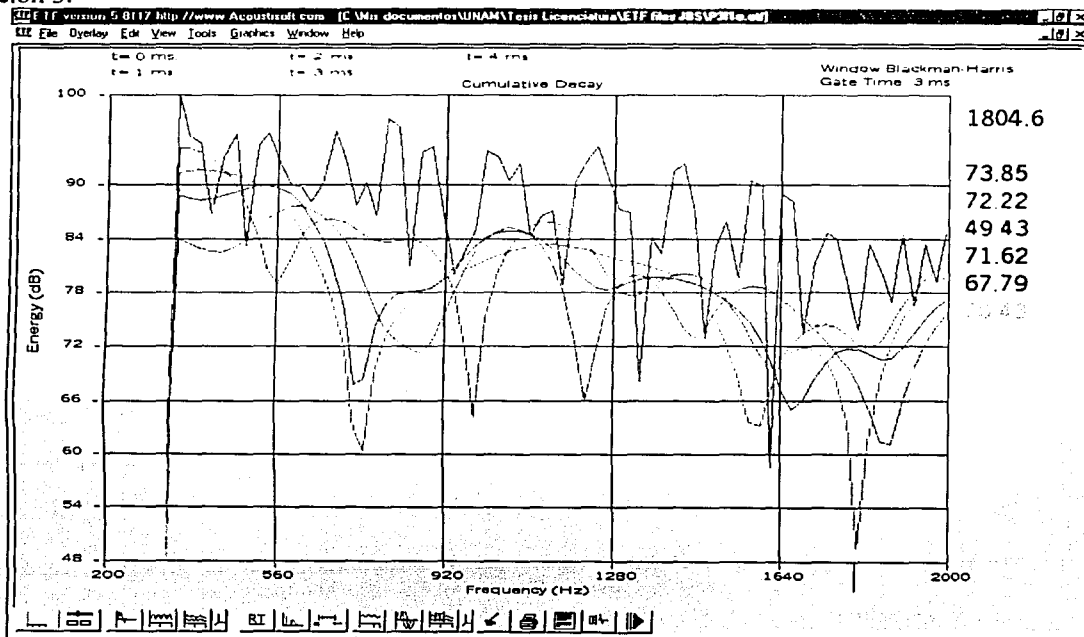
Ubicación 1:



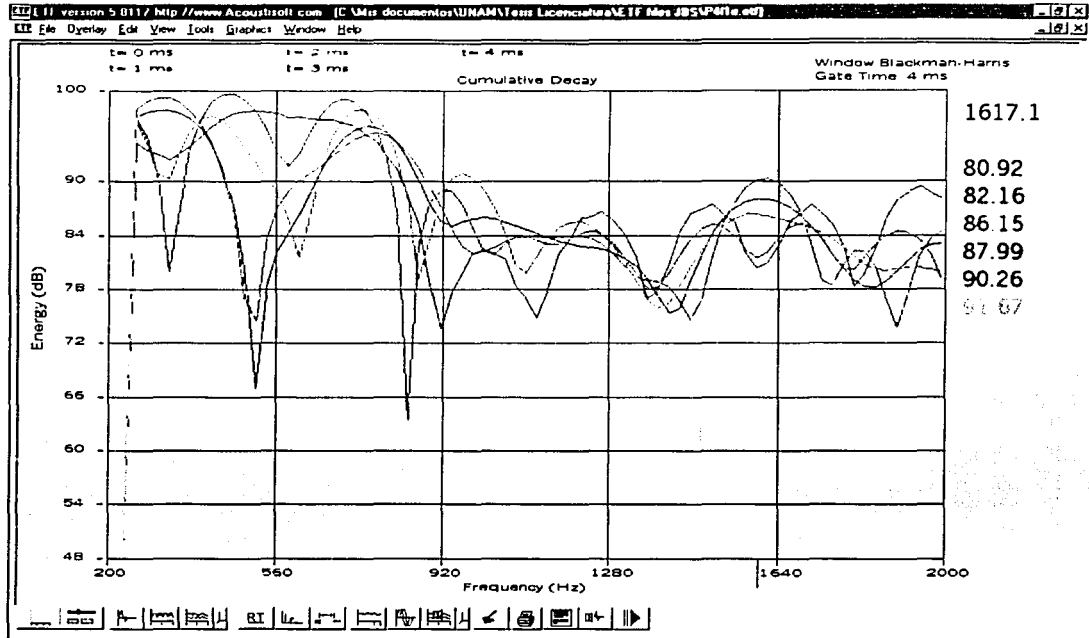
Ubicación 2:



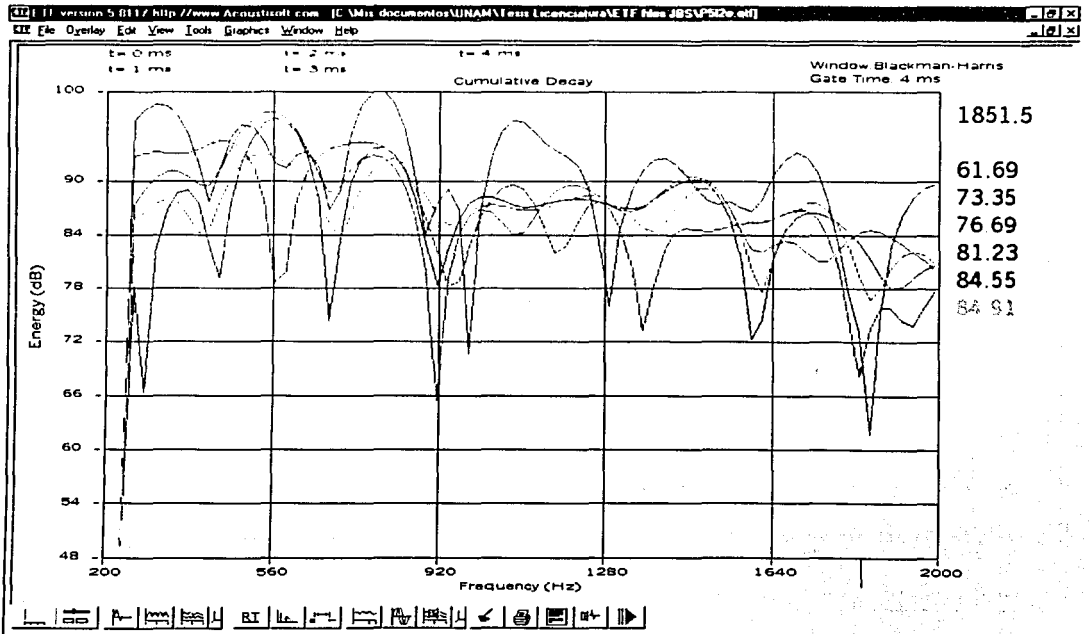
Ubicación 3:



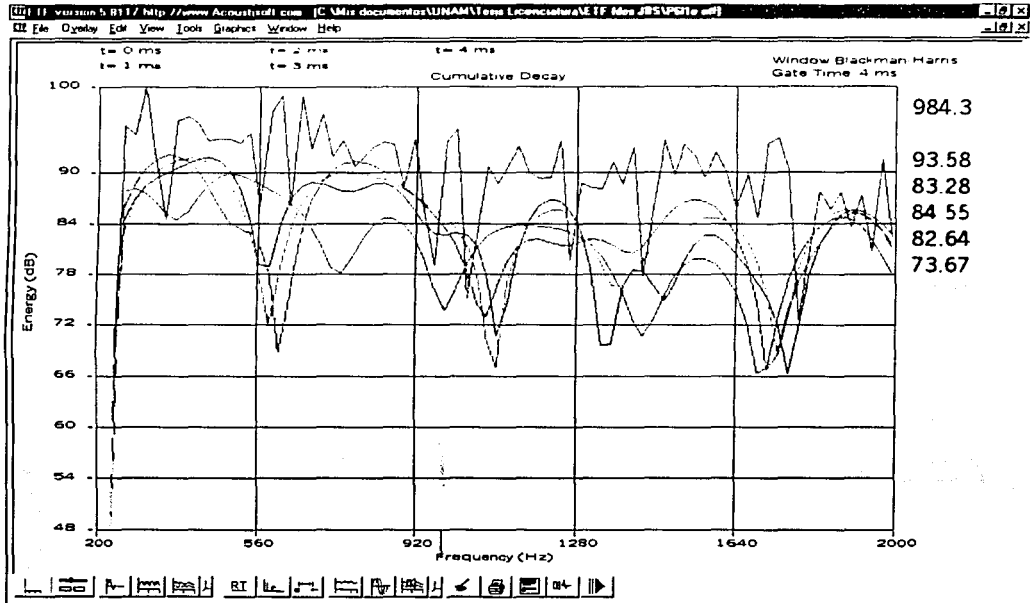
Ubicación 4:



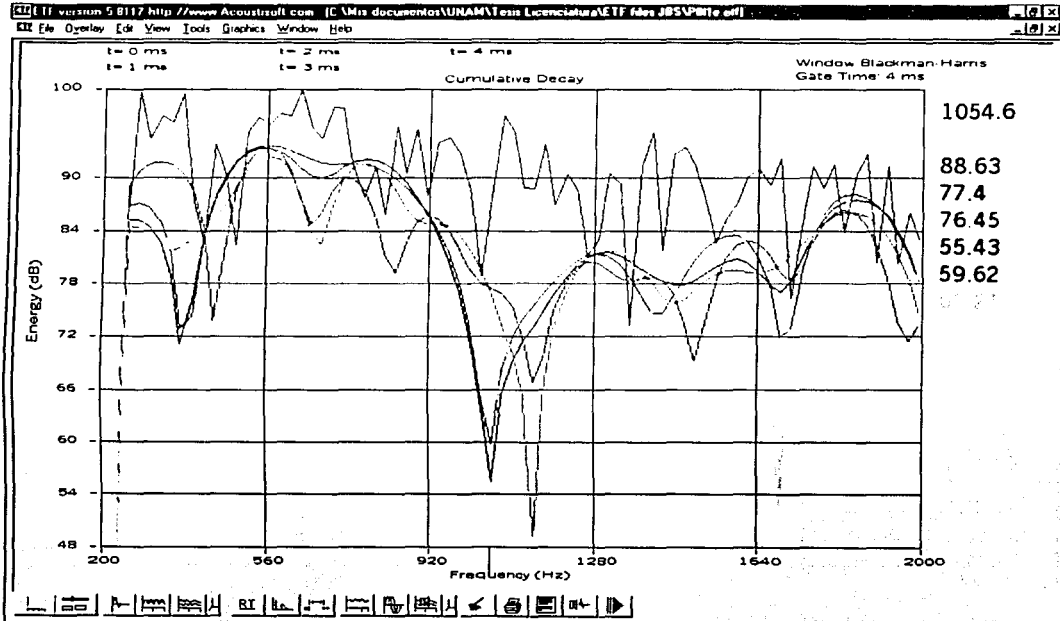
Ubicación 5:



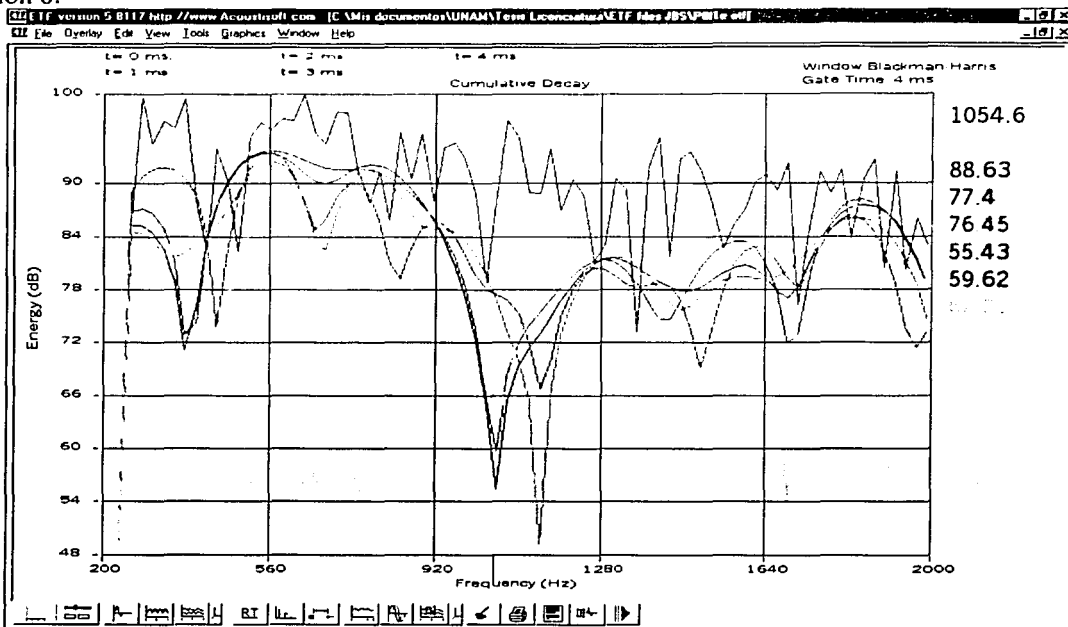
Ubicación 6:



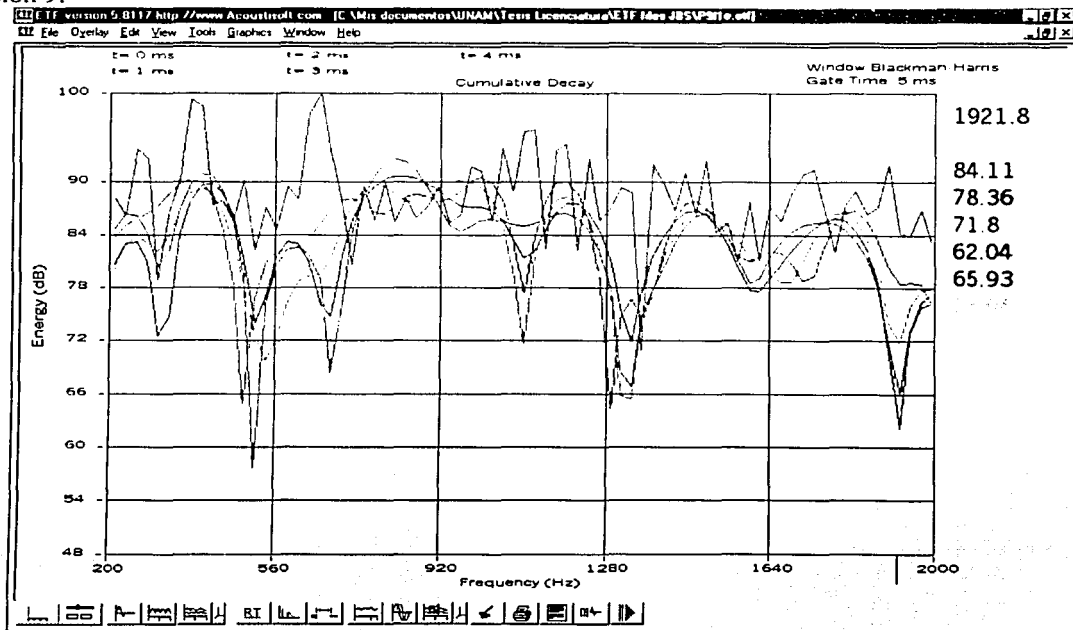
Ubicación 7:



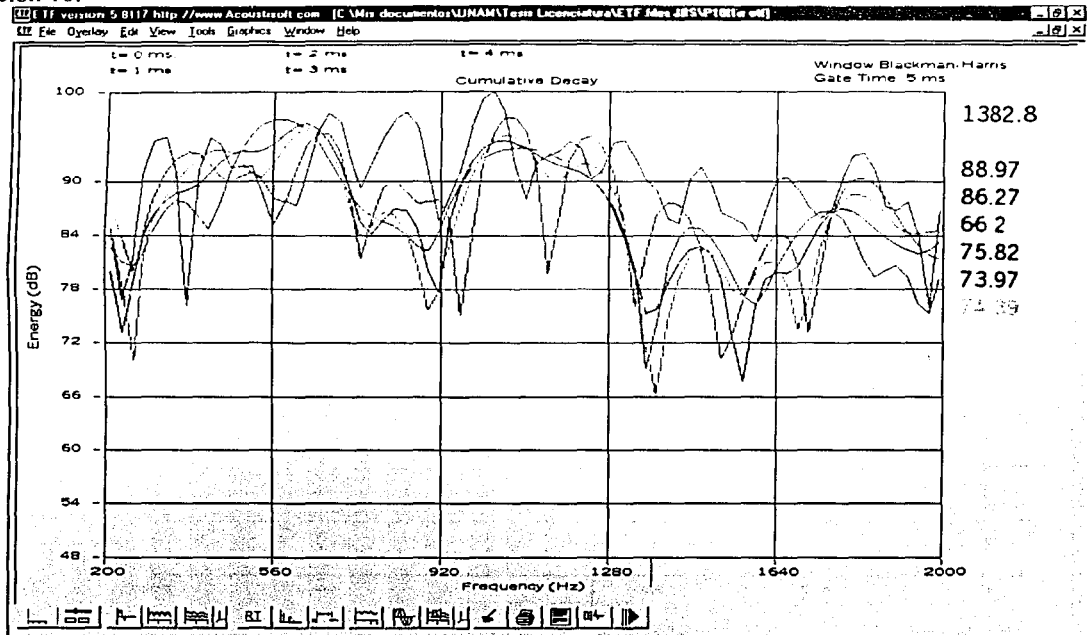
Ubicación 8:



Ubicación 9:



Ubicación 10:



De lo visto gráficamente se puede concluir lo siguiente:

- Las cancelaciones no son un evento estático, ocurren a lo largo del tiempo y cambian en función de éste.
- Estar en un punto de interacción de dos sistemas (en este caso dos altavoces) hace más evidente el problema de la cancelación en frecuencia. Sin embargo, no es necesariamente esta la única causa del problema, los modos de vibración de la sala también pueden tener un efecto en esto, así como la probable existencia de ondas estacionarias.
- Se observa que para los escuchas 5 y 10, el efecto de peine ocurre desde la llegada del sonido directo, es decir, la interacción del sonido de las dos bocinas crean interferencia destructiva.
- En general, las depresiones son muy grandes y muchas acentuadas en el rango donde la palabra es comprendida.
- Cabe aclarar que este fenómeno ocurrirá primordialmente cuando la señal que sale de ambos altavoces es la misma, es decir, este caso tendería a no ocurrir si existiese una señal estéreo "real".

2.4.3 Predicción con un programa de cómputo

Aproximadamente, desde la época de los setenta, existen programas de predicción por computadora que han facilitado la labor de la gente dedicada a la acústica, en conjunto con los arquitectos encargados del diseño de obra. Varias compañías han llegado a tener tal auge con sus productos (EASE, inició en computadoras 386-33), que se han vuelto un estándar para que la industria del diseño de altavoces establezca sus parámetros para ser compatibles con estos sistemas y facilitar la labor del diseñador.

Sin embargo, son pocas las empresas que se dedican a la construcción de recintos pensando en la importancia de la acústica, y es por ello que estos programas están tan lejos del alcance económico de muchos.

El programa de cómputo aquí utilizado fue la versión de demostración del programa CATT-Acoustic versión 7.2 diseñado por el Dr. Bengt-Inge Dalenbäck de Suecia.

Para llevar a cabo este método con CATT-Acoustic se requiere lo siguiente:

- Una computadora con la capacidad de almacenamiento suficiente para almacenar todos los resultados solicitados al programa de predicción (el análisis de una sala puede llegar a requerir 1GB). Y que cuente con un procesador de alta velocidad (superior a 166MHz) para llevar a cabo las predicciones en cuestión de minutos (Mientras más fuentes emisoras y más receptores se soliciten para el modelo virtual, el tiempo de proceso será mayor)
- Planos de planta y corte del recinto a analizar.
- Datos de las bocinas que se utilizan en el recinto (mientras más detallados mejor)
- Coeficientes de absorción de las superficies del recinto.
- Conocimiento en el manejo de AutoCAD (para la versión completa)
- Conocimiento en programación basada en LISP (para la versión de demostración)

2.4.3.1 Ventajas y desventajas de la predicción con el programa de cómputo

Ventajas

- Predicción eficiente y fácil visualización de los parámetros acústicos sobre la superficie deseada y sobre los receptores elegidos.
- Interfase adecuada en el cambio de materiales en las superficies.
- Análisis relativamente rápido (en función del número de planos utilizado, el número de fuentes y el número de receptores)
- Importación de planos o modelos de programas de diseño de espacios arquitectónicos.
- Demostraciones en 3D con auralización del recinto.

Desventajas

- Se requiere de mucho tiempo de diseño del modelo arquitectónico para que quede libre de imperfecciones.
- El modelo del diseño no debe ser demasiado complicado ya que el programa no podrá analizarlo.
- Se requiere de un moderado conocimiento de parámetros acústicos para poder interactuar con el sistema y hacer modificaciones adecuadas.

2.4.3.2 Procedimiento para efectuar la predicción con el programa de cómputo

- Se definen todas las coordenadas a utilizar en el modelado del recinto a partir de los planos de planta y corte.
- Se especifican los materiales y coeficientes de absorción para todas las superficies.
- Se crea el modelo del recinto a través de coordenadas y generación de planos.
- Se definen las coordenadas para fuentes y receptores en el recinto.
- Se revisa que no existan errores en el diseño, ya que eso trae como consecuencia fallos de cálculo. (El modelo debe cerrar "herméticamente" en la creación de los planos)
- Se definen los parámetros que se desean analizar.

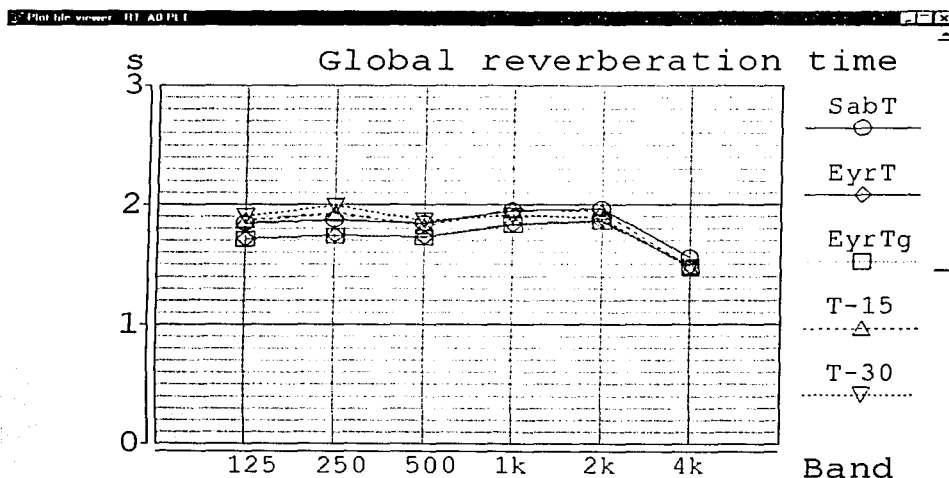
2.4.3.3 Predicción de respuesta con emulación de un solo emisor

A continuación se muestran los valores de parámetros acústicos con el programa de cómputo de predicción CATT-Acoustic

En este apartado se consideran los mismos lineamientos utilizados para la medición en sitio. Esto, con el propósito de poder comparar más adelante la respuesta de los tres métodos.

- Tiempo de reverberación con sala vacía

T15	125	250	500	1000	2000	4000	Promedio para las 6 bandas
P1	1.81	1.81	1.77	1.89	2	1.88	1.86
P2	1.91	1.88	1.86	1.91	1.91	1.57	1.84
P3	1.85	1.88	1.81	1.92	1.96	1.58	1.83
P4	1.92	1.89	1.81	1.91	1.89	1.55	1.83
P5	1.84	1.9	1.82	1.91	1.95	1.48	1.82
P6	1.84	1.84	1.79	1.88	1.85	1.56	1.79
P7	1.85	1.89	1.78	1.89	1.88	1.45	1.79
P8	1.91	1.89	1.85	1.93	1.83	1.47	1.81
P9	1.87	1.88	1.8	1.88	1.89	1.5	1.80
P10	1.9	1.92	1.84	1.9	1.93	1.49	1.83
Promedio	1.87	1.88	1.81	1.90	1.91	1.55	1.82



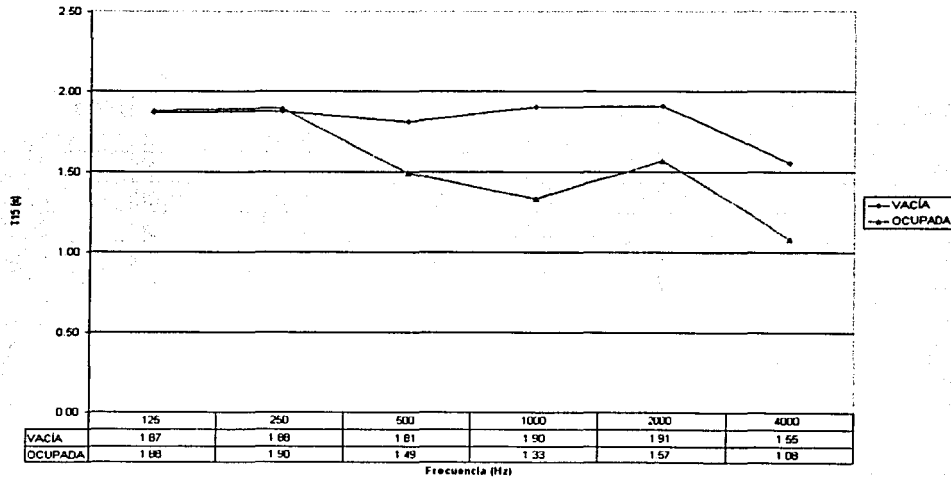
CATT-Acoustic v7.2m RT A0 Auditorio Javier Barros Sierra

▪ Tiempo de reverberación con sala ocupada

T15	125	250	500	1000	2000	4000	Promedio para las 6 bandas
P1	1.81	1.84	1.44	1.32	1.47	1.13	1.50
P2	1.91	1.9	1.5	1.29	1.79	1.14	1.59
P3	1.86	1.85	1.46	1.29	1.62	1.14	1.54
P4	1.89	1.89	1.52	1.32	1.76	1.13	1.59
P5	1.85	1.88	1.48	1.26	1.44	1	1.49
P6	1.89	1.93	1.48	1.36	1.54	1.02	1.54
P7	1.85	1.88	1.48	1.32	1.48	1.12	1.52
P8	1.94	1.98	1.54	1.39	1.56	1.02	1.57
P9	1.91	1.92	1.49	1.38	1.52	1.03	1.54
P10	1.9	1.9	1.5	1.38	1.53	1.05	1.54
Promedio	1.88	1.90	1.49	1.33	1.57	1.08	1.54

Gráfico comparativo para tiempo de reverberación entre sala vacía y ocupada

T15 comparativo con CATT

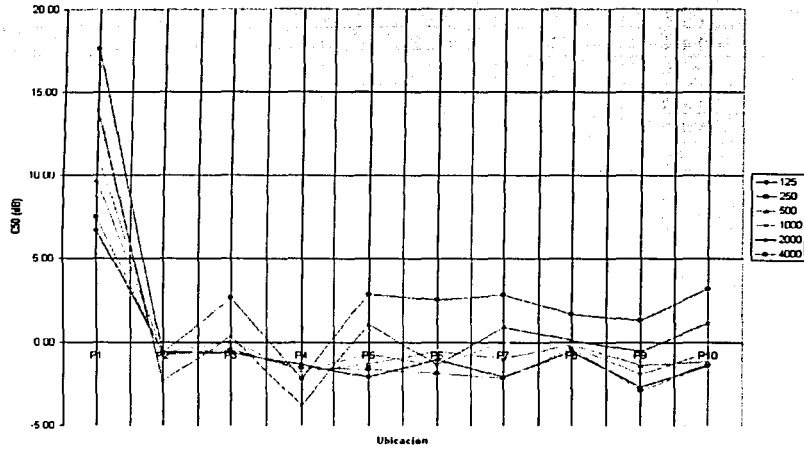


▪ Claridad de voz

Sala vacía

C50	125	250	500	1000	2000	4000
P1	6.70	7.50	9.69	11.30	13.92	17.62
P2	-0.57	-0.70	-0.64	-0.82	-2.31	-0.63
P3	-0.63	-0.47	0.07	-0.37	0.35	2.67
P4	-1.35	-1.54	-1.78	-1.76	-3.80	-2.20
P5	-2.07	-1.63	-1.30	-0.73	1.05	2.86
P6	-1.06	-1.85	-0.56	-1.38	-1.35	2.54
P7	-2.07	-2.16	-0.96	0.00	0.89	2.84
P8	-0.56	-0.37	-0.12	-0.21	0.09	1.65
P9	-2.71	-2.90	-1.38	-1.92	-0.54	1.31
P10	-1.38	-1.42	-1.17	-0.66	1.12	3.21

C50 Sala vacía con CATT

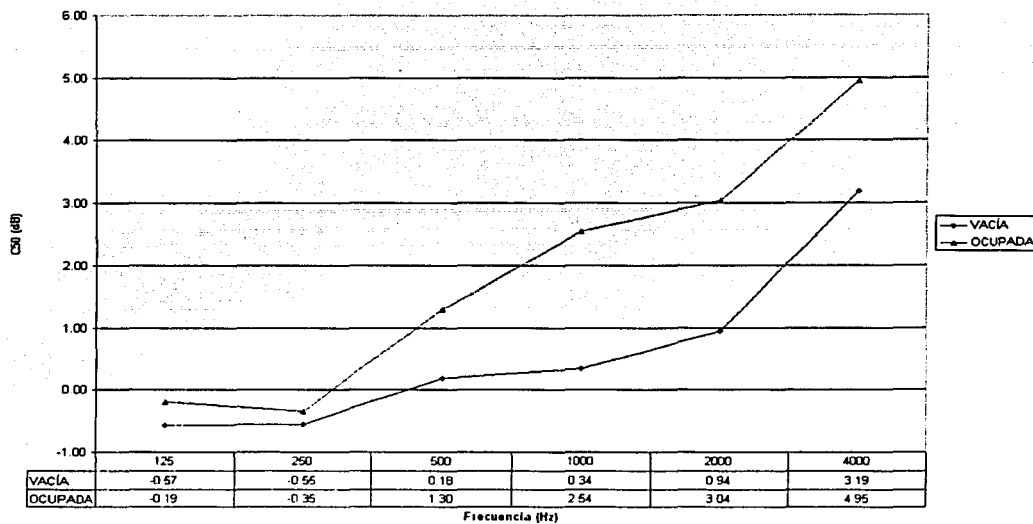


Sala ocupada

C50	125	250	500	1000	2000	4000
P1	3.20	3.20	5.20	6.40	8.40	12.00
P2	-0.50	-0.90	-0.40	0.40	-1.00	1.30
P3	-0.90	-1.20	0.50	1.50	2.00	4.60
P4	-0.20	-1.00	0.30	1.10	0.30	2.30
P5	-0.40	-0.80	0.90	2.30	3.90	6.80
P6	-1.80	-1.80	-0.30	1.70	1.30	2.60
P7	-0.60	-0.70	1.00	2.00	3.40	5.60
P8	1.30	1.20	3.20	4.70	4.20	4.70
P9	-1.60	-1.40	0.60	2.30	3.60	4.10
P10	-0.40	-0.10	2.00	3.00	4.30	5.50

Gráfico comparativo para claridad de la voz entre sala vacía y ocupada

C50 comparativo con CATT

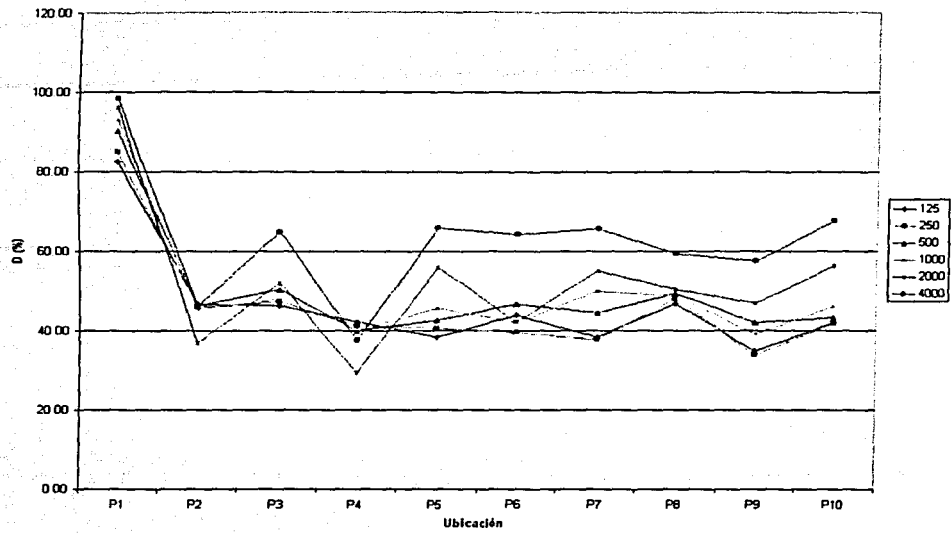


Definición

Para sala vacía

Definición	125	250	500	1000	2000	4000
P1	82.40	84.90	90.30	93.10	96.10	98.30
P2	46.70	46.00	46.30	45.30	37.00	46.40
P3	46.40	47.30	50.40	47.90	52.00	64.90
P4	42.30	41.20	39.90	40.00	29.40	37.60
P5	38.30	40.70	42.60	45.80	56.00	65.90
P6	43.90	39.50	46.80	42.10	42.30	64.20
P7	38.30	37.80	44.50	50.00	55.10	65.80
P8	46.80	47.90	49.30	48.80	50.50	59.40
P9	34.90	33.90	42.10	39.10	46.90	57.50
P10	42.10	41.90	43.30	46.20	56.40	67.70

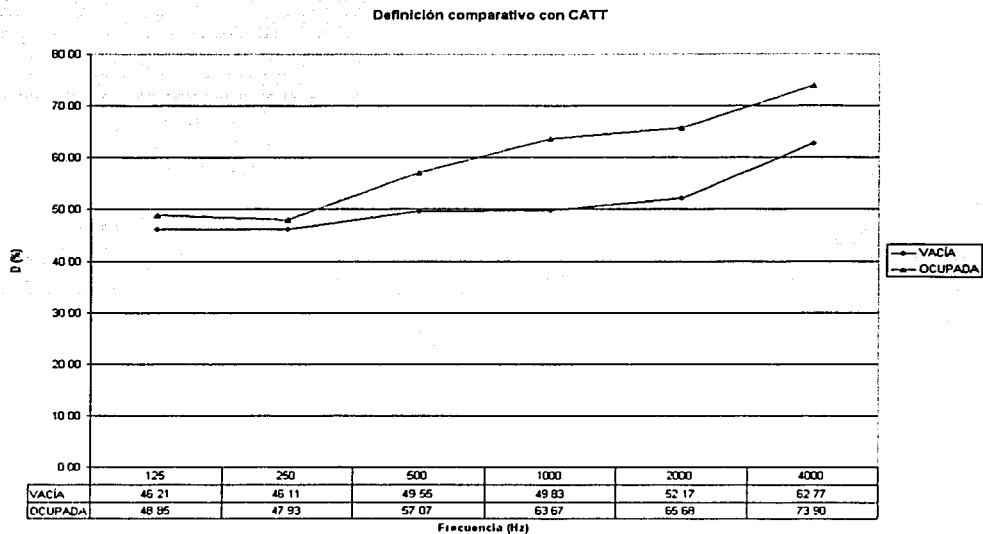
Definición para sala vacía con CATT



Para sala ocupada

Definición	125	250	500	1000	2000	4000
P1	67.63	67.63	76.81	81.36	87.37	94.06
P2	47.12	44.84	47.70	52.30	44.27	57.43
P3	44.84	43.14	52.88	58.55	61.31	74.25
P4	48.85	44.27	51.73	56.30	51.73	62.94
P5	47.70	45.41	55.16	62.94	71.05	82.72
P6	39.78	39.78	48.27	59.66	57.43	64.54
P7	46.55	45.98	55.73	61.31	68.63	78.41
P8	57.43	56.86	67.63	74.69	72.45	74.69
P9	40.89	42.01	53.45	62.94	69.61	71.99
P10	47.70	49.42	61.31	66.61	72.91	78.01

Gráfico comparativo para definición entre sala vacía y ocupada



- Inteligibilidad de la palabra

%ALCons	Sala Vacía	Sala Ocupada
Promedio	8.93	6.42
Equivalente STI	57.8	62.6
Valoración subjetiva	Aceptable	Aceptable

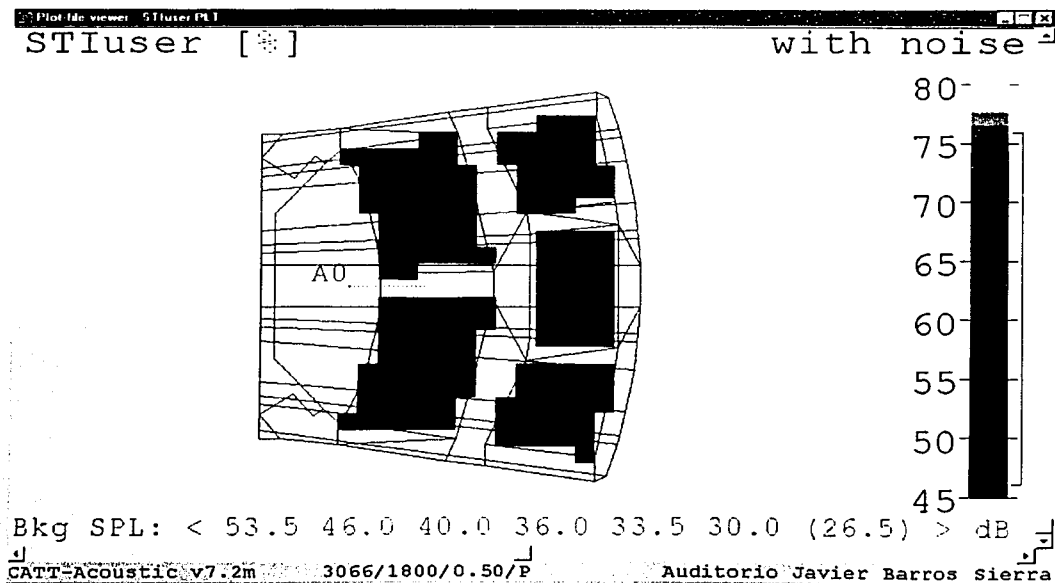
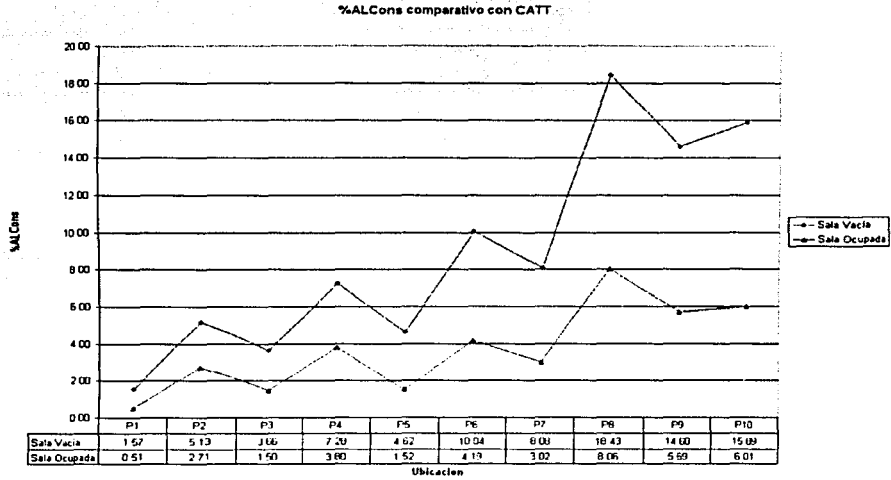


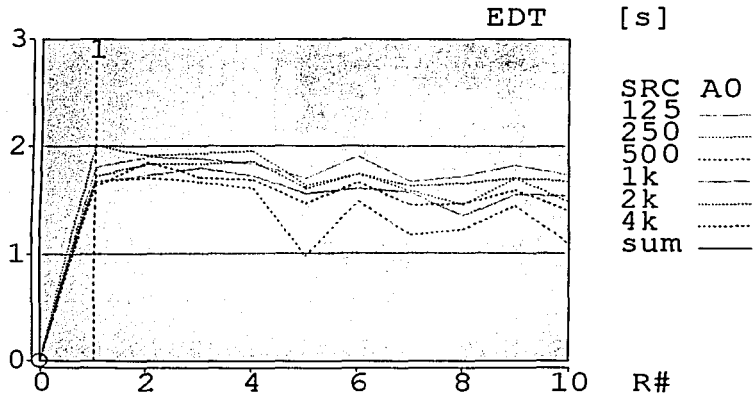
Gráfico comparativo para %ALCons entre sala vacía y ocupada



EDT

Para sala vacía

EDT	125	250	500	1000	2000	4000	Promedio
P1	1.65	1.52	0.84	1.8	2.01	1.67	1.34
P2	1.82	1.84	1.82	2.02	2.06	1.59	1.86
P3	1.85	1.81	1.85	1.85	1.99	1.55	1.82
P4	1.83	1.87	1.91	1.88	2.05	1.51	1.84
P5	1.67	1.66	1.59	1.68	1.75	1.18	1.59
P6	1.84	1.83	1.86	1.92	1.99	1.61	1.84
P7	1.7	1.72	1.63	1.64	1.68	1.15	1.59
P8	1.65	1.64	1.62	1.64	1.83	1.37	1.63
P9	1.87	1.87	1.81	1.89	1.88	1.46	1.80
P10	1.8	1.74	1.7	1.79	1.6	1.12	1.63
Promedio	1.77	1.75	1.66	1.81	1.87	1.39	1.69

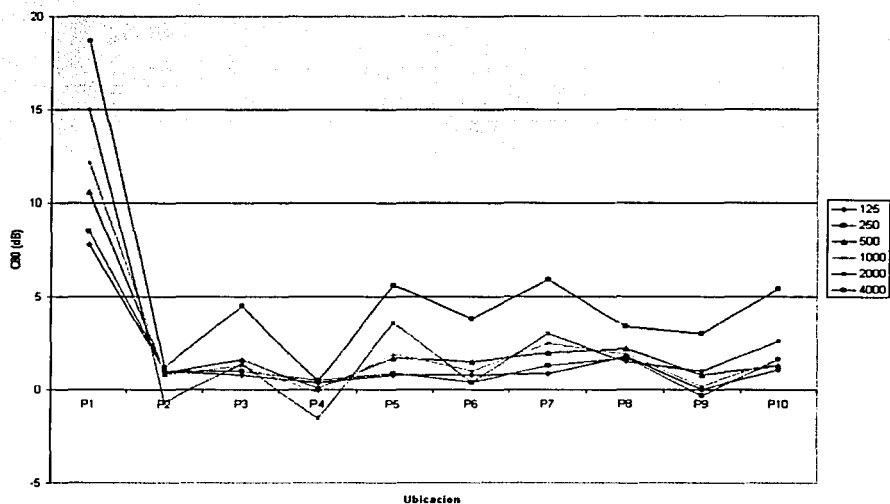


▪ Claridad musical

Para sala vacía

C80	125	250	500	1000	2000	4000
P1	7.8	8.5	10.6	12.2	15	18.7
P2	1	1	0.9	0.8	-0.7	1.2
P3	0.8	1	1.6	1.3	1.4	4.5
P4	0.4	0.5	0.1	-0.1	-1.5	0.5
P5	0.8	0.9	1.7	1.9	3.6	5.6
P6	0.8	0.4	1.5	1	0.4	3.8
P7	0.9	1.3	2	2.5	3	5.9
P8	1.8	1.7	2.2	1.9	1.5	3.4
P9	0	-0.3	0.8	0.2	1	3
P10	1.1	1.6	1.3	1.6	2.6	5.4

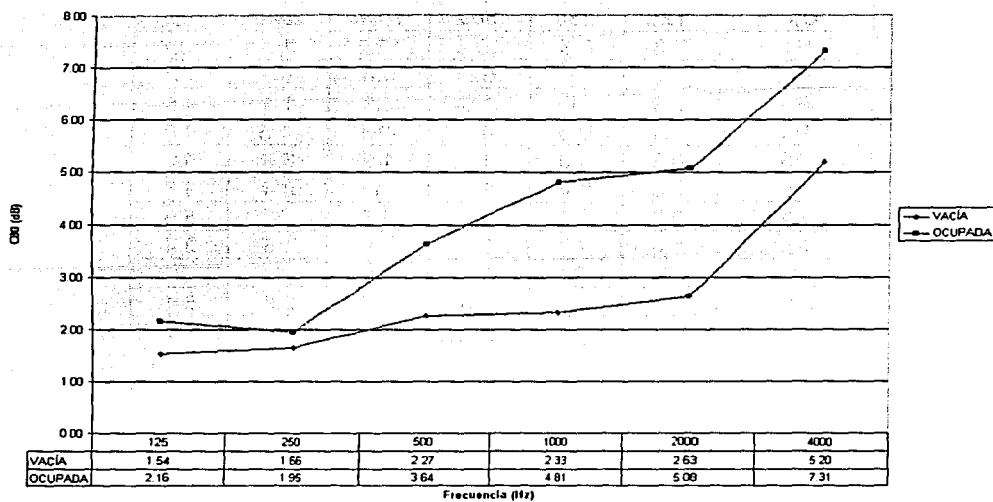
C80 para sala vacía con CATT



Para sala ocupada

C80	125	250	500	1000	2000	4000
P1	4.1	3.9	6.1	7	8.7	12.5
P2	1.6	1.1	1.5	2.5	0.6	3.2
P3	1.2	0.6	2.3	3.6	3.9	6.5
P4	1.7	1.5	2.5	3.1	2.1	4.7
P5	2	1.8	3.6	5.2	6.9	9.7
P6	0.4	0.8	2.5	3.5	3	4.7
P7	2.6	2.3	4.4	5.5	7.2	10
P8	3.8	3.7	5.5	7.2	6.2	7
P9	1.6	1.5	3.4	4.8	5.4	6.5
P10	2.6	2.3	4.6	5.7	6.8	8.3

C80 comparativo con CATT



▪ Calidez acústica

Para sala vacía:

BR= 1.01

Para sala ocupada:

BR= 1.34

▪ Brillo

Para sala vacía:

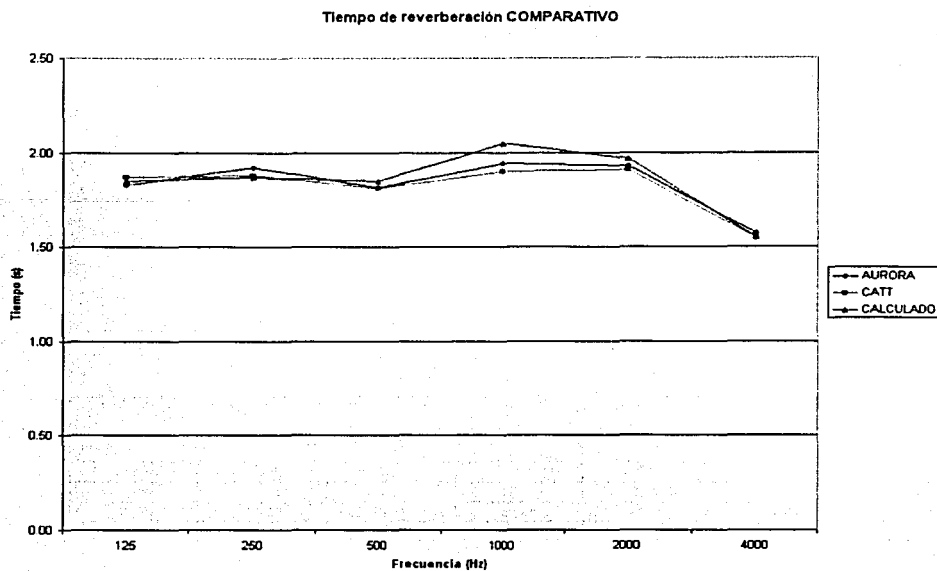
Br= 0.93

Para sala ocupada:

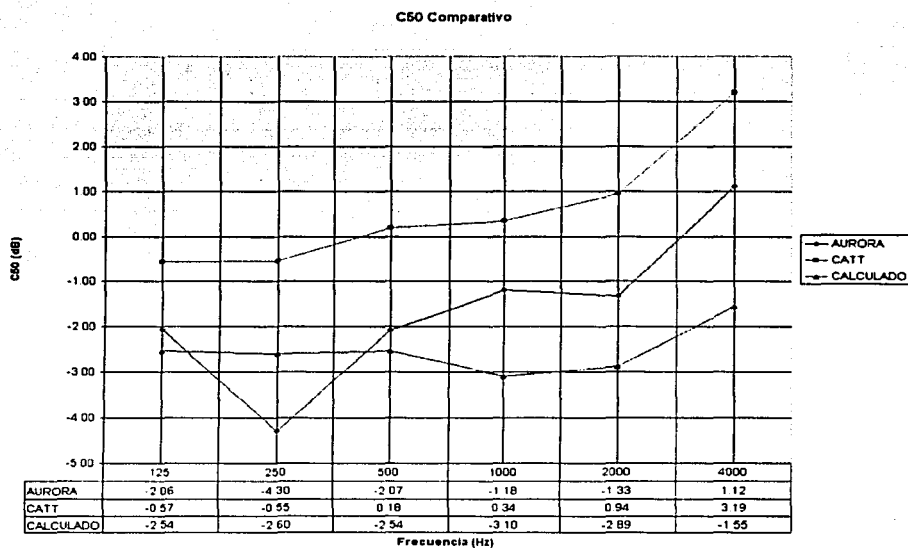
Br= 0.94

2.5 Comparación entre los métodos utilizados

- Tiempo de reverberación para sala vacía

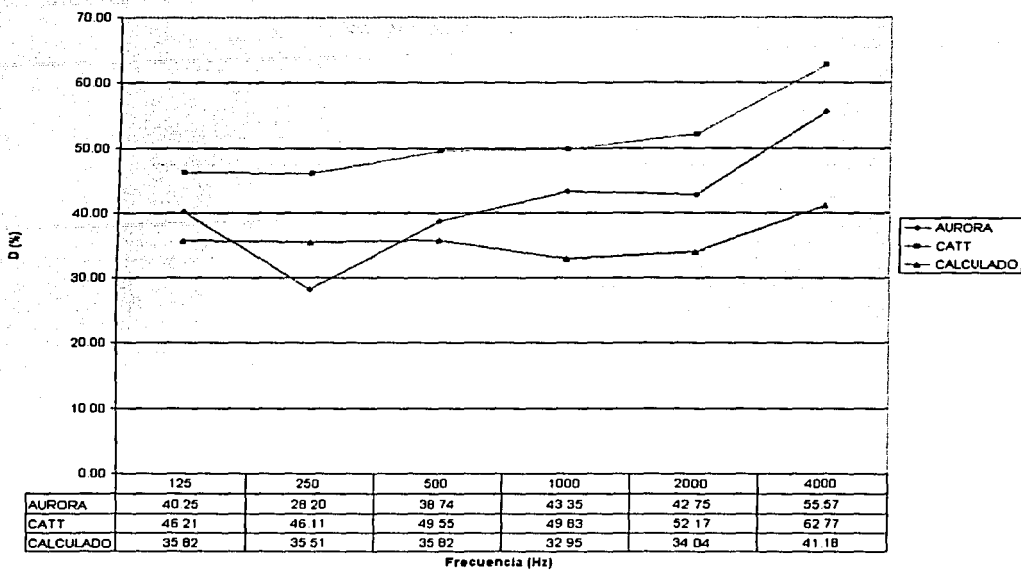


- Claridad de voz



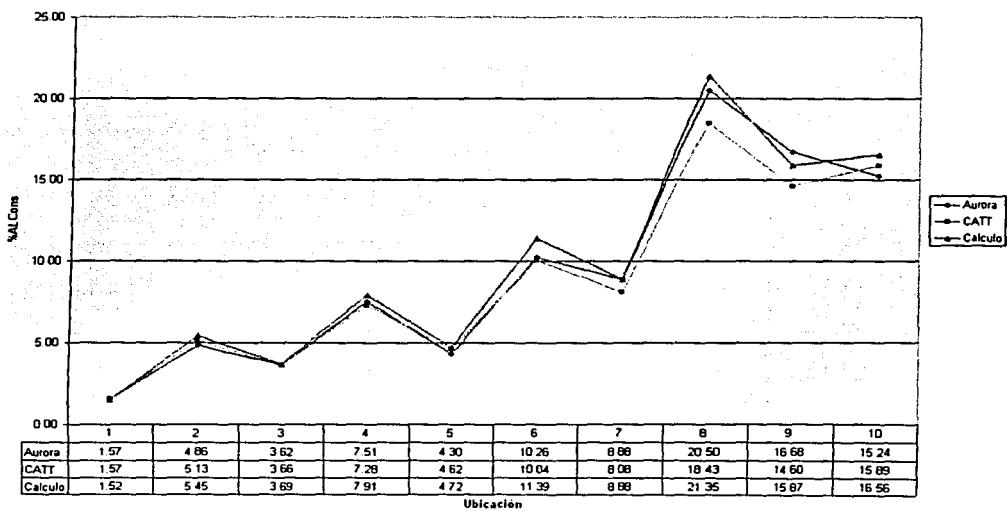
▪ Definición

Definición comparativo



▪ Inteligibilidad de la palabra

%ALCons comparativo

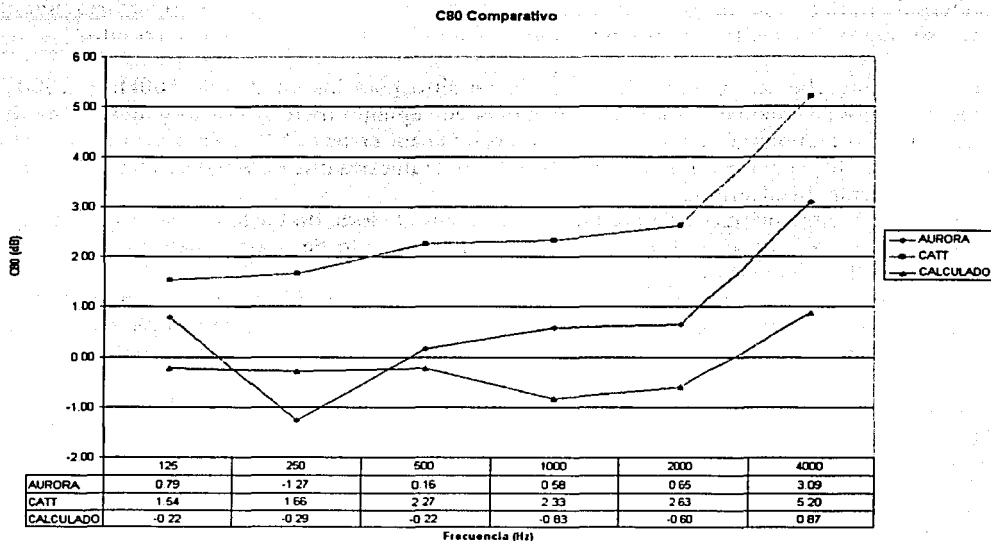


Existen programas para el análisis en sitio que pueden llevar a cabo las mediciones de RASTI o STI, sin embargo, el algoritmo es bastante complejo para ser integrado en programas de cómputo de alcance económico adecuado.

Es por ello que, a partir de los datos obtenidos de cada método, utilicé la fórmula matemática para el porcentaje de pérdida de consonantes para corroborar la relación entre los tres métodos.

Aquí se puede ver que no existe gran diferencia entre los distintos datos obtenidos y que la fórmula de %ALCons está estrechamente ligada a la distancia entre la fuente y el receptor.

- Claridad Musical



- Calidez musical

BR	Promedio
Calc	0.95
Aurora	1.00
CATT	1.01

- Brillo

Para sala vacía:

Br	Promedio
Calc	0.90
Aurora	0.93
CATT	0.93

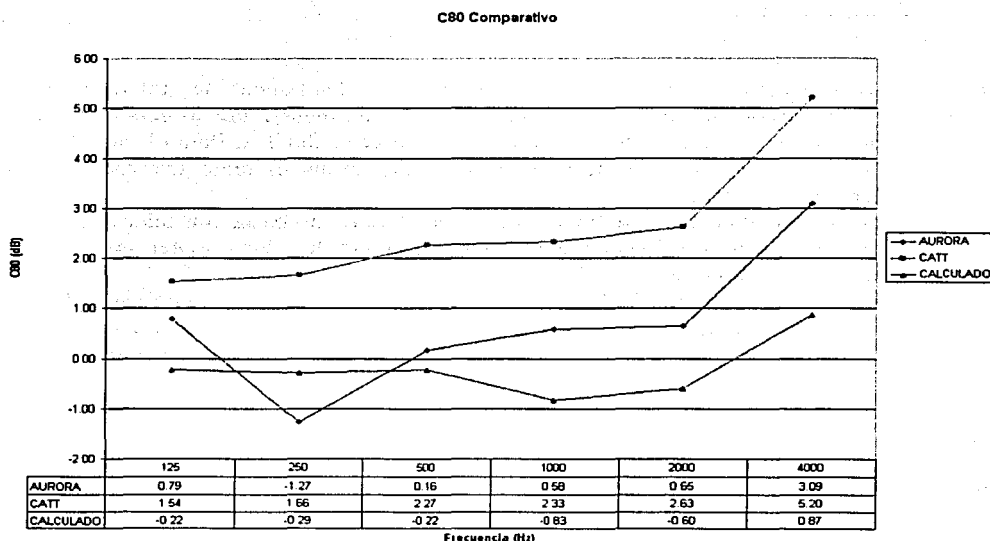
Al igual que para la calidez musical, este parámetro está en función de tiempos de reverberación, pero en este caso como relación de aquellos para frecuencias altas y medias. Como puede verse en ambos casos, no existe una gran diferencia entre ellos.

Existen programas para el análisis en sitio que pueden llevar a cabo las mediciones de RASTI o STI, sin embargo, el algoritmo es bastante complejo para ser integrado en programas de cómputo de alcance económico adecuado.

Es por ello que, a partir de los datos obtenidos de cada método, utilicé la fórmula matemática para el porcentaje de pérdida de consonantes para corroborar la relación entre los tres métodos.

Aquí se puede ver que no existe gran diferencia entre los distintos datos obtenidos y que la fórmula de %ALCons está estrechamente ligada a la distancia entre la fuente y el receptor.

- Claridad Musical



- Calidez musical

BR	Promedio
Calc	0.95
Aurora	1.00
CATT	1.01

- Brillo

Para sala vacía:

Br	Promedio
Calc	0.90
Aurora	0.93
CATT	0.93

Al igual que para la calidez musical, este parámetro está en función de tiempos de reverberación, pero en este caso como relación de aquellos para frecuencias altas y medias. Como puede verse en ambos casos, no existe una gran diferencia entre ellos.

2.5.1 Observaciones a la comparación de los tres métodos

De las gráficas mostradas en el apartado anterior, se pueden observar las similitudes y discrepancias entre los métodos.

Como conclusión a dicho análisis comparativo quede claro que, en el caso de las predicciones matemática y por computadora, se utilice el método que más convenga con fines prácticos. El tiempo es un factor muy importante en la entrega de un proyecto, y es probable que no se cumpla con el límite de entrega si se pretende hacer un trabajo muy detallado en el levantamiento del modelo virtual para el programa de predicción.

Se puede considerar al tiempo de reverberación como un muy buen punto de partida para mediciones y predicciones, ya que éste se sigue considerando como el parámetro fundamental en la aplicación de acústica para recintos. Aquellos dedicados a la acústica, estarán de acuerdo en que un tiempo de reverberación adecuado es necesario e incluso llega a ser condición suficiente para tener una acústica adecuada de recinto.¹⁴

- El tiempo de reverberación promedio, medido en sitio para las bandas de 500Hz y 1000kHz, fue de 1.88seg. Con CATT-Acoustic, hubo 2 centésimas de segundo menos. Por lo general, una diferencia en milisegundos no es notoria, y en este caso, representa un error del 1%. Para el método matemático, el error fue de 3% (el valor obtenido fue de 1.95). Esto demuestra que el rango de error fue menor al 5%, lo cual es una tolerancia adecuada.

Para los métodos matemático y de predicción por computadora, no basta con seleccionar coeficientes de absorción al azar, se hace necesario conocer el comportamiento de los materiales y respetar su interacción con las ondas sonoras.

Modificar ligeramente el coeficiente de absorción de tablas de materiales conforme al material real es totalmente justificable si no se conoce a ciencia cierta que dicha superficie cumple exactamente con esos coeficientes, a menos claro, que se pretenda hacer un análisis específico de materiales.

- Los parámetros de claridad de la voz y claridad de la música (C50 y C80 respectivamente) están íntimamente ligados al sonido reflejado en cuanto a la relación existente entre las reflexiones tempranas y las tardías. Las fórmulas matemáticas propuestas por M. Barron¹⁵ asumen un decaimiento exponencial en la energía del sonido que se divide en tres componentes: el sonido directo, las reflexiones tardías y las reflexiones tempranas. Las reflexiones tempranas pueden ser vistas de manera discreta, pero las tardías sólo pueden ser descritas estadísticamente.

Estas fórmulas fueron consideradas para salas de conciertos y de dimensiones superiores a las de un auditorio escolar, además de no tomar en cuenta varios factores que ocurren en la realidad, pero que quizá es muy complejo considerar para un planteamiento de ese estilo.

Los resultados obtenidos por este método registraron valores cercanos a los 2.5dB (en la banda de 500Hz) inferiores a los del análisis en sitio.

La claridad musical no sólo se ve afectada por las características físicas de la sala, sino además por la habilidad y virtuosismo de los intérpretes.¹⁶

En cuanto a la predicción por programa de cómputo, se deben contemplar otro tipo de factores, ya que dependen del diseño del programa -en función de sus algoritmos de predicción-, y la semejanza con la realidad del modelo virtual del recinto.

Incluso con un buen algoritmo, algunas posiciones no podrán ser predecibles con exactitud ya que estamos hablando de acústica geométrica y grandes simplificaciones -el espacio del público considerado como un gran plano, los escalones formando una "rampa" uniforme. La precisión de los parámetros ésta en función de esto.

¹⁴ DALENBÄCK, BENGT-INGE en www.catt.se

¹⁵ BARRON, M. AND LEE, L.-J. "Energy relations in concert auditoriums" en J. Acoust. Soc. Am. Vol. 84 pag. 618-628

¹⁶ CARRIÓN ISBERT, ANTONI "Diseño acústico de espacios arquitectónicos" Pág. 232

Hacer un modelo totalmente apegado a la realidad y al que se le pueda hacer una predicción totalmente confiable es prácticamente imposible, sin importar cuan *perfecto* –y costoso- pueda ser el programa predictivo. Los análisis del equipo de cómputo al llevar a cabo la predicción de una sala con todos sus detalles podría tomar horas y hasta incluso días para obtener un resultado.

Si el tiempo de reverberación obtenido por los tres métodos utilizados es sustancialmente el mismo, se puede concluir que los siguientes parámetros también serán similares en los tres métodos:

- %ALCons
- EDT
- Calidez musical
- Brillo

La razón de ello consiste en que éstos son dependientes del parámetro arriba mencionado.

2.6 Resumen de los parámetros obtenidos para el auditorio “Javier Barros Sierra”

Los valores que a continuación se presentan son aquellos obtenidos por la medición en sitio y analizados en el programa Aurora. En paréntesis se anota el valor correspondiente al obtenido con CATT, ya que consiste en el valor comparativo entre sala vacía y sala ocupada.

Con base en las tablas indicadas en el Capítulo 1, apartados 1.8.4, 1.9 y 1.10, para los parámetros analizados se concluye lo siguiente:

Sala vacía

PARÁMETRO	VALOR SUGERIDO	VALOR MEDIDO	OBSERVACIONES DIRECTAS
NC para sala de conferencias	20-30	35-40	No cumple con el parámetro
RT_{mid} (500Hz-1000Hz)	$RT_{mid} < 1.5$ s	1.88 s (1.86s CATT)	El valor es muy alto para eventos destinados a la voz.
C_{50mid} (500-4000Hz)	No existe sugerencia	-0.79dB (1.24dB CATT)	
Definición	No existe sugerencia	41.47% (51.11% CATT)	
%ALCons	No existe sugerencia	9.34% (8.93% CATT)	La inteligibilidad es <i>acceptable</i>
NC para salas de conciertos y teatro	15-25	35-40	No cumple con el parámetro
RT_{mid} (500Hz-1000Hz)	1.8/ RT_{mid} /2 Sinfónica 1.6/ RT_{mid} /1.8 Clásica 1.3/ RT_{mid} /1.7 Barroca y cámara 1.2/ RT_{mid} /1.5 Ópera	1.88 s (1.86s CATT)	Tiempo de reverberación adecuado para música clásica y sinfónica, un poco elevado para Ópera
EDT	$EDT_{mid} \approx RT_{mid}$	1.93 s (1.74s CATT)	Ligeramente mayor a RT. Es bueno
C_{80mid} (SALA VACÍA) (500-2000Hz)	$-4 \leq C_{80} \leq 0$ dB (evitando que $C_{80} > 1$ dB)	0.37dB (1.83dB CATT)	Ligeramente arriba (Muy arriba desde la perspectiva de CATT)

Sala ocupada (por predicción con CATT-A)¹⁷

PARÁMETRO	VALOR SUGERIDO	VALOR OBTENIDO	POR MODELADO	CONDICION ESTIMADA
RT _{mid} (500Hz-1000Hz) Voz	0.7/RT _{mid} /1.2	1.41s		Por arriba del valor recomendado
C _{50mid} (500-4000Hz)	C ₅₀ >2dB	3.13dB		
Definición	D>50%	59.52%		
%ALCons	%ALCons≤ 5%	6.15%		La inteligibilidad es <i>acceptable</i> pero no lo suficiente
RT _{mid} (500Hz-1000Hz) Música	1.8/RT _{mid} /2 Sinfónica 1.6/RT _{mid} /1.8 Clásica 1.3/RT _{mid} /1.7 Barroca y cámara 1.2/RT _{mid} /1.5 Ópera	1.41s		Adecuado para ópera, música barroca y música de cámara
EDT _{mid}	EDT _{mid} ≈RT _{mid}	1.21s		Menor a RT
C _{80mid} (SALA OCUPADA) (500-2000Hz)	-2≤C ₈₀ ≤+2dB	4.16dB		Arriba del parámetro sugerido para la música
BR	1.10≤BR≤1.25	1.35		Existe un exceso de graves
Br		0.93		La sala tiene buen <i>brillo</i>

¹⁷ El programa CATT generó valores de C50, C80 y Definición, más elevados a los medidos en sitio, es probable que ello también se refleje en los resultados de predicción para sala ocupada. Debido a que se desconoce el rango de incertidumbre de los métodos utilizados, no se pueden establecer rangos de error que pudieran ser utilizados para obtener más cálculos que pudieran determinar con mayor exactitud los valores de dichos parámetros acústicos.

Capítulo Tercero
Propuesta

Un buen diseño arquitectónico en papel no siempre ha conseguido el éxito esperado al momento de llevarlo a la práctica, un ejemplo de ello es el Royal Albert Hall en Londres, el cual ha sufrido varias modificaciones de carácter acústico desde su edificación en 1871, y es considerado con una de las categorías más bajas en una tabla elaborada por Beranek en "Concert Opera Halls: How they sound"

Otro caso menos conocido a nivel mundial, pero bastante desastroso es el Lincoln Center's Philharmonic Hall de Nueva York terminado en 1962 y qué, irónicamente fue diseñado por el mismo Dr. Leo L. Beranek.¹

Los diseños de salas destinadas a la palabra en cambio, se aproximan más a la realidad a partir del diseño teórico. Es muy probable que ello se deba a tres factores primordiales:

- La humanidad está familiarizada de manera intuitiva con el habla, su principal medio de comunicación.
- La existencia de espacios para una gran cantidad de público data del siglo III aC y su función consistía en las representaciones del teatro clásico griego—donde lo primordial siempre ha sido la calidad de la voz—
- Otro factor importante es que los parámetros acústicos para la voz son de carácter objetivo. No importa qué idioma se hable, la claridad de voz, la definición y la inteligibilidad de la palabra son parámetros que se deben cumplir siempre y de manera rigurosa.

Por el contrario, en cuanto a música se refiere,

- La edificación de espacios de carácter público destinados a ella ocurrió hasta mediados del siglo XVII.
- En un sentido estricto, las características acústicas de un recinto son específicas y diferenciadas para cada tipo de música debido a su incomparable riqueza.
- Los parámetros acústicos de un recinto destinado a la música resultan primariamente de carácter subjetivo.

Existen varios métodos para el mejoramiento de la llegada de primeras reflexiones hacia el público, la difusión del sonido, la absorción del exceso de eco, el mejoramiento de la curva de decaimiento temprano, etc.; todo con el fin de hacer un espacio destinado a la música más rico para su apreciación.

La aplicación de materiales en ciertas superficies, la colocación de piezas reflectantes a manera de nubes, la ubicación de difusores o resonadores podrán mejorar la acústica del recinto hasta llevarlo a su cúspide sonora. Sin embargo, ello puede generar polémica en cuánto a la posibilidad de afectar, hasta cierto punto, la belleza visual del recinto. Es decisión final de las autoridades competentes, la decisión de mantener un balance estético en cuánto a la visual y la acústica de un espacio arquitectónico.

En este capítulo, no se pretende de ninguna manera ejercer la labor de un experto en materia. Pero, se propone una serie de cambios necesarios de carácter básico para una mejora del espacio.

3.1 Estadística de tipo de eventos que ocurren en el auditorio "Javier Barros Sierra"

Los auditorios escolares siempre se han caracterizado por ser espacios de uso multifuncional. Desde conferencias, cine y danza destinadas a un público selecto, hasta interpretaciones teatrales y musicales para el entretenimiento del público que desborda la sala.

Para caracterizar al recinto adecuadamente, se ha elaborado una tabla estadística de los eventos que se llevan a cabo en el auditorio. Se presenta a continuación una lista del tipo de eventos llevados a cabo en el auditorio "Javier Barros Sierra" de la Facultad de Ingeniería, del 19 de junio del 2001 al 2 de marzo del 2002.²

¹ Este suceso lo alejó del diseño de salas de conciertos hasta a mediados de 1990's
http://www.linguafranca.com/print/0104/feature_bouncing.html

² Datos obtenidos de la Secretaría de Servicios Académicos de la Facultad de Ingeniería, UNAM

Un buen diseño arquitectónico en papel no siempre ha conseguido el éxito esperado al momento de llevarlo a la práctica, un ejemplo de ello es el Royal Albert Hall en Londres, el cual ha sufrido varias modificaciones de carácter acústico desde su edificación en 1871, y es considerado con una de las categorías más bajas en una tabla elaborada por Beranek en "Concert Opera Halls: How they sound"

Otro caso menos conocido a nivel mundial, pero bastante desastroso es el Lincoln Center's Philharmonic Hall de Nueva York terminado en 1962 y que, irónicamente fue diseñado por el mismo Dr. Leo L. Beranek.¹

Los diseños de salas destinadas a la palabra en cambio, se aproximan más a la realidad a partir del diseño teórico. Es muy probable que ello se deba a tres factores primordiales:

- La humanidad está familiarizada de manera intuitiva con el habla, su principal medio de comunicación.
- La existencia de espacios para una gran cantidad de público data del siglo III aC y su función consistía en las representaciones del teatro clásico griego—donde lo primordial siempre ha sido la calidad de la voz—
- Otro factor importante es que los parámetros acústicos para la voz son de carácter objetivo. No importa qué idioma se hable, la claridad de voz, la definición y la inteligibilidad de la palabra son parámetros que se deben cumplir siempre y de manera rigurosa.

Por el contrario, en cuanto a música se refiere,

- La edificación de espacios de carácter público destinados a ella ocurrió hasta mediados del siglo XVII.
- En un sentido estricto, las características acústicas de un recinto son específicas y diferenciadas para cada tipo de música debido a su incomparable riqueza.
- Los parámetros acústicos de un recinto destinado a la música resultan primariamente de carácter subjetivo.

Existen varios métodos para el mejoramiento de la llegada de primeras reflexiones hacia el público, la difusión del sonido, la absorción del exceso de eco, el mejoramiento de la curva de decaimiento temprano, etc.; todo con el fin de hacer un espacio destinado a la música más rico para su apreciación.

La aplicación de materiales en ciertas superficies, la colocación de piezas reflectantes a manera de nubes, la ubicación de difusores o resonadores podrán mejorar la acústica del recinto hasta llevarlo a su cúspide sonora. Sin embargo, ello puede generar polémica en cuánto a la posibilidad de afectar, hasta cierto punto, la belleza visual del recinto. Es decisión final de las autoridades competentes, la decisión de mantener un balance estético en cuánto a la visual y la acústica de un espacio arquitectónico.

En este capítulo, no se pretende de ninguna manera ejercer la labor de un experto en materia. Pero, se propone una serie de cambios necesarios de carácter básico para una mejora del espacio.

3.1 Estadística de tipo de eventos que ocurren en el auditorio "Javier Barros Sierra"

Los auditorios escolares siempre se han caracterizado por ser espacios de uso multifuncional. Desde conferencias, cine y danza destinadas a un público selecto, hasta interpretaciones teatrales y musicales para el entretenimiento del público que desborda la sala.

Para caracterizar al recinto adecuadamente, se ha elaborado una tabla estadística de los eventos que se llevan a cabo en el auditorio. Se presenta a continuación una lista del tipo de eventos llevados a cabo en el auditorio "Javier Barros Sierra" de la Facultad de Ingeniería, del 19 de junio del 2001 al 2 de marzo del 2002.²

¹Este suceso lo alejó del diseño de salas de conciertos hasta a mediados de 1990's
http://www.linguafranca.com/print/0104/feature_bouncing.html

² Datos obtenidos de la Secretaría de Servicios Académicos de la Facultad de Ingeniería, UNAM

TIPO	NÚMERO DE EVENTOS OCURRIDOS
Conferencias Académicas	48
Cine	8
Teatro	10
Danza	1
Actividades del Sindicato	20
TOTAL EVENTOS PARA VOZ	87
Música popular (rock)	9
Música tradicional (tuna, trova)	9
Música clásica	1
TOTAL EVENTOS PARA MUSICA	19

TIPO	PORCENTAJE
Eventos destinados a la palabra	82%
Eventos destinados a la música	18%
Total	100%

3.2 Sugerencias para el mejoramiento de los parámetros acústicos

De las tablas se observa que este auditorio está destinado primordialmente a eventos destinados a la palabra. Del capítulo anterior notamos que los parámetros acústicos del recinto son adecuados para la interpretación de la música clásica, pero otro tipo de eventos se ven afectados por la acústica actual del espacio.

Lograr un justo medio para cumplir con los requerimientos acústicos de necesidades totalmente distintas no es tarea fácil. Sin embargo, a continuación se proponen una serie de cambios de carácter acústico arquitectónico para que el recinto cumpla de la mejor manera posible con los parámetros acústicos de recintos destinados a la palabra y se tratará de no afectar, en la medida de lo posible, aquellos destinados a la música.

3.2.1 Propuesta de solución a los problemas de ruido de fondo

En la actualidad muchos de nosotros hemos olvidado lo que es el verdadero silencio.

Tristemente, nuestros oídos se han acostumbrado al ruido de la ciudad: A escuchar aviones que pasan constantemente generando 65dBA de ruido. Tráfico de ciudad, claxonazos, enfrenones, camiones mal afinados, todo esto generando hasta 80dBA en algunos casos, “discotecas rodantes” de 102dBA, etc.

Hemos perdido percepción del nivel de estrés que la contaminación por ruido ocasiona –y para cerrar con broche de oro: la pérdida del sentido del oído.

Y por ello, no es de extrañarse que el ruido existente en un recinto destinado a la música o a la palabra cuente con niveles de presión sonora que en teoría no debería ocurrir, pero a lo que gran parte del público se ha acostumbrado.

Se observó, en el apartado 2.2 que el ruido de fondo del auditorio “Javier Barros Sierra” es superior a lo establecido. Es muy probable que el molesto ruido de los balastos llegue a pasar desapercibido por el público al paso del tiempo en que transcurra el evento. Pero también es posible que la molestia sea tal, que la gente opte por salirse de la sala.

El ruido que genera el sistema de ventilación puede enmascarar la voz del orador cuando es encendido, causando con ello una pérdida de inteligibilidad de la palabra.

No sería tampoco de extrañarse, que un charlista detuviera su conferencia a causa de los sorprendentes ruidos provenientes del sistema hidráulico.

3.2.1.1 Sistema de iluminación

De manera general, la iluminación de un espacio se define en función de:

- La labor que se desempeñe en el recinto
- El ambiente que se desea crear
- La arquitectura del espacio

Tipo de lámparas:

- Incandescente
 - Tradicional, de halógeno, par (reflector parabolizado- utilizado principalmente en teatro)
 - Cálida y agradable (percepción subjetiva)
 - Atenuable
- Fluorescente
 - Lineales (de tubo largo), compactas, de inducción
 - Fría (percepción subjetiva)
 - No atenuable (requiere el uso de balastos)
 - No se recomiendan apagados y encendidos constantes
- Alta intensidad de descarga
 - Vapor de mercurio, vapor de sodio, aditivos metálicos
 - Exceso de brillo
 - Largo tiempo de re-encendido (luz vial)
 - No atenuable (requiere el uso de balastro)
- LED
- Fibra óptica

Tipo de luminarias:

- Empotrada en techo
- Colgada en techo
- Lineal desnuda
- Enterrada (o desde piso)
- Teatral:
 - Fresnel
 - Leeko
 - Par
 - Robotizada

Tipo de control:

- Por atenuación (dimmers)
- Por switch de encendido

El auditorio Javier Barros Sierra cuenta exclusivamente con lámparas de luz fluorescente de tubo largo, la cual utiliza balastos junto a las luminarias. Su control es por interruptor y su encendido por secciones ocurre de manera longitudinal, salvo las del escenario que encienden en tres secciones.

La operación del sistema también causa ruido en la sala, por la ubicación del tablero de interruptores en el cubo de acceso al cuarto de proyección.

En un espacio de usos múltiples, los eventos deben ser apoyados por el tipo de iluminación.

Orden estructurado de recomendaciones al tipo de iluminación para el auditorio:

- La iluminación del recinto debe crear ambientes para distintos tipos de eventos, por ello:
 - El encendido de luces de forma transversal a la sala.
 - Se sugiere que su intensidad ocurra por atenuación (consola de iluminación) y no por interrupción (switcheo).
 - Se recomienda que dicha operación se ejecute desde un punto donde el técnico vea qué luces está operando.
 - Añadir luces de acento al escenario por medio de una barra que soporte Leekos, Fresneles, y Pares como mínimo.

- Se sugiere entonces:
 - Si se piensa continuar utilizando el sistema con lámparas fluorescentes, se propone el cambio de ubicación de balastos, a una habitación que no transmita el ruido al interior del recinto.
 - En el caso de un cambio de tipo de iluminación, se sugiere que todo equipo eléctrico que no se requiera dentro de la sala se coloque en un espacio aislado del recinto acústicamente (como puede ser el caso de equipo de atenuación -dimmers).
 - Las paredes del cuarto aislado se pueden recubrir de material de gran capacidad de absorción sonora, como es el caso de la fibra de vidrio o lana mineral de alta densidad y de un espesor aproximado de 4". La ventaja de este material es que no es inflamable. (Prueba de ello es que se utiliza en los calentadores de agua para conservar la temperatura adecuada en su interior, sin correr riesgo alguno).
 - Es importante recordar también, que el suelo es un buen elemento de transmisión estructural de ruido. Por ello se recomienda que, en general, todo equipo que genere ruido se coloque en anaqueles rodantes (racks) con llantas de goma para su fácil acceso a mantenimiento, y un adecuado aislamiento sonoro al contacto con el piso. Si debido a su peso esto no es posible, entonces se recomienda que se utilice una estructura aislada (superficie de material acústicamente aislante).

3.2.1.2 Ruido debido al exterior

Las puertas de acceso al auditorio, están fabricadas de un material muy ligero (triplay de 1/4") y metal. Como vimos, al inicio del capítulo anterior, su atenuación de ruido resulta pobre y permite la transmisión del ruido del exterior.

Una puerta puede ser considerada como una *barrera de sonido*³ y tiene como propósito atenuar el sonido que pase a través de ella. Una barrera actúa como un diafragma, que vibra bajo la influencia de sonido que impacta sobre él. Conforme vibra, irradia el sonido al otro lado con un nivel de intensidad menor.

Un panel flexible (como el triplay) ofrece, en teoría, una pérdida de 6dB cada vez que se duplica su grosor. La realidad muestra que este número es más bien cercano a los 4.4dB⁴. También está en función de la frecuencia, ya que un diafragma generará vibraciones en función de su tamaño, del material del que está compuesto y de su densidad.

Las soluciones a este problema son relativamente sencillas. Conforme a lo arriba establecido, el grosor de la barrera es de carácter importante. El sonido estructural se verá disminuido al disminuir su energía, y esto se logra con el clásico diseño de la puerta de "tambor". Conformada por hojas de triplay en su exterior, pero en vez de que el interior sea de aire en este caso se sugiere el uso de lana mineral de alta densidad, ello evitará la vibración de las hojas de la puerta y disminuirá la transmisión hacia dentro de la puerta.

Otra solución consiste en que las puertas sean de material grueso, como madera de 1 3/4" ya sea de tipo laminada o de conglomerado. Se debe tener en consideración que, mientras más grueso sea el material de la puerta, más pesada será y esto puede traer consecuencias en materia de seguridad y riesgo.

³ El tema de barreras de sonido es mucho más extenso de lo que aquí se presenta. Cfr. Cap. 8 de "Master Handbook of Acoustics" de F. Alton Everest

⁴ "Handbook for Sound Engineers" Pág. 74

Si se pretende cambiar la ubicación de los accesos o la creación de puertas de emergencia en las laterales del auditorio, se debe tomar en cuenta que la pura puerta no bastará para aislar el sonido del exterior debido a que la dinámica de ruido de la calle es mayor que la que ocurre en los pasillos del interior del edificio de la Facultad.

Se recomienda no únicamente una estructura metálica para la salida, sino el diseño de una “trampa acústica”. Esta se puede lograr con paredes de material ligero a la estructura de soporte (Panel W) recubierto en su interior por material muy absorbente para evitar potencia sonora por reflexión.

A continuación se muestra una sugerencia de diseño:

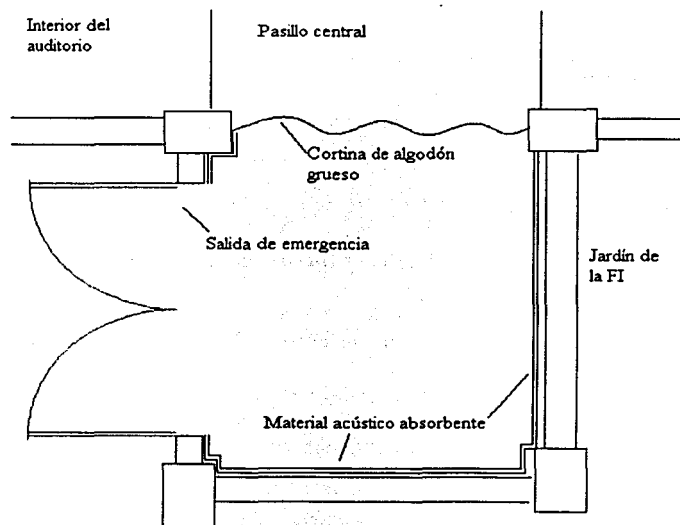


Fig. 3-1

Cabe aclarar que ésta no es una solución completa si nos olvidamos del principio de difracción y de cómo el sonido puede transmitirse por los resquicios de la puerta. Es por ello que se diseñan juntas de material absorbente —como neopreno— para sellar los marcos de las puertas. En el caso del espacio piso-puerta se suelen colocar sellos magnéticos a base de PVC como se muestra en la figura.

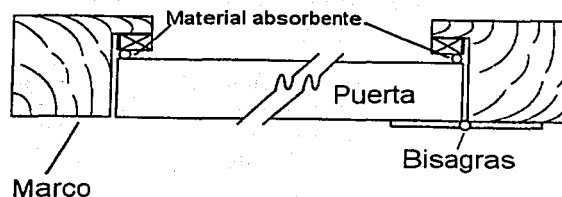
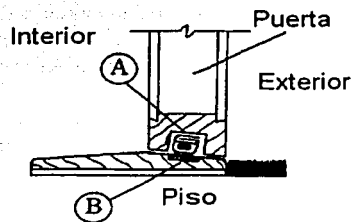


Fig. 3-2



- A-Sello magnético de PVC
 B-Acero templado de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{8}$ " (plano)

Fig. 3-3

3.2.1.3 Sonidos debidos al sistema hidráulico

El ruido que genera el "golpe de ariete" de las tuberías de agua del laboratorio de Foto Club Ingeniería puede ser solucionado por varios métodos.

Con una corriente de tipo turbulenta, pueden aparecer fenómenos de resonancia cuando cualquier vibración generada por el funcionamiento de la instalación coincida con la frecuencia del conducto.

- Estos fenómenos pueden ser suprimidos usando tuberías de características antivibratorias.
- Se reduce en gran parte la generación de ruido anteponiendo al cierre del grifo un corto conducto, cuyo interior en espiral consigue el estrangulamiento dentro de un régimen prácticamente laminar (en vez de turbulento).
- Al cerrar el grifo "bruscamente" se produce el *golpe de ariete* acompañado del consiguiente ruido. Existen en el mercado modelos de grifos para suprimir adecuadamente este problema.
- Otra solución es intercalar entre el grifo y la instalación una porción de tubo elástico, para reprimir la propagación de trepidaciones que el funcionamiento del grifo pueda crear.⁵

3.2.1.4 Ruido debido al sistema de ventilación

La instalación adecuada de un sistema de ventilación debe ser llevada a cabo por expertos en el área. Sin embargo, es posible generalizar los problemas que el sistema puede estar ocasionando.

El sistema de ventilación puede generar dos tipos de ruido:

Por transmisión mecánica

Por flujo de aire

El primer caso se soluciona con una buena ubicación del sistema de compresión. Una situación ideal es que esté montado sobre un firme de concreto totalmente aislado de la estructura del edificio. De este modo, el problema de ruido se simplifica a exclusivamente el segundo caso.

A continuación se muestran las rutas que el ruido del sistema de ventilación puede tomar para llegar al escucha en la sala.

⁵ PÉREZ MIÑANA JOSÉ, "Compendio Práctico de Acústica", Pág. 493

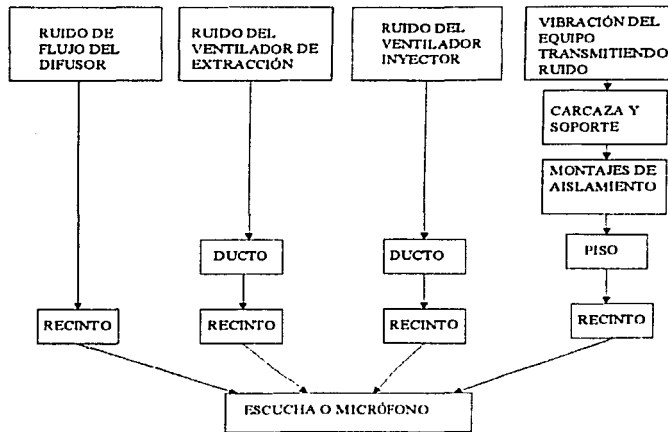


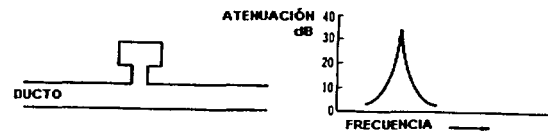
Fig. 3-4

El ruido producido por la turbulencia del aire sobre las aspas de los difusores puede ser disminuido únicamente sustituyendo dichos difusores por unos diseñados para no generar ruido.

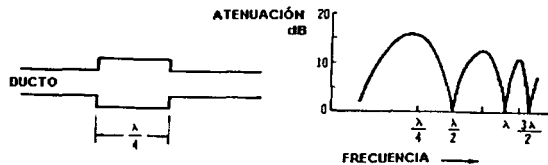
El ruido del ventilador puede entrar por los conductos de inyección o extracción del aire, ya que tiene la facilidad de conducirse a favor o a contra corriente. La solución a esto se consigue por medio de la instalación de forro o silenciadores en los conductos (como los utilizados en el escape de un automóvil). Si los conductos cuentan con varias vertientes, curvas y discontinuidades, el ruido de frecuencias graves es disminuido. El forro ayudará en la atenuación de frecuencias agudas.

La dimensión adecuada de los conductos es también una forma de combatir el ruido del ventilador, ya que la potencia sonora de éste se encuentra en función del volumen y la presión del aire.

Las aspas del ventilador pueden producir ruido tonal a la frecuencia en la que oscila, es decir $(\text{rpm} \times \text{número de aspas}) / 60\text{Hz}$. Por lo general este ruido se mantiene al mínimo si el sistema se diseñó con un ventilador adecuado. Si éste sigue siendo un problema, la solución está en colocar un filtro en algún punto del conducto de aire. Este filtro funcionará como un "resonador Helmholtz" y se diseña en función de la frecuencia problema.



A) El resonador permite la atenuación de un ancho de banda relativamente angosto. Esto es útil cuando existe ruido tonal.



B) El silenciador ofrece una atenuación de varias frecuencias a lo largo del espectro. Esto permite reducir el ruido armónico

Fig. 3-5

3.2.2 Propuesta de mejoramiento de los parámetros acústicos

Uno de los inconvenientes que existe en cualquier recinto es la variabilidad del tiempo de reverberación en función de la cantidad de público dentro de él. No se recomienda de ninguna manera esta situación, ya que afecta también otros parámetros acústicos, como se vio en las predicciones medidas para el modelo virtual del auditorio comparando la sala vacía contra la sala ocupada.

La mejor forma de corregir este tipo de problemas es contar con butacas que ofrezcan un coeficiente de absorción tal, que la diferencia en mediciones entre los casos extremos sea prácticamente mínima.

Existen en el mercado diversos tipos de butacas, que van desde las que carecen de tapiz hasta aquellas con un alto porcentaje de tapizado y acolchonado.

Independientemente del costo del asiento elegido, se debe pensar también en la comodidad y especialmente en el tamaño –para sustituir los asientos actuales-, sin tener que sacrificar la capacidad total de público.

La tela debe ser lo suficientemente porosa para que la absorción sea la adecuada, ya que un material sintético, como el hule, ofrecerá un coeficiente de absorción menor al deseado.

Si el fabricante no cuenta con índices de coeficiente de absorción de sus butacas, será necesario pedir una muestra, para que sea analizada y se determine si cumple o no con lo requerido. Esto se hace por lo general en cámaras reverberantes.

El Dr. Leo Beranek, a partir de mediciones en diversas salas existentes, publicó los coeficientes de absorción para tres tipos de butaca, y a continuación se muestran para el momento en que se elija la más conveniente⁶:

Coefficientes de absorción para asientos vacíos

% de tapizado /Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Alto	0.72	0.79	0.83	0.84	0.83	0.79
Medio	0.56	0.64	0.70	0.72	0.68	0.62
Bajo	0.35	0.45	0.57	0.61	0.59	0.55

Coefficientes de absorción para asientos ocupados

% de tapizado /Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Alto	0.76	0.83	0.88	0.91	0.91	0.89
Medio	0.68	0.75	0.82	0.85	0.86	0.86
Bajo	0.56	0.68	0.79	0.83	0.86	0.86

De aquí se comprueba que en todas las frecuencias existe un aumento de absorción al pasar de un asiento vacío a uno ocupado, principalmente a bajas frecuencias.

La diferencia entre coeficientes de absorción es mucho menor para asientos con un tapizado alto, y con ello, la diferencia en tiempos de reverberación será menor entre sala vacía y ocupada. Es por ello que se recomienda este tipo de butaca.

Veamos a continuación qué ocurre con el tiempo de reverberación para el auditorio “Javier Barros Sierra” cambiando las sillas de madera actuales por butacas con un alto porcentaje de superficie tapizada (según los coeficientes de Beranek)

⁶ Existen otros autores que también pueden ser consultados, sin embargo estas tablas presentan datos comparativos muy útiles.

Coeficientes de absorción modificados para el tipo de asiento sugerido en el Auditorio "Javier Barros Sierra" de la Facultad de Ingeniería en la UNAM (sala vacía)

Material	Area (m ²)	125Hz		250Hz		500Hz		1kHz		2kHz		4kHz		
		α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	
<i>Paredes laterales:</i>														
Tiras de madera de 15cm	230.1	0.12	27.61	0.1	23.01	0.08	18.41	0.07	16.11	0.03	6.90	0.02	4.60	
<i>Escenario:</i>														
Muro de concreto	180.5	0.08	14.44	0.06	10.83	0.06	10.83	0.05	9.03	0.03	5.42	0.02	3.61	
<i>Superficie paredes lat.:</i>														
Muro enyesado	83.40	0.15	12.51	0.1	8.34	0.09	7.51	0.08	6.67	0.04	3.34	0.02	1.67	
<i>Pared posterior:</i>														
Mural	118.2	0.12	14.18	0.1	11.82	0.08	9.46	0.07	8.27	0.03	3.55	0.03	3.55	
<i>Techo:</i>														
Yeso tirolado pintado	479.5	0.12	57.54	0.09	43.16	0.05	23.98	0.03	14.385	0.02	9.59	0.02	9.59	
<i>Piso escenario:</i>														
Pisos de madera	66.64	0.12	8.00	0.1	6.66	0.09	6.00	0.08	5.3312	0.05	3.33	0.02	1.33	
<i>Pasillos:</i>														
Alfombra	162.07	0.12	19.45	0.11	17.83	0.1	16.21	0.08	12.9656	0.1	16.21	0.12	19.45	
<i>Butacas:</i>														
Con alto % de sup tapizada	276.8	0.72	199.30	0.79	218.67	0.83	229.74	0.84	232.512	0.83	229.74	0.79	218.67	
<i>Accesos:</i>														
Cortina	8.8	0.12	1.06	0.11	0.97	0.15	1.32	0.27	2.376	0.37	3.26	0.42	3.70	
<i>Aire</i>														
Absorción del aire	(4 ^v) [m ³]	9700	1E-04	0.97	3E-04	2.91	6E-04	6.11	0.00107	10.379	0.00228	22.12	0.00683	66.25
	Promedio	0.186		0.173		0.170		0.174		0.167		0.162		
RT60		1.19		1.10		1.13		1.18		1.25		1.29		1.17
Volumen		2425.00												

Gráfico comparativo entre la sala en su estado actual y la modificación propuesta con CATT

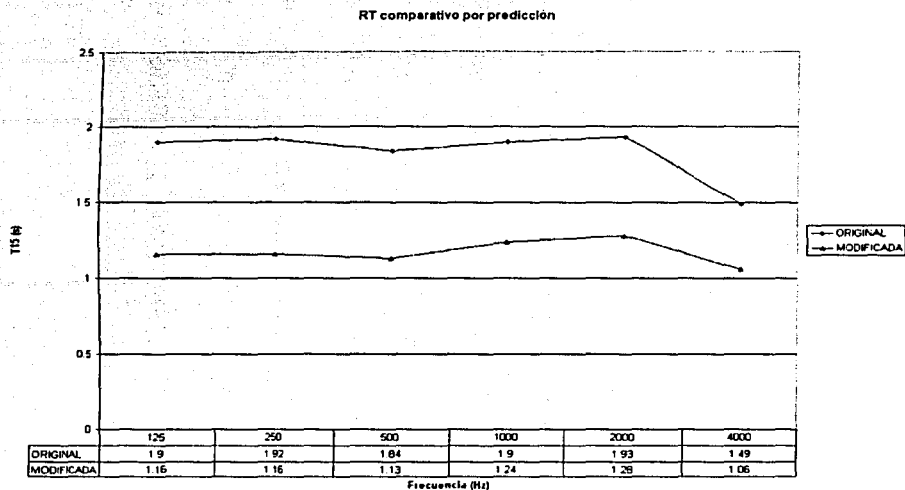
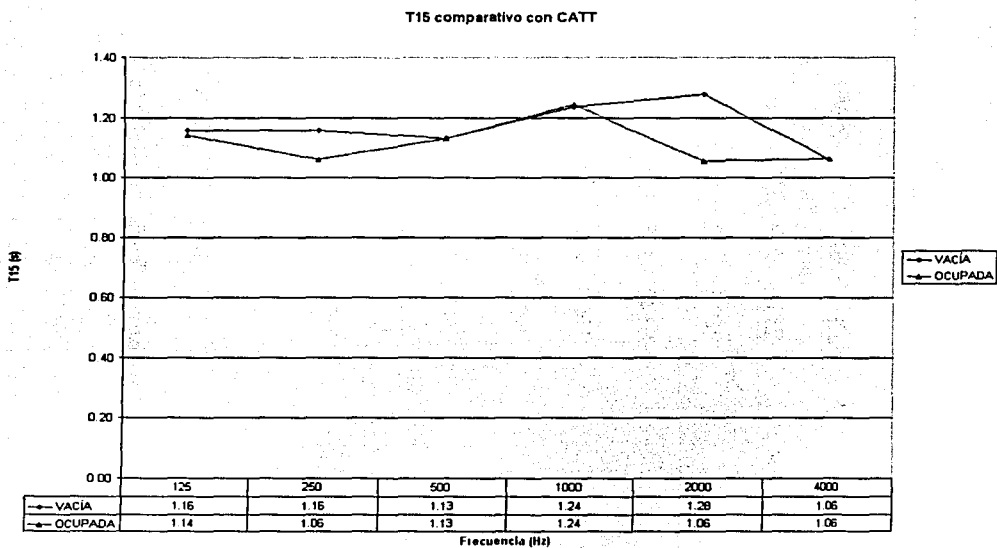


Gráfico comparativo para sala vacía y sala ocupada con la modificación propuesta

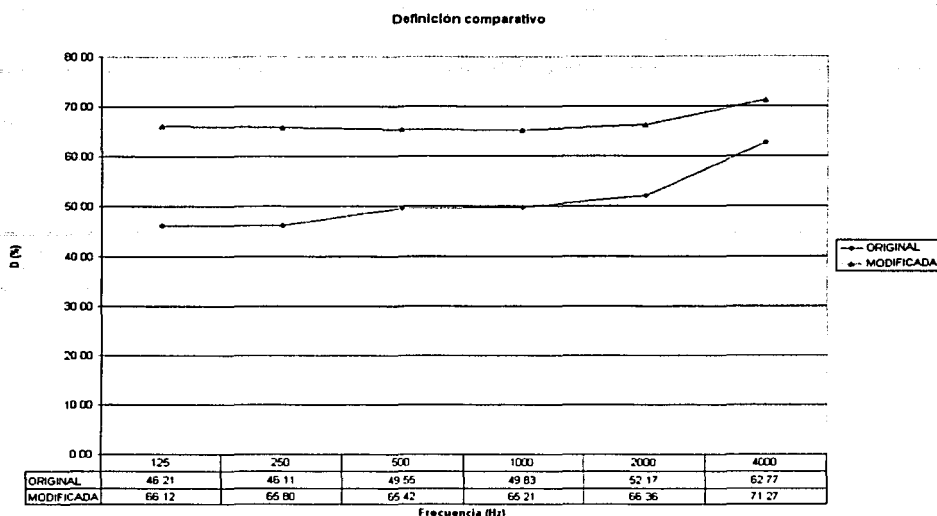


Es claro que este simple hecho ha reducido, en teoría, el tiempo de reverberación de la sala, además de aminorar la diferencia entre sala vacía y sala ocupada.

Recordemos que nos interesa tener estos tiempos de reverberación en este auditorio porque que la mayor parte de los eventos que ocurren están destinados a la palabra, el cine y la música popular.

Definición

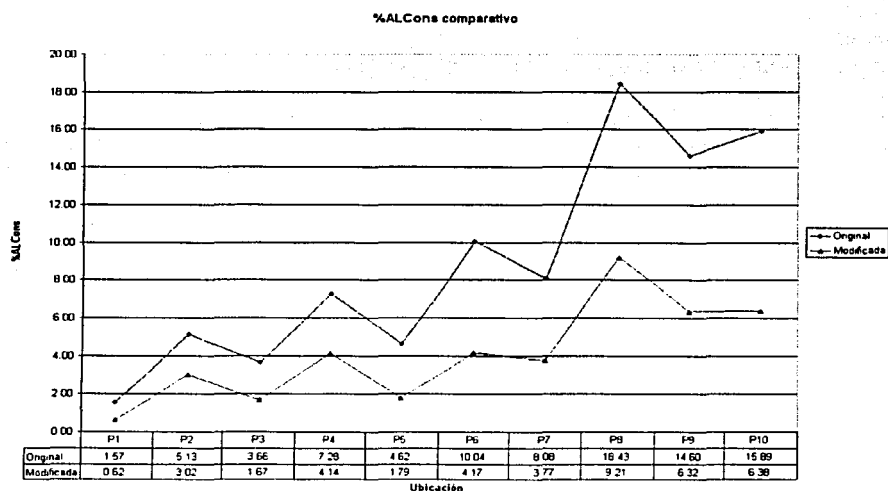
Gráfico comparativo por predicción para la Definición entre sala original y sala modificada



Se hace evidente también, como consecuencia de las modificaciones, una mejora teórica en los valores de la definición obtenido por predicción, lo cual permite una mejor inteligibilidad de la palabra.

Inteligibilidad de la palabra

Las siguientes curvas comparativas se realizaron a través del cálculo matemático del porcentaje de pérdida de consonantes que relaciona tiempo de reverberación, volumen de la sala, distancia a la fuente sonora y su correspondiente directividad.



De esta gráfica podemos notar que la inteligibilidad de la palabra para un emisor desde el centro del escenario, en teoría, ha mejorado considerablemente en comparación con la medición obtenida para la sala original. Esto significa elevar la calidad de inteligibilidad de la palabra del recinto en valoración subjetiva de

apenas “aceptable” a “buena” de acuerdo con la tabla comparativa del Dr. Carrión (vista en el apartado 1.8.1.1.1.1). Además de quedar dentro del parámetro sugerido para espacios destinados a la palabra.

%ALCons	Original	Modificada
Promedio	8.93	4.11

Los resultados de estos tres parámetros acústicos demuestran, en teoría, una aproximación a los valores deseados con el hecho de cambiar el tipo de asientos. Es importante aclarar que también se debe tomar en consideración alfombrar dicha zona. De esta manera se preservará la uniformidad del coeficiente de absorción en la zona de público.

3.3 Sugerencias de carácter conceptual

Se ha visto en los coeficientes de absorción de los materiales, que la absorción de frecuencias bajas es por lo general bastante reducida a comparación de las frecuencias altas.

La absorción mejora de estas frecuencias mejora cuando un material poroso se coloca a una cierta distancia, un poco más separada de la superficie de soporte.

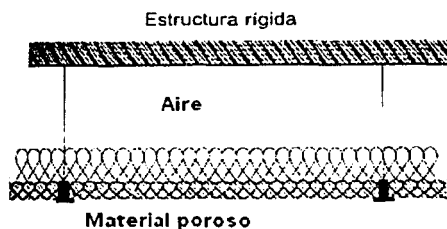


Fig. 3-6

De cualquier forma, si la intención es tener una gran absorción a frecuencias bajas, con objeto de reducir sustancialmente los valores de tiempo de reverberación, es preciso hacer uso de resonadores.⁷

➤ El uso múltiple que se le da al auditorio pondría en buen uso una cortina de algodón para cubrir los muros del escenario —se sugiere que sea de color negro por las razones que a continuación se expresan: Colocadas en rieles separados para cada una de las tres paredes del escenario ofrecerían las siguientes ventajas:

- ❖ Para eventos de cine, cerrar las cortinas de las paredes laterales y a los lados de la pantalla darían un mejor alto contraste a la imagen visual para las escenas brillantes, y ayudarían a reducir un poco más el tiempo de reverberación y aproximarse un poco más al recomendado para salas de cine.
- ❖ El evento teatral se vería realmente beneficiado de este material. Se crea una “caja negra” como la de un escenario convencional, en un estrado de auditorio. De tomar en cuenta las sugerencias a la modificación de iluminación, la luz de acento sobre el escenario se torna mucho más presente con un fondo negro que con uno blanco.
- ❖ Para eventos de carácter musical tipo rock, la cortina ayudará con la absorción que se hace necesaria detrás de los instrumentos del baterista. Debido al reducido fondo que tiene el escenario, el conjunto de la batería es la más de las veces, colocado al centro del escenario y lo más cercano al muro. La gran desventaja de esta ubicación —sin la existencia de la cortina sobre el muro, es que las frecuencias agudas provenientes de los platillos y de la batería son reflejadas hacia el público por la pared de concreto, tornándose en ocasiones molesto para el oído al atender eventos de esta índole a causa del dominio de el sonido de la batería por sobre el resto de los instrumentos.

En específico el material que se recomienda para la cortina es algodón de 500g/m² y colocada a unos 15cm del muro, para cumplir con los coeficientes de absorción revisados por Petersen⁸.

A continuación se muestra el cambio para el tiempo de reverberación calculado matemáticamente con la cortina cubriendo totalmente el muro del escenario:

⁷ Cfr. Glosario.

⁸ Tomado de “Surface Properties” del programa CATT-Acoustic

Coeficientes de absorción modificados para el uso de cortinas sobre los muros del escenario sugerido para el Auditorio "Javier Barros Sierra" de la Facultad de Ingeniería en la UNAM (sala vacía)

Material	Area (m2)	125Hz		250Hz		500Hz		1kHz		2kHz		4kHz		
		α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	α	Sa	
<i>Paredes laterales:</i>														
Tiras de madera de 15cm	230.1	0.12	27.61	0.1	23.01	0.08	18.41	0.07	16.11	0.03	6.90	0.02	4.60	
<i>Escenario:</i>														
Muro de concreto	77.6	0.08	6.21	0.06	4.66	0.06	4.66	0.05	3.88	0.03	2.33	0.02	1.55	
<i>Superficie paredes lat.:</i>														
Muro enyesado	83.40	0.15	12.51	0.1	8.34	0.09	7.51	0.08	6.67	0.04	3.34	0.02	1.67	
<i>Pared posterior:</i>														
Mural	118.2	0.12	14.18	0.1	11.82	0.08	9.46	0.07	8.27	0.03	3.55	0.03	3.55	
<i>Techo:</i>														
Yeso tirolado pintado	479.5	0.12	57.54	0.09	43.16	0.05	23.98	0.03	14.385	0.02	9.59	0.02	9.59	
<i>Piso escenario:</i>														
Pisos de madera	66.64	0.12	8.00	0.1	6.66	0.09	6.00	0.08	5.3312	0.05	3.33	0.02	1.33	
<i>Pasillos:</i>														
Alfombra	162.07	0.12	19.45	0.11	17.83	0.1	16.21	0.08	12.9656	0.1	16.21	0.12	19.45	
<i>Butacas:</i>														
Con alto % de sup tapizada	276.8	0.72	199.30	0.79	218.67	0.83	229.74	0.84	232.512	0.83	229.74	0.79	218.67	
<i>Accesos:</i>														
Cortina	111.7	0.3	33.51	0.45	50.27	0.65	72.61	0.56	62.552	0.59	65.90	0.71	79.31	
<i>Aire</i>														
Absorción del aire	(4*V) [m3]	9700	1E-04	0.97	3E-04	2.91	6E-04	6.11	0.00107	10.379	0.00228	22.12	0.00683	66.25
	Promedio	0.206		0.211		0.226		0.207		0.191		0.194		
RT60	1.02		1.03		1.01		0.99		1.06		1.08		0.96	
Volumen	2425.00													

➤ Elevación de la superficie del escenario.

Quizá llevar a cabo esta modificación sea la más compleja de todas y no es del todo necesaria, sin embargo se presentan sus ventajas sobre la altura actual:

- ❖ Mejora de la línea visual para todo tipo de eventos. Los de carácter teatral se verían beneficiados por este hecho, debido a que los actores no estarían *presentes* únicamente para las primeras filas de asientos, tendrían con esto una *mejor aproximación* al público en la zona central de la sala y al área de la luneta. Esta es una sugerencia de tipo conceptual esencialmente.
- ❖ Acústicamente hablando, coloca a la fuente natural de sonido –sea intérprete o charlista, en una posición más elevada sobre el público, permitiendo así una reducción de obstrucción del sonido natural directo hacia los escuchas del área posterior de la platea y del área de luneta.
- ❖ Reduce el volumen general del recinto por aproximadamente 50m³ reduciendo el tiempo de reverberación un 3%.
- ❖ La posibilidad de incluir líneas de iluminación a partir del *delantal* desde la modificación de la superficie.
- ❖ Permitir la colocación de bocinas discretas sobre el delantal hacia el público (*frontfill*).⁹

Se recomienda que la altura del escenario sea entre 1m y 1.2m sobre el nivel de piso (0.73m sobre el nivel de escenario actual). Para ello también se sugiere la eliminación de la primer fila de asientos, esto con el fin de mantener una buena visual del público con el escenario y viceversa. En caso de incluir sistemas de refuerzo sonoro en esta zona, llevar a cabo este procedimiento establecerá una distancia adecuada entre las cabezas de los escuchas de la nueva primera fila y los altavoces colocados.¹⁰

No se sugiere que el piso quede hueco en ese espacio, a menos que se analice su efecto en la acústica.. Hacer esto suele traer más problemas que soluciones.

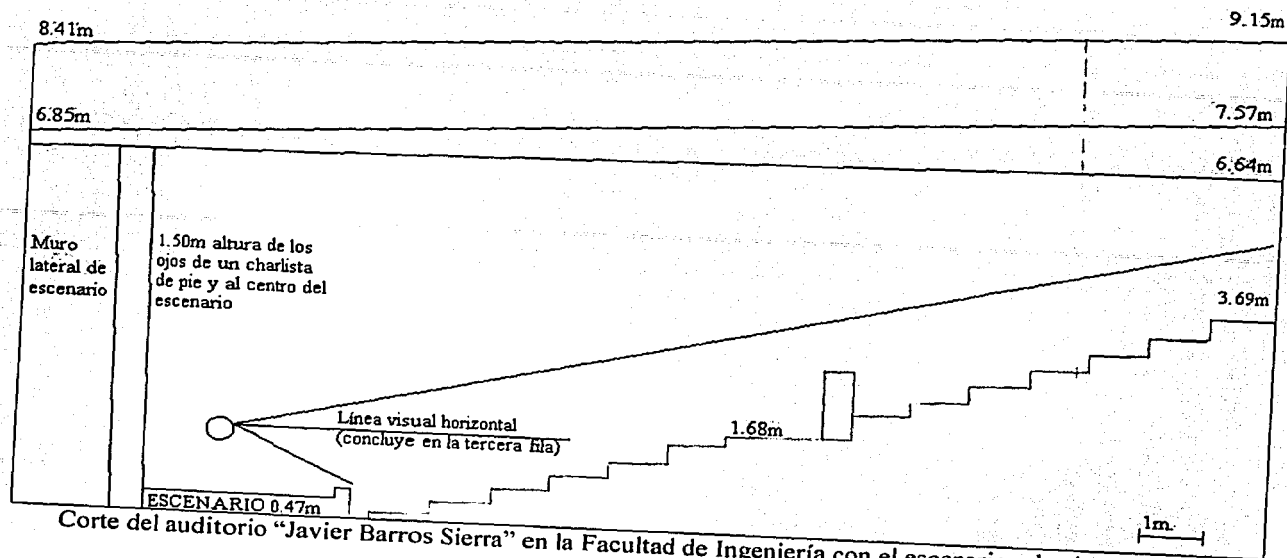
Para el músico resulta ventajoso en escenarios muy amplios ya que mejora el soporte objetivo y la posibilidad de que los instrumentos al piso –en el caso de música clásica- transmitan sus vibraciones y lleguen con mayor riqueza a los escuchas.

Sin embargo, se puede crear el denominado efecto “tambor” si el espacio interno quedase resonante para ciertas frecuencias. El efecto contrario también puede ocurrir, ya que puede actuar como un resonador de Helmholtz, reduciendo frecuencias específicas en vez de amplificarlas.¹¹

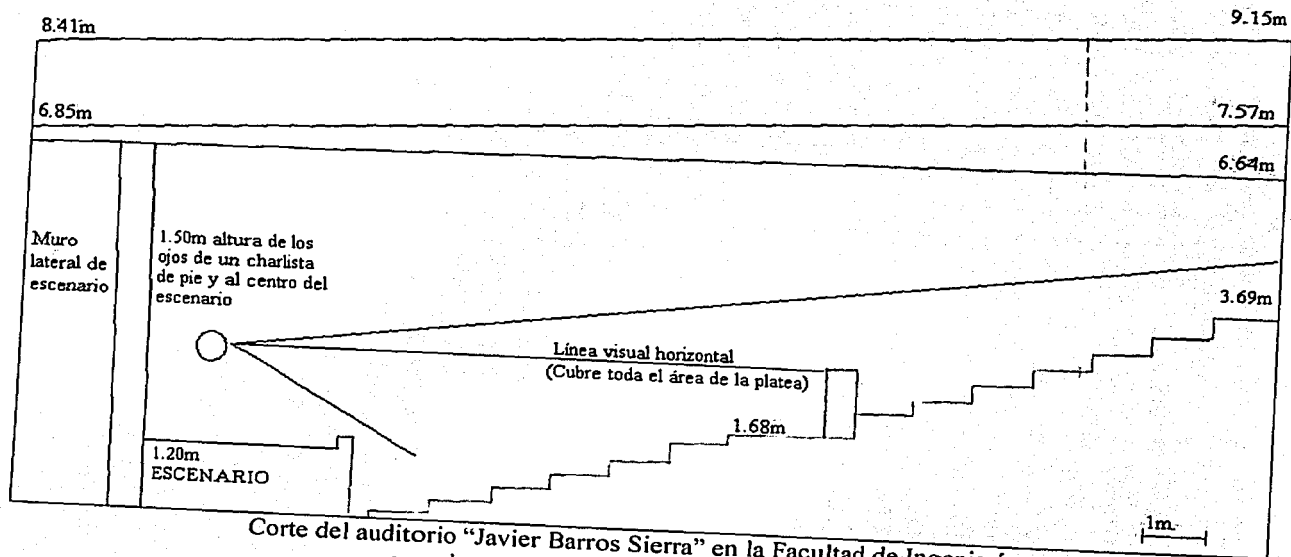
⁹ Este concepto es parte de la propuesta de sistema de sonido que se verá en el Capítulo 4

¹⁰ Se ahondará en este tema en el Capítulo 5

¹¹ Cfr. Glosario



Corte del auditorio "Javier Barros Sierra" en la Facultad de Ingeniería con el escenario a la altura actual.
Fig. 3-7



Corte del auditorio "Javier Barros Sierra" en la Facultad de Ingeniería con el escenario a la nueva altura propuesta.
Fig. 3-8

Capítulo Cuarto
Audio

–Conceptos básicos y propuesta para un sistema de refuerzo sonoro

Un sistema de refuerzo sonoro en general tiene como función, como su nombre lo indica, reforzar el sonido natural emitido por una fuente sonora. Si una sala cumple con el diseño arquitectónico adecuado es muy probable que el uso de un sistema de sonido sea utilizado únicamente como soporte.

La tendencia en la actualidad, a raíz del mejoramiento en implementación de equipo electrónico, como son consolas, equipo periférico y altavoces, nos hace pensar que carecer de ellos haría imposible llevar el sonido requerido a los escuchas.

Se cree por muchos que contar con un equipo de sonido con muchas bocinas que toleren gran "potencia", amplificadores que la produzcan y micrófonos de uso convencional los llevará al éxito en cualquier espacio.

Es posible que se inviertan miles de pesos en equipo de sonido, pero si la acústica del recinto no es adecuada, la inversión puede que no haya resultado tan conveniente.

Lo cierto es que un sistema de sonido no es la panacea y tampoco es necesario utilizarlo todo el tiempo de no ser del todo indispensable.

Esto no significa dejar a los técnicos sin trabajo. Más bien su responsabilidad en un recinto, es darse a la tarea del conocimiento de la acústica del espacio y con ello discernir cuándo y a qué grado se va a utilizar el equipo de refuerzo sonoro.

4.1 Componentes de un sistema de refuerzo sonoro¹

Todo sistema de sonido para un espacio de tamaño mediano a grande, requiere cuando menos de los siguientes elementos:

- Micrófonos
- Equipos reproductores de cintas o discos
- Consola mezcladora
- Amplificadores
- Bocinas

Además de estos elementos, existen sistemas indispensables para el ajuste de la curva de respuesta en frecuencia del sistema² y de este modo lograr que el sonido sea agradable a los escuchas.

- Ecuiladores
- Compresores

4.2 Parámetros a considerar para sistemas de refuerzo sonoro instalados.

4.2.1 Atenuación de la señal conforme a la distancia

Todos hemos sido partícipes de estar frente a una bocina y percibir que, a medida que nos alejamos de ella, la presión sonora disminuirá. Esto se hace evidente, al recordar que las ondas sonoras son consecuencia de la vibración de algún objeto, en este caso, el diafragma de la bocina. A medida que nos distanciamos de la fuente sonora, la energía generada se percibirá cada vez menos.

En el campo libre, sin paredes que puedan crear reflexiones, la presión sonora disminuirá exactamente 6.02dB cada vez que nos alejemos exactamente el doble de distancia de la fuente sonora. A este efecto se le conoce como *La ley del inverso cuadrado*.

Por ejemplo, si nos encontramos a un metro de distancia de una fuente sonora de la cual percibimos 100dB, al alejarnos un metro más (el doble de la distancia) la presión sonora será de 93.98dB, a 4 metros de la fuente 87.96dB y así sucesivamente.

¹ De todos estos sistemas sólo se analizará con detenimiento el tipo de arreglos de bocinas debido a la importancia que tiene su adecuada colocación.

En menor grado se observará la selección de la microfona, además del uso de ecualización para el sistema integral.

² La sala en sí forma parte del sistema.

Esta ley es cierta para sonido directo de la fuente, pero en un recinto cerrado, las superficies modificarán el sonido que se percibe. Recordemos el efecto de la reflexión. Se ahondará un poco más en este aspecto en el apartado 4.3

4.2.2 Ganancia acústica

La ganancia acústica se describe como la diferencia que percibe un escucha entre el sonido de la fuente natural sin amplificación y el sonido que percibe con el sistema de refuerzo sonoro amplificándola. Dicho de otra forma, representa la diferencia de presión sonora (en dB) entre tener el sistema de sonido encendido y tenerlo apagado. Por lo general se considera a dicho escucha lo más alejado de la fuente de emisión natural de sonido.

Mientras mayor sea esta diferencia, mayor será la ganancia acústica.

Una ganancia acústica adecuada debe ser la meta primordial de un sistema de refuerzo sonoro, sin embargo tiene sus limitaciones, como veremos a continuación.

4.2.3 Efecto Larsen y Ganancia acústica potencial (PAG)

El efecto Larsen no es otra cosa sino el conocido *vicio* o *feedback* en el argot técnico de sonido. La ganancia acústica fija su límite debido a este efecto. Incrementar el volumen de sonido provocaría que el sonido de la bocina se realimente a través del micrófono del emisor, ocasionando así que el sistema de sonido se amplifique así mismo. Esto causa el molesto silbido que la mayoría de nosotros hemos presenciado en cualquier evento con micrófonos y bocinas.

Es por ello que se fija una *ganancia acústica potencial* (del inglés *Potencial Acoustic Gain PAG*) y que consiste en la máxima ganancia acústica sin que el sistema realmente su propia señal.

En un recinto cerrado, la PAG será mucho menor a aquella calculada para un espacio abierto a causa de las paredes reflectantes. En otras palabras, el riesgo de *feedback* es mayor.

4.2.4 Número de micrófonos abiertos (NOM)

El número de micrófonos "abiertos", es decir, con el volumen encendido a través del sistema, incrementa la posibilidad de efecto Larsen y reduce la ganancia acústica potencial. A mayor número de micrófonos "abiertos" el riesgo de generar *feedback* es mayor.

4.2.5 Margen de estabilidad de realimentación (FSM)

La definición de la PAG arriba expuesta es teóricamente correcta, sin embargo, si el sistema es operado muy cerca de su PAG es muy probable que presente un *tintineo* (en inglés *ringing*) en alguna frecuencia que haga el sonido desagradable.³ Este *ringing* ocurre debido a la resonancia natural del recinto y puede ser evitada si se determina un margen de estabilidad de realimentación del sistema (del inglés *Feedback Stability Margin FSM*) Un sistema operado 6dB o más, debajo de su PAG asegura un margen de estabilidad antes de *ringing* y abajo del riesgo de realimentación.

4.2.6 Relación señal a ruido (SNR)

Del inglés *signal to noise ratio* consiste justamente en el valor que se obtiene de la diferencia que existe entre el nivel de operación nominal del sistema y el ruido de fondo que existe en el recinto. Si el valor de estos niveles se conoce en decibeles entonces se restan.⁴

El ruido no deseado —debido al exterior, al público, a los sistemas eléctricos, hidráulicos, etc.— puede interferir en la habilidad del escucha para apreciar el sonido proveniente de la fuente sonora. Por ello, idealmente, debe haber por lo menos 25dB de emisión de las bocinas superior al nivel de ruido, debe haber por lo menos 25dB de señal sonora. En situaciones de ruido extremo, este valor no puede llegar a ser alcanzado debido a que la señal generada sería técnicamente muy alta para ser tolerada durante un gran tiempo sin causar daños al sentido del oído.

³ Durante el *ringing* existen frecuencias que potencialmente serán la causa de *feedback*.

⁴ Si se trata de otro tipo de unidad, entonces se dividen y se les aplica el logaritmo en base 10 y se multiplican por diez (para que correspondan a unidades en decibeles) cfr. Glosario

Para un evento de música al aire libre este valor es ideal, sin embargo, en el caso de una conferencia, esta diferencia de niveles no es necesaria. Salvo en el caso en que las frecuencias de ruido se encuentren en el mismo rango que la voz, se hará necesario un incremento en el nivel de presión sonora. Por lo general 10dB de relación señal a ruido son más que suficientes para contar con una buena inteligibilidad de la palabra. Con un valor inferior a éste, es difícil predecir si se va a tener una buena inteligibilidad de la palabra o no.

4.2.7 Headroom (rango de seguridad)

Si se tiene un nivel de ruido de fondo de aproximadamente 50dB y se requieren 25dB de relación señal a ruido, entonces el sonido deseado a los oídos del escucha será de 75dB. Sin embargo, este es el valor promedio y se deben tomar en consideración el rango dinámico potencial. A ese espacio "extra" se le conoce como *headroom* del sistema. Se sugiere que este rango dinámico sea de 10dB para la voz y de 20dB para el caso de la música.⁵

4.2.8 Distancia acústica equivalente (EAD)

Todos sabemos que la plática con alguien a una distancia relativamente corta (aproximadamente un metro) y a un volumen normal de voz, no requerirá de sistema alguno para la amplificación del sonido. Una de las metas del sistema de sonido es crear la ilusión, para quien está sentado lejos en el público, que la persona que esté hablando a la distancia se perciba en el campo cercano.⁶

La Syn-Aud-Con, ha elaborado la siguiente tabla que auxilia en la comprensión de los niveles que se deben utilizar para obtener la *distancia acústica equivalente* deseada para crear el efecto arriba mencionado.

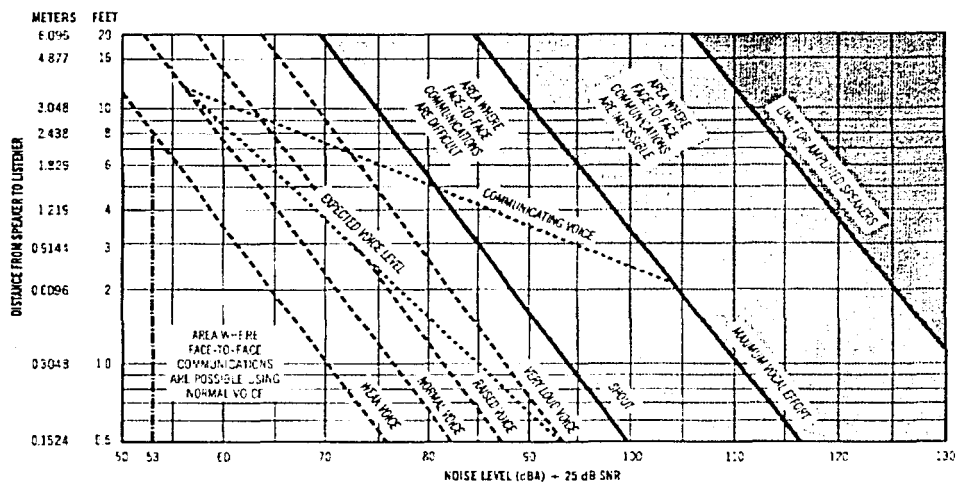


Fig. 4-1

4.2.9 Ganancia acústica requerida (NAG)

Para lograr el nivel de presión sonora deseado para una cierta distancia acústica equivalente será necesario obtener la *ganancia acústica requerida* y será considerada en decibeles. El valor se obtiene a partir de la relación de la distancia a la que se encuentra el escucha más alejado y la distancia acústica equivalente, menos el efecto producido por el campo reverberante (que se considera prácticamente el mismo para todo el recinto una vez pasada la distancia crítica D_c)

⁵ "Handbook for Sound Engineers" Pág. 1183

⁶ Esto no justifica que se utilicen niveles excesivos para la reproducción de la voz ya que hará que el público se sienta incómodo con un nivel mayor al usualmente escuchado.

4.2.10 Potencia eléctrica requerida (EPR)

Para todas las necesidades de ganancia reproducidas por el sistema de sonido debe haber un amplificador que pueda lograr generar la suficiente potencia eléctrica (sin distorsión armónica).

Se hace necesario en este caso, conocer la sensibilidad de la bocina (no siempre dada por el fabricante). El valor EPR (del inglés *–Electrical Power Required*) se obtiene en watts de la siguiente manera:

$$EPR = 10^{\left(\frac{L_p + H - L_{sens} + 20 \log(D) - 10 \log\left(\frac{Dc^2 + D^2}{Dc^2 + 1}\right)}{10} \right)}$$

Donde,

- L_p es la presión sonora requerida para el escucha más alejado
- H es el nivel de *headroom* deseado
- L_{sens} es la sensibilidad de la bocina
- D es la distancia entre la fuente y el escucha más alejado
- Dc es la distancia crítica

La sensibilidad es el nivel de presión sonora (en dB) que una bocina produce a una cierta distancia, en eje, cuando la potencia de entrada es un cierto número de watts. (por lo general se mide a 1 metro de distancia y un watt de entrada)

Todo sistema de sonido debe cumplir con los objetivos mencionados en el apartado 1.11 del primer capítulo. Otra forma de ver dichos objetivos es respondiendo las siguientes cuatro preguntas que facilitarán la comprensión entre el parámetro a analizar y el efecto que ocasiona:

- ¿Se tiene un buen “volumen” en la sala?
La respuesta está en la potencia eléctrica requerida (EPR)
Si se ha alcanzado el parámetro, entonces la respuesta será positiva.
- ¿Toda la gente escucha?
Para ello se debe pensar en la uniformidad que está proporcionando el sistema. ¿Dónde se han colocado las bocinas? ¿Qué tan bien han sido dirigidas hacia el público? ¿Qué tanto interactúan los patrones de señal de las bocinas colocadas? (evitando filtros de peine que produzcan cancelaciones, por ejemplo)
Este tema se tratará en el apartado 4.4
- ¿Todo el público puede entender lo que se dice?
Para ello se debe considerar un mínimo adecuado de relación señal a ruido.
La inteligibilidad de la palabra del recinto estará en función de la relación que exista entre el nivel de campo directo y el de campo reverberante.⁷
Si se ha resuelto el problema con material adecuado en las superficies de la sala para reducir el campo reverberante previo a la instalación de un sistema de sonido y éste mejora las condiciones de eco y reverberación haciendo mayor la diferencia entre sonido directo y sonido reverberante, entonces es altamente probable que el público entienda lo que se dice.
- ¿El sistema *viciará* (creará efecto *Larsen*, *feedback*, *realimentación*)?
Si se han establecido adecuadamente los valores de ganancia acústica potencial y ganancia acústica requerida la respuesta debe ser *no*.

⁷ Incrementar el nivel de presión en las bocinas NO hace más grande está relación porque al hacer esto, se incrementa el nivel de presión sonora del campo reverberante como se describe en el siguiente apartado.

4.3 Reverberación y sistemas de refuerzo sonoro

Se recordará del primer capítulo (apartado 1.6) que el eco y la reverberación son reflexiones del sonido. El eco es una reflexión que se percibe cuando el tiempo entre el sonido original y el reflejado es el suficiente para que sean percibidos ambos sonidos como distintos. Una sucesión de ecos equiespaciados a menor distancia en el tiempo y que no se perciben como sonidos diferentes forman la reverberación.

Si existen tiempos de retraso muy pequeños entre la llegada del sonido directo y la reverberación, (alrededor de 4ms) la señal recibida se puede deteriorar debido a filtrados de peine (*comb filtering*).

Siempre se deseará algo de reverberación, en especial para un evento musical, ya que hace el sonido más agradable. Sin embargo, un tiempo de reverberación demasiado largo puede ocasionar resonancias en el recinto perdiendo definición musical y tenderá a degradar la inteligibilidad de la palabra.

En muchos casos, si los problemas de eco y reverberación excesivos no son tratados con material acústico, el uso de sistemas de refuerzo sonoro agravará el problema en vez de mejorarlo.

Se asume que la presión sonora del campo reverberante no cambia en un recinto una vez que se supera la distancia crítica. Esto explica porqué la presión sonora total en un punto dado del recinto será la suma del sonido directo y el campo reverberante menos la atenuación debida a la distancia a la fuente.^{8 9}

4.4 Lineamientos de equipo para sistemas de refuerzo sonoro

La elección del equipo que se va a ocupar en cualquier tipo de evento debe ser llevada a cabo con una planeación adecuada. Acotar las necesidades del sistema antes de invertir una cierta suma de dinero en él, resulta un muy buen comienzo.

- ¿Qué tipo de eventos se van a cubrir?
 - De instalación fija o rodante
 - Al aire libre o en un recinto cerrado
 - Gran cantidad de público o grupo selecto
 - Música o voz (o ambos)
 - Selecto grupo de charlistas o una gran cantidad de intérpretes
 - Reproducción o grabación
 - Concentración del sonido en un solo espacio o distribución general

Para el caso del auditorio Javier Barros Sierra, se acotará de la siguiente manera:

- Instalación fija
- Recinto cerrado
- Público selecto (alrededor de 400 personas)
- Eventos de música y voz
- Gran cantidad de intérpretes (incluye al selecto grupo de charlistas)
- Reproducción y grabación
- Distribución general (incluye monitores a escenario, alimentación a cámaras de video y distribución del sonido a otros espacios de la Facultad)

4.4.1 Altavoces

Mucha gente hace su elección de altavoces en función de *cuántos Watts rms maneja*¹⁰, la facilidad de uso, la compatibilidad con equipo existente, apariencia, precio, una dedicación a ciegas por una marca en particular, presión por la compra, confiar en las especificaciones del fabricante, etc.

Las características de los altavoces son probablemente las más exageradas en comparación con cualquier otra parte del sistema de sonido. Si creyéramos fielmente en las especificaciones entregadas por el fabricante,

⁸ "Handbook for Sound Engineers" Pág. 1190

⁹ Véase la fórmula en el Anexo I

¹⁰ El término Watts rms, ha sido creado con fines de mercadeo, sin conferir valor eléctrico alguno. Cfr. Glosario

entonces todas las bocinas cuentan con una excelente respuesta en frecuencia, sensibilidad, y directividad. Sin embargo cada altavoz suena distinto.

Toda bocina puede ser medida en desempeño y en respuesta en frecuencia, y ésta última puede ilustrar un cierto tipo de curva de una forma u otra. Sin embargo, la falta de estandarización en este procedimiento, puede hacer que aquellas que algunos fabricantes añaden en sus manuales, sean simplemente el objeto de mercadeo. Lo cierto es que éste no es el único parámetro a tomar en consideración para observar el desempeño de un equipo. Se deben tomar en cuenta también la distorsión, la respuesta en directividad, la suavidad de respuesta en frecuencia, la respuesta de fase, y la linealidad de la bocina en función de la señal de entrada; en otras palabras, todos aquellos parámetros que hacen que un sonido se considere *bueno*.

Formarse en el arte y la disciplina de aprender a escuchar, para con ello tener la capacidad de elegir en función de la percepción del oído ante una señal de tipo musical y de voz introducida en la bocina.¹¹

Una vez que se tiene esta conciencia para la elección de altavoces; se debe tomar en cuenta si para el tipo de evento a realizar:

- Van a proporcionar el ancho de banda requerido (idealmente se escucha todo el rango de frecuencias para voz y música)
- Cuentan con la directividad ideal. (el sonido es claro y directo para una buena inteligibilidad)
- Cuentan con la capacidad potencial. (no generan distorsión al nivel de presión sonora deseado y cuentan con un rango dinámico amplio)
- Son la elección adecuada al espacio donde van a ser utilizados –Sala, escenario, distribución en pasillos, monitoreo de señal, etc.
- La ubicación cubre de manera uniforme el espacio ocupado por los escuchas.

4.4.1.1 Ancho de banda

El ancho de banda requerido fue mencionado al final del primer capítulo y debe ser como mínimo de 150Hz a 16kHz. La gran mayoría de las bocinas integradas en una sola caja acústica, suelen cubrir este mínimo, y por lo general aparece en las especificaciones del equipo. Si se cuenta con un analizador de tiempo real, una forma de comprobar si se tiene el ancho de banda especificado por los datos del fabricante, es introducir una señal de barrido de frecuencia y observar su respuesta en pantalla (esto también nos permitirá detectar si existe o no, distorsión armónica en función de la potencia inyectada.)

La respuesta en frecuencia de una bocina debe ser suave a lo largo de su rango operativo. Si el sistema se utiliza principalmente para voz, bastará con bocinas de frecuencias de límite inferior entre 70 y 80Hz. Para música, el sistema debe abarcar más abajo, es decir, 40Hz. Es limitado el número de instrumentos que generan frecuencias inferiores a ésta, tal es el caso del órgano clásico, el sintetizador y el bombo. Cuando se hace necesario amplificar este rango bajo, se recomienda el uso de un sistema separado de *subwoofer* para que dichas frecuencias no añadan desgaste en el sistema normal. La respuesta en frecuencia de la bocina está en función del tipo de material con que fue fabricada, la capacidad de excursión del cono y el tamaño de éste.

4.4.1.2 Directividad (Q)

Es poco común que un fabricante reporte en los datos del equipo la directividad de sus altavoces. La directividad Q, es una medida de las propiedades direccionales de la bocina.

A grandes rasgos, una fuente omnidireccional tiene una $Q=1$. Una que produzca una radiación hemisférica tendrá $Q=2$ –la cual se considera también para la voz humana. Un altavoz que irradie un cuarto de hemisferio tendrá una $Q=4$ y así sucesivamente.

Una bocina con una directividad alta, tendrá un patrón angosto de cobertura y con ello tendrá mayor concentración de energía sobre un área en específico. Un altavoz con estas características genera niveles mayores de sonido directo, haciendo que la relación de sonido directo contra reverberante sea más positiva.

¹¹ Un buen distribuidor de equipo estará dispuesto a hacer una presentación de éste con el material que el cliente elija para su reproducción y poder formar una decisión.

El lograr una buena inteligibilidad de la palabra, incluyendo el canto, en un espacio con una buena reverberación, requiere de bocinas con una directividad alta.

Las necesidades de la música instrumental amplificada son mejor satisfechas con altavoces de baja directividad. De manera general, un altavoz con una Q baja suena "más musical" que una de directividad alta. (Ello se hace evidente por a la forma en la que los instrumentos musicales irradian su energía sonora y ello genera una sensación de campo espacial)

4.4.1.3 Capacidad potencial

La capacidad potencial de una bocina está en función de la sensibilidad de la bocina y de la potencia que puede soportar.

El sistema de altavoces se debe elegir para que pueda manejar la potencia de salida esperada del amplificador (obtenida adecuadamente en función del EPR obtenido) para un periodo de tiempo largo sobre todo el rango de frecuencia del altavoz.

La sensibilidad es un indicador de la eficiencia de la bocina. Una alta sensibilidad es una gran ventaja puesto que incrementa el máximo nivel de presión sonora. Una reducción de 3dB en sensibilidad implica para el amplificador el doble de potencia requerida para mantener el mismo nivel de presión sonora.

Es por ello que desde hace algunos años, las empresas fabricantes de altavoces se han dado a la tarea de construir bocinas autoamplificadas. Este concepto eleva considerablemente la eficiencia del sistema, ya que la demanda de potencia está en función exclusiva del requerimiento instantáneo.

4.4.1.4 Elección adecuada según el espacio

La elección de la bocina en función del espacio donde se va a utilizar es importantísima. Ya considerados los parámetros anteriores, se debe pensar en la funcionalidad del sistema.

Un sistema para un evento de música popular en el Auditorio Nacional puede llegar a estar conformado por sistemas concentrados de alta potencia y de 38 bocinas por lado del escenario.

Sin embargo no se hace necesario el uso de la misma cantidad de altavoces para un recinto destinado a la palabra con capacidad de 5000 personas. Contar con 16 clusters distribuidos probablemente sea suficiente para cubrir el espacio ocupado y con una potencia media.

Y más aún, para un espacio destinado a aproximadamente 400 personas como el auditorio Javier Barros Sierra, donde la geometría del espacio impera, es básico saber cómo se va a llenar acústicamente el recinto de la manera más adecuada.

El sistema está en función del número de gente a la que es dirigido el sonido directo, de la geometría del espacio y del tipo de evento a realizar.

Por ejemplo en el escenario, para un evento de música rock, contar con un monitor de referencia por intérprete, ubicado a una distancia de a un par de metros de sus oídos, no implica que se vaya a utilizar una bocina de dimensiones exageradas. El apoyo del monitor es, en teoría, un refuerzo al soporte objetivo que el escenario mismo no pudo crear de manera natural.¹²

4.4.1.5 Ubicación de bocinas y el factor N

Se cree por muchos que, si la cobertura de una sola bocina es buena, entonces la colocación de 2, 4 o 6 para cubrir la zona será mejor.

N es la relación de la potencia acústica producida por las bocinas entre la potencia acústica producida por la(s) bocina(s) que proporcionan sonido directo al escucha. En otras palabras es la relación entre sonido directo y reverberante. La falta de consideración de N como una herramienta básica, puede traer consecuencias, si no se toma en cuenta para el diseño de sistemas amplificados.

¹² Desde hace varios años se diseñan monitores auriculares para que el intérprete tenga la referencia musical de los otros instrumentos y poder mantener la uniformidad con el resto del grupo. Esto reduce el número de altavoces generando sonido y con ello, la posibilidad de *feedback* se reduce ya que resulta poco probable que estos sistemas sean la causa de éste.

El lograr una buena inteligibilidad de la palabra, incluyendo el canto, en un espacio con una buena reverberación, requiere de bocinas con una directividad alta.

Las necesidades de la música instrumental amplificadas son mejor satisfechas con altavoces de baja directividad. De manera general, un altavoz con una Q baja suena "más musical" que una de directividad alta. (Ello se hace evidente por a la forma en la que los instrumentos musicales irradian su energía sonora y ello genera una sensación de campo espacial)

4.4.1.3 Capacidad potencial

La capacidad potencial de una bocina está en función de la sensibilidad de la bocina y de la potencia que puede soportar.

El sistema de altavoces se debe elegir para que pueda manejar la potencia de salida esperada del amplificador (obtenida adecuadamente en función del EPR obtenido) para un periodo de tiempo largo sobre todo el rango de frecuencia del altavoz.

La sensibilidad es un indicador de la eficiencia de la bocina. Una alta sensibilidad es una gran ventaja puesto que incrementa el máximo nivel de presión sonora. Una reducción de 3dB en sensibilidad implica para el amplificador el doble de potencia requerida para mantener el mismo nivel de presión sonora.

Es por ello que desde hace algunos años, las empresas fabricantes de altavoces se han dado a la tarea de construir bocinas autoamplificadas. Este concepto eleva considerablemente la eficiencia del sistema, ya que la demanda de potencia está en función exclusiva del requerimiento instantáneo.

4.4.1.4 Elección adecuada según el espacio

La elección de la bocina en función del espacio donde se va a utilizar es importantísima. Ya considerados los parámetros anteriores, se debe pensar en la funcionalidad del sistema.

Un sistema para un evento de música popular en el Auditorio Nacional puede llegar a estar conformado por sistemas concentrados de alta potencia y de 38 bocinas por lado del escenario.

Sin embargo no se hace necesario el uso de la misma cantidad de altavoces para un recinto destinado a la palabra con capacidad de 5000 personas. Contar con 16 clusters distribuidos probablemente sea suficiente para cubrir el espacio ocupado y con una potencia media.

Y más aún, para un espacio destinado a aproximadamente 400 personas como el auditorio Javier Barros Sierra, donde la geometría del espacio impera, es básico saber cómo se va a llenar acústicamente el recinto de la manera más adecuada.

El sistema está en función del número de gente a la que es dirigido el sonido directo, de la geometría del espacio y del tipo de evento a realizar.

Por ejemplo en el escenario, para un evento de música rock, contar con un monitor de referencia por intérprete, ubicado a una distancia de un par de metros de sus oídos, no implica que se vaya a utilizar una bocina de dimensiones exageradas. El apoyo del monitor es, en teoría, un refuerzo al soporte objetivo que el escenario mismo no pudo crear de manera natural.¹²

4.4.1.5 Ubicación de bocinas y el factor N

Se cree por muchos que, si la cobertura de una sola bocina es buena, entonces la colocación de 2, 4 o 6 para cubrir la zona será mejor.

N es la relación de la potencia acústica producida por las bocinas entre la potencia acústica producida por la(s) bocina(s) que proporcionan sonido directo al escucha. En otras palabras es la relación entre sonido directo y reverberante. La falta de consideración de N como una herramienta básica, puede traer consecuencias, si no se toma en cuenta para el diseño de sistemas amplificados.

¹² Desde hace varios años se diseñan monitores auriculares para que el intérprete tenga la referencia musical de los otros instrumentos y poder mantener la uniformidad con el resto del grupo. Esto reduce el número de altavoces generando sonido y con ello, la posibilidad de *feedback* se reduce ya que resulta poco probable que estos sistemas sean la causa de éste.

N está en función de $10 \log$, es decir, si se tiene únicamente un altavoz que proporciona sonido directo al escucha y otros 4 que sólo ofrecen sonido reverberante, entonces se observa que el deterioro esperado de la señal para ese punto específico de la sala será prácticamente de 7dB, como se observa a continuación.

$$10 \log 5 = 6.989\text{dB}$$

Es decir que, si se tiene para una sola bocina 14dB de relación sonido directo contra sonido reverberante, al encender todo el sistema, se tendrán 7dB. Un valor menor en esta relación provoca falta de llegada de sonido directo y con ello deficiencias en la inteligibilidad de la palabra e incluso en la calidad musical.

Este fenómeno se debe pensar no únicamente para el sistema de la sala, sino para todas las bocinas en el recinto que estén emitiendo una señal, incluyendo los monitores en el escenario.

4.4.2 Amplificadores

A partir de la EPR obtenida es que se elegirá la potencia del amplificador.

Para la elección de un amplificador de manera muy general:

- Se hace necesario revisar las especificaciones determinadas por el fabricante.
- Verificar la distorsión armónica total que pueda llegar a generar, (máximo 5%)
- Que el tipo de conectores de entrada y salida sean compatibles con el resto del sistema que estamos utilizando
- Verificar que las entradas sean de tipo balanceado es decir, que la señal sea conducida por dos cables y exista un cable de tierra en el conector. Ello reduce la posibilidad de ruido por interferencia en la señal ya que éste se conducirá a través del cable de tierra hacia la tierra física del sistema eléctrico.

¿Amplificador independiente o bocina autoamplificada?

Ambos presentan ventajas y desventajas, y éstas se muestran a continuación:

BOCINA AUTOAMPLIFICADA	AMPLIFICADOR INDEPENDIENTE
El amplificador está integrado a la caja acústica de la bocina (El ruido generado por el sistema de ventilación es mínimo en un buen diseño)	El amplificador estará ubicado aparte de la bocina (se recomienda que esté lo más cerca posible, pero si esto es en el escenario suelen generar ruido debido al sistema de ventilación)
El cableado de consola a bocina es únicamente de cable de señal. Su calibre es como el de un cable para micrófono convencional. (19 AWG)	Se debe mandar un cable de señal a los amplificadores y uno de <i>línea</i> a la bocina. (Para un amplificador con 250W/8Ω indicado por canal es conveniente utilizar calibre 12 (AWG) o superior para distancias mayores a 30 mts.)
Un amplificador bien diseñado interiormente hará que la bocina pese aproximadamente 7% más que la misma bocina diseñada sin amplificador en la caja acústica. (Por ejemplo, 30kg sin amplificador y 35kg integrado)	Un amplificador calculado para una potencia de 1200W por canal por su construcción robusta de transformadores puede llegar a pesar unos 15kg.
La potencia eléctrica de consumo base es mínima (sólo en función del mínimo de corriente circulante) y en función exclusiva de la potencia acústica demandada, será el aumento de potencia consumida.	La potencia eléctrica de consumo base es constante en el amplificador y aumentará en función de la potencia acústica demandada por la bocina.
Es necesario correr cableado eléctrico para alimentar el amplificador en la bocina. Esto se debe considerar en la fase de diseño para que el cableado sea discreto.	La distribución eléctrica se hace sólo a la zona donde se ubiquen los amplificadores. Un solo cable (el de señal) es enviado a cada bocina.
La eficiencia del altavoz es mucho mejor debido a que el amplificador interno está diseñado específicamente para cumplir con una buena sensibilidad de esa bocina en específico.	La sensibilidad del altavoz depende de la eficiencia del amplificador.

4.5 Sistemas de altavoces

Existen dos tipos de sistemas básicos en la ubicación de bocinas: los de tipo concentrado y los de tipo distribuido. A partir de ellos existen variantes.

Para todo sistema de altavoces se tendrá una serie de fenómenos que se deben tomar en consideración previa a su ubicación y colocación:

El comportamiento del sistema como un conjunto se puede simplificar en tres categorías:

- Acoplamiento (*coupling*) Ocurre cuando no existe un desajuste de tiempo ni de nivel de presión sonora entre los altavoces (o un desajuste prácticamente nulo). En este caso, las señales llegan en fase y pueden sumar hasta un máximo de 6 dB en el nivel de presión sonora. (Se recordará el efecto de la interferencia positiva mencionada en el primer capítulo en el tema de superposición). En este caso existe una suma máxima y una cancelación mínima.
Combinación (*combining*) Es el efecto que produce un desajuste de tiempo bajo y el de nivel es alto. Existe una suma moderada de señal y una cancelación de grado menor.
- Cancelación (efecto de filtro de "peine" *combing*) Existe un alto grado de cancelación, independientemente de la existencia de suma. Ocurre cuando las bocinas están acomodadas con patrones de cobertura redundantes (Efecto de N) tales como arreglos de altavoces paralelos. Aunque esto pueda generar una suma substancial de nivel de presión sonora, el desajuste de tiempo es muy alto. Es bastante dependiente de la posición y causa grandes variaciones en la respuesta en frecuencia y una inteligibilidad deficiente. Este fenómeno debe evitarse en la medida de lo posible. (Este es el efecto de la interferencia negativa)
- Aislamiento (*Isolation*) Ocurre cuando se tiene un par de bocinas (o arreglos) y existe poco o ningún efecto de interacción entre ambas. Este fenómeno resulta el más positivo de todos. Se logra con grandes desajustes de tiempo y de nivel entre los sistemas, esto minimiza cualquier posible cancelación.

4.5.1 Conjuntos de bocinas

Para que las bocinas formen conjuntos, se colocan de manera adyacente, ya sea de modo horizontal o de manera vertical.¹³

- Arreglos estrechos de punto de origen (*Point-source narrow*). Las bocinas son acomodadas en arco y los patrones de radiación de cada una son más amplios que el ángulo del arreglo. Esto hace que exista un estrechamiento del patrón y con ello, un mayor nivel de presión sonora en el área central. Existe un buen acoplamiento de graves y medios, sin embargo habrá un área considerable de filtrado de peine alrededor del centro. Aunque es altamente probable que el oído del público no lo perciba debido a que dicho efecto es consecutivo en la parte alta del espectro de frecuencias, no se recomienda tomar este punto como de referencia para llevar a cabo una equalización, por la inestabilidad en las frecuencias agudas.
Resulta un arreglo muy útil para emitir sonido a la distancia con buen nivel de presión sonora.



Fig. 4-2

- Arreglos amplios de punto de origen (*Point-source wide*) Las partes frontales de la caja acústica son separadas mientras se mantiene unida la parte posterior. Comparado con el método anterior, la energía se distribuye sobre un área mayor y existe una reducción de empalme en el centro. El ángulo de cobertura es mayor al de una sola caja acústica. La respuesta en frecuencia es muy suave salvo en una parte mínima en el centro.

¹³ "Meyer Sound Design Reference Manual" Pag. 89-105



Fig. 4-3

- Arreglos en paralelo (Parallel) . Aunque existe un empalme máximo, no se recomienda debido a su respuesta en frecuencia altamente inconsistente. A medida que haya desajuste de tiempo, el de nivel se mantiene constante. Esto provoca cancelaciones muy variables, y respuesta desigual sobre el área del público a pesar de la alta potencia que puedan llegar a generar. Su equalización es posible para un solo punto y no para toda el área que se pretende cubrir. Esta forma sólo se recomienda para *Subwoofers* (bocinas de reproducción de frecuencias graves).



Fig. 4-4

- Arreglos de fuego cruzado (*Crossfire*) Funcionan de forma similar a los de punto de origen estrecho, sin embargo no se recomienda su uso ya que se producen demasiadas cancelaciones debido a su orientación y no tienen ninguna ventaja sobre los arreglos arriba mencionados. Tienen mala distribución de respuesta en frecuencia, y no es posible equalizarlos debido a su variabilidad a través del área de cobertura



Fig 4-5

Esta es una gráfica resumen del efecto que tiene la colocación de las bocinas según el arreglo.¹⁴

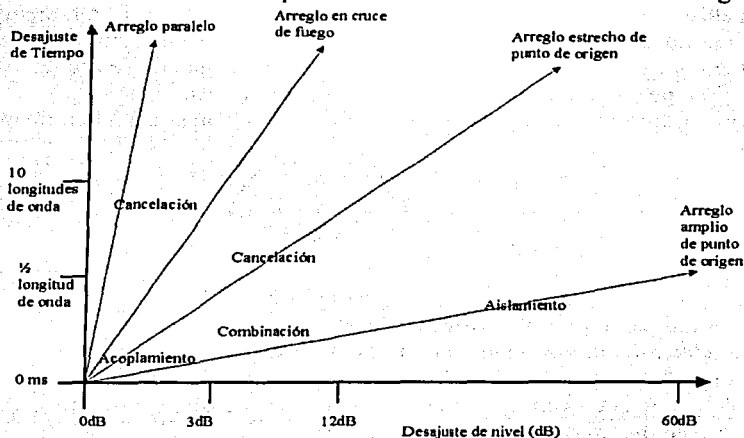


Fig. 4-6

¹⁴ "Meyer Sound Design Reference" Pág. 92

4.5.1.1 Conjunto central (Central cluster)

Un *cluster central*, -nombre genérico en el argot del medio para este tipo de sistemas-, consiste en un grupo de bocinas colocados en un punto central orientado hacia el público. Comúnmente se ubica a buena altura con respecto al escenario (en el proscenio) o sobre la ubicación principal de microfonía.

▪ Ventajas

- La ubicación sobre el público hace que la diferencia en distancias entre el escucha más cercano al escenario y el más alejado sea prácticamente igual. Esto permite que el trabajo de diseño permita una cobertura sobre el público de manera más uniforme.
- El oído humano puede determinar la localización del sonido de manera lateral (efecto de correlación interaural) pero no lo hace tan bien sobre el plano vertical frontal. Si el sistema está ubicado en el centro geométrico del recinto, alineado con los micrófonos principales, se creará la ilusión de que el sonido proviene del charlista y no del sistema de refuerzo sonoro.
- Otro factor importante es que, a diferencia de un sistema distribuido éste presenta un costo menor.

▪ Desventajas

- Por cuestión de estética, no siempre es recomendable su uso (podría estar obstruyendo la línea de visión de una obra de arte en lo alto, como en el caso de un vitral por ejemplo)
- No se recomienda para alturas menores a los 5 metros ya que el PAG puede ser muy bajo y no se tenga la ganancia potencial deseada
- Tampoco es recomendable para alturas superiores a los 14 metros porque el público notará un sonido hueco o incluso un eco que corresponderá al retraso natural entre el sonido emitido por el charlista en el escenario y el del sistema de altavoces.

4.5.1.2 Conjunto central distribuido

Para techos bajos en recintos alargados, se recomienda ubicar un segundo *cluster central* (y en ocasiones hasta un tercero, o más). Esto literalmente *divide* el recinto en dos (o tres) ya que reduce la necesidad de potencia para el primer cluster.

Para este caso se hace indispensable el uso de sistemas de retraso en tiempo para la señal. La explicación es muy sencilla:

El sonido viaja a través de un cierto medio (en este caso, el aire) conforme avanza en la distancia. Aunque sea cuestión de milisegundos, el sonido que percibe un escucha en la parte posterior de una sala con respecto al que escucha una persona al frente (y por ello más cerca de la fuente original de sonido) estará retrasado en el tiempo en función de:

$$\text{Retraso} = \text{distancia a la fuente} / \text{velocidad del sonido en el medio propagado}$$

Debido a que, electrónicamente la señal amplificada llega al mismo tiempo a todas las bocinas, el efecto natural de retraso no existiría para la persona ubicada en la parte posterior de la sala. Así que, si recibe sonido tanto de la primera fuente como de la segunda, la primera se escuchará como un eco de la segunda. Para el escucha más cercano a la primera fuente, la emisión de la segunda se percibirá como un eco de la primera.

La percepción de esta anomalía está en función de la gráfica mostrada en la figura 1-23. De manera general, para fuentes de sonido que emiten la misma señal y a la misma potencia, una diferencia en retraso de tiempo de 30ms puede llegar a ser detectada por los escuchas y dependiendo de la reverberación del recinto, hasta molesta.

La solución a este factor es ajustable con un equipo de retraso electrónico -mejor conocido como *delay de línea*, que es colocado previo al proceso de ecualización (de lo contrario si se retrasa la señal ecualizada

puede haber problemas de “filtro de peine”¹⁵ Idealmente este ajuste se debe establecer en función de la primera señal percibida por los escuchas, y ésta puede ser la de la fuente natural. Por ello se recomienda tener suficientes canales de retraso de señal para cada sistema de bocinas utilizado.

4.5.2 Arreglos de bocinas separadas o distribuidas

Una alternativa al diseño de un sistema es crear líneas de distribución para tener una cobertura más uniforme. Existen tres tipos básicos, y se pueden considerar para conjuntos de bocinas (en *clusters*) o como altavoces sencillos.

4.5.2.1 Separados de punto de origen (Split point source)

Partiendo de la premisa de un punto de origen del sonido (como en el caso del *cluster central*) Las bocinas se pueden colocar en un arco extendido y simularán una sola fuente en un punto.

- Ventajas
 - Es un arreglo bastante consistente, y carece de acoplamiento en bajas frecuencias, es decir se perciben como si fuera una sola fuente.
 - Aplicable para espacios donde la cobertura es muy corta y amplia.
 - Cuentan con una buena distribución de nivel.
 - Las bocinas actúan de manera independiente.
- Desventajas
 - Un empalme mínimo en el área central.
 - Los rangos de graves y agudos deben ser ecualizados como fuentes individuales.

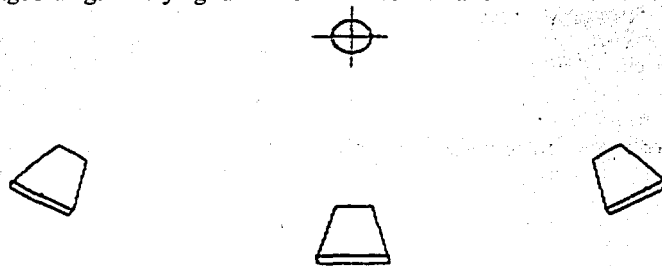


Fig. 4-7

4.5.2.2 En paralelo

4.5.2.2.1 Arreglo estrechamente separado

- Ventajas
 - Aplicable como relleno donde la cobertura de profundidad es pequeña y amplia.
- Desventajas
 - Pobre distribución de respuesta en frecuencia.
 - Existe una gran área de empalme donde las frecuencias de filtro de peine cambian rápidamente al alejarse del centro de interacción.
 - No es posible ecualizar su interacción. Se debe llevar a cabo como fuentes independientes y encendiendo una bocina a la vez.
 - Los desajustes de tiempo son grandes en el área de empalme causando filtrado de peine también para las frecuencias graves.

¹⁵ El tema de ecualización será tratado un poco más adelante

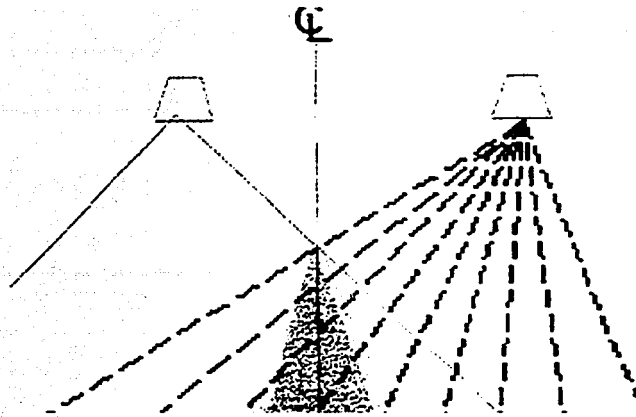


Fig. 4-8

4.5.2.2.2 Arreglo ampliamente separado

▪ Ventajas

- Buena distribución de nivel
- Amplia cobertura para espacios donde la profundidad es relativamente corta.
- Área de empalme pequeña, por lo que el desajuste de tiempo también lo es.
- Buena distribución de respuesta en frecuencia porque las bocinas actúan independientemente.

▪ Desventajas

- Un empalme mínimo en el área central (pero mayor al *separado por punto de origen*).
- La ecualización de rangos medios y agudos debe hacerse por sistemas separados, no interactuantes.



c

Fig. 4-9

4.5.2.3 En cruce de fuego, separados con punto de destino (*Split crossfire*)

Este es el sistema más comúnmente utilizado para semejar el efecto del cluster central. A pesar de su uso tan común en la instalación de sistemas de sonido, trae consigo toda una serie de problemas.

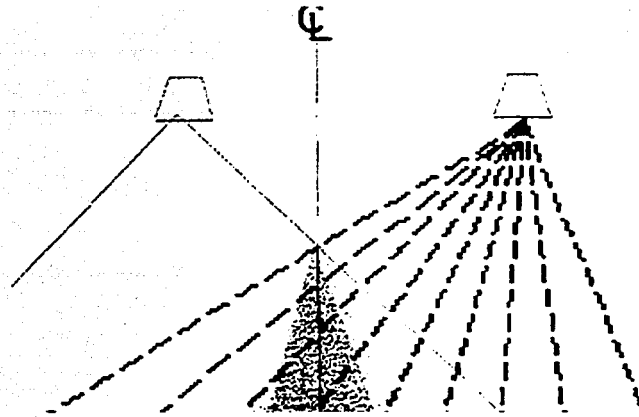


Fig. 4-8

4.5.2.2.2 Arreglo ampliamente separado

▪ Ventajas

- Buena distribución de nivel
- Amplia cobertura para espacios donde la profundidad es relativamente corta.
- Área de empalme pequeña, por lo que el desajuste de tiempo también lo es.
- Buena distribución de respuesta en frecuencia porque las bocinas actúan independientemente.

▪ Desventajas

- Un empalme mínimo en el área central (pero mayor al *separado por punto de origen*).
- La ecualización de rangos medios y agudos debe hacerse por sistemas separados, no interactuantes.



c

Fig. 4-9

4.5.2.3 En cruce de fuego, separados con punto de destino (*Split crossfire*)

Este es el sistema más comúnmente utilizado para semejar el efecto del cluster central. A pesar de su uso tan común en la instalación de sistemas de sonido, trae consigo toda una serie de problemas.

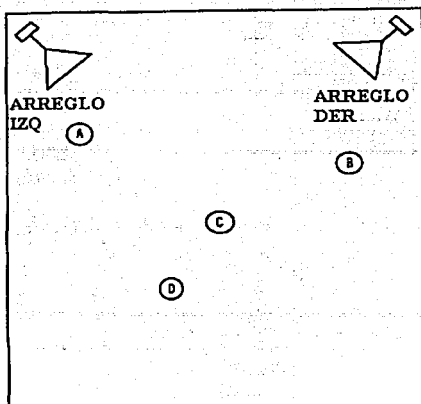


Fig. 4-10

Si la señal es la misma en ambos lados, para el escucha en el punto A la fuente izquierda es la principal y tendrá una percepción satisfactoria del sistema. Para el individuo B, habrá la misma percepción pero en cuanto a la fuente del lado derecho. C percibirá el sonido de ambos lados con niveles iguales y sin un retraso aparente en la señal. Pero para D el nivel de señal será el mismo pero la señal de cada uno de los arreglos le llegará en distinto tiempo, esto provocará un desajuste de tiempo y esto creará un eco discernible y cancelaciones de fase por efecto de filtrado de peine.

El efecto que sufre D será más fácil de percibir al mover su cabeza de lado a lado. Esto también puede ocurrir en el arreglo estrecho en paralelo y en menor grado en los arreglos amplios en paralelo.

Este tipo de arreglos sólo es recomendable cuando existe un verdadero efecto estéreo donde las señales son diferentes para el canal izquierdo y el canal derecho, donde la interacción es al azar debido a la diferencia de señales. De cualquier forma, la imagen estéreo será efectiva si el público asistente está ubicado al centro, ya que para A y para B el efecto no existirá e incluso percibirá cada quién una distinta interpretación de lo visto en el evento ya que experimentaron distintas señales desde su posición.

- Ventajas
 - Aplicable para cubrir áreas centrales cercanas (sistemas de Home Theatre o apreciación musical en recintos pequeños)
 - Área del centro con bastante acumulación de nivel de presión sonora.
- Desventajas
 - Cada posición tiene su propia respuesta en frecuencia.
 - El efecto de filtrado de peine es muy severo en el rango agudo justo fuera del centro, y se va desplazando hacia el rango grave a medida que uno se aleja del centro
 - No es posible ecualizar su interacción.
 - La baja pérdida de propagación da un aislamiento pobre.

4.5.2.4 Sistemas distribuidos de columna

Siguiendo el concepto de los sistemas *en cruce de fuego*, la variante utilizada con el auge de las bocinas de columna sobre los muros laterales de las paredes se hizo común en espacios donde colgar sistemas rompería con el concepto estético del lugar, tal es el caso utilizado en iglesias y templos religiosos.

Aunque no existen muchas opciones para este tipo de recintos, no se recomienda el uso de estos sistemas donde la distancia entre los muros laterales sea mayor a los 14 metros (cada lado cubrirá un área cercana (máximo 7 metros).

Esto es debido a varios factores:

1. Una distancia mayor implicará un aumento de nivel de presión sonora en los altavoces, lo que provocará cancelaciones aún mayores a las probablemente ya existentes.
2. Se crearán efectos de eco al impactar el sonido contra la pared opuesta al altavoz.
3. Si se conserva un nivel de presión sonora prudente entonces los escuchas más cercanos al eje axial del recinto no escucharán adecuadamente y con ello habrá pérdida de inteligibilidad.

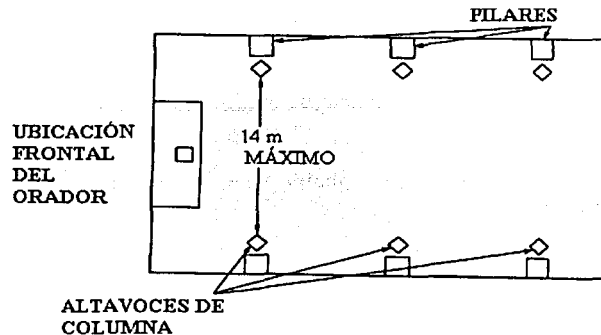


Fig. 4-11

En cuanto al tipo de bocina utilizada, si es de columna existirán varios problemas. Su diseño se volvió muy popular a finales de los años cincuenta. Consistía por lo general en 4 altavoces de cono de 8" de diámetro, y se pensó para refuerzo de voz donde habría un moderado nivel de presión sonora. El concepto es muy sencillo, un arreglo vertical de altavoces provee un patrón horizontal amplio y vertical estrecho.

Desgraciadamente, el patrón natural de directividad de arreglos de múltiples bocinas depende de la frecuencia. Por ejemplo, la longitud de onda debida a la interferencia y el patrón de dispersión de un arreglo vertical de bocinas de este tipo comenzará a partir de los 1600Hz. Y este es justo el centro del rango de frecuencias para la inteligibilidad. Conforme baja la frecuencia, la dispersión incrementa al punto en que se vuelve omnidireccional. A frecuencias superiores a ésta, el altavoz comenzará a emitir el sonido en forma de rayos y con ello se empieza a generar el *efecto de peine*.¹⁶

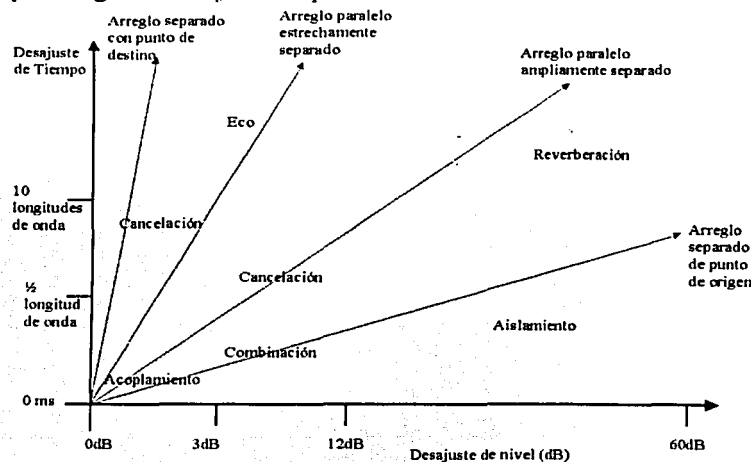


Fig. 4-12

¹⁶ Cfr. "Handbook for Sound Engineers" Cap 16

Esto es debido a varios factores:

1. Una distancia mayor implicará un aumento de nivel de presión sonora en los altavoces, lo que provocará cancelaciones aún mayores a las probablemente ya existentes.
2. Se crearán efectos de eco al impactar el sonido contra la pared opuesta al altavoz.
3. Si se conserva un nivel de presión sonora prudente entonces los escuchas más cercanos al eje axial del recinto no escucharán adecuadamente y con ello habrá pérdida de inteligibilidad.

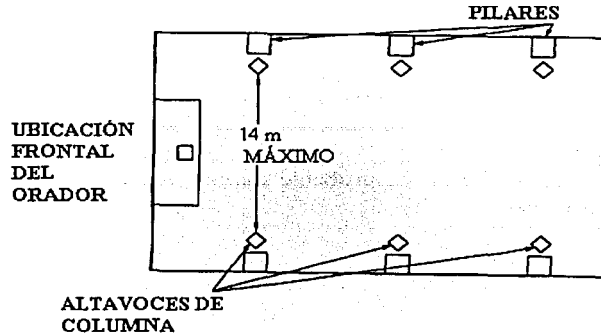


Fig. 4-11

En cuanto al tipo de bocina utilizada, si es de columna existirán varios problemas. Su diseño se volvió muy popular a finales de los años cincuenta. Consistía por lo general en 4 altavoces de cono de 8" de diámetro, y se pensó para refuerzo de voz donde habría un moderado nivel de presión sonora. El concepto es muy sencillo, un arreglo vertical de altavoces provee un patrón horizontal amplio y vertical estrecho.

Desgraciadamente, el patrón natural de directividad de arreglos de múltiples bocinas depende de la frecuencia. Por ejemplo, la longitud de onda debida a la interferencia y el patrón de dispersión de un arreglo vertical de bocinas de este tipo comenzará a partir de los 1600Hz. Y este es justo el centro del rango de frecuencias para la inteligibilidad. Conforme baja la frecuencia, la dispersión incrementa al punto en que se vuelve omnidireccional. A frecuencias superiores a ésta, el altavoz comenzará a emitir el sonido en forma de rayos y con ello se empieza a generar el *efecto de peine*.¹⁶

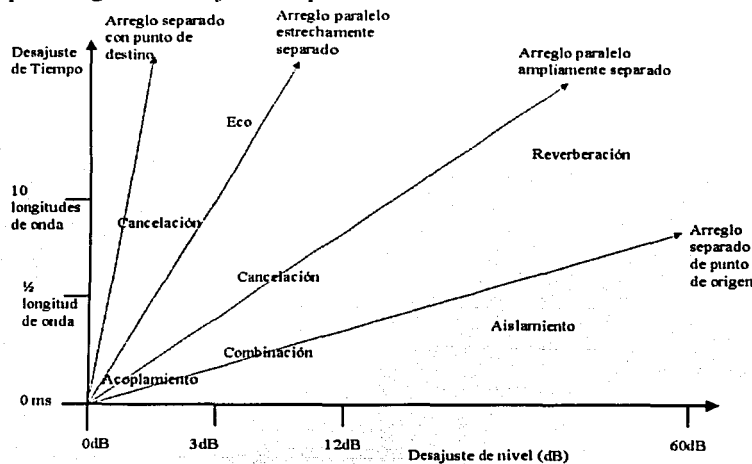


Fig. 4-12

¹⁶ Cfr. "Handbook for Sound Engineers" Cap 16

4.6 Microfonía

Debido a su interacción con los altavoces, se hace importante aclarar cuál es la correcta utilización de estos transductores (Se recordará del apartado 1.2.1 que un transductor transforma una señal mecánica en una señal eléctrica)

Antes que nada se debe formular un criterio para determinar las necesidades del tipo de micrófono a utilizar:

- Dinámico o de condensador
 - Grabación o reproducción
- Para voz o para instrumento musical
 - Con sistema de monitoreo en el escenario o sin él.
- Con cable o inalámbrico
 - Estándar o discreto.

Para el auditorio "Javier Barros Sierra" es probable que se requieran todas las variantes debido a los diversos eventos que ahí se llevan a cabo.

4.6.1 Diseño y uso

El factor del que depende que un micrófono sea denominado *dinámico* o de *condensador* depende exclusivamente del diseño interior de la cápsula transductora.¹⁷

Desde el punto de vista práctico, la diferencia para quien lo usa no está en el diseño interior del aparato sino en la respuesta en frecuencia que este ofrezca, de los riesgos de *feedback* que pueda ocasionar, y de los riesgos de falla en función de la humedad del ambiente.

Las gráficas que a continuación se presentan muestran las diferencias en cuanto a respuesta en frecuencia de ambos tipos de diseño.¹⁸

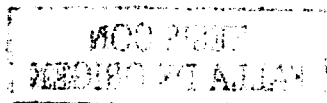
Nótese la diferencia en calidad de respuesta en frecuencia entre ambos tipos de diseño interior en sus versiones económica y de alta calidad.

Como puede verse, los gráficos están diseñados en escala logarítmica en décadas y la fuente está considerada a una distancia de 60cm del micrófono.

Este demuestra que si el fabricante no especifica esta clase de detalles, y la elección del micrófono se hace en función de lo que mostrado en la gráfica de datos. Para voz, los micrófonos dinámicos por lo general son utilizados a una distancia entre 2 y 15 cm de la boca. Los micrófonos de condensador entre 10 y 25 cm.

¹⁷ Tema que se puede profundizar en "Handbook for Sound Engineers" Capítulo 15

¹⁸ AKG Acoustics diseño de Norbert Sobol, presentación de Walter Rührig



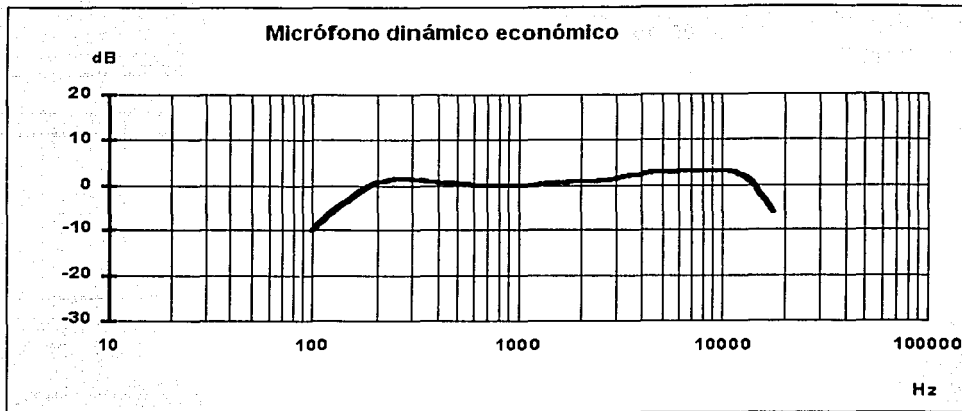


Fig- 4-13

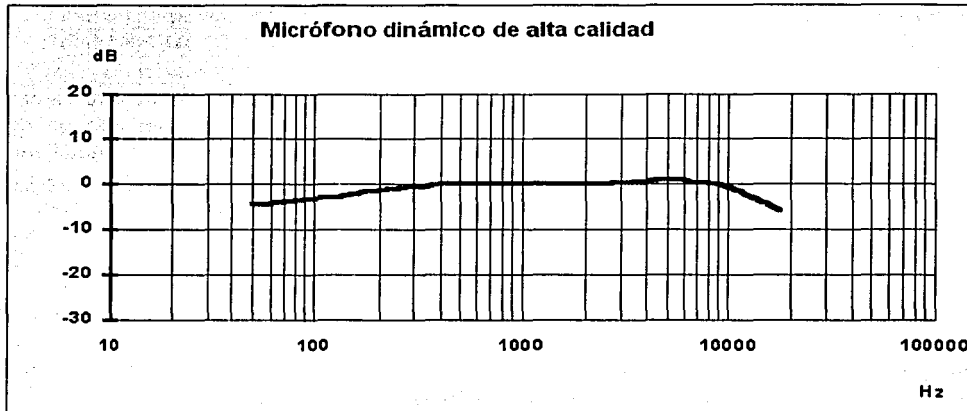


Fig. 4-14

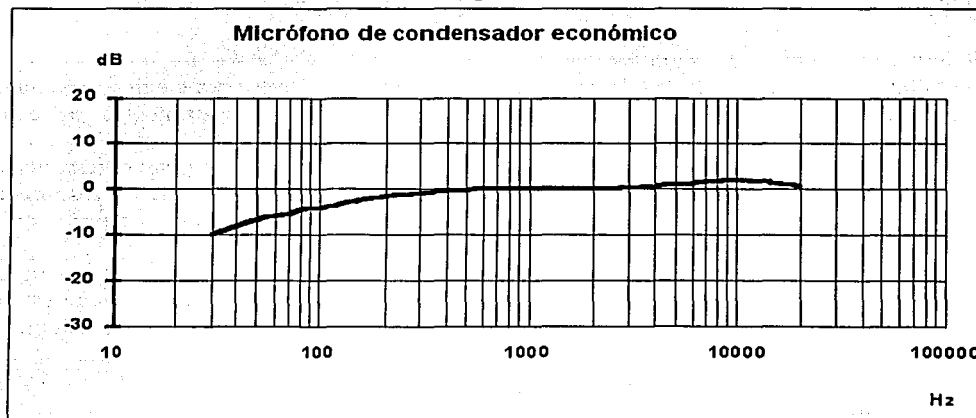


Fig. 4-15

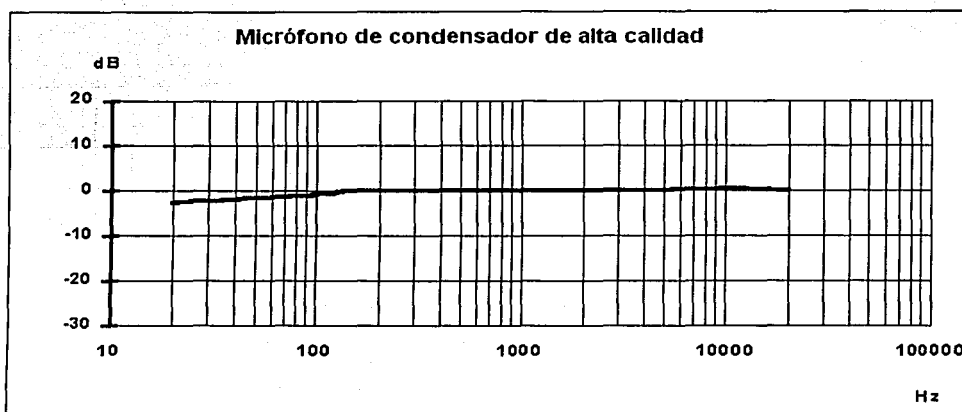


Fig. 4-16

A continuación se muestra una tabla de ventajas y desventajas entre los dos tipos de diseño:

MICRÓFONO DINÁMICO	MICRÓFONO DE CONDENSADOR
Comúnmente diseñados para campo cercano	Alta sensibilidad de percepción de señal
No requiere de electricidad para operar	Necesita un voltaje de corriente directa entre 9V y 48V <i>Phantom power</i> que puede ser alimentado a través de un adaptador con batería, una pequeña fuente de poder o por la consola misma si cuenta con esta función
Ideal para espacios donde se requieren altos niveles de presión sonora	Por su alta sensibilidad, no se requiere de mucha ganancia en la consola para tener una buena respuesta de nivel de presión sonora.
Suelen ser robustos, la parte superior suele tener unos 4 cms de diámetro.	Suelen ser delgados y muy discretos, ideales para grabación de video o transmisión por televisión.
Excelentes para eventos en vivo donde se utilizan varios altavoces y el riesgo de <i>feedback</i> es bajo.	Ideal para grabación, o para música clásica donde el escenario está relativamente separado del sistema de sonido de la sala, probabilidad alta de <i>feedback</i> si existen altavoces cercanos. (Bajo PAG)
Sólido ante impacto	Un poco más sensible al impacto.

4.6.2 Tipo de emisor y patrón de recepción

Es importante saber qué tipo de señal va a ser captada por el micrófono para elegir el adecuado.

Se recordará de la figura 1-29 el espectro de frecuencia que algunos instrumentos -así como la voz y cierto tipo de ruidos ambientales-, son capaces de generar.

Es muy probable que un micrófono dinámico de categoría económica baste y sobre para una conferencia (siempre y cuando la respuesta en frecuencia sea suave). Sin embargo, no es el caso de los instrumentos o de la voz para canto, ya que no transmitirán todo su espectro al micrófono y el sonido que llegue a los escuchas a través del sistema de sonido será de menor calidad al emitido por la fuente.

A pesar de que la voz pueda llegar a utilizar un micrófono como el arriba mencionado, no es algo muy recomendable ya que puede originar deficiencias de la respuesta en frecuencia. Este fenómeno es incrementado en cualquier tipo de micrófono en función de la distancia fuente-receptor. La falta de conocimiento de este fenómeno provoca que la gran mayoría de los charlistas y cantantes tiendan a acercarse al micrófono excesivamente, generando una irregularidad aún mayor de la respuesta en frecuencia del micrófono. Esto se presenta a continuación:¹⁹

¹⁹ AKG Acoustics, *ibid*

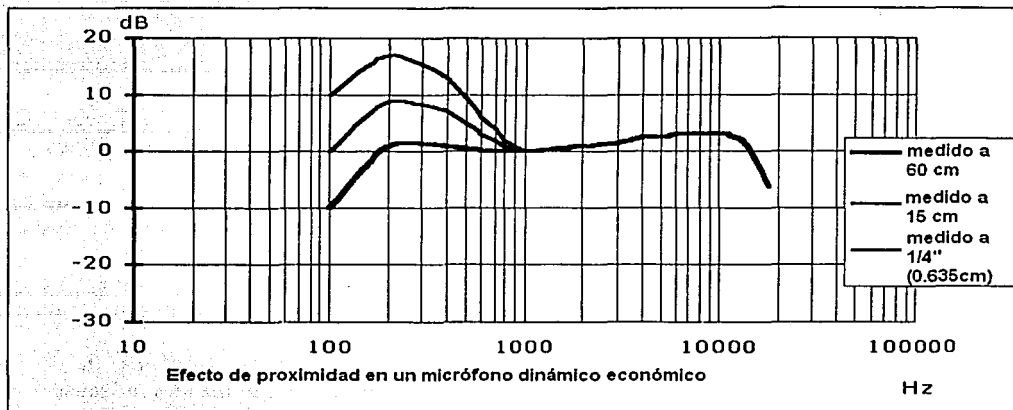


Fig 4-17

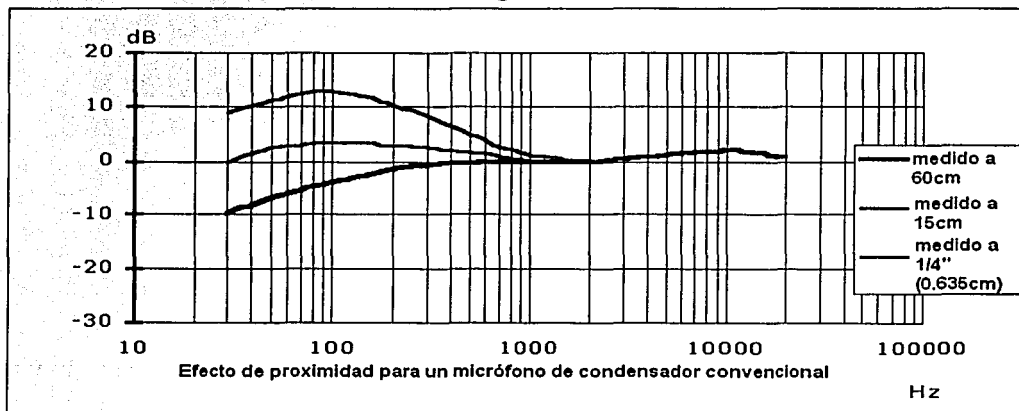


Fig. 4-18

Esa tendencia de acercarse al micrófono es presenciada principalmente para micrófonos dinámicos que en aquellos de condensador, debido a su baja sensibilidad con respecto a los segundos. Esto provoca un exceso de señal de frecuencias graves y una pérdida relativa de las frecuencias destinadas a la inteligibilidad. Además de generar niveles de presión sonora variables en función de la posición del orador con respecto al micrófono.

La explicación es elemental; la cápsula de un micrófono es sensible al efecto mecánico producido por el aire. A una distancia prudente, la presión que se genera sobre la cápsula debido al aire que recibe será mucho menor a aquella en la cercanía. En este segundo caso, la presión al frente del micrófono será mayor a la que existe en la parte posterior de la cápsula.²⁰

El fenómeno se hace más evidente con el uso de consonantes impulsivas (p / t). El técnico en turno tenderá a bajar el nivel general de volumen y con ello la pérdida de inteligibilidad será mayor.

El patrón de recepción también resulta de interés práctico. Aunque esté estrechamente ligado al diseño de la cápsula, aquí lo importante es el efecto que tiene en función con la señal que debe captar y aquella que deba rechazar.

Las imágenes también auxiliarán en este contexto.

²⁰ "Handbook for Sound Engineers" Pág. 436

➤ **Micrófonos omnidireccionales**

- Son capaces de tener una respuesta en frecuencia bastante plana y suave porque es únicamente el diafragma frontal del micrófono el expuesto a la fuente sonora, eliminando cancelaciones de fase que ocurren por lo general en micrófonos unidireccionales.
- Mientras más pequeño sea, mejor para la suavidad de respuesta en frecuencia, el único inconveniente es que a medida que disminuye su tamaño, también su sensibilidad y con ello la relación señal a ruido será menor.
- Como el patrón es esférico, no existe índice de directividad, lo que ocasiona que capte cuánto sonido haya a su alrededor. Esto tiene una desventaja en espacios ruidosos, ya que captará también el ruido.
- Es muy útil para grabación de sonido ambiental en un recinto. No se recomienda que esta señal sea amplificada por el sistema de sonido de la sala misma porque puede aumentar considerablemente el riesgo de *feedback*.
- Su uso en sistemas de refuerzo de sonido puede llegar a crear *feedback*, de no saber cómo ecualizar su respuesta o si la consola misma no tiene un ecualizador adecuado en el canal respectivo.

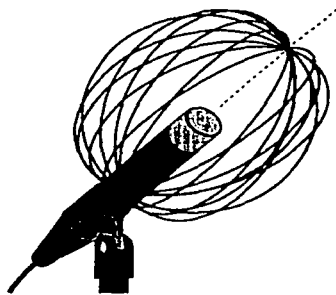


Fig. 4-19

➤ **Micrófonos bidireccionales**

- Recibe el sonido por la parte frontal y posterior de la cápsula en igual proporción y rechazando el sonido de los lados.
- A este tipo de micrófonos también se les conoce como *figure eight* (figura en “ocho”) por el patrón que tiene.
- En un espacio reverberante rechazará hasta un 67% más que el micrófono omnidireccional.
- Es ideal en estudios de grabación para captar el sonido de dos fuentes distintas ubicadas a cada extremo del micrófono.
- Debido a la capacidad direccional del micrófono es útil para captar conversaciones en extremos de una mesa, por ejemplo.

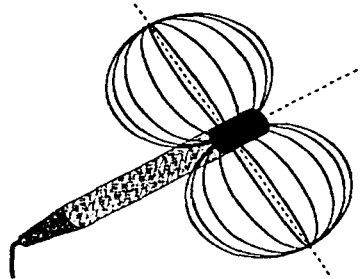


Fig. 4-20

➤ Micrófonos unidireccionales

- Tienen una mejor sensibilidad a capturar el sonido del frente más que de cualquier otra dirección. Esto es aproximadamente entre 20dB y 30dB en captar las frecuencias del frente que las que vengan de la parte posterior.
- Son el tipo de micrófono más utilizado.
- Resultan muy convenientes tanto para grabación como para reproducción en vivo porque rechazan de mejor manera el ruido de fondo.
- Tienen más ganancia antes de *feedback* (mejor PAG) cuando se utilizan en campo cercano.
- Buena discriminación entre fuentes sonoras.

❖ Cardioide

- Su nombre proviene de su semejanza con una forma de corazón, es decir el rechazo máximo ocurre en la parte posterior.
- Son excelentes para el rechazo del sonido que provenga de la parte posterior del micrófono, de modo que si se coloca un solo monitor al frente del intérprete o charlista, el riesgo de *feedback* será menor a que si el altavoz ha sido colocado a un lado de él.

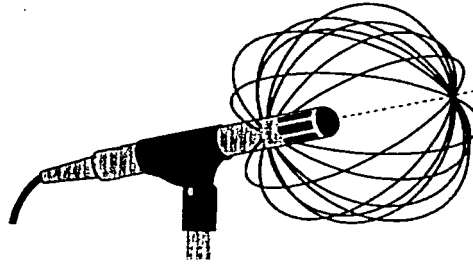


Fig. 4-21

❖ Supercardioide

- Tiene un mejor rechazo de los lados que de la parte posterior. Esto aventaja al patrón cardioide cuando la ubicación de los monitores es a los lados del intérprete. El ángulo de rechazo máximo es aproximadamente alrededor de los 120° con respecto al eje axial del micrófono.

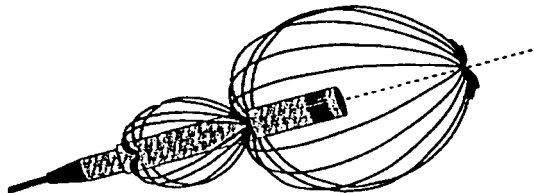


Fig. 4-22

❖ **Hipercardioides**

- Se debe tener cuidado en la elección de este tipo de micrófonos, ya que un mal diseño (de una marca económica) puede hacerlos *hipo*-cardioides en vez de *hiper*-cardioides.
- La diferencia con el micrófono supercardioides estriba en tener un mayor rechazo de sonido de la parte posterior.

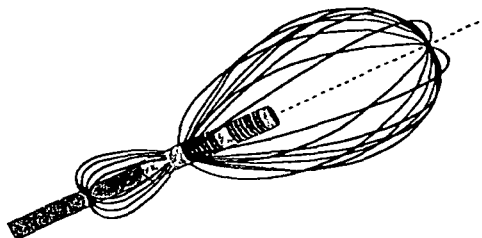


Fig. 4-23

4.6.3 Micrófonos inalámbricos

Un micrófono inalámbrico suple a uno alámbrico sustituyendo el cable por la radio transmisión aérea. El transmisor (en este caso el micrófono) se comporta como una estación de radio FM en miniatura, mientras que el receptor se puede comparar con un receptor de radio FM convencional.

La elección del micrófono no es tan elemental, se debe elegir:

- El ancho de banda sobre el que trabajará la transmisión
- La versatilidad entre la posibilidad de seleccionar una frecuencia en un cierto rango o que sea de frecuencia fija
- Una antena o dos en el receptor
- Transmisor estándar (micrófono de tipo convencional) o discreto (con el uso de un transmisor separado del micrófono en sí)

4.6.3.1 Ancho de banda de transmisión

Idealmente un sistema inalámbrico debe trabajar perfectamente en cualquier situación con una buena inteligibilidad y debe poder ser utilizado cerca de campos fuertes de radio frecuencia, atenuadores de iluminación (dimmers) y fuentes de interferencia electromagnética. Esto se relaciona directamente con el tipo de modulación, la frecuencia de operación (VHF o UHF), la selectividad del receptor, etc. El sistema debe ser capaz de trabajar cuando menos 5 horas sin interrupción (y sin tener que cambiar las baterías que requiere).

Los sistemas de microfona inalámbrica están autorizados (hasta el momento) para los siguientes rangos de frecuencia:

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| ➤ VHF (banda baja AM y FM) | 25 a 50 MHz y de 54 a 88 MHz |
| ➤ Transmisión FM | 88 a 108 MHz |
| ➤ VHF (banda alta FM) | 150 a 216 MHz |
| ➤ UHF (FM) | 450 a 952 MHz |

Las bandas de VHF son utilizadas por lo general para sistemas económicos, sin embargo, no se recomienda su elección, especialmente en ciudades de media a alta población debido a la saturación del espectro en esta banda. La interferencia que sufren estos sistemas se hace evidente, incluso en zonas alejadas de las grandes ciudades, donde la interferencia puede ser generada por la banda de comunicación de la policía estatal.

La banda de VHF puede ser una gran fuente de interferencia para el sistema utilizado. Las antenas utilizadas son de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda es decir unos 43 cms.

La banda de UHF es la que más se ha comercializado desde los noventa. Las ventajas de estos sistemas son básicamente que hay más variedad de selección en ese rango, por lo que el riesgo de interferencia es menor y además la difusión de la señal por lo general se limita al recinto donde se utilice (por la potencia de transmisión que se utiliza), la desventaja es que puede haber obstáculos en la sala que no permitan la llegada de la señal transmitida hacia el equipo receptor.

4.6.3.2 Selección de frecuencia

Poder seleccionar la frecuencia a utilizar por el sistema tiene sus grandes ventajas en lugares densamente poblados donde es probable que se esté utilizando otro sistema de radio transmisión a la misma frecuencia (o muy cercana a ella) y pueda crear interferencia sobre la señal que nos interesa. De modo que si existe un problema de interferencia se puede seleccionar otra frecuencia que no se vea afectada por este fenómeno. Esta opción también brinda versatilidad cuando se están utilizando varios micrófonos inalámbricos.

De no existir una opción de cambio de frecuencia y hay otra señal con la misma frecuencia en el aire, la señal que llega al receptor será algo similar al caso en que dos transmisoras de radio emitieran su señal por la misma frecuencia.

4.6.3.3 Antenas de recepción

Tener dos antenas es mejor que una sola, y no desde el punto de vista del número sino de la posibilidad de recepción (siempre y cuando el receptor cuente con verdadera diversidad –*true diversity*).

La mayoría de los sistemas inalámbricos correctamente diseñados cuentan con el sistema de diversidad. Esto significa que el receptor tomará como buena aquella señal, proveniente del transmisor, que llega primero o con más potencia a una de las dos antenas. Si viene una señal retrasada a la misma antena, entonces se alterna entre ambas antenas para evitar la cancelación de señal por diferencia de tiempo, esto ocurre a velocidades muy rápidas e inadvertidas para el escucha.

Si no cuenta con diversidad, tener dos antenas va a traer más problemas que soluciones ya que la señal llega a ambas antenas con una diferencia de tiempo y el receptor las reproducirá con ese defecto, escuchándose como eco o produciéndose cancelación. (Una manera análoga de *ver* esto es el efecto de imagen fantasma que se ve en ocasiones en televisión debido a que la señal llega a la antena por dos caminos diferentes: La antena de transmisión original y la señal que llega retrasada por impacto contra un muro de algún edificio cercano a la zona de recepción)

4.6.3.4 Tipo de transmisor

La elección del tipo de transmisor se basa por lo general en cuestión de estética, maniobrabilidad o ambas. También está en función de la decisión del productor del evento.

Los transmisores de bolsillo suelen venir integrados con un clip para ser sujetados a la ropa, aunque en ocasiones (según los movimientos que vaya a hacer el que lo porta sobre el escenario) resulta más seguro –para el equipo– que el transmisor se ponga en una bolsa que se sujete al cuerpo con un cinturón elástico.

Hace unos meses la empresa AKG sacó al mercado un transmisor realmente pequeño y eso lo hace realmente discreto ya que puede ser colocado en el bolsillo superior del saco, y el micrófono prácticamente junto a él, –desafortunadamente el cable también es corto, lo que lo limita a ser colocado en otra ubicación.

Durante algunos años ha continuado la polémica sobre los efectos que causan los transmisores de radio frecuencia al cuerpo humano, en especial relacionada con los equipos de telefonía celular. A la fecha no se ha comprobado nada a ciencia cierta, y en cuanto a los transmisores de microfonía, su potencia de emisión no supera los 50mW (los hay también de 30mW y de 10mW) y los alcances pueden llegar a ser hasta de unos 50 metros en campo libre.

En cuanto al micrófono estándar existen ventajas y desventajas en función de la marca que se elija ya que el diseño varía.

La gran mayoría de micrófonos con transmisión VHF no mostraban una antena aparente, sin embargo con UHF la mayoría de los diseños cuentan con la antena al exterior, y esto trae como consecuencia el riesgo que se tiene con un charlista nervioso que tomará el micrófono por la antena y con ello bloqueará la señal de transmisión (esta interrupción repentina del sonido parecerá un error del técnico en la consola). Otro riesgo que se tiene es que los micrófonos por lo general reciben caídas, el diseño debe ser sólido para soportar el impacto, y por lo general en este caso de accidentes lo primero que se ve afectado no es el equipo interno sino la antena.

Existen diseños que permiten una selección en el tipo de patrón polar de respuesta del micrófono, aunque la gran mayoría está estandarizado a ser de tipo cardioide, también los hay hipercardioides. Suelen ser robustos —como los micrófonos dinámicos convencionales

Por cuestión de estética con el uso de un transmisor de bolsillo, el uso del micrófono de solapa se ha preferido por sobre el uso del micrófono en diadema para diversos tipos de eventos. Ambos son discretos y ambos ofrecen libertad de uso de las manos (evitando tener alguna ocupada sosteniendo el micrófono) Un cable muy delgado lleva la señal del micrófono a un pequeño transmisor de bolsillo.

Los micrófonos de solapa también tienen sus ventajas y desventajas:

- Son discretos e ideales para grabación de video o transmisión por televisión.
- Son la mejor opción para producciones teatrales porque la voz del actor se escucha muy bien sin que la inteligibilidad se vea afectada cuando cambia de posición sobre el escenario. (El uso de micrófonos fijos sobre el escenario o en frente de él sufren de variaciones de nivel de presión sonora en función de la ubicación del actor —y más aún con la ausencia de micrófonos si el escenario no genera primeras reflexiones acústicas hacia el público)
- Un micrófono mal colocado puede generar ruido por roce con la ropa, un micrófono bien colocado eleva la calidad del evento considerablemente.
- Generación de ruido electrostático por uso de materiales como la seda.
- Probable mala respuesta en frecuencia o poca inteligibilidad debido a un ensombrecimiento del espectro emitido naturalmente (que la barbilla no permita el paso libre de todo el espectro frecuencial emitido por la boca)
- En eventos con sistema de refuerzo sonoro, debido a su ubicación (por lo general en la ropa a la altura del pecho) son el más alto riesgo de *feedback* porque se requiere de mayor ganancia para compensar el efecto de la distancia de la fuente de señal al micrófono.
- Son mucho más sensitivos y esto también los hace riesgosos por posible generación de *feedback*, (dicho de otra forma, reducen la PAG).

4.6.4 La elección del micrófono

Este caso puede llegar a ser tan complejo como el de saber escoger la bocina adecuada. Saber utilizar el sentido del oído para elegir el micrófono es una parte de la decisión. Sin embargo, también está el factor técnico del asunto. Las opciones arriba mencionadas deben ser estudiadas a fondo para el tipo de recinto y uso que se le va a dar al micrófono. Si estos detalles no son contemplados, es probable que existan problemas con el sistema, debido a la interacción tan estrecha que tienen estos transductores con los altavoces.

El caso ideal es aquel donde se puedan poner a prueba una variada selección de marcas que correspondan con las mismas características elegidas —patrón polar, tipo de cápsula, respuesta en frecuencia (teórica) y hacer una comparación de los distintos modelos con la misma fuente de sonido. Un solo intérprete para un solo instrumento musical, tocando la misma pieza. Si la fuente de sonido es variable, es muy probable que no se lleve a cabo una decisión correcta.

4.7 Propuesta de diseño de audio para el Auditorio “Javier Barros Sierra”

La estética del espacio en muchas ocasiones se vuelve la mayor de las limitantes en el diseño de un sonido adecuado para muchos recintos..

En general, la obra del arquitecto es respetada hasta sus últimas consecuencias por la tendencia de la humanidad a tener un enfoque primordial en el sentido de la vista y dejar de lado la importancia del sentido del oído.

Una obra de arte es apreciada por su forma, su estética y en muchas ocasiones por el renombre del artista.

Una obra arquitectónica también está en función de su forma, y su estética, pero la diferencia está en la gran importancia que tiene su utilidad para el Hombre. Un espacio arquitectónico que se comporte como una obra de arte, dejando de lado su verdadera utilidad, pierde en gran medida su calidad de eficiencia de uso para la humanidad.

Una persona responsable por el carácter acústico del espacio, no va a generar una toma de decisiones en cuanto a su modificación con gran cantidad de materiales acústicos para ocasionar una fractura del diseño arquitectónico original y con ello, dañar la estética del espacio. La obra será respetada, y el espacio además puede ser mejorado acústicamente incluyendo el auxilio de sistemas de refuerzo sonoro.

Toda persona que entra en un recinto destinado a la interpretación del sonido en cualquiera de sus formas, va a entender que el equipo instalado no es parte de la arquitectura del espacio. Se trata de una obra aparte, que provee un carácter extra y que comprende además otra función totalmente distinta a la visual.

4.7.1 Metas del diseño

El auditorio ha pasado por una serie de diseños de audio en función de:

- El equipo con que se ha contado y
- la estética del espacio.

El diseño de audio para el auditorio "Javier Barros Sierra" debe alcanzar los siguientes objetivos:

- La máxima calidad sonora para atender al público como mejor se merece, en función de los objetivos establecidos en el apartado 1.11 del primer capítulo.
- Tener la capacidad de ofrecer al evento que ahí se lleve a cabo todas las herramientas disponibles para su éxito.
- Contar con la versatilidad suficiente de apoyo de envío de señal a otros receptores además del público presente (Departamento de Audiovisual, prensa, grabación, radio, etc)

4.7.2 Características prácticas de diseño

Todo sistema de "lazo cerrado" debe estar conformado por todas sus partes en el mismo espacio o por lo menos que se encuentren efectivamente *enlazados*.

Un ejemplo práctico en la vida diaria es el conducir un automóvil:

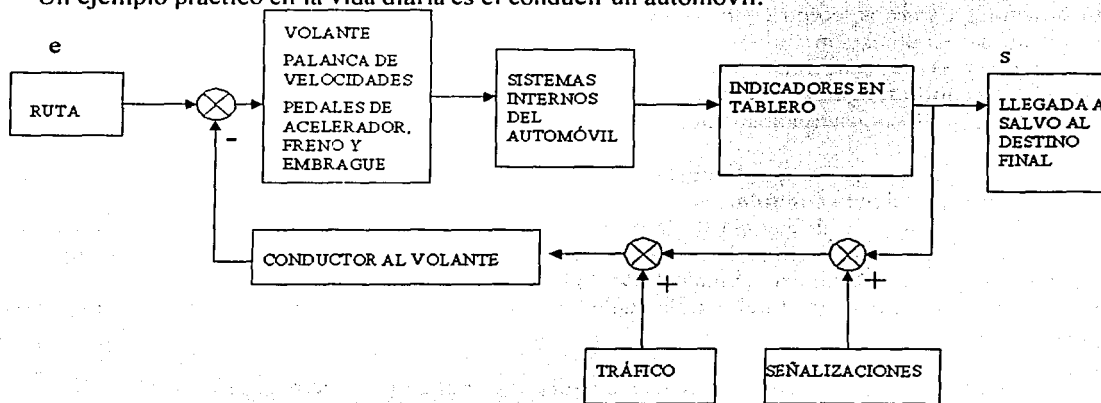


Fig. 4-24

Este sistema no puede funcionar sin un conductor al volante, sea humano o electrónico.

¿Podrá el conductor seguir su trayecto sano y salvo si los vidrios del auto están totalmente pintados o si los indicadores en el tablero no existen?

La función del técnico es igualmente importante en un sistema de sonido, él forma parte del sistema.

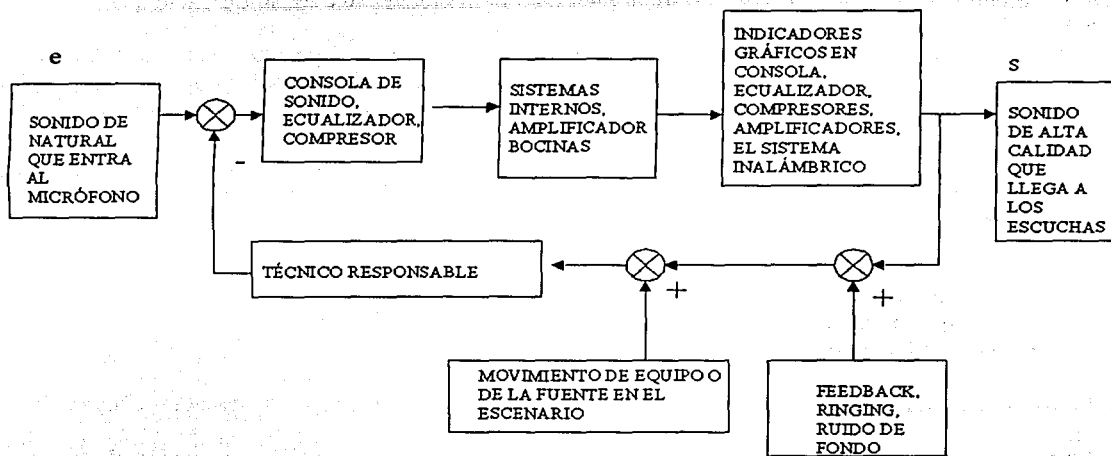


Fig. 4-25

¿Podrá el técnico lograr dar a los escuchas en el recinto un sonido de alta calidad si su mezcladora se encuentra fuera del recinto o si no cuenta con los suficientes indicadores en su equipo?

Actualmente, el equipo de control del sonido para el auditorio "Javier Barros Sierra" se encuentra dentro del cuarto de proyección de filmes.

- No es posible mezclar con una bocina ahí adentro por dos sencillas razones:
- Los factores externos, como el movimiento de equipo o del intérprete en el escenario no pueden ser vistos desde esa ubicación.
- El *ringing* y el ruido de fondo no se escuchan dentro del cuarto de proyección. El *feedback* sólo se escuchará cuando tenga tal nivel de presión sonora tal que para cuando llegue a los oídos del técnico probablemente lleva generándose unos 30 segundos en el recinto.

Es por esto, que se sugiere que la ubicación de la consola sea dentro del auditorio, es decir, dentro del espacio que se está pretendiendo controlar.

Una cabina de audio, a diferencia de la de iluminación, de video o de traducción simultánea debe ser abierta por lo menos al frente y a los lados. De lo contrario, los obstáculos pueden ocasionar difracción o reflexión del sonido y alterar la percepción adecuada de lo que se escucha.

El lugar ideal para el control del sonido suele ser justo al centro de la sala. Esto no es siempre posible, por varias razones:

- Se sacrifica un cierto número de asientos para colocar el equipo que requiere,
- Se encuentra ubicada entre el público, lo cual no siempre es grato para éste.
- El acceso es difícil durante algún evento para los técnicos a cargo o alguien que necesite acercarse al técnico (como el productor)
- El espacio de maniobrabilidad se ve limitado en función del poco espacio.

Un espacio más discreto y que resulta adecuado es también al centro (sobre el eje axial) pero en la parte posterior de la sala. El único inconveniente que tiene esta posición es que la pared detrás, —en este caso el muro del Maestro Federico Silva— puede generar reflexiones que, en suma con el resto del sonido, sean percibidas por el técnico como un nivel de presión sonora superior al real en el resto del recinto. Lo importante en este caso es que los técnicos operadores estén consientes de las consecuencias que esta ubicación conlleva en el momento de mezclar un evento.

Para respetar la visual del mural, y cumplir con las necesidades de la cabina para el técnico de sonido y su equipo se sugiere lo siguiente:

- Sean retirados los 4 asientos al centro de la última fila de la luneta central. Con esto, la cabina tendrá 2 metros de largo, limitada por butacas a los lados; por 1.50m de ancho limitada por los respaldos de la penúltima fila de la luneta central y 50cm del pasillo posterior, dejando libre ese espacio y respetando el mural del Maestro Federico Silva.
- Se construya —con respecto al nivel de piso de la fila mencionada—, un murete de 1 metro de altura, alrededor del espacio de trabajo, dejando un acceso por la parte posterior. Posteriormente se recomienda, por cuestión estética utilizar madera sobre las caras del murete. Para la consola se hace necesaria una superficie bien apoyada sobre el piso, del largo del espacio interior entre muretes, por 65cm de ancho y 70cm de altura sobre el nivel del piso de la última fila. Debe dejarse un espacio de 10cms entre el murete de la parte frontal de la cabina y el inicio de la superficie. Esto último con el fin de poder pasar cables libremente y de manera discreta entre el equipo ubicado en la parte superior y la inferior.
- Para el equipo periférico auxiliar se requiere, colocados de manera vertical y al borde frontal de la superficie arriba descrita, la colocación de dos rieles por lado, para montar equipo profesional, separados 19" entre sí. Se sugiere fijar los rieles extremos a las paredes laterales internas del murete y a partir de esto, colocar los otros dos rieles sobre macizos de madera (que pueden ser los mismos polines de soporte de la superficie) a la distancia arriba mencionada. Cada sección de rieles podrá almacenar hasta 7 aparatos de tamaño estándar. Es muy importante que estos rieles estén muy firmes y con gran soporte, ya que el equipo auxiliar podría llegar a pesar hasta 50 kilos en total.
Una alternativa a esto, es la compra de dos racks de 55cm de alto, 52cm de ancho y 50cm de fondo (por el exterior) idealmente con ruedas de goma para procurar un fácil acceso y que se puedan colocar cómodamente debajo de la superficie de consola.
- Es necesario contar con tres circuitos eléctricos independientes y aterrizados para esta cabina. Cada circuito debe tener por lo menos 5 contactos NEMA 5-15 R, para 15 A/ 125V. La distancia que existe de este punto al tablero de interruptores es aproximadamente de 12 metros. Se recomienda que el cable utilizado sea de calibre 12 (AWG) para tener la seguridad en que cada circuito será capaz de soportar 20 Amperes. La ubicación de dos de los circuitos debe ser en las esquinas interiores de la cabina para poder lograr una conexión directa del equipo a los contactos.
- Se han dejado 30 cm de espacio libre entre la superficie colocada para la consola y el borde superior del murete. Independientemente del espacio que ocupe el equipo en el interior, es recomendable evitar cualquier tipo de posible vandalismo. Es importante proteger el equipo por la parte superior. El diseño de una *tapa* que cierre la cabina resultaría un buen sistema de protección. Se puede fabricar de dos hojas de un material robusto, que empalme con los bordes del murete y se puedan utilizar candados para asegurar la tapa. Cuando se vaya a utilizar el equipo, simplemente se quita la *tapa* y se guarda en bodega.

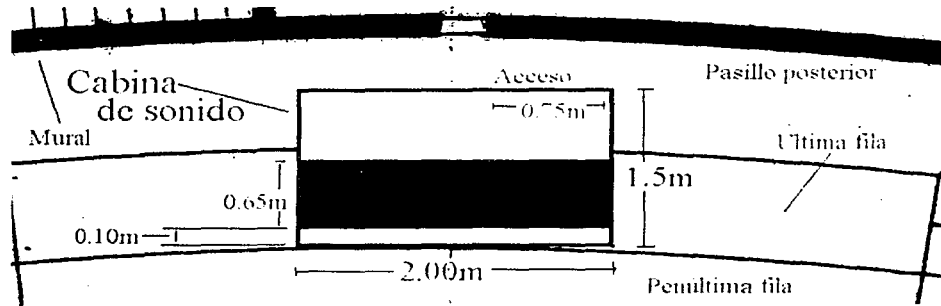


Fig. 4-26 Ubicación propuesta para la cabina (Planta)

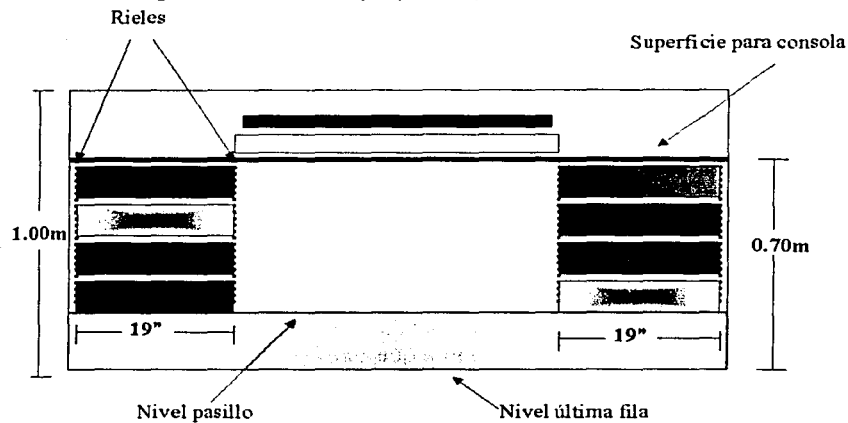


Fig. 4-27 Cabina desde su interior (Corte)

4.7.3 Ubicación de bocinas

Por las características de ventaja que tienen las cajas acústicas autoamplificadas es el producto con el que se plantea la propuesta para la instalación en este recinto.²¹

De no contar con el presupuesto para integrar este sistema, se sugiere entonces, que se mantenga una consistencia al elegir el sistema a instalar, es decir, que se utilice un solo tipo de marca y un mismo modelo (determinado en función de la ubicación de bocinas) para que exista un desempeño uniforme por parte del sistema de sonido. Se debe considerar también que el equipo tenga la estructura adecuada para ser colgado.

Sugerencias básicas en la elección de la marca en función del valor agregado:

- La garantía debe ser como mínimo de tres años.
- La empresa distribuidora del equipo debe ser 100% responsable de cambios o reparaciones sin costo alguno por causas ajenas al manejo del equipo.
- Una vez concluida la instalación, la compañía representante de la marca debe hacer una equalización de la sala para el sistema sin costo extra con equipo profesional.
- Soporte y orientación técnica al cliente en el país.

²¹ Consultese el Anexo 2 donde se muestran las hojas técnicas de posibles opciones de los diversos tipos de altavoces propuestos para la instalación de este sistema.

4.7.3.1 Procedimiento utilizado para el sembrado de bocinas

Un recinto multifuncional tiene como función poder apoyar cualquier tipo de evento sin escatimar en sus necesidades. Un espacio que posea las herramientas adecuadas en el lugar adecuado, y cuya meta sea alcanzada rebasa las expectativas de cualquier persona que lo utilice.

Bajo esta premisa, se propone un diseño de ubicación de bocinas que pueda apoyar cuanto evento ocurra en el auditorio, sea cine, conferencia o interpretación musical.

Una forma en la que se puede tener un acercamiento al *sembrado* ideal de bocinas, es a través de la acústica geométrica. Y su procedimiento es el siguiente:

- Contar con un plano a escala del recinto donde se planea instalar el equipo.
- Tener a la mano las especificaciones de *cobertura*²² de las bocinas a utilizar en el recinto.
- Recordar el comportamiento del sonido y sus características. Se deben tener presentes los efectos de interacción entre altavoces, su posible retraso de tiempo o de nivel, así como su comportamiento en todo el rango del espectro frecuencial.
- Estar consientes de las limitantes que padece el sonido en un recinto cerrado, tales como eco generado, o focalizaciones de sonido generando una posible falsa localización espacial.
- Tratar de cubrir de manera homogénea –en nivel de presión sonora y tomando en cuenta el factor N, todo el espacio donde se encontrará el público, teniendo presente también la existencia del sonido directo.

El procedimiento que se llevó a cabo para determinar la posible ubicación de bocinas y el requerimiento de la cobertura fue el siguiente:

- Sobre el plano de planta
 - Se coloca un papel para dibujar los *focos* (fuentes puntuales) de sonido
 - Se determina la orientación en función de dónde será enfocada la energía sobre su eje axial.
 - Se calculan las orillas del área a cubrir de manera horizontal y la profundidad de campo.
 - Se evita la posible interacción de bocinas que pudiesen ocasionar cancelaciones por filtro de “peine”.
- Sobre el plano de corte
 - Se utiliza otro papel para ubicar la altura de los *focos* de sonido, respetando la ubicación que ya se les había dado en el plano de planta.
 - Se determina la orientación del eje axial, evitando en la medida de lo posible interacción que pudiese crear cancelaciones en el sonido.

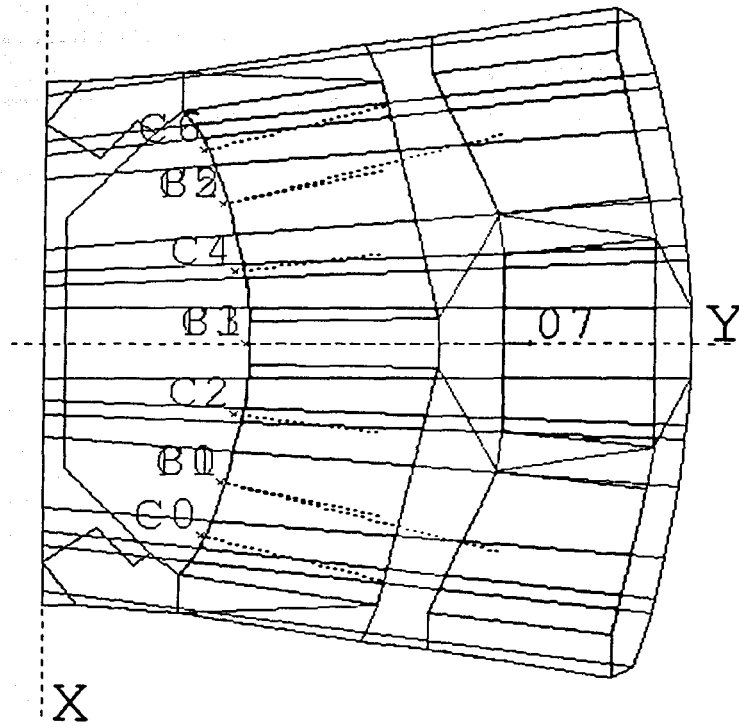
El resultado es el siguiente:

- ✓ Tres altavoces con ángulo de cobertura de $45^\circ \times 45^\circ$ (debido a las estrechas dimensiones del recinto) con capacidad mínima de nivel de presión sonora de 105dB a 1m., con rango de operación de frecuencia 60Hz-18kHz. Ubicados en arreglo *separado de punto de origen*.
- ✓ Siete altavoces pequeños con el mismo ángulo de cobertura que en el caso anterior, con capacidad mínima de nivel de presión sonora de 100dB a 1m. con rango de operación en frecuencia 60Hz-22kHz para ser ubicados en el delantal del escenario. Lo ideal es que el escenario sea alzado a 1.2m sobre el nivel de piso para evitar que la primera fila de público absorba la mayor parte del sonido sin permitir que llegue a filas más atrás.

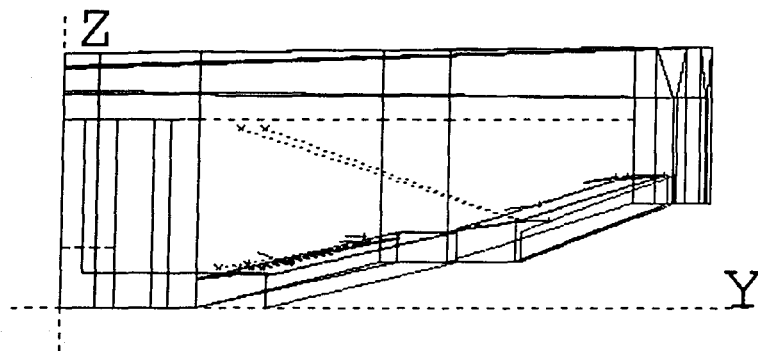
El resultado gráfico se muestra a continuación con el trazo único de los ejes axiales:

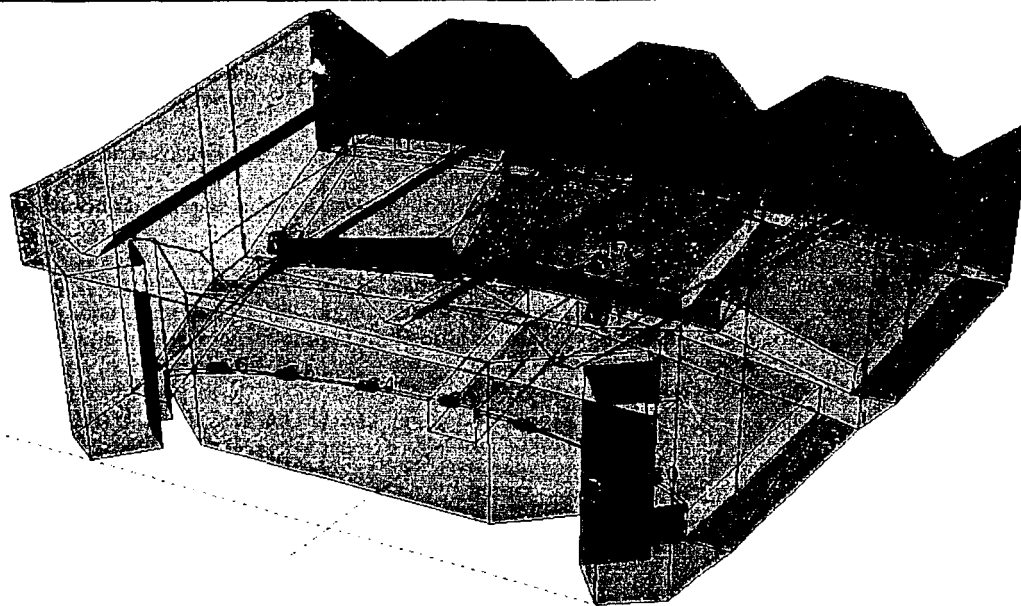
²²La *cobertura* de una bocina es el ángulo especificado por el fabricante, también se puede medir aproximadamente, donde la disminución de presión de señal con respecto al eje axial es de -6dB

Tiro de altavoces en planta



Tiro de altavoces en corte





CATT-Acoustic v7.2m

Auditorio Javier Barros Sierra

4.7.3.2 Justificación del diseño

- Los altavoces B0, B1 y B2 darán la cobertura adecuada de sonido directo para toda el área de la luneta y las últimas dos filas del área de platea.
- Las bocinas C0 a C6 cubrirán con sonido directo las primeras filas de público para apoyar al sonido directo.
- Para conferencias se recomienda que la señal distribuida sea la misma para cada bocina.
- Para cine, con el uso de un procesador de señal 5.1 –en el caso en que se pretenda reproducir filmes con dicho formato sonoro- la señal puede ubicarse de la siguiente manera:

CANAL IZQUIERDO B0, C0 y C1

CANAL CENTRAL B1, C2, C3 y C4

CANAL DERECHO B2, C5 y C6

En reproducción de cintas de cine, el 75% del sonido proviene de la bocina central, esto con el fin de dar *ventrilocuismo* a la imagen, -los altavoces por lo general son ubicados detrás de la pantalla, que en este caso no es posible, ya que la pantalla está ubicada sobre el muro central de escenario.

El sonido de los canales izquierdo y derecho dan realismo al efecto de la imagen. Es decir, en un filme, alguien puede *anunciar* su llegada desde un lado u otro de la pantalla a través del sonido generado. La mayor parte de los sonidos incidentales laterales provienen de estos canales.

Sin entran en detalle, una ampliación al diseño de bocinas –sumamente recomendada para reproducir cintas de actualidad-, es el uso del *surround*.²³

En este caso, la mayor parte del *ambiente* que envuelve al espectador proviene de esta parte del sistema. Entiéndase con ello: sonidos incidentales, efectos de viento, lluvia, sonidos a la lejanía, etc.

²³ En este texto no existe una propuesta en el tipo de altavoces a utilizar para esta parte del sistema.

No se recomienda, utilizar esta parte del sistema para conferencias o para eventos musicales debido a que pueden generar falsa localización del sonido, cancelaciones por interacción con el resto del sistema –por llevar la misma señal que el resto de los altavoces, y el riesgo de generar *feedback*.

Un caso ideal para eventos de tipo musical y de cine, es incluir la colocación de *subwoofers* -altavoces para frecuencias graves.²⁴ Para el primer caso se pretende cubrir un mayor ancho de banda, respectivo al reproducido por algunos instrumentos, en cuanto al cine, dará más realismo a los filmes proyectados –especialmente en sonidos incidentales y la música de fondo.

No se hace necesario el uso del sistema de *subwoofers* para eventos destinados a la palabra por dos razones:

- El rango de la voz humana está suficientemente apoyado por el sistema de bocinas B y C.
- Puede ocasionar problemas de *feedback*

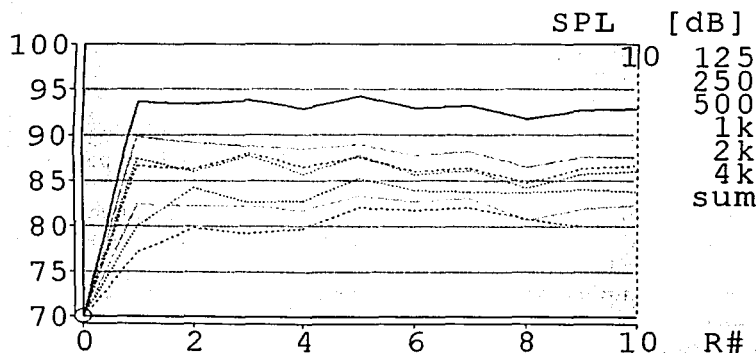
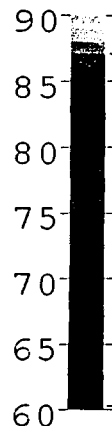
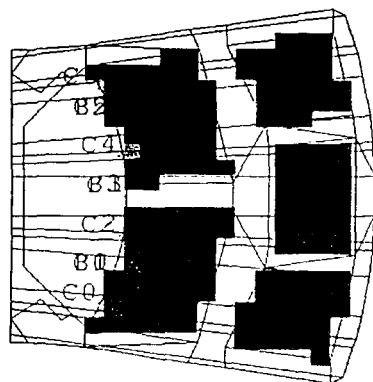
4.7.3.3 Efectos sobre los parámetros acústicos que pueden ser afectados por el diseño

Como ha sido mencionado anteriormente, el sistema de sonido no debe crear ecos, aumento de reverberación indeseable ni efectos que detrimenten la inteligibilidad de la palabra, por ello, a continuación se ve de manera gráfica, el efecto que produce el sistema en la sala.

- Uniformidad en la dispersión del sonido directo:

SPLdir [dB] 2 kHz

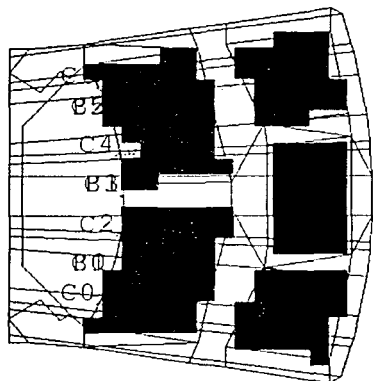
0.00 < t < 20.0 ms



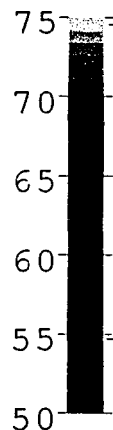
²⁴ Consúltense el Anexo 2 donde se muestran las hojas técnicas de posibles opciones de los diversos tipos de altavoces propuestos para la instalación de este sistema.

- Inteligibilidad de la palabra

STIuser [%]



with noise



Bkg SPL: < 43.5 37.5 30.5 27.0 24.0 22.0 (20.0) > dB *

*Bkg SPL corresponde al nivel de presión sonora para cada una de las bandas de análisis con respecto a la curva NC-20

- Tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación se mantendrá constante para frecuencias superiores a los 500Hz, sin embargo es probable que resulte diferente al planteado para las frecuencias graves en función del nivel de presión sonora utilizado, de la equalización del sistema completo, de los modos de vibración y de las ondas estacionarias naturales en el recinto.²⁵

Para este caso, las fuentes más preocupantes de reflexión son el techo y los muros de concreto.

4.7.3.4 Consideraciones técnicas del diseño

Para la instalación se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Soporte de colgado de bocinas

Independientemente del sistema a utilizar para colgar las bocinas del techo, se debe considerar, por norma de seguridad, la capacidad de carga que la estructura superior pueda soportar, se establece que sea mantenga una relación 5:1 del peso muerto. A título de ejemplo, si la bocina (o el conjunto de ellas) pesa 100 kilos, entonces la viga de soporte debe ser capaz, sin esfuerzo alguno, de cargar media tonelada como mínimo. De lo contrario, no se recomienda hacer el colgado de bocinas. Si esta relación no está garantizada se sugiere que un Ingeniero Estructurista analice el problema y ofrezca una solución real.

Se suelen utilizar tres tipos de elemento, todos con relación de soporte 5:1 como mínimo, para ubicar las bocinas a una buena posición con respecto al techo:

- *Spansets* (eslingas) Se trata de bandas sin fin, fabricadas en poliéster o algodón con interior reforzado; con las cuales se pueden hacer amarres firmes con facilidad. Su desventaja es que en caso de siniestro, podrían llegar a prender fuego y caer al piso con todo y su carga. (Siempre se debe tomar en cuenta el uso de un cable de acero extra por razones de seguridad)

²⁵ Todo recinto se ve afectado por sus modos naturales de vibración y la interacción de estos con el sistema. La modificación en el ángulo y ubicación de una bocina, pueden hacer que ciertos modos se vean excitados y con ello ciertas frecuencias se vean alteradas modificando el tiempo de reverberación que existe sin el sistema de sonido en uso. No resulta elemental llevar a cabo dicha predicción.

- *Cable de acero*, con *ojillos* y sujetadores de *perro* para formar los bucles de las terminales, la ventaja es que se pueden mandar a hacer a la medida y según la cantidad de peso a soportar. La desventaja es que, si es *pasado* sobre una viga, ésta puede dañar el cable formándole ángulos en vez de permitirle una curva suave. Esto se previene con el uso de material resistente para recubrir la viga por donde pasará el cable. (La pedacería de alfombra o las bolsas de yute son consideradas un buen material para este fin.)
- *Cadena*, uno de los mejores elementos para soporte debido a que se compra en función de su tolerancia de peso y se puede cortar a la medida además de no padecer las desventajas de los elementos arriba mencionados.

El inconveniente general de estos elementos es su falta de estética. En ocasiones son cubiertos con tela oscura, si se cuenta con fondos oscuros y las luces dan énfasis al escenario y no al equipo colgado. Si el techo es bajo y de tonos claros, se recomienda utilizar tela de color claro para mejorar la estética.

Para colgar una sola bocina, no se hace necesario añadir estructura alguna a ésta, siempre y cuando la caja acústica esté diseñada para ser colgada, ya sea de manera simple o en conjunto.

Para arreglos de dos o más bocinas es indispensable el uso de estructuras que puedan generar los ángulos adecuados según el tipo de arreglo. Existen empresas que fabrican soportes, bajo las normas de seguridad establecidas, para bocinas de diversas marcas. También hay empresas de bocinas que fabrican sus propios elementos de *colgado* para garantizar que no existirán fallas de soporte, -además de poder sufrir consecuencias legales en caso de falla.

➤ Cableado

- Para las bocinas B0 a B2, se recomienda que el cableado corra por canaletas a lo largo del elemento de soporte, hacia el plafón. Ahí debe correr por ductos hacia el cuarto de proyección y luego por debajo del piso del pasillo hacia la cabina en su nueva ubicación propuesta.
- Para los altavoces C0 a C7, el cableado debe ser llevado por ductos que corran por debajo del piso del auditorio hacia la cabina reubicada.
- En ambos casos, para llevar electricidad a toda bocina, se sugiere que la alimentación sea por secciones -correspondiendo a canal izquierdo, central y derecho, tanto para las bocinas B como las C. Su interruptores deben ser exclusivos y no deben estar conectadas al mismo circuito con sistemas ajenos al de sonido. El calibre se debe plantear en función del tipo de bocina elegida para su colocación y en función de la distancia que recorrerán los cables. Se recomienda que el panel de interruptores también sea colocado dentro de la cabina para un adecuado control de todos los sistemas de sonido desde un solo punto.
- Este es un buen punto para decir que:



La razón es muy sencilla y he aquí su explicación:

Eliminar la *pata* de tierra física de cualquier dispositivo puede poner en riesgo principalmente al operador del equipo. En caso de una falla eléctrica, el operador hará las funciones de la *pata* de tierra física y la descarga eléctrica circulará a través de él.

Las fallas eléctricas son conducidas por todo el sistema de sonido, por mínimo que sea el voltaje que circula a través de un cable de micrófono, puede haber la suficiente conducción de electricidad como para llegar al intérprete ante el micrófono y sufra una descarga.²⁶

Por otro lado, una *tierra volando* trae consigo la posibilidad de conducción de ruido e interferencia y volverse manifiestos en forma de señal a través de las bocinas.

Y Ecualización

Para la instalación de un sistema de sonido siempre se debe tomar en cuenta un ecualizador —ya sea gráfico o paramétrico (analógico o digital). Se pretende tener control sobre el sistema conformado por micrófonos, consola, bocinas, recinto y público de la mejor manera posible.

El caso ideal es que el sonido que entre al micrófono sea prácticamente el mismo que llega al escucha. Si el sistema completo crea irregularidades en la linealidad del espectro de frecuencias, es decir, una curva irregular en el nivel de presión sonora para cada frecuencia, se hace indispensable corregir este problema con el uso de este dispositivo.

Un buen ecualizador resulta una pieza clave en la calidad sonora de un recinto. Se debe elegir, no únicamente por las bandas de frecuencia en las que opera o por cuántos decibeles aumenta o reduce. Un ecualizador también depende, y bastante, del ancho de banda por frecuencia especificada, es decir, qué tanto de las frecuencias, y cuántas, a los lados de la indicada por el deslizador —o la perilla— será incrementado o disminuido al ser operado.

Las bandas clásicas son por lo general de 1 octava, 1/3 de octava, hasta una precisión de 1/12 de octava, para sistemas analógicos y hasta 1/40 octava para sistemas digitales.

o ¿Paramétrico o gráfico?

La diferencia estriba en lo siguiente:

- Un ecualizador gráfico tiene un ancho de banda fijo y una frecuencia fija. La interacción entre anchos de banda puede crear desajustes no deseados en la curva final. Puede ocurrir que las frecuencias intermedias entre dos filtros de un ecualizador gráfico sufran la formación de picos o valles según la respuesta del tipo de filtro utilizado en el interior del sistema.
- Un ecualizador paramétrico actúa sobre un ancho de banda y una frecuencia ajustables. Esto tiene una gran ventaja con respecto al sistema anterior: Si uno puede ver en un espectrómetro cuál es la respuesta en frecuencia del sistema, sabrá exactamente qué frecuencia tendrá que ajustar y podrá corregir deficiencias del sistema debido a su flexibilidad en el ancho de banda.

Todo sistema debe ser ecualizado una vez que se instala uno nuevo o se le hacen modificaciones al presente.

o ¿Digital o analógico?

- Actualmente existen ecualizadores digitales ligados a sistemas de cómputo que operan de manera similar a los de tipo convencional —analógicos. Algunos operadores de equipo afirman que no existe alguna diferencia notoria entre operar con uno u otro tipo de sistemas.
- La diferencia entre ellos para el técnico que lo utiliza es la interfase. —independientemente del tipo de filtrado, ya que uno es digital y el otro opera con resistencias y capacitores— Hay técnicos que prefieren tener las perillas o los deslizadores enfrente y saber que la única forma en la que se alterará su posición es moviéndolos físicamente. Sin embargo, un sistema analógico gráfico no cuenta con las versatilidades con las que cuenta la interfase de cómputo y el equipo en sí que puedan ofrecer, tal como la selección de una frecuencia en específico o la flexibilidad en modificar el ancho de banda en la pantalla de una computadora.

²⁶ Ha habido ocasiones de gente electrocutada en el escenario por el hecho de eliminar la tierra física del resto del sistema.

4.7.4 Microfonía

Se sugiere que en general, un auditorio cuente con una gran variedad de micrófonos para poder brindar la mejor calidad a cualquier tipo de evento que aquí se lleve a cabo.

El auditorio "Javier Barros Sierra" satisface bastante bien esta necesidad.

- Micrófonos de condensador de cuello de ganso largo (18") para ser colocados: Uno solo en el podium (más adelante se aclarará por qué uno nada más) y los necesarios a ser utilizados en las mesas de conferencias. Esto elevará considerablemente la calidad tanto acústica como visual de esta clase de eventos.
- Micrófonos de solapa para conferencistas o para actores en representaciones teatrales²⁷ (Se sugieren que haya disponibles entre seis y ocho para apoyar a todos los actores o conferencistas según sea el caso.)
- Micrófonos para instrumentos.²⁸

Independientemente del tipo de microfonía que se utilice, los micrófonos suelen ser colocados en la posición en la que cumplan con el efecto deseado. Aunque no existan reglas exactas a seguir, sí existen una serie de recomendaciones para asegurar una buena calidad de sonido.

4.7.4.1 Distancia entre la fuente y el micrófono

Por lo general los micrófonos son utilizados en el campo de sonido directo. Bajo esta premisa, la atenuación dictada por la ley del inverso cuadrado es totalmente válida. Como se recordará del apartado 4.2.1, cada vez que la distancia se duplique, la salida del micrófono se reducirá 6dB. De hecho, alejar la fuente de sonido del micrófono de 2.5cm a 5 cm tiene el mismo efecto que alejarse de 15 a 30 cm o de 1.5 a 3m.

La distancia tiene muchos efectos sobre el sistema. En un sistema de refuerzo sonoro, duplicar la distancia entre bocina y micrófono reducirá el riesgo de efecto *Larsen* en 6dB.

Por otro lado, reducir la distancia entre la fuente sonora y el micrófono tiene también sus ventajas: reduce la posibilidad de *feedback* en espacios potenciales a éste, en áreas con mucho ruido (grupos de rock) o donde el intérprete utiliza la distancia para crear efectos varios en el sonido resultante.

Es recomendable una buena distancia entre micrófono y charlista al ser utilizados en mesas de discusión o en podios, donde se desea libertad de movimiento sin que exista un cambio radical en el nivel de presión sonora.

La distancia también tiene un efecto sobre el sonido del micrófono, principalmente en el de tipo cardioide. Conforme la distancia decrece, el efecto de proximidad incrementa, creando un sonido grave. El acercarse a un micrófono demasiado también trae como consecuencia que se escuche el ruido de la respiración y se hagan más evidentes las consonantes impulsivas, en inglés esto se conoce como *pop noise*.

El sonido, como la luz, no traspasa tal cual objetos sólidos o acústicamente *opacos*. Sin embargo, lo hará a través de objetos con determinada densidad. La pérdida de transmisión o la habilidad del sonido de traspasar dicho material es dependiente de la frecuencia. De modo que, el colocar un objeto de esta naturaleza entre la fuente sonora y el micrófono atenuará el sonido de acuerdo a las características de transmisión del objeto. Es por ello que se recomienda ampliamente el uso de una *maskarilla*, mejor conocida en el medio como *windscreen*, para evitar ruidos de respiración o el molesto *pop noise* (debido a consonantes implosivas). Esto mejorará el sonido considerablemente para cuando los charlistas tienen el hábito de golpear el micrófono o de acercarse demasiado a él. Además, esto reducirá el riesgo de excursiones excesivas en el cono del altavoz.

²⁷ Actualmente los existentes son de tipo VHF, se sugiere que se cambie a sistemas UHF si se presentan problemas de recepción. También es bueno recordar que los micrófonos de solapa tienen un tiempo de vida útil limitado, donde lo primero que sufre es el ancho de banda de audio frecuencias percibido.

²⁸ No enlistadas aquí, pero se recomiendan también para instrumentos *eléctricos* (sintetizadores, guitarras o bajos eléctricos) el uso de *cajas directas* que consisten en transformadores de línea que ajustan la impedancia entre el instrumento y la consola para trabajar adecuadamente.

4.7.4.2 Colocación "por arriba"

El colocar el micrófono por arriba o por un lado de una fuente direccional de sonido (tal como un corno, o una trompeta) hará que la respuesta en frecuencia sea percibida en menor presión sonora para el rango de frecuencias altas, debido a que éstas son más direccionales que las frecuencias graves, y éstas últimas tendrán mayor nivel de presión sonora sobre el micrófono. Para que las pérdidas sean menores se recomienda el uso de micrófonos de condensador —debido a una mayor sensibilidad que los micrófonos dinámicos colocados a la misma distancia.²⁹

4.7.4.3 En el campo reverberante

Al utilizar micrófonos en el campo reverberante se captará mucho más sonido del recinto en sí, que del sonido directo. Cuando se lleva a cabo este tipo de técnica, y lo que se desea es captar el sonido *ambiental*, solamente se necesitan dos micrófonos para la percepción del efecto estéreo ya que será imposible el aislamiento de las fuentes por separado. No se recomienda de ninguna manera que estos micrófonos formen parte del sonido que se reproduce a través de las bocinas, ya que el riesgo de efecto Larsen es muy alto.

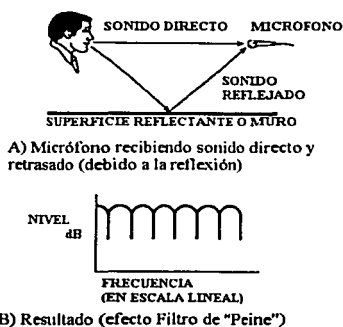
4.7.4.4 Cancelaciones

Las técnicas de microfonía también se rigen bajo los efectos de las características físicas del sonido, y esto se debe recordar siempre.

Muchas veces por falta de conocimiento los seres humanos tendemos a copiar técnicas sin conocer la causa justificada o el modo de operación de éstas. Y por alguna razón, la imagen visual nos suele engañar. En específico, algo que se ve *bien* es la microfonía de una misma fuente con dos o más micrófonos. Es probable que se haya visto esto en algún evento ajeno al nuestro y se opte por seguir la misma "técnica", pero en muchas ocasiones se hace sin saber la historia detrás.

La razón técnica de este procedimiento de microfoneo, colocando dos micrófonos en lados opuestos del podium y en dirección al charlista, es con propósitos exclusivos de redundancia, y en este caso solamente uno de los micrófonos debe estar encendido a la vez. Si ambos están encendidos, el arreglo causa severos problemas de cancelación, debido a su ubicación (por lo general separados 15 a 30cm. entre sí) por desfase de tiempo en la llegada de la señal. Puede causar problemas de *ringing* o incluso de *feedback* debido a que la *respuesta de frecuencia* natural ha sido alterada por efecto de filtro de peine.

De modo que lo recomendable es colocar un solo micrófono para el charlista y utilizar todo su potencial. La calidad del sonido captado para sistemas monoaurales no se ve expuesta a los mencionados riesgos y la dinámica del nivel de presión sonora es modificada en la etapa de salida del canal (*fader*)



Cancelación común debida a superficies reflectantes cercanas al micrófono, generando dos señales de la misma fuente llegando a distinto tiempo.

Fig. 4-28

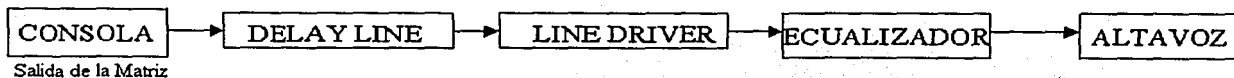
²⁹ "Handbook for Sound Engineers" Pág. 474

4.7.5 Diagramas de conexión del sistema

El diagrama que a continuación se presenta es considerando el siguiente equipo en el procesamiento de la señal de audio:

- Una consola de buena calidad que cuente con salidas matriciales. Esto se hace indispensable si se pretende utilizar el sistema para eventos de diversa índole, y poder diversificar las salidas de señal a más de dos canales (Mezcladora con salidas “Estéreo”) Es importante que se considere también la existencia de cuando menos 4 salidas auxiliares con el fin de poder mandar la señal a sistemas de grabación, de video, de distribución o a prensa. No olvidemos tampoco la importancia de poder hacer una mezcla separada (a través del sistema auxiliar) para los monitores en el escenario.³⁰
- Un equipo para retraso de tiempo *–delay line*. Este es una parte fundamental de la interacción entre bocinas. Si existe un retraso de tiempo en el sonido que se emite por dos bocinas que llegan a un escucha, éste percibirá cancelaciones por filtro de *peine*. Este es, para el caso del auditorio “Javier Barros Sierra” el fenómeno que probablemente ocurra para la cuarta fila de platea debido a que se encuentra, en este diseño, en el punto máximo de interacción entre los altavoces principales y el *frontfill*. Su ajuste se lleva a cabo con la instalación completa del sistema.
 - Se recomienda también tener canales de retraso por cada monitor utilizado en el escenario. Para el intérprete musical, un retraso de 25ms es muy adecuado para que se sienta apoyado por el nivel de referencia. Esta técnica permite reducir el nivel de presión sonora del monitor en 6dB contra la ausencia de este retraso.
- En cuanto al equipo de ecualización, se recomienda que existan tantos canales de ecualización como bocinas (o clusters) existan en el recinto. En el caso del sistema propuesto, significaría utilizar como mínimo, tres ecualizadores paramétricos de dos canales cada uno (si se pretende ecualizar el *frontfill* como canales izquierdo, central y derecho; y no como bocinas independientes, ello es viable en este caso). Una vez que se fija la ecualización en el sistema NO se deben modificar los parámetros ajustados, a menos que haya cambiado la ubicación de alguno(s) de los altavoces. Hacer esto implica un cambio completo en la respuesta de la sala, ya que se modifica la interacción entre ellos.
 - En caso de que se llegase a instalar un sistema *surround*, se hace necesario un canal de ecualización por cada lado de la sala.
 - Para *subwoofers* se requeriría un ecualizador gráfico independiente (En algunos casos existen en el mercado ecualizadores exclusivamente para bajas frecuencias)
 - Para el uso de monitores se recomienda un ecualizador gráfico por cada canal utilizado porque permite cambios rápidos sobre la curva de respuesta. Por lo general la función de estos es atenuar ciertas frecuencias con el propósito de eliminar posible *feedback* ya que la intención del uso del monitor es como una referencia al intérprete musical. Otra opción para este caso es el uso de un ecualizador y reductor de *feedback* de tipo digital.
- Un *line driver* es importante en este sistema cuando se utilizan bocinas autoamplificadas. Su función es fijar los niveles de presión sonora durante el ajuste del sistema para la sala. El resto de las modificaciones de nivel dependerán exclusivamente de los llevados a cabo en la consola. Una vez ajustado el *line driver* no debe ser operado por los técnicos de rutina.

Diagrama de Conexiones



³⁰ El proveedor del equipo debe ofrecer un entrenamiento a los técnicos que utilizarán el sistema. Para ahondar más en el tema de consolas de sonido consúltese la revista Sound:Check de Abril y Mayo 2002

Capítulo Quinto
Mantenimiento y Calidad de Servicio

5.1 Mantenimiento de materiales

Pensar en cortinas, butacas, o paredes que requieran mantenimiento, ocurre únicamente cuando existen grietas, rasgaduras o fallas en el material. Lo cierto es que, un mantenimiento preventivo, -y uno correctivo a tiempo-, puede extender la vida útil de estos elementos.

Las butacas por ejemplo, sufren desgaste del material del que están fabricadas en función del uso que se les dé, del vandalismo que puedan llegar a sufrir e incluso por falta de limpieza. Los primeros dos factores son muchas veces inevitables, y se tiene que actuar corrigiendo el problema. Sin embargo, el tercer factor significa un mantenimiento de tipo preventivo.

Todo material que forme parte del recinto, debe saberse cómo cuidarlo para preservar el espacio, primordialmente, por cuestión estética. Sin embargo, un asiento acolchonado que nunca recibe el paso de una aspiradora puede, a la larga debido al polvo acumulado, ser la causa de problemas en los sistemas electrónicos.¹ Lo mismo puede ocurrir en el caso de tener materiales porosos como recubrimientos en las paredes o de no dar un mantenimiento de limpieza a las cortinas.

El sistema de ventilación de todo recinto debe ser limpiado ocasionalmente, para evitar que se vuelva una fuente generadora de polvo.

5.2 Mantenimiento de equipo

El mantenimiento preventivo de equipo electrónico, así como de las conexiones y el cableado forman una de las piezas clave en el éxito de cualquier evento que utilice estos sistemas.

El polvo, la humedad o una inestabilidad eléctrica en el sistema, son factores que provocan fallas en equipo electrónico de cualquier tipo.

Una consola de sonido puede contener más de 80,000 dispositivos en su interior. Asegurar, por parte del fabricante que no existan fallas no es tan fácil, pero garantizar que la falla no ocurrió por un mal trato al equipo, sí corre por cuenta del usuario.

Es por ello que se recomiendan hábitos elementales en el cuidado del equipo, tales como cubrirlo cuando no esté en uso, limpiarlo con una compresora de aire de dos a tres veces por mes², y asegurarse que existe un sistema de encendido y apagado correcto.

Este es un elemento básico en el cuidado de equipo y he aquí el orden adecuado:

Encendido

1. Se inicia con la consola,
2. Equipo periférico —Ecuilibradores, retrasadores de señal, reproductores de discos compactos, etc.
3. Por último los amplificadores.³

Apagado

1. Amplificadores
2. Equipo periférico
3. Consola

La razón de ello es muy sencilla. La salida última de un sistema de refuerzo sonoro es la bocina. Lo que entre a ella, eléctricamente hablando, será transformado en un movimiento de excursión del cono. En otras palabras, la bocina es un transductor de una señal eléctrica en una mecánica y su efecto es la transmisión de esta energía al aire, escuchándose como sonido.

El equipo antes del amplificador lleva señales de electricidad pequeñas, sin embargo, el encendido —o apagado- de cualquier aparato generará un pico de corriente que se disipará por el sistema o tratará de escapar

¹ El polvo se levanta al paso por la alfombra, al sentarse en una butaca polvorienta y la mayoría de las veces, esto no se ve.

² No se recomienda el uso de una aspiradora puesto que puede succionar los elementos móviles de la superficies del equipo, como las perillas en el caso de las consolas.

³ En el caso de sistemas autoamplificados, los altavoces.

por su salida. Todos los equipos previos al amplificador tienen una salida, la cual termina en el amplificador. Entonces, el pico de corriente será además, amplificado y dirigido a las bocinas, escuchándose un tremendo tronido.

La razón por la que no se deben hacer conexiones con equipo encendido -o con el volumen *arriba*, según sea el caso⁴- es prácticamente la misma. Para este caso la explicación es que, siempre hay energía eléctrica circulando en el sistema. En el momento en el que se lleva a cabo la conexión, dicha energía se conduce directamente hacia el amplificador y luego a las bocinas. Es decir, la conexión y desconexión de cables hace las veces de *interruptor*.

Mantener el hábito de no encender y apagar el equipo adecuadamente podría llegar a dañar el cono de algún altavoz.

Existen en el mercado dispositivos de encendido y apagado a pasos. Este tipo de equipos resultan ser una excelente herramienta en el cuidado del equipo de refuerzo sonoro.

El cableado suele sufrir fallas por manejo. Todo cable tiene una forma particular de embobinado. Uno eléctrico, de dos o tres polos, por lo general es bastante resistente al trato y no existe forma particular para ser embobinado. Sin embargo, esto no ocurre con el cableado para microfonía. Interiormente el cable es bastante delgado (calibre 19AWG) la forma en la que es enrollado NO debe ser con el brazo, ya que esto lo puede dañar internamente y pueden ocurrir fallas en cualquier momento. El movimiento no es tan fácil de describir por escrito, sin embargo, se toma un tramo de cable y se le da una vuelta *normal*, para el siguiente movimiento, la vuelta va *invertida*.

Esto además de ser benéfico en el cuidado de los cables, es muy útil en el tendido, ya que se desenrolla de manera *natural*.

Otro de los problemas que suele ocurrir con el cableado es en las soldaduras. Un conductor soldado en frío puede perder unión. Lo apropiado es calentar el conductor primero y luego agregar la soldadura.

Por último al respecto, también hay que saber elegir el tipo de conector a comprar. Lo barato cuesta caro y es en este punto donde lo paga un técnico. Al tratar de conectar un micrófono, puede ser que el casquillo esté mal diseñado pudiendo llegar a romperse en el interior o simplemente no haciendo el contacto adecuado.

5.3 El cuidado a la gente

En cuanto a sonido se refiere, es muy importante cuidar de los oídos de los escuchas, se trate de la gente que labora en el recinto o del público mismo.

En ocasiones por diversas razones, los altavoces principales llegan a ser colocados a la altura de los oídos de la gente. Este es un riesgo a la salud para aquellos cercanos a dicha fuente sonora. Recordemos que el nivel de presión sonora (en campo libre) decrece por la mitad cada vez que se duplica la distancia de la fuente emisora. Es probable que desde el punto de operación del equipo, el sonido no se escuche muy fuerte, pero para alguien a un metro de distancia de la bocina, puede haber un daño severo a su sentido del oído.

Existen en el mercado postes de elevación y sujeción para todo tipo de bocinas, y se recomienda que sean colocadas a un nivel superior a las cabezas del público, por lo general 2.5 metros es una altura adecuada.

El sistema de *front fill* (bocinas distribuidas a lo largo del delantal) debe ser pre-ajustado tomando en consideración la cercanía que tiene de los oídos del público. Los niveles de presión sonora de estos altavoces son operados por lo general muy bajos ya que su función es cubrir exclusivamente las primeras filas de asientos. Estos sistemas no deben representar un riesgo a la salud.

Otros riesgos a la salud ocurren al permitir que ocurra el fenómeno de *feedback* sin operar rápidamente contra él. Debido a que este sonido suele corresponder a una señal de frecuencia única que tiende a incrementar

⁴ La conexión y desconexión de cables de micrófono se debe hacer con el volumen del canal hasta abajo, no se recomienda hacer conexiones con el volumen del canal arriba.

su nivel de presión rápidamente, puede ocasionar daños irreparables a los oídos de quien este relativamente cerca de la fuente sonora, a sólo unos instantes de la reproducción del fenómeno.

Para evitar el *feedback* se sugiere una preparación previa del sistema completo, con el mínimo de gente en la sala (de preferencia únicamente el operador del equipo de sonido), haciendo pruebas para determinar el rango máximo por micrófono y atenuando las frecuencias problema en el ecualizador del sistema correspondiente. Si se trata de un micrófono en específico, entonces se puede proceder sobre el ecualizador del canal correspondiente con un ancho de banda angosto para no afectar el resto de la respuesta en frecuencia que será captada por dicho transductor.

5.4 El éxito de un evento

Un evento para el público debe ser prácticamente perfecto y sin falla alguna. Es importante tomar en consideración que la única falla que deba existir es por anomalía en un equipo y no por un error o una falta de atención humana.

Sin importar el tipo de evento del que se trate, la estructura de trabajo de la gente debe funcionar como un engranaje de reloj que no falla nunca. Si una pieza no embona correctamente, el resto del sistema dejará de operar.

No es de extrañarse la existencia de la gran cantidad de personal que respalda una producción teatral, por ejemplo. La planeación ocurre hasta con años de anticipación, desde la elección del personal tras bambalinas, hasta las representaciones de preestreno son llevadas a cabo con la intención de mostrar la mejor calidad para que el éxito sea constante una vez iniciada la temporada abierta al público.

Un productor, un director, un jefe de piso, un encargado de logística, un supervisor técnico, encargados de departamento, etc, cumplen con roles muy específicos donde su misión final es poder apoyar apropiadamente el trabajo de los demás. La mayoría de los eventos funcionan adecuadamente en torno a un buen equipo de logística.

La programación de un evento se debe llevar a cabo con mucha precisión. Un evento sin programa es para el equipo técnico como conducir un auto en una ciudad desconocida sin mapa alguno: O se pregunta en cada esquina "¿Ahora para dónde?" O se acaba dando vueltas y vueltas sin dar con la dirección destino.

No importa el tipo de evento, si es lineal o no, si se repite una vez por semana u ocurre cada mes; siempre debe haber un programa por escrito que establezca el horario de trabajo y las particularidades a lo largo de éste. La mayoría de las fallas que suelen presenciarse en un evento se deben principalmente a la falta de un papel que indique cual es la orden del día.

Las necesidades de cada departamento dependen del productor y deben ser satisfechas adecuadamente para poder tener éxito.

La mayoría de los departamentos técnicos requieren tiempo de preparación de la sala y en ocasiones ensayos con el material con el que se va a trabajar, -efectos de sonido, efectos de iluminación, pistas, diapositivas, cronómetros, vasos de agua, etc.

En ocasiones será necesaria la asistencia de la gente que va a participar en el evento para poder llevar a cabo pruebas:

- De sonido: Ecualización por canal, evitar posible *feedback*, colocación de microfónica inalámbrica.
- De iluminación, mucha intensidad de luz puede ser molesta para el charlista o el intérprete.
- De maquillaje, si se pretende grabar video o transmitir por televisión.

La sala debe estar lista para recibir al público cuando menos media hora antes de la hora fijada para el evento. Si por algún motivo empezara tarde, que no sea por razones técnicas.

En cuanto al equipo técnico de audio, se recomienda que se solicite toda la información necesaria para cubrir las necesidades del evento:

- Número de micrófonos
- Ubicación
- Número de monitores en el escenario
- Pistas musicales o de efectos
- Sonido proveniente de la computadora
- Microfonía inalámbrica

Esta información es muy importante para preparar la sala con el tiempo suficiente para estar listos previo a la llegada del intérprete o de los charlistas que asisten a la sala a prepararse para el evento previo a la apertura al público.

Se recomienda que:

- Exista una identificación coherente en todas las terminales de entradas o conectores. Ya sea con el uso de etiquetas o de sello y,
- Se escriba una lista de relación entre conexiones y micrófono utilizado, en caso de falla, se podrá detectar de manera mucho más fácil a la ausencia de ésta.

Formar esta disciplina facilitará el trabajo a los demás en caso de que por algún motivo el técnico a cargo no pueda atender el evento, la información existe por escrito y orientará al técnico suplente.

Todas las conexiones y pruebas de sonido deben hacerse previas a la entrada de público. La gente que atiende un evento debe ser tratada como el debido respecto que merece. Independientemente de que se cobre la entrada o no y si hay remuneración del personal o no. Todo evento debe llevarse a cabo con la mejor calidad e interés en el mismo para que pueda decirse que se tuvo éxito.

Conclusions

F a l t a

P á g i n a

1 | 7 | 5 |

Acústica

A lo largo de la existencia del hombre en este mundo, la edificación de construcciones se ha visto afectada por las necesidades con las que debe cumplir y por su percepción estética. Actualmente, la obra arquitectónica se ve afectada por un par de limitantes. Por un lado, el establecimiento de cuadros de tiempo para la elaboración de un proyecto desde su etapa de concepción hasta el momento de entrega al cliente. Y por otro, las limitaciones económicas para la creación de nuevos proyectos.

Estos márgenes han generado, en muchas obras, la omisión de ciertos detalles que en ocasiones han degradado la calidad óptima del edificio. En otros casos, la geometría del espacio ha *solucionado* los problemas aparentes de dichas construcciones y les ha permitido expresar la estética en todos sus aspectos.

El auditorio "Javier Barros Sierra" fue concebido en la segunda mitad de la década de los 1940's. Las investigaciones en materia de acústica de esa época mostraban grandes éxitos en algunos recintos a nivel internacional, mientras que otros representaban un fracaso.

El diseño de nuestro auditorio no entró en ninguno de los dos extremos. Se construyó bajo un concepto clásico de abanico trapezoidal para ofrecer a los asistentes un espacio para su sano esparcimiento. Es probable que en un principio se haya pensado como un sitio para la representación de música clásica primordialmente.

A través de los años, el auditorio ha presentado eventos de diversa índole que lo han hecho convertirse en un espacio de uso multifuncional. Es en este aspecto donde la acústica del espacio quizá ya no resulte adecuada para albergar los diversos tipos de eventos que aquí se presentan.

El auditorio "Javier Barros Sierra" cuenta con una buena difusión del sonido debido a la geometría del espacio, sin embargo cuenta con un tiempo de reverberación relativamente alto para eventos destinados a la palabra. Debido a esto último, se hace necesario un análisis acústico del recinto para observar las posibilidades de un mejoramiento en su acústica y encontrar cómo reducir su tiempo de reverberación. Este hecho fue comprobado a través del análisis del auditorio a través de los métodos de cálculo, de predicción y de medición en sitio a lo largo del Capítulo 2.

Los tres métodos de análisis utilizados para esta tesis mostraron en sus resultados un tiempo de reverberación medio, para la sala vacía, cercano a los 1.85 segundos –un tiempo adecuado para la música, pero muy alto para la voz. Dichos métodos también presentaron similitudes en otras características relativas a este parámetro.

Aunque el tiempo de reverberación sea un buen punto de partida para determinar las características acústicas elementales de una sala, no es el único parámetro a tomar en consideración. Es, con respecto a esta situación que se hace difícil determinar *cuál de los tres métodos ofrece el valor correcto para estos parámetros*.

Ante este dilema, no se puede formar una decisión final para decir que uno de los métodos es el adecuado y que los otros dos no lo son. La razón es sencilla, todo método de análisis presenta ventajas y desventajas con respecto a los demás. Lo importante es reconocer cuáles son las variables que hacen que de un método mejor, en aspectos que los otros dos no presentan.

Se puede decir entonces que:

- El método matemático es adecuado si se pretenden obtener resultados rápidos, pero que no garantizan la precisión del resultado obtenido debido a la omisión de muchas variables.
- El método de análisis en sitio resulta ventajoso en tomar oportunidad de todas las variables existentes, ya que el recinto las está proporcionando tal como son; sin embargo, debe tenerse en cuenta los posibles errores que puedan ocurrir debido al ruido interno de los equipos utilizados con este fin.
- El análisis en modelo virtual del recinto presenta la gran ventaja de predecir cambios necesarios en su arquitectura, ofreciendo un resultado cercano al que se espera en la concepción de realizar modificaciones. La desventaja que tiene es la necesidad de tiempo para la creación del modelo virtual lo más parecido al espacio existente.

En virtud de lo anterior, se concluye que resultados obtenidos por el método de análisis en sitio pueden ser considerados los valores referenciales para determinar los posibles rangos de error existentes con respecto a otros métodos de análisis.

También se concluye que el método de análisis en modelo virtual resulta una gran herramienta para el planteamiento de posibles modificaciones para el mejoramiento de la acústica del recinto y concebir una idea previa al posible resultado esperado.

Bajo el método de predicción se observó que, cambiando el tipo de asientos en el área de público, elevando la altura del escenario y colocando cortinas en las paredes de éste, se reduce el tiempo de reverberación de la sala, disminuye la diferencia acústica entre sala vacía y sala ocupada y mejora la inteligibilidad de la palabra. Este análisis se puede comprobar en el Capítulo 3.

Audio

Los sistemas de refuerzo sonoro parecen formar parte de toda sala destinada a eventos al público, y en ocasiones han auxiliado en las limitaciones arquitectónicas del recinto. Sin embargo, dichos sistemas se han visto ubicados en ciertas partes de la sala de modo que no se afecte la visual del espacio y esto no ha permitido el desempeño óptimo que el sistema pueda ofrecer. Se hace importante conocer las funciones que dichos sistemas han de brindar y verlas como lo que son, sistemas de amplificación que reforzarán el sonido natural que no puede llegar de manera uniforme a todos los escuchas.

La operación de estos equipos también se hace indispensable dentro de la sala en la que ocurre el evento, para que de este modo se obtenga la máxima calidad de amplificación sonora.

Del análisis llevado a cabo en el auditorio "Javier Barros Sierra" se concluye que la ubicación actual de las bocinas y ubicación la consola de control merman la calidad del sonido reproducido por el sistema.

Para el mejoramiento del sistema, se hacen necesarias las siguientes consideraciones, que son planteadas en el apartado 4.7 (incluyendo todos los sub-apartados) :

- Reubicación la cabina de control de audio.
- Nuevo posicionamiento y ubicación de los altavoces.
- Ampliación en el conocimiento de los temas relacionados con el sonido por parte de los operadores del equipo, ya que esto forma una parte fundamental en el desempeño óptimo de los eventos desarrollados.

Autocrítica de la tesis

La mayor parte de las investigaciones en las áreas de Acústica y Audio se desarrollaron desde sus inicios principalmente en Europa y Estados Unidos de Norteamérica. Las asociaciones internacionales relacionadas a estas disciplinas son encabezadas principalmente por investigadores de otras lenguas diferentes al castellano.

Contados son los libros existentes en nuestro idioma con relación a estos temas. Incluso, nuestras bibliotecas cuentan con un número muy limitado de ellos en este tipo de investigaciones, aún en otros idiomas.

Con el surgimiento de la red internacional (Internet), se han desarrollado portales con más información en español, pero aún así algo reducida requiriendo, por parte nuestra, horas exhaustivas de navegación.

El acceso a este tipo de información se ve limitado entonces a aquellos deseosos de estudiar éstas disciplinas, con la capacidad de entender otras lenguas y con el acceso a sistemas de cómputo.

La gran mayoría de la gente que habita en nuestro país no cuenta con estos accesos, incluso aquellos que laboran en eventos que utilizan sistemas de refuerzo sonoro. Su educación en materia de audio ha sido netamente de carácter práctico.

La elaboración de esta tesis fue pensada en aquellos que desean involucrarse en el aprendizaje de estos temas y que no han tenido las oportunidades de acceso al conocimiento que otros han tenido.

Hubo partes donde se hizo indispensable hablar en un lenguaje coloquial para poder unir un tema con otro y no perder la atención por parte del lector. En ocasiones se hace necesario el uso de analogías con la vida diaria para facilitar la comprensión de los temas.

Se contó con equipo de excelente calidad para el análisis en sitio y el micrófono Beyer Dynamic MC801 respondió bastante bien debido a su cápsula omnidireccional de gradiente de presión. Fue el elemento que se pudo conseguir y que, sino es precisamente un micrófono diseñado exclusivamente para este tipo de pruebas, sí cumplió con su cometido.

De haber contado con un dodecaedro de bocinas, habría emulado una fuente omnidireccional de sonido al centro del escenario y se habrían podido identificar los parámetros para recintos destinados a la música. Este proyecto queda abierto para quien así lo desee investigar, ya que es probable que se obtengan resultados muy interesantes.

En lo que respecta al análisis del auditorio, se hubiera deseado tratar los parámetros acústicos con mayor detalle y claridad en el tema. Lo cierto es que, para este autor, el aprendizaje de los temas relacionados con la Acústica provino de los libros de estudio para esta tesis y la elaboración del análisis mismo. Reconoce que esta es una mínima parte de lo que existe en esta disciplina y su intención es continuar expandiendo la comprensión de los temas expuestos. Haber elaborado esta tesis resultó ser una gran experiencia, ya que se convirtió en una enseñanza práctica.

Resumen de aspectos analizados y propuestas para un mejoramiento de la calidad sonora del auditorio

RETOS	REFERENCIA	SUGERENCIAS ÓPTIMAS	REF
Tiempo de reverberación largo (1.85 seg)	Capítulo 2 Apartados 2.5.1 y 2.6	-Cambio de asientos de madera en el área de público por butacas totalmente acolchonadas -Colocación de una cortina móvil sobre la pared del escenario para ofrecer una disminución en el tiempo de reverberación para eventos de cine, principalmente.	Capítulo 3 Apartados 3.2.2 y 3.3
Sensación de <i>lejania</i> acústica y visual del público con el actor o charlista en el escenario.		-Elevación del escenario a 1.2 m sobre el nivel del suelo (0.73m sobre el nivel actual) (Esto también reduce ligeramente el tiempo de reverberación en función del volumen total de la sala)	Capítulo 3 Apartado 3.3
Ruido no deseado	Capítulo 2 Apartado	-Cambio en el tipo de puertas de entrada existentes por puertas de tambor de alta densidad. -Revisión del sistema de ventilación -Replanteamiento del sistema de iluminación -Revisión del sistema hidráulico	Capítulo 3 Apartado 3.2.1 Subapartado. 3.2.1.1 3.2.1.2 3.2.1.3 3.2.1.4

RETOS	REFERENCIA	SUGERENCIAS ÓPTIMAS	REFERENCIA
Ancho de banda limitado en los altavoces actualmente instalados	Capítulo 2 Apartado 2.4.2.4	-Reparación del equipo, si continua teniendo vida útil o cambio por otro tipo de sistemas.	Capítulo 4 Apartado 4.7.3
Existencia de filtrado de <i>peine</i>	Capítulo 2 Apartado 2.4.2.4	-Cambio de orientación en las bocinas para evitar "fuego cruzado" (<i>split crossfire</i>) -Utilización de un solo micrófono por charlista o por instrumento. (Evitar el uso de dos micrófonos encendidos al mismo tiempo para una sola fuente natural de sonido en sistemas monoaurales)	Capítulo 4 Apartados 4.5.2.3 4.7.3 y 4.7.4.4
Cobertura no uniforme de sonido sobre el público	Capítulo 2 Apartado 2.4.2.4	-Ubicación de sistema autoamplificado de altavoces en "arreglo separado de punto de origen" (<i>split point source</i>) e instalación de <i>front fill</i> con bocinas discretas distribuidas a lo largo del delantal elevado del escenario.	Capítulo 4 Apartado 4.7.3
Desempeño y mejoramiento en la calidad de audio durante los eventos	Capítulo 4	-Ubicación del equipo de control de audio dentro de la sala, al centro, ocupando las últimas butacas de la luneta. -Ampliación de conocimientos con relación al sonido por parte de los técnicos.	Capítulo 4 Apartado 4.7.2 Capítulos 1, 4 y 5
Mejoramiento de la calidad general de los eventos	Capítulo 5	-Desarrollo en la coordinación de producción de eventos	Capítulo 5 Apartado 5.4

Anexo 1

Tablas de fórmulas matemáticas respectivas a los parámetros acústicos y de audio:

PARÁMETRO ACÚSTICO	FÓRMULA MATEMÁTICA	DESCRIPCIÓN DE CARACTERES
T₆₀ SABINE EN COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DEBIDO AL AIRE	$RT = \frac{0.161V}{\sum_i \alpha_i S_i + 4mV} \text{ (s)}$	V = Volumen del recinto α_i = coeficiente de absorción del material <i>i</i> S_i = área de la superficie <i>i</i> (m ²) m = constante de atenuación del sonido en el aire (m ⁻¹)
T_{mid}	$RT_{mid} = \frac{RT(500Hz) + RT(1000Hz)}{2}$	
%ALCons $\leq 3.16Dc$ en el caso del auditorio r (medido) = 4.85m y la bocina Senelec 1029A	$\%ALCons = \frac{200r^2 RT^2}{VQ} \text{ (%)}$	r = distancia entre el emisor y el receptor (m) RT = Tiempo de reverberación (s) V = Volumen Q = Factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada (Q=2 en el caso de la voz humana en dirección frontal)
Claridad de la voz (C₅₀) por definición	$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_{0.05}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ (dB)}$	p(t) = presión sonora instantánea
Claridad teórica debida a Barron (C₅₀)	$C_{50} = 10 \log \left(e^{\frac{0.691}{RT}} - 1 + \frac{Ve^{\frac{0.04r+0.691}{RT}}}{312RT r^2} \right) \text{ (dB)}$	r = distancia entre el emisor y el receptor (m) RT = Tiempo de reverberación (s) V = Volumen
C₅₀ mid	$C_{50} = 0.15C_{50}(500Hz) + 0.25C_{50}(1kHz) + 0.35C_{50}(2kHz) + 0.25C_{50}(4kHz)$	Suma ponderada
D por definición	$D = \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_{0.05}^{\infty} p^2(t) dt} \times 100 \text{ (%)}$	p(t) = presión sonora instantánea
D definición a partir de C ₅₀	$D = \frac{1}{1 + 10^{\frac{C_{50}}{10}}}$	
Speech sound level (S)	$S = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_A^2(t) dt} \text{ (dB)}$	p(t) = presión sonora instantánea p _A (t) = presión sonora de referencia
Relación de primeras reflexiones (ERR)	$ERR = \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\text{Energía del sonido directo}}$	p(t) = presión sonora instantánea

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

PARÁMETRO ACÚSTICO	FÓRMULA MATEMÁTICA	DESCRIPCIÓN DE CARACTERES
Claridad musical (C_{80})	$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}{\int_{0.08}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ (dB)}$	$p(t)$ = presión sonora instantánea
C_{80} Teórica debida a Barron	$C_{80} = 10 \log \left(e^{\frac{1.1056}{RT}} - 1 + \frac{V e^{\frac{0.04r+1.1056}{RT}}}{312RT r^2} \right)$	r = distancia entre el emisor y el receptor (m) RT = Tiempo de reverberación (s) V = Volumen
C_{80} (mid)	$C_{80} = \frac{C_{80}(500\text{Hz}) + C_{80}(1\text{kHz}) + C_{80}(2\text{kHz})}{3}$	
Sonoridad de reverberación (R)	$R = \frac{\int_0^{0.4} p^2(t) dt}{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}$	$p(t)$ = presión sonora instantánea
Calidez acústica (BR)	$BR = \frac{RT(125\text{Hz}) + RT(250\text{Hz})}{RT(500\text{Hz}) + RT(1\text{kHz})}$	
Brillo (Br)	$Br = \frac{RT(2\text{kHz}) + RT(4\text{kHz})}{RT(500\text{Hz}) + RT(1\text{kHz})}$	
Strength(G)	$G = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_A^2(t) dt} \text{ (dB)}$	$p(t)$ = presión sonora instantánea $p_A(t)$ = presión sonora de referencia
RECC (Curva de energía acumulada reflejada)	$RECC(t) = \int_{0.005}^t p^2(t) dt$	$p(t)$ = presión sonora instantánea
LF (o LEF) Energía lateral	$EF = \frac{\int_0^{0.08} p^2(t) \cos^2 \Theta dt}{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}$	$p(t)$ = presión sonora instantánea

PARÁMETRO DE AUDIO	FÓRMULA MATEMÁTICA	DESCRIPCIÓN DE CARACTERES
Atenuación conforme a la distancia	$L_p' = L_p - 20 \log \frac{D'}{D} + 10 \log \frac{g(D')}{g(D)}$	D= La distancia original entre fuente y emisor D'=La nueva distancia a la fuente L _p = El nivel de presión sonora en el punto D L _p ' = El nuevo nivel de presión sonora a la distancia D' g(x)=Dc ² +x ² x = La distancia en uso Dc= Distancia crítica
AG	$PAG = 20 \log \frac{D_0 D_1}{D_s D_2} - 10 \log NOM$ $+ 10 \log \frac{g(D_0)g(D_1)}{g(D_s)g(D_2)}$	D ₀ = Distancia de la fuente al escucha más lejano D _s = Distancia de la fuente al micrófono D ₁ = Distancia del micrófono al altavoz D ₂ = Distancia del altavoz al escucha más lejano
SM	FSM=PAG-6dB	
NR	$SNR = \frac{L_p}{SPL_{ruido}}$	L _p = El nivel de presión sonora en el punto D SPL _{ruido} = Nivel del ruido de fondo
AD	$EAD = D_s 10^{\frac{L_{PT} - L_{PD}}{20}}$	D _s =Distancia <i>natural</i> de habla entre emisor y receptor L _{PT} =Nivel de presión sonora en función de D _s a partir de las tablas de Don y Carolyn Davis L _{PD} = Nivel de ruido de fondo+25dB SNR
NAG	$NAG = 20 \log \frac{D_0}{EAD} - 10 \log \frac{g(D_0)}{g(EAD)}$	D ₀ = Distancia de la fuente al escucha más lejano
PR	$EPR = 10^{\left(\frac{L_p + H - L_{sens} + 20 \log(D) - 10 \log \left(\frac{D_c^2 + D^2}{D_c^2 + 1} \right)}{10} \right)}$ (en Watts)	L _p = la presión sonora requerida para el escucha más alejado, H = el nivel de <i>headroom</i> deseado, L _{SENS} = la sensibilidad de la bocina D = la distancia entre la fuente y el escucha más alejado Dc = la distancia crítica
Q	$Q = 10^{\frac{DI}{10}}$	DI= Índice de directividad del altavoz (dB)
Dc	$Dc = 0.141 \sqrt{\frac{Q \sum \alpha_i S_i}{N}}$	α _i = coeficiente de absorción del material <i>i</i> S _i = área de la superficie <i>i</i> (m ²) N= número de altavoces produciendo la misma potencia acústica que la bocina apuntando al escucha más lejano
Ancho de banda útil (BW)	$L_p(f_{L1}) = L_p(f_{L2}) = L_p(1kHz) - 10dB$	L _p = Nivel de presión sonora en función de f _{L1} =frecuencia límite inferior f _{L2} =frecuencia límite superior

**TECIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Anexo 2

ETF

What You Can Do With ETF

- gated LF room resonance
- low frequency measurements
- optimize speaker position and angles
 - fractional octave measurements, sequential data acquisition
- check time delays in each channel to 0.03 ms accuracy
 - mic/speaker distance
- measure phase response of loudspeakers
 - phase response
- measure CSD decay plots of loudspeakers
 - CSD plots
- check polarity of measured channel
 - impulse response
- gated fractional octave measurements: 1/2, 1/3, 1/4, 1/6, 1/8, 1/10, 1/12 oct.
 - fractional octave
- sequential data acquisition "RTA" type measurements
 - Sequential Data Acquisition
- impulse response
 - impulse response
- gated linear frequency response
 - linear frequency response
- ETC curves
 - energy time curves
- Reverberation time
 - RT/60
- Relative channel level balance
 - SPL Calibration
- Graphic Overlays
 - Overlays
- Average Files
 - File Averaging

MLS Test signal

The MLS test signal is a pseudo random binary white noise sequence (you do not have to read this) derived from a logical recursive relationship.

The resulting sequence consists of a series of 1's and zero's. These are converted to the actual test signal by converting all 0's to a large positive constant and the 1's to a large negative constant (or visa versa). Both of these constants are equal in magnitude. The resulting MLS test signal sequence is periodic with periods occuring every $(2 \text{ raised to the power } p) - 1$ samples. It is a binary sequence because each sample can only take one of two possible values.

This test signal is fed through the system under test, then cross correlated with a MLS sequence consisting of only 0's and 1's in post processing. The impulse response of the system is the result. ETF uses a Fast Hadamard Transform to speed up this convolution. The impulse response of a 262143 pt (6 second MLS at 44.1 KHz) can be found in less than 1 second on P500 computers.

MLS is periodic excitation and time must be allowed to bring the test system into steady state. ETF does a full 3 seconds of pre excitation in normal analysis and 0.7 seconds in Sequential Data Acquisition. The current version uses a power 18, 262143 pt sequence has a period of 6 seconds at 44.1 KHz. This is a longer sequence than most analyzers will permit. This makes ETF very insensitive to many types of noise and distortion and eases the hardware requirement. You can use a low cost sound card with ETF. Sequential data acquisition uses a 32768 pt sequence.

CATT-Acoustic

CATT is run by Bengt-Inge Dalenbäck (Ph.D.) and has a close cooperation with *Lake Technology* creating room impulse responses for their real-time convolution hardware/software *CATT* has for Australia, Austria, France, Belgium, Germany, Italy, Japan, Korea, Luxembourg, Netherlands, New Zealand, South Africa, Spain, Switzerland, UK/Ireland, and USA/Canada (for other countries, contact *CATT* directly). *CATT* is located in Gothenburg at the west coast of Sweden, and can be reached at:

Postal: Mariagatan 16A, SE-41471 Gothenburg, SWEDEN

Phone/Fax: +46 31 145154

E-mail: info@catt.se <<mailto:info@catt.se>>, *WWW:* <http://www.catt.se>

What does *CATT* and *CATT-Acoustic* stand for?

- *CATT* is an acronym for *Computer Aided Theater Technique* since theater lighting and decor CAD programs were the first *CATT* products in 1986. Since 1988, however, *CATT* has concentrated on software for acoustics prediction/auralization (*CATT-Acoustic*) and recently FIR reverberation tools (*The FIRReverb Suite* <[the_suite.htm](#)>).
- In a *JASA* paper ("Acoustic, acoustics", Robert T. Beyer, *JASA* 98(1), July 1995) the historical origins of the words acoustic and acoustics were researched. A reference from the 17th century was presented where the word "Catacoustics" was used to describe reflected sound (direct sound was called "Acoustics", and refracted sound was called "Diacoustics"). This makes the name *CATT-Acoustic* have some meaningful acoustical background since, in deed, reflected sound is exactly what it is about. This is of course pure coincidence since the software was named in 1988.

32-bit *Windows* MDI application for *Windows 95/98* or *NT 4.0* with seven modules

- prediction
- directivity
- surface properties
- source addition
- post-processing
- sequence (batch) processing
- plot-file viewing/WAV-file playing

CATT 3D-viewer based on OpenGL *CATT PLT-viewer* (a stand-alone viewer to complement the built-in viewer) a customized *editor* a comprehensive *manual* context sensitive *help* named *user Preferences* (each user can e.g. have his own shortcut icon that loads the personal settings) v7.2 is the fifth significant version for *Windows* (v6.0 June 1996 (16-bit), v6.1 March 1997 (16-bit), v7.0 Feb 1998, v7.1 Oct 1998, v7.2 Oct 1999).

Room Acoustics: Prediction

Room acoustics prediction, in general, is the process where, using geometrical acoustics, octave-band echograms are predicted based on a 3D CAD model of a room. Frequency dependent material properties (absorption, diffusion) are assigned to room surfaces and frequency dependent source directivities are assigned to sound sources. From these echograms a great number of numerical measures of e.g. speech intelligibility, and reverberation time can be estimated.

Prediction Module

The hall geometry is described using a structured hierarchic text format or via *AutoCAD*:

- **INCLUDE** *statements* enables a hierarchical structure with hall parts defined in separate files
- *expressions/math functions* (e.g. `sin()`, `cos()`)
- *local and global symbolic numerical constants* (e.g. `GLOBAL` `ceil_height = stage_height + 10`)
- *symbolic string constants* (e.g. `LOCAL` `wup = "wall of unknown plaster"`) e.g. shortcut names
- *tracing and break statements* (**SAY**, **RETURN**, **BREAK**)

- *if-then statements* for geometry variants (**IF** balcony **THEN**)
- *comments*
- *tools* for surface corner *locking* and object *rotation, translation* and *copying* etc. (e.g. **lock ()**, **cut ()**, **x ()**, **y ()**, **z ()**, **OBJECT**, **ROTATE**, **TRANSLATE**, **COPY**)
- *mirroring* of symmetrical (or nearly symmetrical) models (**MIRROR**)
- *one-step generation of circular coordinates and similar* using the **loop ()** function (e.g. **loop (500 , a , 0 , 315 , 45 , 2*cos (a) , 2*sin (a) , 3))**)
- enables very *accurate, consistent* and *maintainable models*

Surface Properties Module

- *named properties* including frequency dependent diffusion factors are entered into a library
- properties can also be entered directly into geo-files
- enables *high-level constructs* such as:

ABS wood = <12 10 8 7 6 5>

ABS wall_abs = wood

- *multiple libraries* (library selected in Preferences)
- frequency range 125 Hz to 4 kHz in octave-bands (8 and 16kHz extrapolation for auralization)
- *sorting* according to: key, category, reference, LF-, MF-, HF-absorption, overall absorption or overall diffusion
- text *import/export*
- with the Interactive Sabine RT Prediction option, *double clicking a property immediately recalculates the resulting Sabine RT*

Multiple Source Addition Module

- *addition* of results from the Prediction <pred_mod.htm> module
- *very fast recalculation* after changes in source directivity, aim, delay and eq, head-direction and background noise level change (for RASTI/STI)
- optionally creates new results for the Binaural post-processing module
- individual *echograms* displayed together with the total echogram
- optionally includes *interference effects* between direct sounds

Plot-file Viewer/WAV-file Player Module

- the viewer/player shows results from the other modules including *shaded 3D models* with selectable palettes, *color mapping* with selectable palettes, and *double-buffered smooth 3D transformations* with direct mouse control.
- all 2D graphics can be *zoomed* for details and displays values when the mouse is passed over
- graphics can contain *animated sub-frames* e.g. showing animated reflection traces
- the viewer can also be used to *present results to customers* by assembling an optionally auto-playing list of plot- and WAV-files
- exports graphics in *Windows Meta (.EMF)*, *Windows Bitmap (.BMP)* and *Encapsulated PostScript (.EPS)* formats
- exports color map values to spreadsheet format
- clipboard Meta-file and Bitmap copy
- a stand-alone viewer is available from v7.2i (can be used for customer presentations nor requiring installation of the full *CATT-Acoustic* and comes with its own help-file)

SYSTEM SPECIFICATIONS

Lower cut-off frequency, -3 dB: ≤ 68 Hz

Upper cut-off frequency, -3 dB: ≥ 20 kHz

Free field frequency response of system:
70 Hz - 18 kHz (±2.5 dB)

Maximum short term sine wave acoustic output on axis in half space, averaged from 100 Hz to 3 kHz:

@ 1m ≥ 100 dB SPL
@ 0.5m ≥ 106 dB SPL

Maximum long term RMS acoustic output in same conditions with IEC weighted noise (limited by driver unit protection circuit):

@ 1m ≥ 98 dB SPL
@ 0.5m ≥ 104 dB SPL

Maximum peak acoustic output per pair on top of console, @ 1 m from the engineer with music material:

≥ 110 dB SPL

Self generated noise level in free field

@ 1 m on axis: ≤ 10 dB (A)

Harmonic distortion at 85 dB SPL @ 1m on axis:

Freq:	75...150 Hz	<3%
	>150	<1%

Drivers:

Bass: 130 mm (5") cone
Treble: 19 mm (3/4") metal dome
Both drivers are magnetically shielded.

Weight: 5.7 kg (12.5 lb)

Dimensions:

Height: 247 mm (9 3/4")
Width: 151 mm (5 9/16")
Depth: 191 mm (7 1/2")

AMPLIFIER SECTION

Bass amplifier output power with an 8 Ohm load: 40 W

Treble amplifier output power with an 8 Ohm load: 40 W

Long term output power is limited by driver unit protection circuitry.

Amplifier system distortion at nominal output:

THD	≤ 0.08%
SMPTE-IM	≤ 0.08%
CCIF-IM	≤ 0.08%
DIM 100	≤ 0.08%

Signal to Noise ratio, referred to full output:

Bass	≥ 90 dB
Treble	≥ 90 dB

Mains voltage: 100/200 or 115/230 V

Voltage operating range: ±10%

Power consumption:

Idle	9 VA
Full output	80 VA

CROSSOVER SECTION

Inputs:

Input 1: XLR female, balanced 10 kOhm
Input 2: 1/4" Jack socket, balanced 10 kOhm

Input level for 100 dB SPL output @ 1 m: -6 dBu at volume control max

Volume control range:

-60 dB relative to max. output

Subsonic filter below 68 Hz :

18 dB/octave

1091A Subwoofer output (input 2)

at 100 dB SPL: -23 dBu into 33 kOhm load.

Ultrasonic filter above 25 kHz:

12 dB/octave

Crossover frequency, Bass/Treble:

3.3 kHz

Crossover acoustical slopes:

24 - 32 dB/octave

Treble tilt control operating range:

from 0 to -2 dB @ 15 kHz

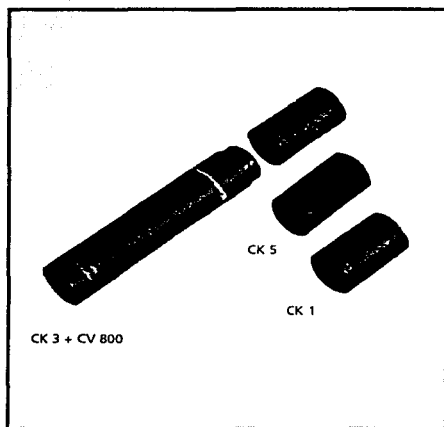
Bass roll-off control operating in a -6 dB step @ 85 Hz (to be used in conjunction with the 1091A subwoofer).

Bass tilt control operating range in -2 dB steps:

from 0 to -6 dB @ 150 Hz

The 'CAL' position is with all tone controls set to 'off' and the volume control to maximum (fully clockwise).

All data subject to change without prior notice.



MC 801 MC 803 MC 805

CONDENSER MICROPHONES

beyerdynamic

FEATURES

- Modular construction
- Interchangeable capsules
- Phantom power 11 - 52 volts

APPLICATIONS

The MC 801, MC 803 and MC 805 microphones are comprised of the transformerless CV 800 pre-amp and the CK 1 (omnidirectional), CK 3 (cardioid) or CK 5 (supercardioid) capsules. The microphones have been primarily designed for studio applications.

The CV 800 has a 3-pin XLR-plug and can be connected to all microphone inputs supplying 11 - 52 volts phantom power.

The quick-fit connector assembly ensures the CK 1, CK 3 and CK 5 capsules are simply attached onto the CV 800 pre-amp with little effort. A rubber insulation ring around the capsule allows an elastic seating on the pre-amp and helps to eliminate footfall noise.

TECHNICAL SPECIFICATIONS

	MC 801 (CK 1 + CV 800)	MC 803 (CK 3 + CV 800)	MC 805 (CK 5 + CV 800)
Transducer type	condenser	condenser	condenser
Operating principle	pressure	pressure gradient	pressure gradient
Frequency response	20 - 20,000 Hz	30 - 20,000 Hz	30 - 20,000 Hz
Polar pattern	omnidirectional	cardioid	supercardioid
Open circuit voltage at 1 kHz	28 mV/Pa	30 mV/Pa	30 mV/Pa
Nominal impedance	180 Ω	180 Ω	180 Ω
Nominal output impedance	1000 Ω	1000 Ω	1000 Ω
Max. SPL at 1 kHz	130 dB _μ	130 dB _μ	130 dB _μ
A-weighted equivalent nom. SPL rel. to inherent spurious voltage	approx. 13 dBA	approx. 13 dBA	approx. 13 dBA
Power supply	11 - 52 V phantom	11 - 52 V phantom	11 - 52 V phantom
Current consumption	approx. 4.3 mA	approx. 4.3 mA	approx. 4.3 mA
Connection	3-pin XLR 2 = +, 3 = -, 1 = ground	3-pin XLR 2 = +, 3 = -, 1 = ground	3-pin XLR 2 = +, 3 = -, 1 = ground
Dimensions:			
Head ø	21 mm	21 mm	21 mm
Shaft ø	21 mm	21 mm	21 mm
Length	124 mm	128 mm	129 mm
Weight	123 g	124 g	127 g

Germany
Theresienstr. 8
74072 Heilbronn
Tel. (07131) 617-0
Fax (07131) 60459
info@beyerdynamic.de
www.beyerdynamic.de

United States
56 Central Ave.
Farmingdale, NY 11735
Tel. (516) 293-3200
Fax (516) 293-3288
salesUSA@beyerdynamic.com
www.beyerdynamic.com

Great Britain
17 Albert Drive
Burgess Hill RH15 9TN
Tel. (01444) 258258
Fax (01444) 258444
sales@beyerdynamic.co.uk
www.beyerdynamic.com

France
7, Rue Labie
F-75017 Paris
Tel. 0144.09.82.33
Fax 0144.09.82.33
beyer_france@compuserve.com
www.beyerdynamic.com

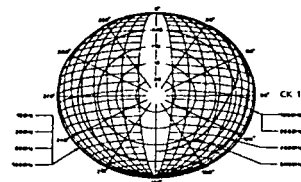
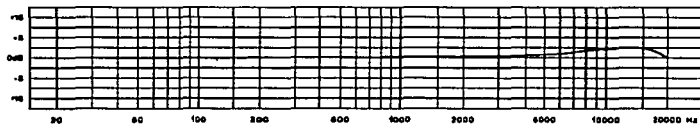
FREQUENCY RESPONSE & POLAR PATTERN

These polar patterns and frequency response curves (measuring tolerance ± 2 dB) correspond to typical production run specifications for these microphones.

Frequency response ± 2 dB

0 dB $\hat{=}$ 28 mV/Pa

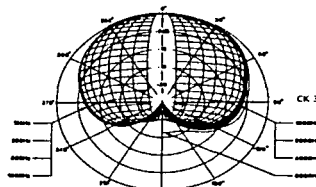
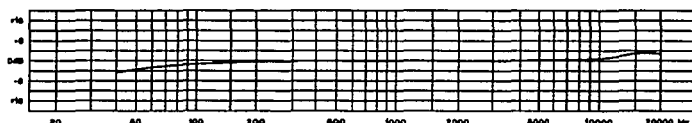
MC 801



Frequency response ± 2 dB

0 dB $\hat{=}$ 30 mV/Pa

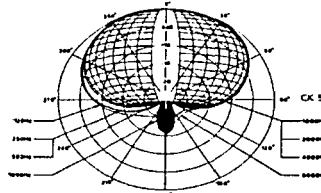
MC 803



Frequency response ± 2 dB

0 dB $\hat{=}$ 30 mV/Pa

MC 805



VERSIONS

MC 801	Condenser microphone consisting of CV 800 and CK 1.....	Order # 449.075
MC 803	Condenser microphone consisting of CV 800 and CK 3.....	Order # 449.083
MC 805	Condenser microphone consisting of CV 800 and CK 5.....	Order # 449.091

OPTIONAL ACCESSORIES

Power supply units

MSB 48 N(C).1	Battery power supply unit.....	Order # 400.726
MSG 248 N(C)	Power supply unit for two microphones, for balanced inputs.....	Order # 100.927
MSG 248 N(C).1	Power supply unit for two microphones, for balanced and unbalanced inputs.....	Order # 100.943
MV 100	Microphone pre-amp, portable, 2-channel, supply via PSU 18/500 EU or 2 x 9 alkaline batteries.....	Order # 434.833

Microphone clamps

MAV 800	Microphone mount for hanging installation.....	Order # 448.133
MKV 6	Microphone clip for shaft 19-32 mm.....	Order # 407.208
MKV 9	Microphone clamp for shaft 19-21 mm.....	Order # 407.224

Elastic suspension

EA 19/25	Elastic suspension for shaft 19-25 mm, incl. MKV 11 microphone clamp.....	Order # 407.194
----------	---	-----------------

Windscreen

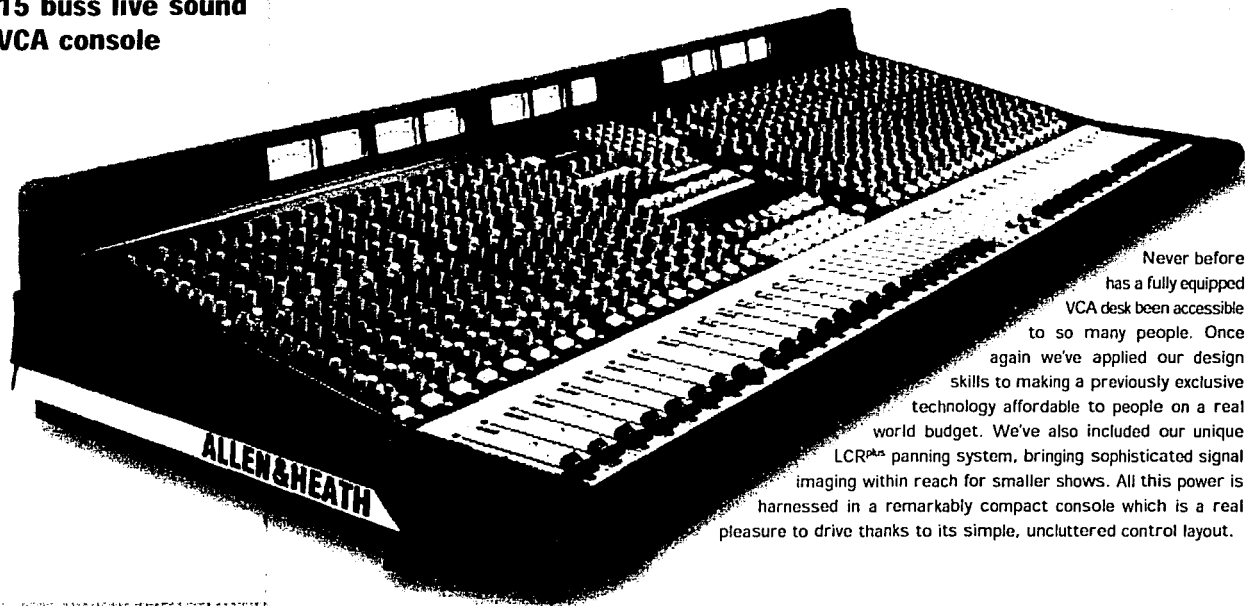
WS 101	Windscreen, charcoal-grey.....	Order # 111.244
--------	--------------------------------	-----------------

Stands

GST 400	Microphone stand 3/8", height 0.90-1.65 m, with removable G 400 boom.....	Order # 421.294
GST 400	Microphone stand 5/8", height 0.90-1.65 m, with removable G 400 boom.....	Order # 423.130
GST 500	Microphone stand 3/8", height 0.80-1.60 m, with removable, telescopic G 500 boom.....	Order # 406.252
GST 500	Microphone stand 5/8", height 0.80-1.60 m, with removable, telescopic G 500 boom.....	Order # 406.945

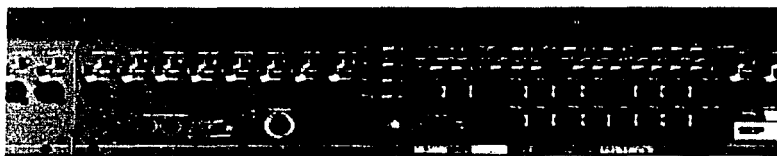
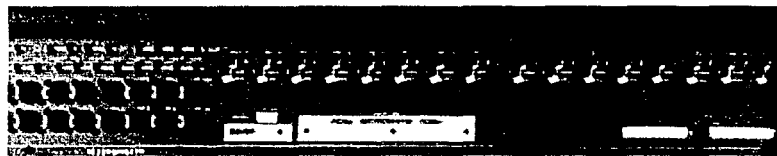
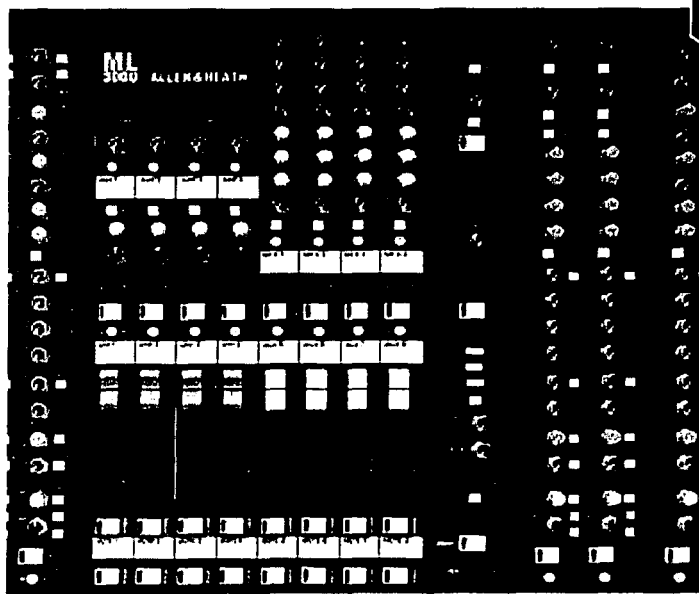
Photos are non-contractual. Contents subject to change without notice. Printed in Germany.

15 buss live sound VCA console



Never before has a fully equipped VCA desk been accessible to so many people. Once again we've applied our design skills to making a previously exclusive technology affordable to people on a real world budget. We've also included our unique LCR^{plus} panning system, bringing sophisticated signal imaging within reach for smaller shows. All this power is harnessed in a remarkably compact console which is a real pleasure to drive thanks to its simple, uncluttered control layout.

- | | |
|-----------------------------------|--|
| Dual Functionality | → GRP/Aux mode switches reverse the group fader and aux rotary master sections to allow you to choose any combination of up to 8 Aux sends and up to 4 audio subgroups on fader masters with inserts and full metering. A Centre Mode switch converts the 100mm C fader to an engineer's listen wedge control with insert |
| Frames Available | → 24+2, 32+2, 40+2 |
| 4 Audio Groups | → Assigned from paired routing buttons and pan from channel. Groups are routed to LCR^{plus} via a single button |
| 8 VCA Groups | → Using a similar soft-controlled system and the same CPU as the ML4000. Master View button allows checking of selected group assignments. High quality VCA's are fitted to mono and stereo input channels |
| 8 Auxiliary Sends | → 5-8 with faders on masters . 7-8 can be configured as stereo pre/post fade pair for i.e.m. Auxes 1-4 have rotary masters in Group Mode, and fader masters with inserts in Aux Mode. Auxes have balanced XLR outputs |
| LCR^{plus} Panning | → Available from channels and groups. Uses blend and pan controls to allow any signal positioning across the C and LR busses |
| 8x4 Matrix | → Fed from the groups and the LR and C busses. With inserts and external input. Matrix has VU meter access |
| 8 Mute Groups | → Input channels have soft mutes and are part of the mute grouping and MIDI control. Soft assignment is the same as ML4000. |
| 4 Band EQ | → 'Responsive' feel with separate controls for sweep and cut/boost on mid bands |
| 2 Dual Stereo Channels | → Additional to the channel count, mixable A&B [TRS] inputs with gain, 4 band EQ and mono summing |
| ML Mic Pre with swept HPF | → Same extended frequency response through signal path as the ML5000. Swept off - 400Hz HPF. New pot law for smoother gain range with swept HPF |
| Balanced XLR plus Inserts | → Gold plated XLR connectors. Inserts [TRS] on channels, fader masters, auxes 5-8 and LCR |
| PAFL system | → PFL overrides AFL . Led status indicators on channels and global status indication on meterbridge |
| 128 Snapshot memories | → Show automation of VCA assignment / mute 'scenes' via MIDI/RS232 and 'Archiver' software |
| Talkback | → Talk to any of the fader master group/aux and LRC outputs via TB enable switches with led in each section. +48V and trim control for mic |
| Engineer's Toolbox | → Phones , wedge and local monitor controls. - 20dB 'dim' when TB active. Pink noise and oscillator , ground compensated direct outs on channels, 2TRK , LR & C monitor selection with mono check. VU metering has built in peak led. TB/OSC output [TRS] |
| PSU | → RPS11 300W 3U rack mounting supply. Optional RPSD2 1U dual supply combiner allows 2 PSU's to link up to the console for redundant supply backup, with monitoring |
| Lamps | → 3 XLR lamp sockets are provided |
| Configuration Options | → Internal jumpers to configure Aux1 to direct out, pre/post direct out, pre/post EQ/pre-insert for the pre-fader source. Isolate pre-fade from channel mute. Pre insert / post fade for 2 track recording source |



Connections

INPUTS

Mic (Pad out)	XLR	balanced, pin2+	2kohm	variable -60 to -10dBu	Max +11dBu
Mic/Line (Pad in)			>10kohm	variable -40 to +10dBu	Max +31dBu
Stereo ST 1-4	TRS jack	balanced, tip+	>20kohm	variable -18 to +6dBu	Max +27dBu
2-Track	TRS jack	balanced, tip+	>20kohm	+4dBu Max +25dBu	
Matrix Ext in	TRS jack	balanced, tip+	>20kohm	0Bu Max +21dBu	

INSERTS

Input	TRS jack	tip send, ring return		0dBu	Max +21dBu
Output	TRS jack	tip send, ring return		-2dBu	Max +21dBu
Matrix	TRS jack	tip send, ring return		-2dBu	Max +21dBu

OUTPUTS

L,R,C	XLR	balanced, pin2+	<75ohm	0dBu	Max +23dBu
Grp 1-4	XLR	balanced, pin2+	<75ohm	0dBu	Max +23dBu
Aux 1-8	XLR	balanced, pin2+	<75ohm	0dBu	Max +23dBu
Matrix 1-4	XLR	balanced, pin2+	<75ohm	0dBu	Max +21dBu
Direct out	TRS jack	ground comp, tip+	<50ohm	0dBu	Max +21dBu
2-Track	TRS jack	ground comp, tip+	<50ohm	-2dBu	Max +21dBu
Local Monitor	TRS jack	ground comp, tip+	<50ohm	0dBu	Max +21dBu
Headphones	TRS jack	tip left, ring right for stereo headphones		>30 ohms	

Technical Specifications

0 dBu = 0.775 Volts rms

Operating Levels

Channels	0dBu	Headroom +21dB
Mix	-2dBu	Headroom +23dB

Frequency Response

Mic to main output	(+40dB)	20Hz to 30kHz -0/-0.5dB
Line to main output	(0dB)	20Hz to 30kHz +0/-0.5dB

Distortion @1kHz +14dBu

THD + noise	< 0.01%
-------------	---------

CMRR Common mode rejection @1kHz

Mic (+40dB)	> 80dB
Mic + Pad (0dB)	> 50dB

Crosstalk Referred to driven channel @1kHz

Channel to channel	< -95dB
Mute shutoff	< -90dB
Fader shutoff	< -90dB

Noise Performance

Measured rms 22Hz to 22kHz unweighted	
Mic EIN with 150 ohm source	-128dB
Residual output noise	< -98dBu
Mix noise, nothing routed	< -94dBu
Mix noise, 24 channels routed	< -82dBu

Metering

Reading	Ovu = 0dBu at XLR outputs
LED meters	Peak reading, 3 colours
VU meters	Ave reading, illuminated moving coil
Peak indicators	5dB before clip, multi-point sensing
Input meters	4 segment LED (sig. 0, +6, pk)
Group/Matrix meters	VU
L,R,C meters	VU and 16 segment LED

Channel Filters

Slope	12dB/oct high pass
Frequency	OFF to 400Hz variable

Mono Equaliser

HF	+/-15dB, 12kHz Shelf
HM	+/-15dB, 500Hz to 15kHz bell
LM	+/-15dB, 35Hz to 1kHz bell
LF	+/-15dB, 60Hz Shelf

Stereo Equaliser

HF	+/-15dB, 12kHz shelf
HM	+/-15dB, 2.5kHz bell
LM	+/-15dB, 250Hz bell
LF	+/-15dB, 60Hz shelf

Lamp Connectors

Connector	XLR-F 4pin
Rating	12V 400mA max

Accessories

Sys-Link™	ML3000-SLV2	Sys-Link™ expander option
Power Supply	RPS11	300W rack power unit with DC cable
	RPSD2	Dual supply combiner/monitor

Mechanical specifications

Dimensions in mm	Width	Depth	Height	Weight
ML3000-24	1141 (45")	640 (25.2")	252 (9.9")	30kg (66lb)
ML3000-32	1396 (55")	640	252	40kg (88lb)
ML3000-40	1651 (65")	640	252	50kg (110lb)

LD-1A *Line Driver*

FEATURES



Integrates different self-powered speakers



Gain, mute, and optimized EQ for 6 auxiliary systems



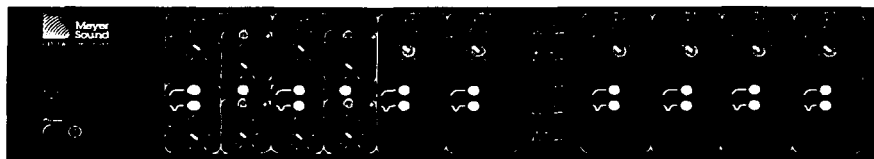
Maintains signal integrity for long cable paths



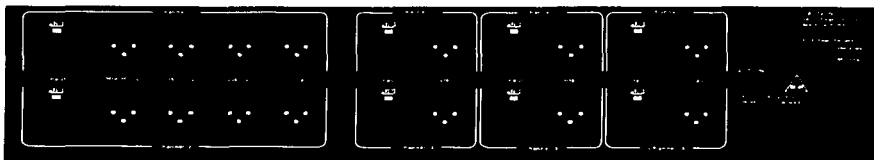
Separate mid-hi, DS-2 (Mid-Bass), and sub output controls



Male XLR loop connector to route the input signal to an aux. channel or another device



LD-1A Front Panel



LD-1A Rear Panel

The Meyer LD-1A Line Driver combines functions previously accessed on the control electronics units (CEU) for externally amplified Meyer loudspeakers with new features, and locates them in a self-contained device accessible to the sound engineer during both setup and performance.

The LD-1A:

- integrates different types of Meyer self-powered speakers into a full-range system;
- provides gain, mute, and optimized EQ controls for six auxiliary systems;
- maintains signal integrity for long cable paths. Channels 1 and 2, equipped to control the main system, each have:
 - a gain control, mute switch, and crossover function;
 - separate Mid-Hi, DS-2 (mid-bass), and Sub output controls;
 - a male XLR Loop connector to route the input signal to an auxiliary channel or

another device.

The Mid-Hi section has two switch-activated optimized filters. The Array EQ filter minimizes the low-mid frequency rise caused by horizontal arrays of three to five MSL-4 speakers. The Lo Cut filter performs a crossover function for the Mid-Hi output. With the Lo Cut filter out, a full-range signal is sent to the Mid-Hi output.

The DS-2 & Sub Crossover function is intended for the DS-2P mid-bass speaker when used with the 650-P or PSW-2 subwoofers. With the DS-2 & Sub Crossover switch in, the Sub output receives frequencies below 80 Hz, and the DS-2 output receives frequencies above 80 Hz. When the DS-2P is used alone as a subwoofer, or is not included in the system, the switch should be out, which sends a full-range signal to both outputs.

The Mid-Hi, DS-2, and Sub outputs each have a mute switch and a gain control that modifies their channel's Master

gain level; the DS-2 and Sub outputs have a polarity toggle. The mute switches affect the Mid-Hi, DS-2, or Sub output only. For example, the Mid-Hi output can be muted without affecting the Loop, Sub, or DS-2 outputs.

The six auxiliary channels (3-8) control down-fill, front-fill, and delay systems. Auxiliary channels can also be used to divide the main system into subsystems, allowing independent signal levels for speakers directed at different audience locations. Each auxiliary channel has Lo Cut and Array EQ filters, a mute switch, and gain control. The two main and six auxiliary channels are fully independent from each other.

The LD-1A occupies two rack spaces and is constructed with a 16-gauge steel chassis and 1/8" aluminum rack ears. This rugged design provides protection from accidental impact, magnetic isolation from nearby devices, and EMI immunity.

*Superior
engineering
for the art
and science
of sound.*



**Meyer
Sound**

LD-1A SPECIFICATIONS

ARCHITECTURE¹

MAIN (CHANNELS 1, 2)² Master Gain	
Controls	-12 to +6 dB
Mid-HI, DS-2, Sub Gain Controls ¹	-12 to +6 dB
Low-cut Filter for Mid-HI Output	160 Hz high-pass, -12 dB/octave, Q = 0.8
Array EQ Filter for Mid-HI Output	6 dB cut at 220 Hz, 0.6 octave bandwidth
Mute	Mute switches for Master, Mid-HI, DS-2, and Sub outputs
Polarity	Toggles for Sub and DS-2 outputs
AUXILIARY (CHANNELS 3-8)	
Gain Control	-12 to +6 dB
Low-cut Filter	160 Hz high-pass, -12 dB/octave, Q = 0.8
Array EQ Filter	6 dB cut at 220 Hz, 0.6 octave bandwidth
Mute	Mutes the channel output

AUDIO INPUTS

Connector	1 female XLR per channel
Type	Differential balanced input circuit
Impedance	10 k Ω differential (between pins 2 and 3)
Wiring	Pin 1: chassis/earth ground; Pin 2: signal; Pin 3: signal
RF Filter	Common Mode: 425 kHz low-pass; Differential Mode: 142 kHz low-pass
Common Mode Rejection Ratio	> 80 dB (typically 90 dB); measured in the range 50 Hz - 1 kHz
Signal Presence LED	(Variable intensity; monitored at the input for each channel)
Threshold	-26 dBV (50 mVrms) pink noise or sinewave
Full Intensity	-10 dBV (300 mVrms) pink noise or sinewave

AUDIO OUTPUTS

Type	Balanced, cross-coupled simulated transformer topology
Impedance	50 Ω balanced (between pins 2 and 3)
RF Filter	Pins 2 and 3 shunted to chassis via 500 pF capacitance
CONNECTORS	
Main	4 female XLR/channel (Mid-HI, DS-2, Sub, Loop)
Auxiliary	1 female XLR/channel
Wiring	Pin 1: chassis/earth ground; Pin 2: signal; Pin 3: signal
DRIVE CAPABILITY	
Maximum Voltage	1600 Ω Load: ± 2.5 Vpk (+24 dBV, +26.2 dBu sinewave) No Load: ± 25.0 Vpk (+25 dBV, +27.2 dBu sinewave)
Maximum Current	± 70 mApk (50 Vrms into 200 Ω)
Cables and Load	Drives > 100,000 pF (> 1000 ft cable) without instability or distortion

AC POWER

Connector	IEC 320 (line, neutral/line, earth)
Operating Voltage	90 - 125 VAC / 180 - 250 VAC (selectable with rear panel switch); 50/60 Hz
Maximum Power	25 Watts; Fuse: 5 x 20 mm, T 250 mA, 250 V, time-lag

AUDIO PERFORMANCE

Frequency Response	< ± 0.2 dB 20 Hz - 20 kHz
Bandwidth	DC to 60 kHz (-3dB)
Phase Response	< $\pm 3^\circ$ from pure 3 μ sec delay (DC - 20 kHz)
Dynamic Range³	> 120 dB
Noise Floor³	> -95 dBV A-weighted; > -90 dBV un-weighted
THD + N⁴	< 0.005% (typically 0.002%)
Gain Accuracy	< ± 0.15 dB at +6 dB gain; < ± 0.25 dB at 0 dB gain
Mute Attenuation	> 100 dB
GAIN RANGE	
Main Channels	-24 to +12 dB
Auxiliary Channels	-12 to +6 dB

PHYSICAL

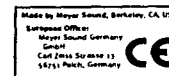
Dimensions	Height: 3.45" (2 rack spaces); Width: 16.75"; Depth: 6.96"
Weight	13.5 lb (6.1 kg); shipping: 15 lb (6.8 kg)
Enclosure/Finish	Black 16-gauge steel chassis; 1/8" aluminum rack ears

NOTE

- 0 dBV = 1Vrms; 0 dBu = 0.775 Vrms; 0 dBm = 1 mWrms
- Ratio of maximum sinewave to A-weighted noise floor
- Level set to unity gain (0 dB)
- 0 dBV, 1 kHz sinewave input. Gain at +12 dB main channel, +6 dB auxiliary channel

Meyer Sound Laboratories has devoted itself to designing, manufacturing, and refining components that deliver superb sonic reproduction. Every part of every component is designed and built to exacting specifications and undergoes rigorous, comprehensive testing in the laboratories.

Research remains an integral, driving force behind all production. Meyer strives for sound quality that is predictable and neutral over an extended lifetime and across an extended range.

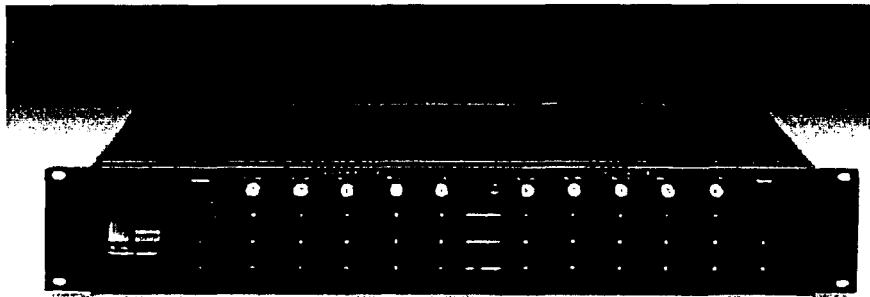


LD-1A - 04.037.023.01B

MEYER SOUND LABORATORIES, INC.
2832 San Pablo Avenue
Berkeley, CA 94702
tel: 510.486.1166
fax: 510.486.8356
e-mail: techsupport@meyersound.com
http: www.meyersound.com

CP-10S

Complementary Phase
Parametric Equalizer



The Meyer Sound CP-10S Complementary Phase Parametric Equalizer is a two-channel unit, each channel comprising five bands of fully parametric equalization and individual high- and low-cut shelving filters. Screwdriver-adjustable controls assure freedom from tampering.

The CP-10S is designed for precision room equalization in sound reinforcement or studio monitoring, and features Meyer Sound's exclusive Complementary Phase circuitry. Capable of matching exactly the properties of typical acoustic resonances and reflections, this unique circuitry makes possible simultaneous improvements to an installed system's amplitude and phase response.

The CP-10S equalizer is an integral component of Meyer Sound's proprietary SIM® (Source Independent Measurement) System II. Coupling high-resolution, in-concert, multiple-point measurement with Complementary Phase equalization, this revolutionary technology assures unprecedented sound system performance

in the most difficult acoustical environments. (For more information on SIM System II, contact Meyer Sound.)

The CP-10S also serves as a very effective, high-quality equalizer for music recording monitors. Its graceful, symmetrical parametric filters and natural phase characteristics ensure maximum flexibility with minimum sonic perturbation. Coupled with very low harmonic distortion and a 110 dB dynamic range, these attributes place the CP-10S in a class with the finest room equalizers available.

With specifications to meet the most demanding professional requirements, the Meyer Sound CP-10S offers uncompromised performance in recording and reinforcement applications. Individually socketed, field-replaceable circuit cards and automatic bypass switching ensure maximum reliability with extended use.

Features

Complementary phase

Symmetrical boost/cut

Calibrated controls

Automatic bypass switching

Gold-socketed p.c. boards

Secure screwdriver adjust

Long-term reliability

Applications

Sound system equalization

Recording studio tuning

Resonance elimination

Early echo suppression



Meyer Sound Laboratories, Inc.
2832 San Pablo Avenue
Berkeley, CA 94702
(510) 486-1166
FAX (510) 486-8356

MEYER SOUND

CP-10S Specifications

Frequency Response ¹	20 Hz – 20 kHz ± 0.5 dB
Total Harmonic Distortion ²	< 0.01%
Hum and Noise	-90 dBV "A" weighted, unbalanced
Dynamic Range ³	110 dB
Inputs	
Type	Balanced active
Impedance	20k ohms balanced
Level ⁴	+4 dBu nominal, +20 dBu maximum
Outputs	
Type	Balanced active push-pull
Impedance	300 ohms, 150 ohms per branch unbalanced
Level	+4 dBu nominal, +26 dBu maximum
Controls	
Front Panel	EQ In/Out, Center Frequency, Bandwidth, Boost/Cut, Lo and Hi Shelving Cut
Rear Panel	Ground Lift switch, Gain switch, AC Voltage switch
Indicators	
Power	Green LED
Ready	Green LED
Clip (Input and Output)	Red LEDs
Connectors	3-pin XLR male (outputs) and female (inputs)
Power	120/240V AC, 50/60 Hz, rear-panel switchable
Physical	
Dimensions	19" W x 3 1/2" H x 7 1/2" D standard rack mount
Weight	13 lbs (5.9 kg)

Notes:

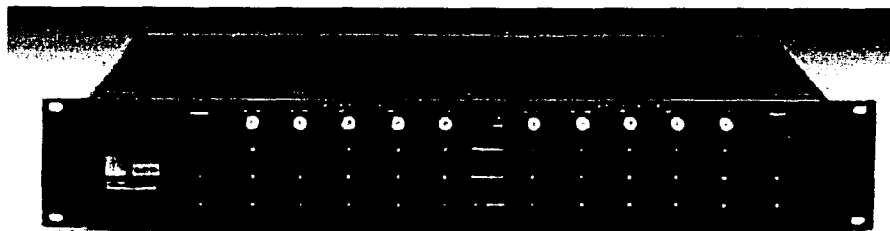
1. All equalization circuits out.
2. 1 kHz input at +4 dBu
3. "A" weighted noise floor to maximum RMS output
4. Within the operating band of each channel, maximum input level is the minimum worst-case level achieved before clipping.

The clearly marked front panel includes individual in/out switches for each equalization band, with screwdriver-adjustable frequency, bandwidth and boost/cut controls. LEDs indicate power status and signal clipping.

Signal flow through the device is controlled by a delayed relay which allows the CP-10S circuitry to stabilize before it is en-

gaged. When power to the CP-10S is interrupted, input signals are bypassed directly to the corresponding outputs.

The front panel may be removed without affecting control settings, and each equalization stage resides on a separate, gold-socketed circuit card for ease of service. An optional smoked plastic security cover discourages tampering in fixed installations.



Individual In/Out switches for each frequency band
Center frequency selection (10:1 range)
Bandwidth control (0.1 octave to 1.1 octaves, continuously variable)
Boost or cut (± 15 dB)
High and low shelving cut filter controls
LEDs indicate power status and



A ground lift switch floats audio common (XLR connector pin 1) from the chassis. (Earth and chassis are always connected for safety.)
A gain switch adjusts for unity gain with either balanced or unbalanced input signal connections. (Outputs remain balanced at all times.)

UPA-1P & 2P *Self-Powered Reinforcement Loudspeaker*

FEATURES



Integrated control electronics and amplifiers



Modular audio input options



Intelligent AC™ System



Compatible with the Remote Monitoring System™ (RMS)



Phase-corrected



Constant-Q Beam width facilitates predictable array design



High-Power, flat frequency response

Superior engineering for the art and science of sound.

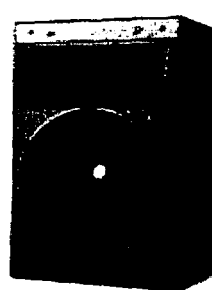


Meyer Sound

The Meyer UPA-P Series self-powered loudspeakers (UPA-1P, UPA-2P) are more than powered versions of the Meyer UPA-C Series (UPA-1C, UPA-2C). The UPA-P Series features phase-corrected electronics that produce flat acoustical phase and amplitude responses, resulting in exceptional system impulse response and precise imaging. Despite the inclusion of amplification and control electronics, the UPA-P is the same size as, and only 10 lb. heavier than the UPA-C. Additionally, the UPA-P's advanced horn designs achieve a consistent polar response and smooth arraying behavior.

The beam width of a horn is the angle at which the sound pressure at a given frequency decreases to half (-6 dB) its on-axis amplitude. Existing technologies produce horns whose beam width varies over the operating frequency range. These horns also display non-uniform frequency response within, and significant side lobe energy outside their beam width. Both undesirable characteristics, particularly prevalent for horns with a wide beam width, make array design extremely problematic.

The UPA-P horns exhibit constant Q: the beam width remains consistent across the horn's operating frequency range in both the vertical and horizontal planes. The UPA-2P uses the same horn as the UPA-2C: the original design achieved constant Q for its narrow beam width (45° H x



UPA-1P



UPA-2P

45°V). Meyer Sound developed the UPA-1P horn in an anechoic chamber by measuring coverage patterns using angular and frequency resolutions of 1° and 1/36 octave, respectively. The UPA-1P horn provides a much wider horizontal, and slightly narrower vertical beam width (100°H x 40°V) than the UPA-2P. Both speakers share the following remarkable attributes:

- uniform frequency response within the beam width
- rapid and uniform amplitude attenuation for all frequencies outside the beam width
- minimal side lobes

The UPA-P Series is ideally suited for small PA applications requiring complete coverage with a compact, high-powered system, and also make excellent under-balcony, down-fill, and keyboard speakers.

The UPA-P's integrated electronics employs the

Intelligent AC power supply, which auto-selects the correct operating voltage (facilitating international use), suppresses high voltage transients, and provides soft-start power-up (eliminating high inrush current).

The UPA-P can be equipped to operate with the Remote Monitoring System™ (RMS) network and software application. The UPA's are shipped with one of two audio input and control options. The Basic module contains an XLR input and a loop connector. The second module provides features that facilitate array building and integration into full-range systems without incurring the cost of external processors. These interchangeable modules can be installed in the field with a Phillips screwdriver. RMS displays signal and power levels, driver and cooling fan status, limiter activity, and amplifier temperature for all speakers in the network on a

VENIS CON FALLA DE ORIGEN

UPA-1P & 2P SPECIFICATIONS

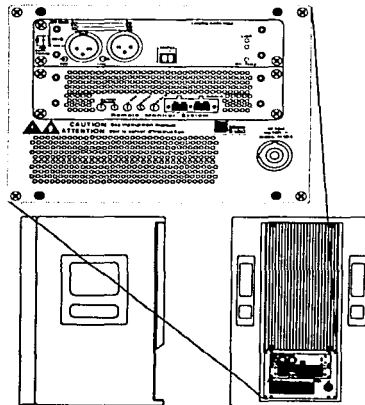
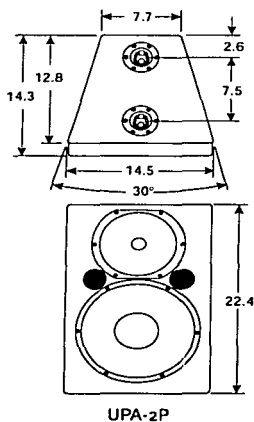
ACOUSTICAL¹ (EACH LOUDSPEAKER)	Operating Frequency Range ² Free Field Half-Space ³ Phase Response ⁴ Maximum SPL ⁵	60 Hz - 18 kHz 100 Hz - 16 kHz \pm 3dB; -6 dB at 77 Hz and 18 kHz 77 Hz - 16 kHz \pm 3dB; -6 dB at 66 Hz and 18 kHz \pm 35° 600 Hz - 16 kHz; + 90° at 250 Hz 133 dB SPL
COVERAGE	UPA-1P (-6 dB points) UPA-2P (-6 dB points)	100° H; 40° V 45° H; 45° V
CROSSOVER	UPA-1P UPA-2P	1200 Hz 1000 Hz
TRANSDUCERS	Low Frequency High Frequency	12" cone driver 3" diaphragm compression driver
STANDARD AUDIO INPUT MODULE⁶	Type Connector Impedance XLR Wiring RF Filter Common Mode Rejection Ratio	Differential balanced input circuit Female XLR; male XLR-loop 10 k Ω differential balanced (between pins 2 and 3) Pin 1: chassis; Pin 2: + signal; Pin 3: - signal Common Mode: 425 kHz low-pass; Differential Mode: 142 kHz low-pass > 80 dB (50 Hz - 1 kHz); typically 90 dB
AMPLIFIERS	Type Burst capability/ THD, IM, TIM	Complementary power MOSFET output stages (class AB/bridged) 350 Wrms/channel < .02 %
AC-POWER	Connector Automatic voltage selection Idle RMS Current Max Continuous RMS Current (>10 sec) Max Burst RMS Current (<1 sec) Max Peak Current During Burst Soft-Current Turn-on	PowerCon locking AC connector 80-264 VAC continuous; 47/63 Hz* @115 V: 0.25Arms @230V: 0.13Arms @100V: 0.3Arms @115 V: 2.8Arms @230V: 1.4Arms @100V: 3.2Arms @115 V: 3.2Arms @230V: 1.6Arms @100V: 3.7Arms @115 V: 5.0Apk @230V: 2.5Apk @100V: 5.8Apk Inrush current <15A@115V
PHYSICAL	Dimensions Weight Enclosure Finish Protective Grill Rigging	14.5" W x 22.4" H x 14.5" D 77 lbs (35 kg) 5/8" plywood Black textured Hex perforated steel grill, charcoal grey foam Four aircraft pan fittings (two on top, two on bottom). Working load is 600 lb (273 kg), based on a 5:1 safety factor.

NOTES

1. Measurements are taken at 3m on-axis, 1/3 octave, unless otherwise stated.
 2. Response depends on loading conditions and room acoustics.
 3. Measured with a single boundary, 1 m from rear of cabinet.
 4. Phase variation from pure delay.
 5. Measured at 1 m, with pink noise or music.
 6. Nominal 8 Ω resistive load, pink noise, 100v peak.
- * Refer to UPA-series Q+A for input module options.

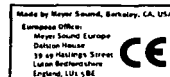
PHYSICAL DIMENSIONS

ALL UNITS IN INCHES



Meyer Sound Laboratories has devoted itself to designing, manufacturing, and refining components that deliver superb sonic reproduction. Every part of every component is designed and built to exacting specifications and undergoes rigorous, comprehensive testing in the laboratories.

Research remains an integral, driving force behind all production. Meyer strives for sound quality that is predictable and neutral over an extended lifetime and across an extended range.



UPA1P&2P - 04.054.017.01D

MEYER SOUND LABORATORIES, INC.
2832 San Pablo Avenue
Berkeley, CA 94702
tel: 510.486.1166
fax: 510.486.8356
e-mail: techsupport@meyersound.com
http://www.meyersound.com

© 1997 Meyer Sound Laboratories, Inc.
All rights reserved

UPM-2P *Self-Powered Loudspeaker*

FEATURES

Modular audio input options

Integrated control electronics and amplifiers

Compatible with RMS™ (Remote Monitoring System)

Phase-corrected

High-power, flat frequency response

Looping PowerCon Locking AC Connectors

The UPM-2P is a compact, self-powered professional sound reinforcement loudspeaker system. Versatile and powerful, its bi-amped, three-way design incorporates dual 5-inch low/mid transducers, a 1-inch titanium dome HF driver on a symmetrical 45° horn, a two-channel power amplifier, and Meyer Sound's proprietary phase-corrected active processing circuits.

The UPM-2P is ideally suited to applications requiring high sound pressure levels, extremely low distortion, and tight directional control. Stand-alone, the UPM-2P will provide vocal range reinforcement as a small PA system, in under-balcony, front- or side-fill applications. A full-range system can be created with the addition of a separate optional subwoofer.

Like all Meyer self-powered loudspeaker systems, the UPM-2P exhibits superior performance across virtually all parameters. Because the amplifiers and control electronics are optimized for each driver, the system is able to produce more power with a flatter response and lower distortion. The self-powered concept simplifies installation, eliminates amplifier racks and external drive processing, and can create extensive distributed systems free from the signal losses imposed by long loudspeaker cable runs or 70/100V wiring schemes.

The UPM-2P's constant directivity high-frequency horn

affords a 45° beam width, and sophisticated phase-correction circuitry maintains that tight coverage pattern in the mid and low frequencies. Two MS-5 low/mid-frequency transducers are driven in parallel to take advantage of their combined acoustic output. To prevent destructive interference due to comb filtering effects in the critical mid-band frequencies, one of the drivers is passively rolled off above 500Hz.

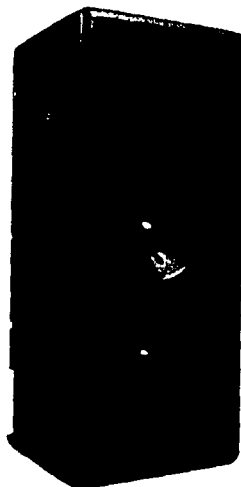
Two channels of power amplification are built in, along with an active crossover, driver protection voltage limiters, and frequency and phase response alignment circuitry. A laser-trimmed differential input stage affords superior common-mode rejection to allow signal runs through a simple twisted pair cable. Rear panel LEDs indicate DC supplies and driver protection limiting. The UPM-2P's integral power supply

suppresses high voltage transients. Two PowerCon AC connectors are provided to facilitate AC looping.

The rugged cabinet is coated with a textured black finish. It has three 3/8"-16 threaded recessed nut plates, and may be mounted on a stand. Optional mounting hardware is available.

The UPM-2P easily integrates with the RMS (Remote Monitoring System) network and software. RMS displays signal and power levels, driver and cooling fan status, limiter activity, and amplifier temperature on a remote PC.

The UPM-2P can be supplied with either the standard audio input module incorporating looping XLR connectors, an alternate that adds audio gain attenuation and a polarity switch, or a summing module.



*Superior
engineering
for the art
and science
of sound.*



**Meyer
Sound**

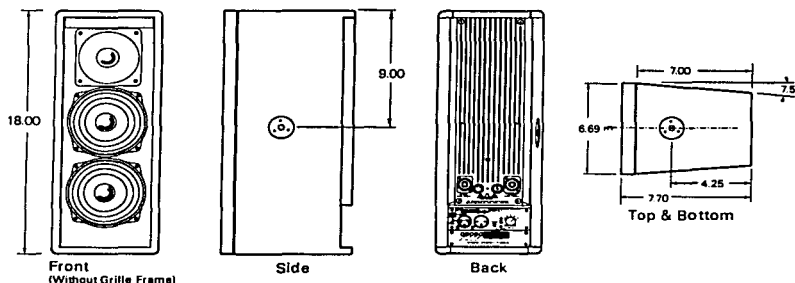
w w w . m e y e r s o u n d . c o m

UPM-2P SPECIFICATIONS

ACOUSTICAL¹ (EACH LOUDSPEAKER)	Operating Frequency Range	60 Hz - 22 kHz
	Free Field	80 Hz - 20 kHz ± 4 dB
	Half Space ²	60 Hz - 20 kHz ± 4 dB
	Phase Response	$\pm 60^\circ$ from 300 Hz to 18 kHz
	Maximum SPL	112 dB Cont; 123 dB Peak
COVERAGE	(-6dB points)	45° H; 45° V
CROSSOVER		500 and 2 kHz to 5 kHz
TRANSDUCERS	Low Frequency	(2) MS-5 5-inch cone drivers
	High Frequency	1" titanium dome on symmetric horn
STANDARD AUDIO INPUT MODULE	Type	Differential balanced input circuit
	Connectors	Female XLR; male XLR loop
	Impedance	10 k differential balanced (between pins 2 and 3)
	XLR Wiring	Pin 1: 200 k Ω to earth w/RF network; Pin 2: + signal; Pin 3: - signal
	RF Filter	Common Mode: 425kHz low-pass; Differential Mode: 142kHz low-pass
	Common Mode Rejection Ratio	>50dB (50Hz); typically 60dB >65dB (1kHz); typically 75dB
	TIM Filter	80kHz
AMPLIFIERS	Type	Complementary MOSFET output stages (class AB/bridged)
	Burst Capability	225 and 125 Wrms (LF; HF)
	THD, IM, TIM	<.02 %
AC POWER	Connector	PowerCon locking AC connector with looping output
	Voltage Selection	105-130 VAC; 208-260V AC; 47-63Hz (90-105V version available)
	Power	400 Watts, 1 second burst
	Max Continuous RMS Current (>10 sec)	@115V: 1A @230V: .5A @100V: 1.2A
	Burst RMS Current (<1 sec)	@115V: 1.3A @230V: .65A @100V: 1.5A
	Max Peak Current During Burst	@115V: 2.9Apk @230V: 2Apk @100V: 3.3Apk
PHYSICAL	Dimensions	Height: 18.0"; Width: 6.69"; Depth: 7.70" (458mm H x 169mm W x 196mm D)
	Weight	21 lbs (10 kg); shipping: 24 lbs (10.9 kg)
	Enclosure	0.2 cu. ft. vented, multi-ply birch
	Finish	Black textured
	Protective Grill	Hex stamped metal screen frame charcoal-grey foam covering
	Rigging	3 @ 3/8"-16 nut plates
NOTES	1. Measurements are taken at 1 meter on-axis, 1/3 octave, unless otherwise stated.	
	2. Half space refers to loading of the low frequencies as occurs when there are rear or side walls. Exact geometry will determine the effects of cancellation.	

PHYSICAL DIMENSIONS

ALL UNITS IN INCHES



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

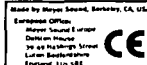
Meyer Sound Laboratories has devoted itself to designing, manufacturing, and refining components that deliver superb sonic reproduction. Every part of every component is designed and built to exacting specifications and undergoes rigorous, comprehensive testing in the laboratories.

Research remains an integral, driving force behind all production. Meyer strives for sound quality that is predictable and neutral over an extended lifetime and across an extended range.

Meyer Sound reserves the right to alter any specification without notice.

Please visit our web site at www.meyersound.com for up-to-date information.

UPM-2P-04.097.007.01



MEYER SOUND LABORATORIES, INC.
2832 San Pablo Avenue
Berkeley, CA 94702
tel: 510.486.1166
fax: 510.486.8356
e-mail: info@meyersound.com
<http://www.meyersound.com>

Copyright © 2003 Meyer Sound Laboratories, Inc.
All rights reserved

USW-1P *Self-Powered Subwoofer*

FEATURES



Integrated control electronics and amplifiers



Bi-amplified (350 Wrms/channel)



High-power, flat frequency response



Flat phase response



Compact, rectangular enclosure



Built-in rigging hardware



Modular audio input options



Intelligent AC™ System



Compatible with the Remote Monitoring System™ (RMS)

*Superior
engineering
for the art
and science
of sound.*



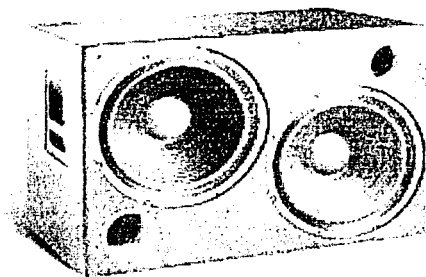
**Meyer
Sound**

The Meyer USW-1P self-powered subwoofer is a high-powered loudspeaker that provides flat, low-frequency response in the range 32 – 180 Hz. The USW-1P comprises two 15-inch cone drivers, optimized control electronics, and a two-channel amplifier. Although the USW-1P is derived from the Meyer USW-1, it is more than just a powered version of the same loudspeaker. The USW-1P has these significant design improvements:

- The gain structure between the control electronics and amplifier is perfectly matched.
- The amplifier is optimized for the system, providing the proper amount of power without endangering the drivers.
- The integrated design simplifies setup and installation, eliminates amplifier racks, and extends durability and reliability.

The USW-1P performs seamlessly as a full-range system with the Meyer UPA-P Series self-powered loudspeakers. A configuration of two UPA-Ps for each USW-1P yields flat frequency response in free-space with the same signal level sent to all speakers. The USW-1P is also fully compatible with all Meyer self-powered mid-hi speakers.

Each driver is powered by one channel of a proprietary Meyer amplifier (350 Wrms/ch) utilizing complementary power MOSFET output stages (class AB, bridged). Each channel has a limiter that prevents driver over-excursion and regulates



the temperature of the voice coil. The limiters protect the drivers without the glaring compression effects imposed by typical limiters, allowing high SPLs across the driver's entire frequency range.

The USW-1P employs an Intelligent AC™ power supply, which auto-selects the correct operating voltage (facilitating international use), suppresses high voltage transients, and provides soft-start power-up (eliminating high inrush current).

The USW-1P's durable enclosure is constructed from 3/8" plywood and has six rigging points (three on top and bottom). Standard hardware consists of aircraft pan fittings but 3/8"-16 and M-10 x 1.5 metric nut plates are also available. The enclosure's rectangular shape facilitates stacking configurations on the floor or stage.

The user panel on the USW-1P has two slots for control modules. The top slot houses

the audio input and control module and the bottom slot contains the optional Remote Monitoring System™ (RMS) module. RMS is a network and software application that displays signal and power levels, driver and cooling fan status, limiter activity, and amplifier temperature for all speakers in the network on a Windows-based PC. RMS is an excellent field-diagnostic tool that removes the guesswork from troubleshooting during a performance.

The standard audio input and control module has a female XLR input, a male XLR loop connector, and a 24V fan connector (fan is optional). Another module offers two female XLR input connectors, allowing mono summing of two different signals. Additional modules are being designed with other options. RMS and audio input and control modules are easily installed in the field with just a Phillips screwdriver.

USW-1P SPECIFICATIONS

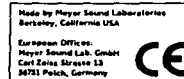
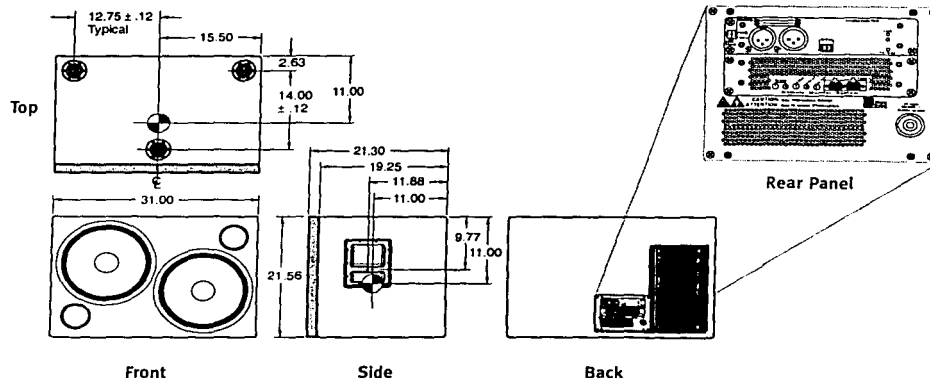
ACOUSTICAL¹ (EACH LOUDSPEAKER)	Operating Frequency Range² Free Field Half-Space ³ Maximum SPL ⁴ Signal to Noise Ratio	32 - 180 Hz 40 - 100 Hz ±3 dB; -6 dB at 32 Hz and 180 Hz 35 - 100 Hz ±3 dB; -6 dB at 30 Hz and 180 Hz 135 dB SPL >95 dB (A-weighted noise floor to max SPL)
COVERAGE		360° H; 180° V
TRANSDUCERS	Sub Frequency	Two MS-415 15" low frequency cone drivers
STANDARD AUDIO INPUT MODULE	Type Connector Impedance XLR Wiring RF Filter	Differential balanced input circuit XLR Female XLR; Male XLR loop 10 kΩ differential (between pins 2 and 3) Pin 1: chassis; Pin 2: + signal; Pin 3: - signal Common Mode: 425 kHz low-pass; Differential Mode: 142 kHz low pass
	Common Mode Rejection Ratio	>80 dB (50 Hz - 1 kHz); typically 90 dB
AMPLIFIERS	Type Output Power THD, IM, TIM	Complementary power MOSFET output stages, class AB/bridged 350 Wrms/channel <.02 %
AC POWER	Connector Automatic voltage selection Idle RMS Current Max Continuous RMS Current (>10 s) Max Burst RMS Current (< 1 s) Max Peak Current During Burst Soft Start Turn-on	PowerCon locking AC connector 88 - 264 VAC continuous; 47 - 63 Hz 115 V: 0.25 Arms 230 V: 0.13 Arms 100 V: 0.3 Arms 115 V: 2.8 Arms 230 V: 1.4 Arms 100 V: 3.2 Arms 115 V: 3.2 Arms 230 V: 1.6 Arms 100 V: 3.7 Arms 115 V: 5.0 Apk 230 V: 2.5 Apk 100 V: 5.8 Apk Inrush current <15 Apk @115 V
PHYSICAL	Dimensions Weight Enclosure/Finish Protective Grill Rigging	Height: 21.5"; Width: 31.0"; Depth: 19.25" 137 lb (62 kg) 5/8" plywood/black textured Removable perforated steel grill, charcoal grey foam Six aircraft pan fittings (three on top, three on bottom). Working load is 600 lbs. (273 kg), based on a 5:1 safety factor.
NOTES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Measurements are taken at 3 m on-axis, 1/3 octave, unless otherwise stated. 2. Response depends on loading conditions and room acoustics. 3. Measured with a single boundary, 1 m from rear of cabinet. 4. Measured at 1 m, half-space, with pink noise or music. <p>* Refer to USW-1P Q+A for input module options.</p>	

Meyer Sound Laboratories has devoted itself to designing, manufacturing, and refining components that deliver superb sonic reproduction. Every part of every component is designed and built to exacting specifications and undergoes rigorous, comprehensive testing in the laboratories.

Research remains an integral, driving force behind all production. Meyer strives for sound quality that is predictable and neutral over an extended lifetime and across an extended range.

PHYSICAL DIMENSIONS

ALL UNITS IN INCHES



USW-1P - 04.078.007.01B

MEYER SOUND LABORATORIES, INC.
2832 San Pablo Avenue
Berkeley, CA 94702
tel: 510.486.1166
fax: 510.486.8356
e-mail: techsupport@meyersound.com
http: www.meyersound.com

Specifications subject to change without notice

© 1997 Meyer Sound Laboratories, Inc.
All rights reserved

Glosario

Ondas de presión sonora: Las ondas de presión sonora se denominan de tipo periódico porque se repiten a lo largo del tiempo, y no tienen que ser exclusivamente de tipo senoidal. Se considerará entonces el momento de compresión como la parte del ciclo positivo y la rarefacción como la parte del ciclo negativo.

Frecuencia: Es la medida de la rapidez de las alteraciones de una señal periódica, expresada en ciclos por segundo o Hertz.

Velocidad del sonido: La velocidad de propagación del sonido está en función de la elasticidad y densidad de propagación e implica la relación de cambio de posición con respecto a la distancia. No ha de confundirse con el término *rapidez* ya que este incluye la dirección del movimiento. De modo que cuando se hable de dirección de propagación, *rapidez* será el término correcto y no *velocidad*.

La velocidad del sonido en el aire por lo general se redondea a 344m/s (1130ft/s) para condiciones normales de 1 atmósfera de presión a 21°C. Un cambio de 7°C equivale a cerca del 2% en la velocidad del sonido.

Longitud de onda: Es la distancia que recorre una onda sonora para completar un ciclo entero.

Armónicos: Múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. El primer armónico es la frecuencia fundamental y el segundo es el doble de la frecuencia fundamental, etc.

Ancho de banda crítico (en el oído): El término utilizado en psicoacústica para describir el ancho finito de la envolvente de vibración se conoce como *ancho de banda crítico*.

La envolvente de la vibración basilar es una función bastante complicada. El área de la membrana aumentará a medida que el nivel de sonido lo hace.

Debido a que la membrana basilar tiene una resolución de frecuencia finita, medida en el ancho de la banda crítica, se sigue que también debe tener una resolución de tiempo finita. Esto también sigue del hecho que la membrana es resonante, tomando tiempo para comenzar y terminar de vibrar como respuesta al estímulo.

Octava: El intervalo entre dos frecuencias con una relación 2:1

Espectro: La distribución de energía de una señal con frecuencia.

Nivel de presión sonora SPL: Una potencia expresada en dB sobre el estándar de referencia de 20 micropascal.

Nivel de potencia sonora: Una potencia expresada en dB sobre el nivel de referencia estándar de 1 picowatt.

Decibel: El bel es la unidad básica y se define como el logaritmo en base 10 de la relación de dos potencias. Siendo más apropiado para la medición del sonido queda como:

$$L_I = 10 \log w_1/w_2$$

Debemos recordar que el decibel se aplica a cantidades relacionadas con potencia. La *intensidad acústica* es potencia por unidad de área en una dirección específica y es por tanto adecuada para ser expresada en decibeles. Lo que se mide por lo general es la presión sonora y el cuadrado de la presión sonora es proporcional a la potencia acústica. De modo que el nivel en términos de presión sonora es:

$$L_p = 10 \log p_1^2/p_2^2$$

$$L_p = 20 \log p_1/p_2$$

Y esta es una relación aplicada en el sonido. 10 log se utiliza para relaciones de potencia y 20 log para presión sonora, voltajes y corrientes.

RMS: Es el valor eficaz de una señal de tipo alterna y su función es representar el valor efectivo de dicha señal. La potencia eléctrica es proporcional al cuadrado del voltaje *rms* medido. La potencia acústica es proporcional al cuadrado del valor de presión sonora *rms* medido. Por lo tanto no hay tal cosa como Watts rms.

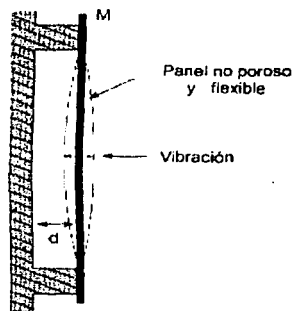
Resonadores: Un resonador es un elemento que presenta una absorción máxima para una frecuencia específica, la frecuencia de resonancia del elemento.

Dicha frecuencia depende de las características tanto físicas como geométricas del resonador y por lo general se ubica por debajo de los 500Hz.

Los resonadores pueden utilizarse de forma independiente o como complemento a los materiales absorbentes colocados en un recinto,

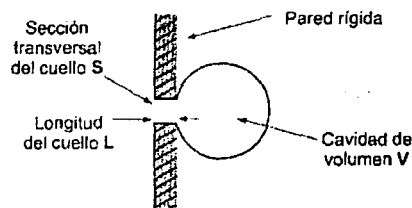
Básicamente existen los siguientes tipos:

De membrana o diafragmático



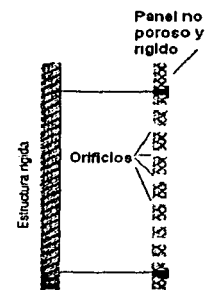
De membrana o *diafragmático*

Fig. G-1



Resonador Helmholtz (o simple de cavidad)

Fig. G-2



Múltiple de cavidad de listones, o paneles perforados o ranurados

Fig. G-3

Referencias

Capítulo 1

Figs. 1-1, 1-2 y 1-4 Microsoft Encarta Encyclopædia 99

Figs. 1-3, 1-5, 1-17, 1-18, 1-19, 1-20, 1-21, 1-22, 1-27, 1-29, 1-32, 1-33, 1-34, 1-35, 1-36, 1-37, 1-38 y 1-39 "Handbook for Sound Engineers" Edited by Glen M. Ballou, Focal Press, 1991.

Figs. 1-6, 1-7, 1-8, 1-30 y 1-31 Everest, F. Alton "The Master Handbook of Acoustics" McGraw-Hill, 1994 3ª. Ed.

Figs. 1-9, 1-10, 1-11, 1-12 1-13 y 1-25 Watkinson, John "The Art of Sound Reproduction" Focal Press, 1998.

Figs. 1-14, 1-15, 1-16, 1-23 1-24, 1-26 y 1-28 Carrión Isbert, Antoni "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos" Alfaomega, 2001

Capítulo 3

Figs. 3-2 y 3-3 Everest, F. Alton "The Master Handbook of Acoustics" McGraw-Hill, 1994 3ª. Ed.

Figs. 3-4 y 3-5 "Handbook for Sound Engineers" Edited by Glen M. Ballou, Focal Press, 1991

Figs. 3-6, Carrión Isbert, Antoni "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos" Alfaomega, 2001

Capítulo 4

Figs. 4-1, 4-10, 4-11, 4-19, 4-20, 4-21, 4-22 4-23 y 4-28 "Handbook for Sound Engineers" Edited by Glen M. Ballou, Focal Press, 1991

Figs. 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7, 4-8, 4-9 y 4-12 "Meyer Sound Design Reference" Meyer Sound Laboratories, 1997

Figs. 4-31, 4-14, 4-15, 4-16, 4-17 y 4-18 Sobol, Norbert "Mictchnl.ppt" CD AKG Acoustics, Audiocústica y Sistemas SA de CV, 2002

Glosario

Figs. G-1, G-2 y G-3 Carrión Isbert, Antoni "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos" Alfaomega, 2001

Bibliografía

En papel

LIBROS

- EVEREST, F. ALTON; "The Master Handbook of Acoustics" 3rd Edition, McGraw-Hill 1994.
- EVEREST, F. ALTON; "Acoustics" in "Handbook for Sound Engineers" 2nd Ed.; Focal Press, 1991.
- BROOK, ROLLINS; "Rooms for Speech and Music" in "Handbook for Sound Engineers" 2nd Ed; Focal Press, 1991.
- BALLOU, GLEN; "Microphones" in "Handbook for Sound Engineers" 2nd Ed; Focal Press, 1991.
- UZZLE, TED "Acoustics for Cinemas" in "Handbook for Sound Engineers" 2nd Ed; Focal Press, 1991.
- HENRICKSEN, CLIFF "Loudspeakers, Enclosures and Headphones" in "Handbook for Sound Engineers" 2nd Ed; Focal Press, 1991.
- FOREMAN, CHRIS "Sound System Design" in "Handbook for Sound Engineers" 2nd Ed. Focal Press, 1991.
- DAVIS, DON AND CAROLYN "Designing for Speech Inteligibility" in "Handbook for Sound Engineers" 2nd Ed; Focal Press, 1991.
- DAVIS, DON AND CAROLYN "Audio Measurements" in "Handbook for Sound Engineers" 2nd Ed; Focal Press, 1991.
- DAVIS, DON AND CAROLYN "Sound System Engineering" SAMS, 1987.
- MCCARTHY, BOB "Meyer Sound Design Reference" Meyer Laboratories 1997.
- CARTER, PAUL "Backstage Handbook" Broadway Press, 1988
- CARRIÓN ISBERT, ANTONI "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos" Ed. Alfaomega, 2001
- WATKINSON, JOHN "The Art of Sound Reproduction" Focal Press, 1998
- FAHY, FRANK "Foundations of Engineering Acoustics" Academic Press, 2001
- MILLER, MARJORIE A., LEAVELL, LUTIE C. "Manual de Anatomía y Fisiología " 16ª Edición; La Prensa Médica Mexicana, 1991.
- PIERCE, D. ALLAN "Acoustics. An Introduction to its Physical Principles and Applications"; Acoustic Society of America, 1989
- PÉREZ MIÑANA, JOSÉ "Compendio Práctico de Acústica" Editorial Labor, 1969

PUBLICACIONES

ISO/TC 43/SC2 Revision of the ISO 3382 "Building Acoustics" DIN, Germany, 1993-09-10
BARRON, M. LEE, L-J. <<Energy relations in concert auditorium. I>> Journal of the Acoustical Society of America, No. 84, August, 1988
HARLEY, ROBERT, <<¿Qué demonios significa eso de THX?>> en Home:Tech –Octubre 2001
HARLEY, ROBERT, <<¿Qué demonios significa eso de THX?>> en Home:Tech –Noviembre 2001
RAMÍREZ RUIZ, ENRIQUE, <<Técnicas de microfoneo>> en Sound:Check –Abril 2001
MARQUINA RICARDO, <<Rigging>> en Sound:Check –Septiembre 2000

En formato digital

CD-ROM

Microsoft Encarta Enciclopædia 1999
Custom Electronic Design and Instalation Association: Guide to Home Networking 2001
Neumann Microphone Catalog 1998

EN INTERNET

www.catt.se
www.squ1.com/site.html
www.fi-p.unam.mx/depfi/historia.html
www.linguafranca.com/print/0104/feature_bouncing.html
www.meyersound.com
www.genelec.com
www.beyerdynamic.com
www.sennheiser.com
www.akeg-acoustics.com
www.aercoustics.com/papers/ioa95/ioa95_1.htm
pcfarina.eng.unipr.it
www.purebits.com
www.etfacoustic.com
www.integralacoustics.ca
www.celestion.com
www.peavey.com
www.yorkville.com
www.shure.com
www.hafler.com
www.audio-technica.com