



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN ELECTROACÚSTICA PARA UNA SALA DE
PROYECCIÓN AUDIOVISUAL. CASO REPRESA HIDROELÉCTRICA TOACHI
- PILATÓN

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Sonido y Acústica

Profesor guía
Christiam Garzón Pico

Autor
Andrés Báez Bueno

Año
2014

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Christiam Garzón Pico

Master en Acústica

171364462-1

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

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

Andrés Eduardo Báez Bueno
171548063-6

RESÚMEN

El siguiente proyecto de titulación presenta una guía técnica para la implementación de cadenas electroacústicas en salas de proyección multimedia, así como varios criterios de diseño sugeridos con el fin de obtener los mejores resultados posibles dentro de un presupuesto y tiempo definidos. Se expone el caso de la implementación electroacústica realizada en el área de entretenimiento de la Represa Hidroeléctrica Toachi – Pilatón, para dar un enfoque más práctico a los procesos de diseño y construcción requeridos.

El sistema referido, aparte de reproducir contenido en alta definición de audio y video, cuenta con la capacidad adicional de integrar periféricos que permiten incluir nuevas funciones como videoconferencia, refuerzo sonoro, servicios en red, procesamiento digital de señales, entre otros.

Las dificultades encontradas al realizar una instalación en un espacio previamente construido sin criterio técnico serán explicadas también, al ser ésta una condición de trabajo recurrente en las instalaciones electro-acústicas. Los resultados finales así como los recursos necesarios hubieran diferido de los mostrados en éste proyecto de haberse tratado de una construcción nueva pero las directrices de diseño se mantienen para cualquier sistema.

La adecuada selección de componentes así como el uso de técnicas de procesamiento digital de señales conllevan a alcanzar los objetivos técnicos dentro de los límites de presupuesto y disponibilidad de tiempo.

ABSTRACT

The following project presents technical guidelines to the design and implementation of a modern electro-acoustic chain in a digital multimedia projection facility as well as some other design criteria advisable to follow in order to obtain the highest performance possible within a budget, to explain the design and construction procedures in a more practical approach, a case study of the implementation of an electroacoustic system in the entertainment area of the Toachi - Pilaton Hydroelectric Dam will be reviewed.

The showcased system features not only digital media reproduction of both high definition audio and video but also integrates several peripherals allowing video conferencing, voice reinforcement, cloud services access, digital signal processing, among others.

The challenges of retrofitting a system will also be covered since the construction of the facility was limited by the infrastructure previously built without technical criteria. The resources needed and the overall result of a new construction would vary but the core design of the system shouldn't change to a greater extent.

Digital processing techniques and the appropriate selection of components based on a complete electro-acoustic design led to the achievement of both technical and aesthetical goals based on time and budget constraints.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. Marco teórico	7
1.1. El transductor como una red eléctrica	7
1.2. Transductor de bobina móvil	9
1.3. Cajas acústicas	12
1.3.1. Cajas cerradas	12
1.3.2. Cajas abiertas	14
1.3.3. Cajas refleja bajos	14
1.4. Sistemas de audio multicanal	15
1.4.1. Dolby Laboratories	16
1.4.2. DTS	18
1.4.3. THX	19
1.5. El sonido en recintos	20
1.6. Factores acústicos en el diseño arquitectónico	21
1.6.1. Arribos directos	21
1.6.2. Reverberación a 500 Hz	21
1.6.3. Calidez	22
1.6.4. Intimidad	22
1.6.5. Difusión, mezcla y unidad de conjunto	22
2. CAPÍTULO II. Diseño electroacústico de la sala de reproducción audiovisual	24
2.1. Introducción	24
2.2. Cadena A	27
2.2.1. Análisis situación inicial	29
2.2.2. Implementación	30
2.3. Cadena B	41
2.3.1. Implementación	45
2.4. Altavoces frontales	51
2.4.1. Ubicación	52
2.4.2. Montaje	55

2.4.3. Tipos de altavoces	55
2.4.4. Implementación.....	56
2.5. Altavoces posteriores.....	60
2.5.1. Ubicación	61
2.5.2. Cantidad de altavoces	63
2.5.3. Tipos de altavoces	66
2.5.4. Implementación.....	66
2.6. Subwoofers.....	70
2.6.1. Rango dinámico	73
2.6.2. Ubicación	74
2.6.3. Tipos de altavoces de bajas frecuencias	80
2.6.4. Implementación.....	86
3. CAPÍTULO III. Consideraciones acústicas	90
3.1. Introducción	90
3.2. Ruido de fondo	92
3.3. Análisis situación inicial	94
3.4. Aislamiento acústico	97
3.4.1. Paredes	100
3.4.2. Techo, piso	105
3.4.3. Puertas	109
3.5. Tiempo de reverberación	111
3.5.1. Implementación.....	114
3.5.2. Absorción detrás de la pantalla.....	114
3.5.3. Butacas.....	118
4. CAPÍTULO IV. Presupuesto.....	121
5. CAPÍTULO V. Conclusiones y recomendaciones ..	122
5.1. Conclusiones	122
5.2. Recomendaciones	123
REFERENCIAS.....	124
ANEXOS	126

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de fórmulas	127
Anexo 2. Glosario	131
Anexo 3. Archivo fotográfico	135
Anexo 4. Presupuesto	148
Anexo 5. Edificio de Entretenimiento campamento La Palma ...	166
Anexo 6. Plano Sala de Video	167
Anexo 7. Cadena electroacústica Sala de Video	168
Anexo 8. Cableado estructurado Edificio de Entretenimiento campamento La Palma	169

Introducción

Antecedentes

Las alternativas de generación de energía renovable son varias, si bien muchas son nuevas y su costo todavía no permite su uso masivo, existen métodos de menor impacto ambiental y costo para generar energía, como el aprovechamiento de caudales hídricos para obtener electricidad por medios hidroeléctricos. El Ecuador siendo geográficamente diverso cuenta con un sistema fluvial extenso y con condiciones ideales para aplicar métodos de generación hidroeléctrica. Las centrales de generación hidroeléctrica actualmente cubren una parte del requerimiento energético nacional, siendo todavía necesaria la obtención de energía eléctrica por medios no renovables o de poco beneficio económico para el país.

Por la incapacidad para abastecer la demanda energética y tomando en cuenta las condiciones hidrológicas del sistema fluvial ecuatoriano, el Consejo Provincial de Pichincha propone en marzo del 2003 frente al Directorio de CONELEC la creación de la central de generación hidroeléctrica Toachi - Pilatón. Para iniciar el proyecto y bajo los estatutos legales aplicables se crea la empresa Hidrotoapi E.P. El 9 de septiembre de 2005 se conforma legalmente la empresa pública Hidrotoapi (Hidrotoapi, 2013).

Dentro de las obras civiles necesarias para la construcción de la represa hidroeléctrica consta la edificación de un campamento administrativo en La Palma, ubicado a menos de tres kilómetros de la ubicación del proyecto hidroeléctrico. En dicho campamento se vio la necesidad de proveer al personal con infraestructura para su esparcimiento, contemplándose así la construcción de una sala de proyección audiovisual.

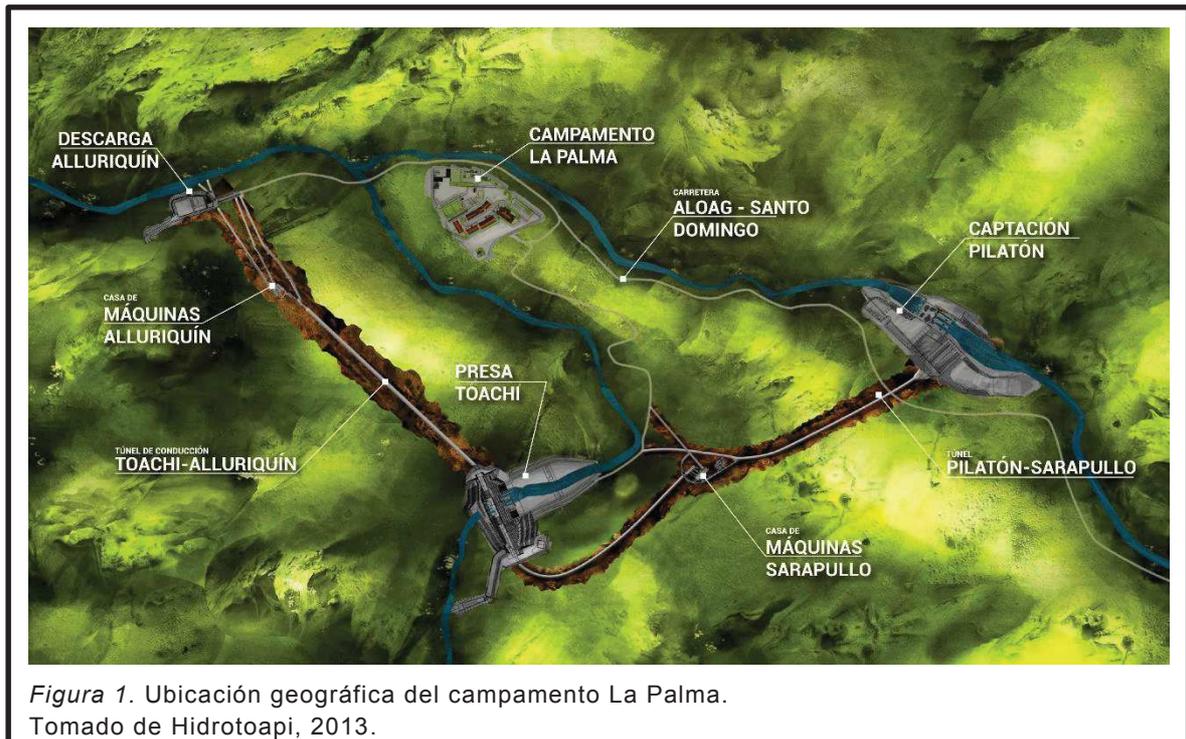


Figura 1. Ubicación geográfica del campamento La Palma.
Tomado de Hidrotoapi, 2013.

Las técnicas electroacústicas para la reproducción de sonido han formado parte de los avances tecnológicos en diversos campos como las telecomunicaciones o los sistemas de refuerzo sonoro desde la invención de los primeros altavoces de radiación directa en 1877. La evolución de sistemas electroacústicos retomó importancia con el apareamiento del cine sonoro en 1920. Este nuevo formato de cine requería de un sistema de codificación, almacenamiento, decodificación y transducción. Los sistemas inicialmente estaban compuestos de equipos simples y la calidad que se podía obtener no era alta. Con el pasar del tiempo y el aumento en la demanda de sistemas para el mercado doméstico, aparecen pioneros como Ray Dolby o Paul Klipsch quienes iniciaron el desarrollo de sistemas de alta definición hace más de 70 años.

En los últimos 30 años gracias a la aparición de estándares de calidad para sistemas de reproducción audiovisual, la fidelidad que se puede lograr ha ido mejorando y actualmente es notablemente superior a los primeros sistemas electroacústicos disponibles.

En la actualidad los sistemas electroacústicos se ven beneficiados por los nuevos medios de almacenamiento digital que proporcionan una mínima degradación de las señales de audio originales proporcionando una reproducción de alta fidelidad.

Marco referencial

Se consideró desde la planificación del campamento la construcción de una edificación de entretenimiento con capacidad para 80 personas que cuente con cuatro áreas principales, un gimnasio, una sala de juegos, un sitio de esparcimiento en el área exterior y una sala de video. La proyección de películas en esta sala se considera una de las opciones más prácticas para el entretenimiento del personal por lo que se han tomado en cuenta varios aspectos técnicos para su construcción.

Se ha previsto realizar un trabajo de obra civil que permita mejorar el espacio asignado en términos de aislamiento sonoro. También se ha considerado un trabajo arquitectónico que complemente el acondicionamiento acústico y la estética de la sala, y por último se planea tener equipos electroacústicos de la mejor calidad posible. Se ha previsto que este espacio pueda cumplir también la función de una sala de capacitación y teleconferencia. El proceso de construcción del espacio está limitado a seis meses.

Dentro de las consideraciones técnicas para la implementación electroacústica de la sala de proyección audio visual se encuentra la capacidad de integración del sistema de video y audio con un sistema de videoconferencia, así como la capacidad de recurrir al sistema de audio instalado para el refuerzo sonoro vocal para realizar capacitación al personal. Estas consideraciones permiten el uso de la sala como un espacio multifuncional.

Se prevé que el uso de equipos de alta calidad correctamente instalados y calibrados proporcionará niveles de calidad dentro de estándares internacionales y una experiencia positiva para los usuarios.

Hipótesis

- Contando con un espacio físico inicialmente construido sin tomar en cuenta criterios técnicos de diseño acústico, es posible realizar instalaciones electroacústicas que permitan obtener mejores resultados dentro de los parámetros requeridos.
- Es posible diseñar e implementar una cadena electroacústica con la capacidad de integrar refuerzo sonoro, reproducción de audio en formatos multicanal y videoconferencia.
- Se pueden contrarrestar las deficiencias acústicas de la sala mediante el uso de procesamiento digital de señales y componentes electroacústicos adecuados.

Alcance

La construcción de la sala de video involucra todos los procesos de diseño, ejecución de obra, e implementación de una cadena electro acústica que cumpla con los requerimientos para realizar proyecciones audiovisuales, capacitación y videoconferencia. Además se debe tomar en cuenta la evaluación de la oferta en cuanto a equipos dentro y fuera del país, elaboración de presupuestos, conocimiento del proceso de compras públicas, e importación de equipo de audio y video.

Justificación

Con el fin de mantener la productividad del personal, la cual está muy relacionada con su bienestar personal, se ha decidido tratar a la construcción de la sala de video como un proyecto independiente, interdisciplinario, y con libertad en cuanto al diseño para obtener los mejores resultados posibles dentro del presupuesto asignado. Se espera que la puesta en funcionamiento de la sala de proyecciones tenga un efecto positivo en la vida del personal que se encuentra en el campamento y que las condiciones técnicas alcanzadas sean lo más altas posibles, creando un referente de calidad para futuras implementaciones electro acústicas de éste tipo.

Objetivos

Objetivo general

Implementar la cadena electroacústica de la sala de proyección audiovisual en el edificio de entretenimiento del campamento administrativo de la represa hidroeléctrica Toachi - Pilatón siguiendo estándares de calidad THX dentro de un tiempo establecido y un presupuesto definido.

Objetivos específicos

Diseñar una cadena electroacústica tomando en cuenta los requerimientos del cliente y las condiciones físicas de la sala.

Diseñar el interior de la sala tomando en cuenta optimización del volumen, aforo y ubicación de componentes.

Instalar el sistema según el diseño de la cadena electroacústica.

Optimizar el sistema para obtener la respuesta de frecuencia más plana posible y reducir la amplitud de los modos normales de vibración por medios electroacústicos.

Conservar una distorsión armónica total inferior al 0.1% con una respuesta de frecuencia de 20Hz a 20kHz como mínimo en todos los componentes electrónicos.

1. CAPÍTULO I. Marco teórico

1.1. El transductor como una red eléctrica

Un transductor que convierte energía en forma eléctrica y mecánica puede considerarse como una red de dos puertos que relacionan propiedades eléctricas en un extremo y mecánicas en otro extremo. A continuación las definiciones que se usaran para describir el fenómeno de la transducción electroacústica desde una perspectiva eléctrica:

V = Voltaje a través de las entradas eléctricas del transductor.

F = Fuerza en la superficie radiante.

I = Corriente hacia las entradas eléctricas.

u = Velocidad de la superficie radiante.

Si se considera la fuerza como el análogo del voltaje, y la velocidad como el análogo de la corriente, se obtiene una red como la que se muestra en la figura 2. Existen impedancias mecánicas y eléctricas asociadas con las variables eléctricas y mecánicas que son propiedades medibles del sistema:

$Z_{EB} = V/I_{u=0}$ = Impedancia eléctrica bloqueada.

$Z_{EF} = V/I_{F=0}$ = Impedancia eléctrica libre.

$Z_{m0} = F/u_{I=0}$ = Impedancia mecánica de circuito abierto.

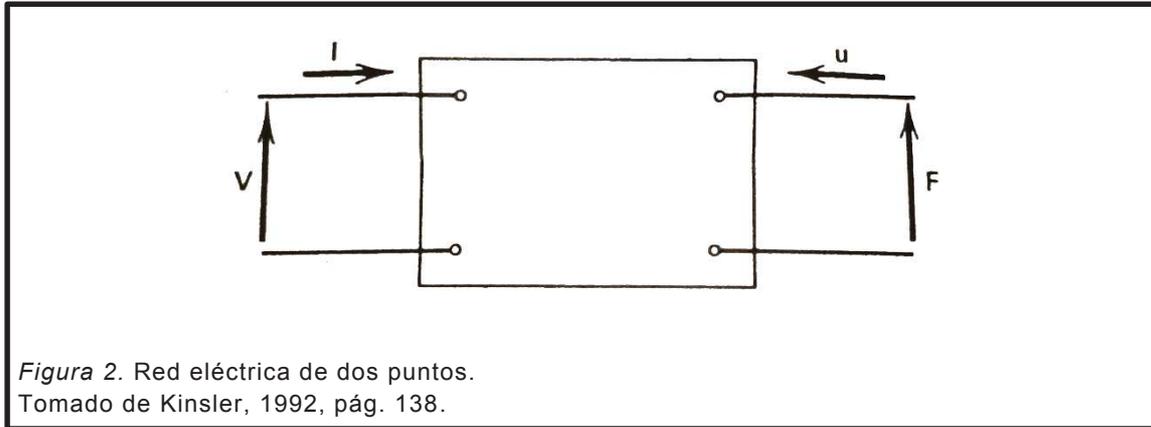
$Z_{ms} = F/u_{V=0}$ = Impedancia mecánica de cortocircuito.

Los subíndices con mayúsculas designan impedancias eléctricas y los subíndices con minúsculas impedancias mecánicas. El segundo subíndice se refiere a la constricción.

De la definición de Z_{EB} se tiene $V(I, 0) = Z_{EB}I$. Sin embargo, si u no es 0, el valor de V debe ser diferente para la misma corriente aplicada. Si se supone que V debe depender linealmente de u , como depende de I , entonces:

$$V = Z_{EB}I + T_{em}u$$

Ecuación 1



Donde T_{em} es un coeficiente de transducción. Similarmente, la ecuación de fuerza se generaliza por:

$$F = T_{me}I + Z_{mo}u$$

Ecuación 2

Las ecuaciones 1 y 2 forman las ecuaciones canónicas que describen el comportamiento mecanoeléctrico de un transductor.

Si las terminales eléctricas se ponen en corto circuito, de tal manera que $V = 0$, entonces la Ecuación 1 se puede resolver para expresar I en términos de u y es posible sustituir este resultado en la Ecuación 2. La cantidad F/u es entonces Z_{ms} , y si se opera se obtiene: $Z_{ms} = (1 - K^2)Z_{mo}$. Donde el factor de acoplamiento K se define como:

$$K^2 = \frac{T_{em}T_{me}}{Z_{EB}Z_{mo}}$$

Ecuación 3

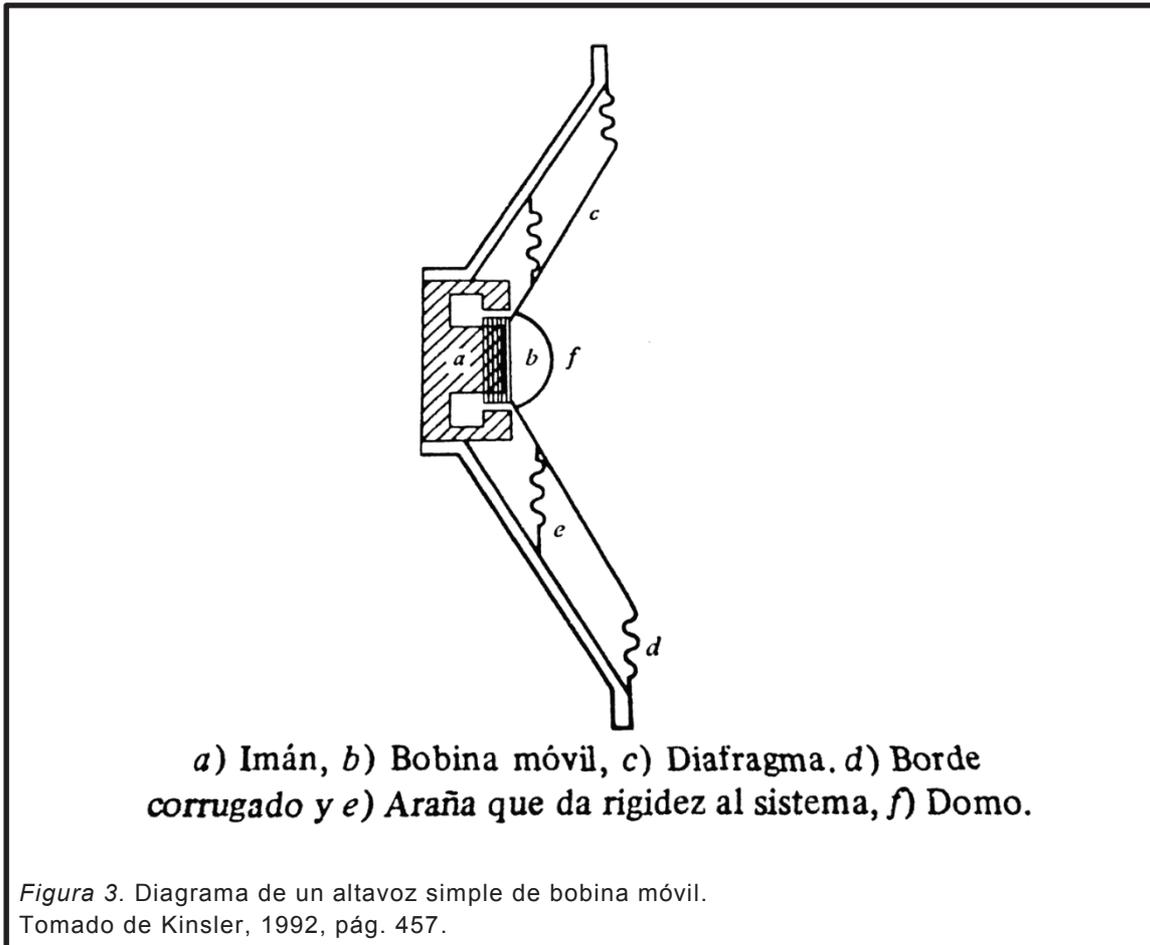
De igual manera la imposición $F = 0$ y manipulación correspondiente de las ecuaciones revela que: $Z_{EF} = (1 - K^2)Z_{EB}$.

En ciertas condiciones de simetría, las ecuaciones canónicas asumen formas más simples, y las redes de la figura 2 pueden ser representadas por redes reversibles de tres terminales (Kinsler, 1992, pág. 439).

1.2. Transductor de bobina móvil

La Figura 3 muestra un esquema simplificado de un altavoz de bobina móvil. Se puede notar que el diafragma vibrante (cono) por lo general es más grande que la bobina móvil, con el fin de aumentar la eficiencia de radiación de frecuencias bajas. Debido a que un altavoz se volverá directivo a altas frecuencias, normalmente se usan varios altavoces con diafragmas de áreas diferentes en aplicaciones de alta fidelidad.

Un sistema de alta fidelidad de gama amplia podría consistir en un altavoz grande relativamente masivo que radia las frecuencias más bajas (woofer), altavoces más pequeños para las frecuencias medias (squakers) y otros aún más pequeños para radiar las frecuencias más agudas (tweeters y supertweeters). Estos diferentes altavoces son excitados a través de redes de filtrado eléctrico que dan a cada uno su gama apropiada de frecuencia.



Los altavoces independientemente de la gama de frecuencias que reproducen, presentan un comportamiento bastante complejo en la vida real, a continuación se presentan algunas consideraciones:

A bajas frecuencias, el tiempo requerido para que un desplazamiento del centro del cono se propague al borde es pequeño comparado con el periodo de vibración, de tal manera que se puede suponer que el cono vibra como superficie rígida. La velocidad de las ondas transversales en un cono de papel es función de su grosor, rigidez, ángulo del cono y la frecuencia. Para los materiales usados comúnmente en los conos de altavoces comerciales, esta velocidad es aproximadamente 500 m/seg. Consecuentemente, es lógico suponer que el cono se mueve como una unidad a frecuencias menores a 500 Hz.

Sin embargo, a frecuencias más altas, el cono ya no vibra como una unidad. La amplitud de vibración en la orilla del cono es relativamente pequeña, de tal manera que la radiación proviene en su mayor parte de un pistón central cuyo radio efectivo a_e y una masa efectiva m_e disminuyen gradualmente al aumentar la frecuencia. Este decremento del radio efectivo hace que la resistencia de radiación R_r decrezca aproximadamente como a_e^2 . Dado que a altas frecuencias el sistema está controlado por la masa, m_e también decrece con a_e , y n (eficiencia electroacústica) no decrece tan rápidamente como para un pistón rígido. El resultado neto de estos dos efectos es producir una mejoría significativa en la salida de este altavoz a frecuencias arriba de 700 Hz. Muchos altavoces tienen sus conos corrugados para aprovechar este efecto o incluso aumentarlo.

El problema de mantener en los altavoces una salida acústica uniforme a muy bajas frecuencias es más difícil de resolver. Un método para mejorar la respuesta de bajas frecuencias es aumentar el radio de los altavoces. La resistencia de radiación aumenta como la cuarta potencia del radio y por consiguiente aumenta su eficiencia. Sin embargo, el aumento en la eficiencia no es tan alto como se esperaría, debido a que la masa del altavoz también aumenta con el radio.

La respuesta de baja frecuencia también puede aumentarse reduciendo la rigidez del sistema de suspensión, bajando así la frecuencia de resonancia mecánica. Reducir la rigidez del sistema de suspensión sería una solución excelente si fuera necesario considerar únicamente la eficiencia y la potencia de salida. Sin embargo, si se reduce demasiado la rigidez del sistema mecánico, su desplazamiento a bajas frecuencias es muy grande, lo cual puede causar una distorsión armónica en la salida acústica, que resulta del desplazamiento de la bobina móvil hacia regiones no uniformes del campo magnético.

La siguiente ecuación simplificada es útil para explicar la influencia de la variación de los diferentes parámetros de diseño en las características del altavoz:

$$n \approx \frac{\Phi_M^2}{|Z_{mo} + Z_r|^2} \frac{R_r}{R_0}$$

Ecuación 4

Ahora, Φ_M (fuerza electromagnética) es directamente proporcional a la densidad de flujo en la parte interna del altavoz, de tal manera que al aumentar B aumentará la eficiencia del altavoz. Los dos métodos más adecuados para lograr esto son: 1) usar un imán de campo más poderoso, y 2) disminuir el ancho de la separación del entrehierro a un valor tan pequeño como sea posible. Se esperaría que un aumento en la longitud del conductor que forma la bobina móvil aumentaría la eficiencia ya que $n \propto \Phi_M^2/R_0 \propto 1$. Sin embargo, para cualquier tamaño de alambre hay una longitud óptima más allá de la cual el aumento en la masa y el decremento de B (debido a la mayor separación requerida para acomodar la bobina más grande) son más significativos que la ganancia que resulta del aumento de 1. Si se especifica la masa del conductor que se ha de usar en la bobina móvil, no hay un cambio en la eficiencia debido a un cambio en el tamaño del alambre. En consecuencia, la principal consideración para elegir el tamaño del alambre es su capacidad de conducir corriente por unidad de masa, y el aluminio es preferible al cobre. Si el volumen ocupado por la bobina es el factor limitante, entonces el cobre es más eficiente que el aluminio (Kinsler, 1992, pág. 463).

1.3. Cajas acústicas

1.3.1. Cajas cerradas

Un altavoz de radiación directa montado en una caja cerrada sólo puede radiar energía acústica por el frente del cono. El principal efecto mecánico del gabinete cerrado es contribuir una rigidez adicional a la del sistema de suspensión del altavoz. La rigidez S_c de la caja a frecuencias bajas es la de un

resonador de Helmholtz, donde a es el radio del altavoz y V el volumen del gabinete.

$$S_c = (\pi a^2)^2 \frac{\rho_0 c^2}{V}$$

Ecuación 5

Esta rigidez añadida a la del altavoz, eleva la frecuencia de resonancia mecánica del sistema y la caída de baja frecuencia empieza a una frecuencia más alta que si el altavoz estuviera montado en una pantalla infinita (Kinsler, 1992, pág. 464).

Considerando la instalación del altavoz en un baffle infinito como la opción más eficiente para lograr la mayor extensión en frecuencias bajas, la caja cerrada resulta una opción menos ideal, sin embargo la factibilidad práctica de encontrar un baffle infinito es irreal por lo que se supone este escenario de manera puramente teórica a fin de comparar los diferentes tipos de cajas acústicas.

Una forma de mejorar la respuesta de baja frecuencia de una gabinete cerrado es el hacerlo más grande. Otro método más práctico es reducir la rigidez y aumentar la masa del cono. El altavoz de suspensión acústica obtiene su rigidez casi por completo del aire dentro del gabinete; su propia suspensión es extremadamente flexible. Con reducciones apropiadas en la frecuencia de resonancia mecánica, la salida acústica para el altavoz anterior puede hacerse aceptable hasta 40 Hz. Tales sistemas tendrán una salida acústica muy reducida arriba de 1 kHz aproximadamente y en consecuencia son útiles fundamentalmente como sistemas de frecuencias bajas en sistemas de múltiples altavoces. Como un poso adicional, se puede llenar el gabinete con material absorbente para mejorar la respuesta en bajas frecuencias (Kinsler, 1992, pág. 464).

1.3.2. Cajas abiertas

Otro tipo de caja acústica es la de fondo abierto utilizado usualmente en televisores y radios. Se puede expresar la impedancia mecánica Z_{mc} que actúa en la parte posterior del cono como:

$$Z_{mc} = (\pi a^2)^2 Z_{Ac}$$

Ecuación 6

Donde Z_{Ac} es la impedancia acústica de entrada del gabinete visto por la parte posterior del cono del altavoz.

A la frecuencia fundamental de resonancia de la caja, el movimiento del cono del altavoz se ve aumentado. Esto ocurre usualmente entre 100 y 200 Hz y da lugar a una calidad intrínseca retumbante. Las cajas de fondo abierto tienen además la desventaja de que para las frecuencias por debajo de su resonancia fundamental, el tamaño de la pantalla es inadecuado, por lo cual la radiación posterior se combina con la anterior para formar un dipolo (Kinsler, 1992, pág. 465).

1.3.3. Cajas refleja bajos

Un factor que limita la salida de bajas frecuencias de todos los altavoces de radiación directa es el acoplamiento insuficiente entre el cono y el aire. El uso de un cono más grande aumenta la resistencia de radiación y por consiguiente de acoplamiento, pero a expensas de un incremento de la directividad. Una alternativa es montar el altavoz en un gabinete inversor de fase a la del frente, aumentando así la resistencia de radiación total.

Se deben considerar muchos factores al diseñar un gabinete refleja bajos. Sin embargo, si el área de la abertura se hace aproximadamente igual a la del cono del altavoz, y si la frecuencia de resonancia del gabinete es algo menor que la

del sistema de suspensión del cono del altavoz, la respuesta de bajas frecuencias será mejor. Comparado con una caja abierta, las cajas refleja bajos no sólo extienden la gama de bajas frecuencias sino que también tienen una respuesta más suave. Se puede ajustar la respuesta de frecuencias bajas poniendo en la boca de la abertura un radiador pasivo.

Un problema práctico en el diseño de cualquier tipo de caja acústica es la rigidez mecánica de las paredes. Los requerimientos para gabinetes cerrados o refleja bajos son considerables, ya que las presiones acústicas en estos gabinetes son lo suficientemente altas para que las superficies vibren mecánicamente. Las resonancias que por lo general ocurren en las frecuencias más bajas audibles y producen irregularidades indeseables, pueden evitarse haciendo al gabinete rígido. Por Consiguiente, las paredes deben ser más gruesas que las de fondo abierto y, si es necesario, tener refuerzos estructurales (Kinsler, 1992, pág. 467).

1.4. Sistemas de audio multicanal

El audio como componente primordial para complementar el cine ha evolucionado a lo largo del tiempo para ajustarse no solo a las nuevas tecnologías de la imagen en movimiento sino a un mercado sumamente competitivo, cambiante y que día a día exige más por parte de los consumidores.

Parte de la gran evolución del audio para imagen resulta de la necesidad de transmitir el audio paralelamente a la imagen de forma codificada, inicialmente comprimida y sincronizada. Apareciendo formatos de codificación perceptual que permiten reducir el tamaño de la información y que estandarizan parámetros para maximizar la compatibilidad entre componentes de las cadenas electroacústicas de todas las etapas de la producción audiovisual.

En la actualidad pese a existir nuevas propuestas predominan dos empresas dedicadas a la creación de formatos de codificación para audio de cine, video,

tv, entre otras aplicaciones: Dolby Laboratories y DTS. De igual forma, en la actualidad, THX tiene como objetivo fijar estándares de calidad por medio de certificaciones y busca mejorar la calidad de las instalaciones dedicadas a la producción y exposición de contenido audiovisual mediante la capacitación técnica de sus instaladores y operadores.

Con el fin de reducir el tamaño necesario para almacenar la información de audio se desarrolla la codificación perceptual, la cual se basa en estudios psicoacústicos sobre como el oído y el cerebro perciben los sonidos. Gracias al entendimiento del oído humano es posible comprimir información eliminando elementos que el oído y el cerebro no son capaces de percibir.

Gracias a la aplicación de la codificación perceptual sobre la información de audio es posible reducir el volumen de datos, disminuyendo el espacio requerido para su almacenamiento.

Debido al reducido espacio necesario para el almacenamiento de audio con compresión es posible implementar más canales dentro de un mismo medio de almacenamiento dando lugar a la creación de formatos multicanal.

La evolución de los formatos multicanal se ha dado paralelamente al desarrollo del cine, llegando en la actualidad a estandarizarse el formato 5.1 como base para la distribución de audio para imagen. Dicho formato hace referencia, independientemente del sistema de codificación, a cinco canales de rango completo (20 Hz - 20 kHz) y un canal que reproduce frecuencias inferiores a 120 Hz (Producers & Engineers Wing, 2004, pág. 11).

1.4.1. Dolby Laboratories

Dolby Laboratories fue fundado por Ray Dolby en 1965 con el fin de crear sistemas de reducción de ruido para cintas análogas mediante técnicas de codificación perceptual.

En 1960 Dolby empieza a incursionar en el cine buscando aplicaciones para sus sistemas de reducción de ruido. Luego de aplicar la reducción de ruido tipo A a las pistas ópticas de audio de cintas de 35mm se pudo obtener una respuesta de frecuencias más plana y amplia. En 1966 se crea el reductor de ruido Dolby A301 del cual se derivan sus futuros codificadores.

Dolby Laboratories ha sido la empresa protagonista en el desarrollo de audio para cine, siendo la primera en estandarizar el audio codificado. Actualmente la mayoría de estándares y técnicas de codificación y distribución de audio para imagen se atribuyen a Dolby Laboratories (Producers & Engineers Wing, 2004, pág. 53).

A continuación se presentan algunas características importantes sobre los sistemas de codificación desarrollados por Dolby Laboratories:

- Aprovechan el enmascaramiento temporal y las frecuencias repetidas, las cuales no son duplicadas.
- Cada canal es filtrado por bandas antes de ser codificado para imitar la respuesta del oído humano y de esta manera eliminar el ruido no necesario.
- La codificación por frecuencias reduce el ruido, el cual es eliminado a través de filtrado y enmascaramiento.
- Los formatos con pérdida disminuyen la cantidad de Bits.
- El enmascaramiento frecuencial no permite que se codifiquen los componentes espectrales del sonido que van a ser enmascaradas por otras.
- Para que el sistema sea eficiente se debe tomar en cuenta el enmascaramiento y el algoritmo de distribución de bits.

1.4.2. DTS

DTS fue fundado en 1990 por Terry Beard, inicialmente denominado Digital Theater Systems, actualmente se conoce a la empresa simplemente como DTS.

En 1993 se crea el formato DTS Digital gracias al aporte económico de Universal Studios y Steven Spielberg, como alternativa de mayor calidad a los sistemas Dolby existentes. En 1997 se lanza al mercado doméstico el formato DTS.

DTS es considerado actualmente la competencia directa de Dolby Laboratories, si bien su uso no ha sido adoptado masivamente pese a presentar mejoras técnicas con respecto a los formatos con pérdida ofrecidos por Dolby Laboratories (Producers & Engineers Wing, 2004, pág. 54).

A continuación se presentan algunas características importantes sobre los sistemas de codificación desarrollados por DTS:

- Los diferentes formatos de audio DTS se basan en el algoritmo DTS Coherent Acoustics códec.
- El contenido codificado en DTS puede transmitirse de forma similar a Dolby AC-3 o PCM mediante coaxial digital o fibra óptica.
- En el caso de medios de almacenamiento ópticos, se imprime únicamente el time code para la consecuente sincronización del audio almacenado en un medio externo (CD) con la imagen.
- Los formatos DTS llevan dos tipos de información digital, el formato principal compuesto por una señal 5.1, y varios canales adicionales. Estos canales adicionales solo pueden ser decodificados por equipos que soporten la configuración de altavoces asociada con la cantidad de canales adicionales.

- DTS Digital Surround comprime el audio con una relación de 4:1 comparado con la relación de 14:1 de Dolby AC-3.

1.4.3. THX

El continuo desarrollo técnico en el campo audiovisual permitió mejorar la calidad de los equipos de proyección así como la fidelidad de los sistemas de sonido usados en todas las etapas de la producción cinematográfica, sin embargo, la aplicación de tecnología de punta en las salas de cine convencionales no siempre fue óptima. Pese a las ventajas técnicas presentadas por los formatos Dolby y DTS, las condiciones en las que éstos se reproducían no permitían desarrollar todo el potencial de los formatos multicanal.

Tomlinson Holman crea una serie de requerimientos de calidad para Lucasfilm en 1983 luego de concluir que se debían introducir nuevos estándares en la industria audiovisual para poder ofrecer al público la misma calidad de reproducción de audio y video que se obtuvo en la sala de mezcla al momento de la creación de Star Wars, Return of the Jedi.

A diferencia de Dolby Laboratories, DTS, o Sony (SDDS), THX no desarrolla tecnología para ser implementada de manera comercial, THX genera estándares de calidad con el fin de mejorar la experiencia en el consumo de contenido multimedia. THX certifica equipos asegurándose de que cumplan con los estándares más altos posibles dentro de categorías definidas. THX también certifica salas que cumplan con todos los requerimientos de calidad de reproducción y de confort para la audiencia. El proceso de certificación de una sala de proyección consiste de varias fases desde su diseño hasta la implementación, así como una renovación anual de la certificación. Todas las etapas técnicas de la construcción de la sala deben contar con la aprobación de THX para poder acceder a una certificación (THX Ltd., 2013).

A continuación se describen las categorías usadas por THX para emitir certificaciones de calidad:

- THX Certified Multimedia Products: productos pequeños para uso sobre mesas de trabajo.
- THX I/S Plus Systems: sistemas pequeños para distancias de pantalla a audiencia entre 1.8 y 2.4 metros.
- THX Select 2: sistemas para salas con distancias de pantalla a audiencia entre 3 y 3.7 metros.
- THX Ultra 2: sistemas para salas con distancias de pantalla a audiencia superiores a 3.7 metros.
- THX: salas de cine comercial y estudios de postproducción.
- THX pm3: estudios de postproducción pequeños.

1.5. El sonido en recintos

A través de extensos estudios experimentales de las propiedades acústicas de un recinto, Sabine llegó a una relación empírica entre las características de reverberación de un recinto, su tamaño y la cantidad de material absorbente. Su definición del tiempo de reverberación como el tiempo requerido para que la presión sonora caiga 60 dB, especifica un importante parámetro acústico de un local. La ecuación de Sabine relaciona el tiempo de reverberación de un recinto a su volumen V y un parámetro acústico A que especifica su absorción sonora total.

$$T \propto \frac{V}{A}$$

Las derivaciones teóricas de esta ecuación por lo general se basan en un modelo de rayos en el cual se supone que el sonido sale de la fuente a lo largo de rayos divergentes. En cada choque con las fronteras del recinto los rayos son parcialmente absorbidos y reflejados. Después de un gran número de reflexiones se puede suponer que el sonido en el recinto se ha hecho difuso: la densidad promedio de energía es la misma en todo el local, y todas las direcciones de propagación son probables.

La presencia de energía acústica reverberante tiende a enmascarar el reconocimiento inmediato de cualquier sonido nuevo, a menos que haya pasado el tiempo suficiente para que la reverberación descienda a 10 o 15 dB de su nivel inicial. Puesto que el tiempo de reverberación es una medida directa de la persistencia de tales sonidos, obviamente es deseable un tiempo de reverberación corto para minimizar los efectos de enmascaramiento. En consecuencia, la elección del mejor tiempo de reverberación para un recinto particular debe ser un compromiso (Kinsler, 1992, pág. 400).

1.6. Factores acústicos en el diseño arquitectónico

1.6.1. Arribos directos

En cualquier recinto debe haber una línea visual directa y clara entre la audiencia y la fuente de sonido. Esto no sólo es psicológicamente importante, sino que asegura que habrá un arribo directo del sonido bien definido. Esto también ayuda a evitar la atenuación de las bajas frecuencias que ocurre al sonido al cruzar la audiencia a incidencia tan rasante (Kinsler, 1992, pág. 415).

1.6.2. Reverberación a 500 Hz

Al diseñar un espacio destinado a la reproducción de contenido cinematográfico así como un estudio de grabación o de televisión, es

recomendable limitar el tiempo de reverberación a valores bajos, particularmente debido a que estos usos van normalmente acompañados de considerable manipulación electrónica, incluyendo limitación de amplitud, reverberación artificial y modelación frecuencial (Kinsler, 1992, pág. 417).

1.6.3. Calidez

La calidez de un recinto depende de la comparación entre los tiempos de reverberación de bajas frecuencias y frecuencias medias. El uso de paneles delgados u otros materiales ligeros pueden dar lugar a una gran absorción a bajas frecuencias (Kinsler, 1992, pág. 420).

1.6.4. Intimidad

La intimidad del sonido percibido es de gran importancia para la correcta interpretación del lenguaje. Esta cualidad depende de la recepción de arribos reflejados inmediatamente después del arribo directo de la fuente. Estos arribos retardados iniciales deben ser numerosos y estar distribuidos uniformemente en el tiempo; deben empezar antes de alrededor de 20 mseg después del arribo directo y mezclarse suavemente para formar reverberación (Kinsler, 1992, pág. 421).

1.6.5. Difusión, mezcla y unidad de conjunto

El campo sonoro reverberante de cualquier fuente debe difundirse rápidamente para que haya una mezcla adecuada del sonido a través del recinto. Esto es importante para la correcta percepción de los sonidos por parte de la audiencia (Kinsler, 1992, pág. 421). De encontrarse el sonido directo y el campo difuso demasiado separados temporalmente la inteligibilidad se pierde notablemente,

razón por la cual el sonido proveniente de la fuente así como sus arribos retardados deben percibirse como un todo.

2. CAPÍTULO II. Diseño electroacústico de la sala de reproducción audiovisual

2.1. Introducción

La integración de sistemas de audio y video para la reproducción de contenido cinematográfico se encuentra en constante evolución gracias a una industria rentable que busca innovación en las técnicas de distribución de contenido. Desde la inclusión del audio como complemento de la imagen en movimiento han sido varias las técnicas utilizadas para su reproducción. Desafortunadamente en sus inicios la implementación de este nuevo elemento sumaba complejidad a las cadenas de reproducción de video existentes.

El aumento en el costo que presentaba introducir una cadena electroacústica y las limitaciones técnicas presentes en las mismas mantuvieron al audio en segundo plano al momento de construir salas de reproducción audiovisual. Los medios de almacenamiento dejaban muy poco espacio para la impresión de pistas ópticas de audio con un rango dinámico apropiado para reproducir sonidos que complementarían a la imagen de manera positiva. La inversión necesaria para instalar un sistema de alta calidad no se podía justificar si la calidad de la fuente era demasiado baja.

A mediados de la década de los setenta Dolby Laboratories inicia la revolución en el mundo del audio para imagen al introducir sus sistemas de reducción de ruido NR en cintas ópticas de cine (JBL Professional, 2003, pág. 3), luego del éxito que habían tenido en los medios de grabación magnética. La nueva tecnología permitió un incremento sustancial en el rango dinámico y la calidad en general del audio que podía ser almacenado en el limitado espacio a los lados de los fotogramas de las cintas ópticas.

Aprovechando las nuevas técnicas de codificación y decodificación presentadas por Dolby, fabricantes como JBL pudieron implementar sistemas para cine con respuesta de frecuencia plana usando complementariamente técnicas de procesamiento de señal utilizadas usualmente en entornos de

refuerzo sonoro. El primer ejemplo de este tipo de implementaciones a gran escala fue el sistema JBL instalado en una exhibición para la Academia de Artes Cinematográficas y Ciencias en 1981 (JBL Professional, 2003, pág. 3).

Una vez comprobada la factibilidad técnica, y demostrado el potencial del audio como un recurso importante para reforzar la intención narrativa del video, se empiezan a implementar cadenas electroacústicas de mejor calidad en las salas de cine.

En 1983 Lucasfilm crea una división encargada de generar estándares de calidad para audio y video en salas de proyección comerciales llamada THX. El fin de los estándares creados por THX es asegurar que la reproducción audiovisual en las salas comerciales sea lo más fiel posible a la reproducción obtenida en las salas de mezcla. Esta idea genera confianza en los realizadores de producciones audiovisuales de que su trabajo será apreciado sin sufrir modificaciones, y el espectador se beneficia de una calidad superior y mejor transmisión de la idea original del contenido cinematográfico.

Gracias a un mayor interés del público por sistemas de mejor calidad y a los nuevos estándares, empieza el desarrollo de tecnologías de codificación perceptual que mejoran la calidad del audio impreso en los medios de almacenamiento ópticos. Éste desarrollo llega a la implementación de sistemas digitales que proveen varias ventajas sobre los anteriores sistemas análogos y marcan el inicio de una nueva era del audio para imagen en movimiento.

Los sistemas digitales permiten un rango dinámico excelente pese al limitado espacio para su impresión, también extienden el rango de frecuencias. Pese a esto el aspecto de mayor trascendencia de los sistemas digitales es la capacidad de aumentar el número de canales que pueden ser grabados en los medios ópticos. Dolby una vez más incursiona con una nueva tecnología digital denominada Dolby Stereo que permite, contrario a su nombre, la grabación de canales LCRS (Left-Center-Right-Surround) (Allen, 1994, pág. 7).

La acogida de los sistemas de audio multicanal en las salas de cine comerciales aseguró su desarrollo a futuro así como la aparición de nuevas empresas y nuevos formatos de codificación.

En 1991 se crea DTS como alternativa a los sistemas Dolby gracias al interés de Steven Spielberg en el proyecto. DTS propone un sistema únicamente digital y presenta varias ventajas a nivel de compresión comparado con su rival, el sistema Dolby Digital. El sistema DTS graba la información de audio digital en un CD y requiere únicamente la impresión de un código de tiempo en el medio de almacenamiento óptico para sincronizar audio e imagen. El sistema DTS comprime las señales en menor escala comparado con el sistema Dolby Digital lo que se traduce en una mejor calidad de reproducción.

En los últimos años la demanda por versiones para consumidor de las tecnologías encontradas en salas comerciales ha impulsado todavía más el desarrollo de las tecnologías de audio y video. Nuevos formatos de compresión más eficientes y con la habilidad de incorporar más canales han aumentado la complejidad de los sistemas tanto a nivel de consumidor como a nivel comercial. En la actualidad gracias a medios de distribución de contenido de gran capacidad existen formatos de almacenamiento de audio sin compresión. Estos formatos presentan una respuesta de frecuencia y rango dinámico que ponen a las tecnologías de audio análogo en una situación de desventaja técnica y poca demanda en un mercado que busca innovación.

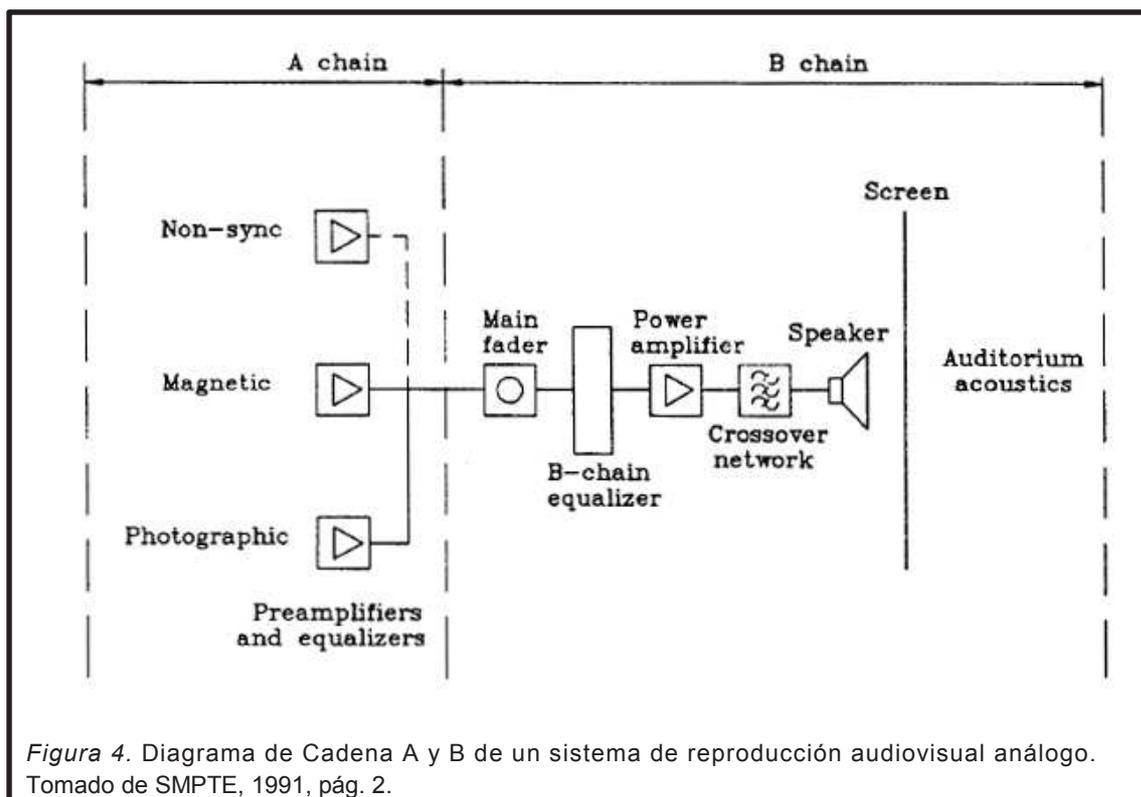
El desarrollo de las tecnologías de audio y video para salas de proyección comerciales o privadas ha tomado casi 30 años, en los cuales se han reinventado y redefinido los límites técnicos y se ha puesto a prueba la capacidad de los consumidores para mantenerse actualizados y adaptarse a nuevas ideas y tecnología previamente inexistente.

Pese a toda la innovación tecnológica con la que se cuenta en la actualidad, los principales criterios de diseño para salas de proyección se han mantenido sin mayor modificación desde sus orígenes. Las recomendaciones técnicas de organismos internacionales como ISO (International Organization for

Standardization) o SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) publicadas hace más de 15 años, todavía se aplican a las salas digitales con los medios de reproducción más modernos del mercado. A continuación se presentan los aspectos de mayor importancia al momento de diseñar e implementar las cadenas electroacústicas y de video con el fin de obtener los mejores resultados posibles.

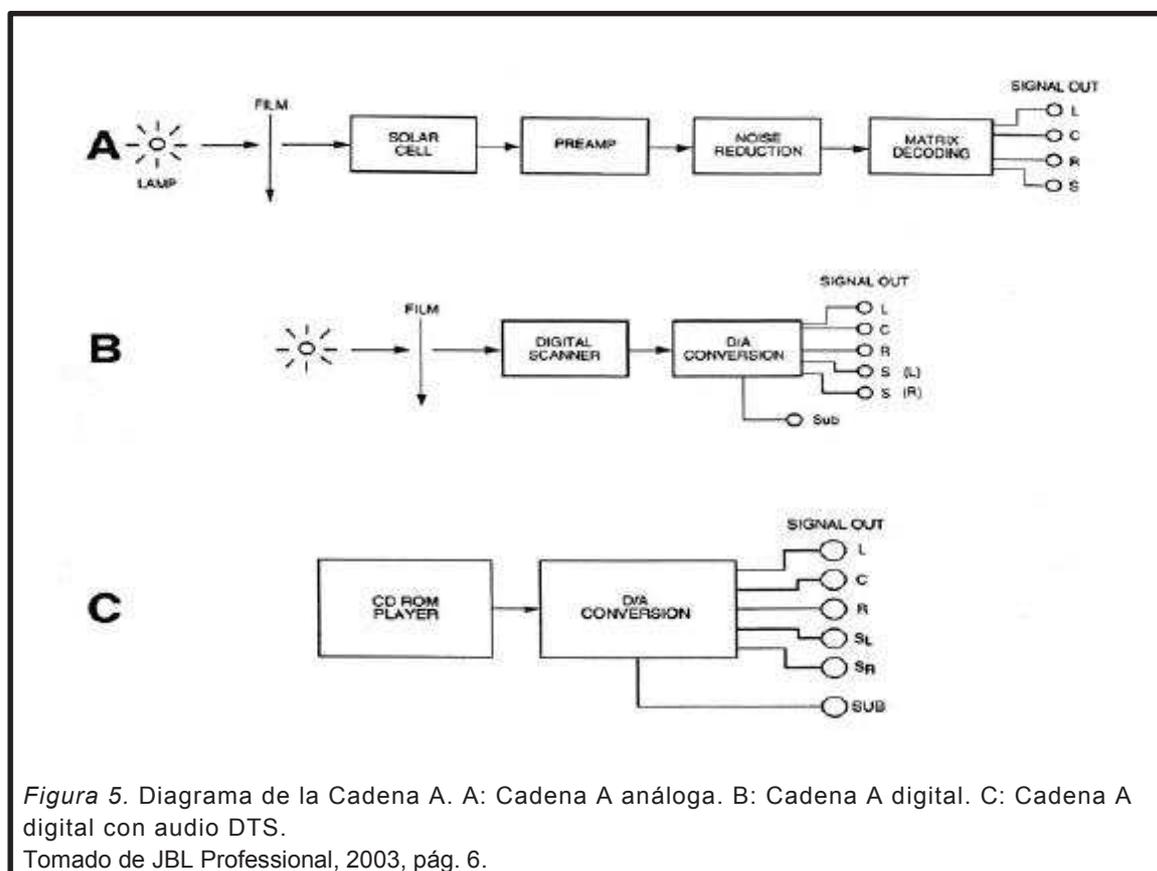
2.2. Cadena A

Con el fin de diferenciar los procesos de decodificación de señales y la reproducción de audio y video, se ha convenido en separar los equipos en dos cadenas dependientes entre sí pero de igual importancia.



La Cadena A fue la primera en adoptarse como parte fundamental de las salas de reproducción de cine. Todos los equipos contenidos en ésta cadena tenían como única función la reproducción del medio de almacenamiento óptico en forma de proyección de imagen. Al incluirse audio en las cintas ópticas de cine de suman a la Cadena A equipos con la capacidad de leer las pistas de audio y generar una señal de voltaje que podía ser fácilmente amplificada y reproducida por altavoces. Con la inclusión de sistemas de audio digital, a la Cadena A se incorporan también decodificadores, equipos para mantener sincronía entre audio y video, y convertidores digital – análogo.

De manera general se puede definir a la Cadena A como el conjunto de preamplificadores (ópticos o magnéticos), fuente de luz, cabezas magnéticas, ecualizadores (corrección de énfasis), sistemas de reducción de ruido y decodificadores. Para salas digitales se introducen también convertidores digital – análogo y el uso de ecualizadores y reducción de ruido en esta etapa de la cadena no es necesario.



En la actualidad los formatos de audio y video digital están convirtiéndose en el nuevo estándar a nivel comercial y privado lo que consecuentemente genera una modificación de la Cadena A hacia un entorno digital. Los lectores y decodificadores digitales de audio y video reducen notablemente el espacio, costo, y complejidad de la Cadena A.

La cantidad y tipo de decodificadores presentes en la Cadena A limitan el número de formatos que se podrán reproducir en la sala. La mayoría de salas digitales o análogas mantienen como mínimo un decodificador Dolby. Salas más sofisticadas incluyen decodificadores DTS y SDDS (Sony Dynamic Digital Sound).

Tanto para salas análogas como digitales la calidad de los componentes de la Cadena A determinará la fidelidad de la transducción electroacústica a producirse en la Cadena B. Las técnicas de reducción de ruido en entornos análogos y la linealidad de los convertidores digital – análogo en entornos digitales representan los puntos críticos en la reproducción de contenido.

La Cadena A usualmente se encuentra posicionada en la parte alta opuesta a la pantalla de la sala de proyección. Idealmente el cuarto de equipos de la Cadena A debe mantenerse correctamente enfriado y ventilado para asegurar la longevidad de los componentes. Las tomas eléctricas deben estar completamente reguladas y no se debe compartir la misma fase con otros circuitos. Todas las tomas deben tener una conexión a tierra en común. Otra consideración importante al momento de diseñar el espacio para la Cadena A es el aislamiento de ruido para minimizar la transmisión hacia el interior de la sala de proyección.

2.2.1. Análisis situación inicial

En el caso específico del área de entretenimiento del campamento La Palma, no se contaba con ningún tipo de sistema de reproducción multimedia. La construcción del campamento consideraba desde su diseño inicial un edificio

dedicado al esparcimiento del personal. Sin embargo ninguna consideración técnica sobre los futuros requerimientos fue tomada en cuenta.

A parte del espacio físico disponible existía la posibilidad de expandir el sistema eléctrico del edificio de entretenimiento mediante la incorporación de nuevos circuitos al tablero principal de poder. La alimentación de corriente eléctrica al edificio de entretenimiento incluía una conexión a tierra única para todo el campamento y un sistema complejo de regulación de voltaje.

Además se contaba con un punto de datos conectado a la red interna de Hidrotoapi por medio de un cable Ethernet de alta velocidad con un protocolo de transmisión de datos 100BASE-TX.

2.2.2. Implementación

Tomando en cuenta los requerimientos del cliente, la Cadena A debía ser en su mayoría digital y debía contar con la capacidad de reproducir varios tipos de contenido multimedia mediante diferentes interfaces tanto análogas como digitales. La Cadena A también debía decodificar la mayor cantidad de formatos digitales usados en la actualidad, asegurando así una compatibilidad adecuada con los medios de almacenamiento disponibles en el campamento.

Otro requerimiento con respecto a la Cadena A era su integración con componentes externos a la sala de reproducción multimedia, así como a un sistema de microfonía inalámbrico y de videoconferencia. Como requerimiento adicional el sistema debía tener la capacidad de conectarse a internet, así como a todo el contenido multimedia almacenado en la red local de Hidrotoapi.

A parte de los requerimientos antes mencionados, la calidad tanto de audio como de video debía mantenerse lo más alta posible dentro del presupuesto establecido, tomando como referencia el estándar THX Ultra 2.

Parte importante del diseño de la sala y la ubicación de los componentes es la optimización de espacio manteniendo un nivel estético adecuado, razón por la

cual se redujo el espacio dedicado a la Cadena A al mínimo. Los componentes de la Cadena fueron instalados en un rack empotrado a una de las paredes de la sala a fin de que los equipos no ocupen espacio útil dentro de la sala.

Con el fin de asegurar la longevidad de los equipos de la Cadena A se implementó un sistema de ventilación en el rack.



Figura 6. Rack de equipos Cadena A.

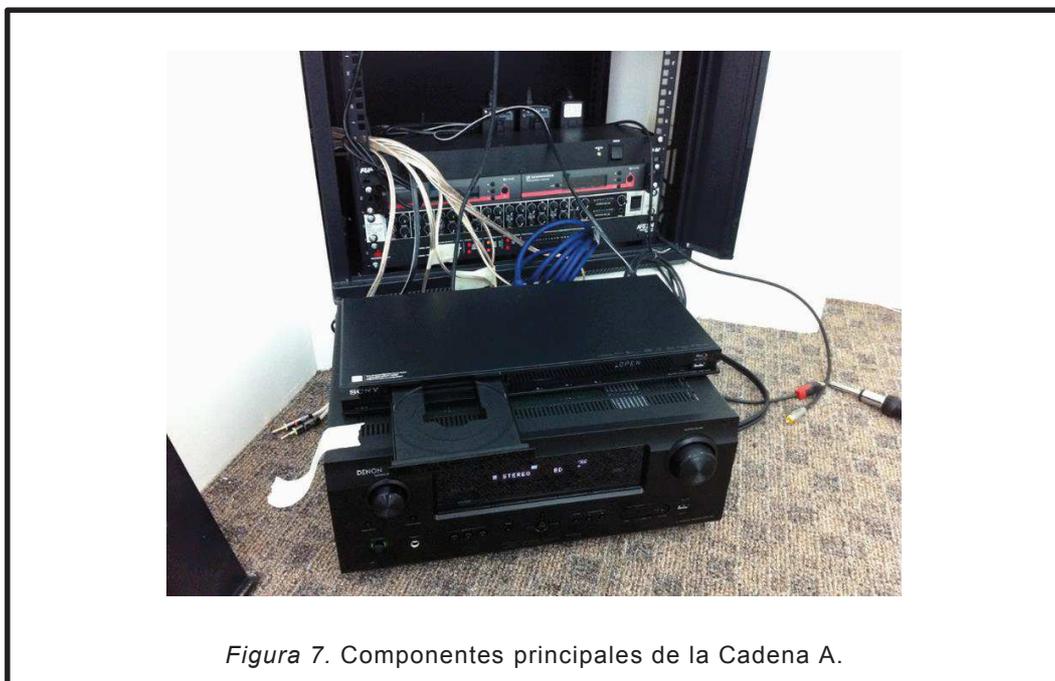
2.2.2.1. Sistema principal

Debido a la extensa cantidad de componentes a ser integrados, el decodificador principal debía contar con amplias opciones de conexión y procesamiento digital interno. Con el propósito de reducir el espacio necesario y minimizar la cantidad de componentes se eligió al receptor Denon AVR-791 como el componente central de la cadena A.

El receptor Denon AVR-791 posee varias opciones para conectividad de periféricos, cuenta con procesamiento interno tipo Audyssey MultEQ, decodifica la mayoría de formatos de audio y video provenientes de señales transmitidas por HDMI, y sus excelentes especificaciones en términos de calidad de audio y video son ratificadas con la certificación THX Ultra 2.

Siendo uno de los principales requerimientos del cliente la compatibilidad del sistema con medios de distribución de contenido de última generación como Blu-Ray así como medios de definición estándar como DVD, se escogió como lector óptico principal al reproductor.

El lector óptico Sony BDP-S370 cuenta con capacidad de lectura de varios formatos de audio y video en alta definición, posee también integración a contenido en red gracias a su puerto Ethernet. Uno de los factores importantes en la selección de éste lector como fuente principal para la Cadena A fue la capacidad de “Up-Scaling” para video en definición estándar, lo que permite aprovechar de mejor manera la capacidad del sistema de proyección.



Como fuente adicional se incorporó un decodificador LHR-22 Phillips/Thompson para televisión satelital en alta definición.

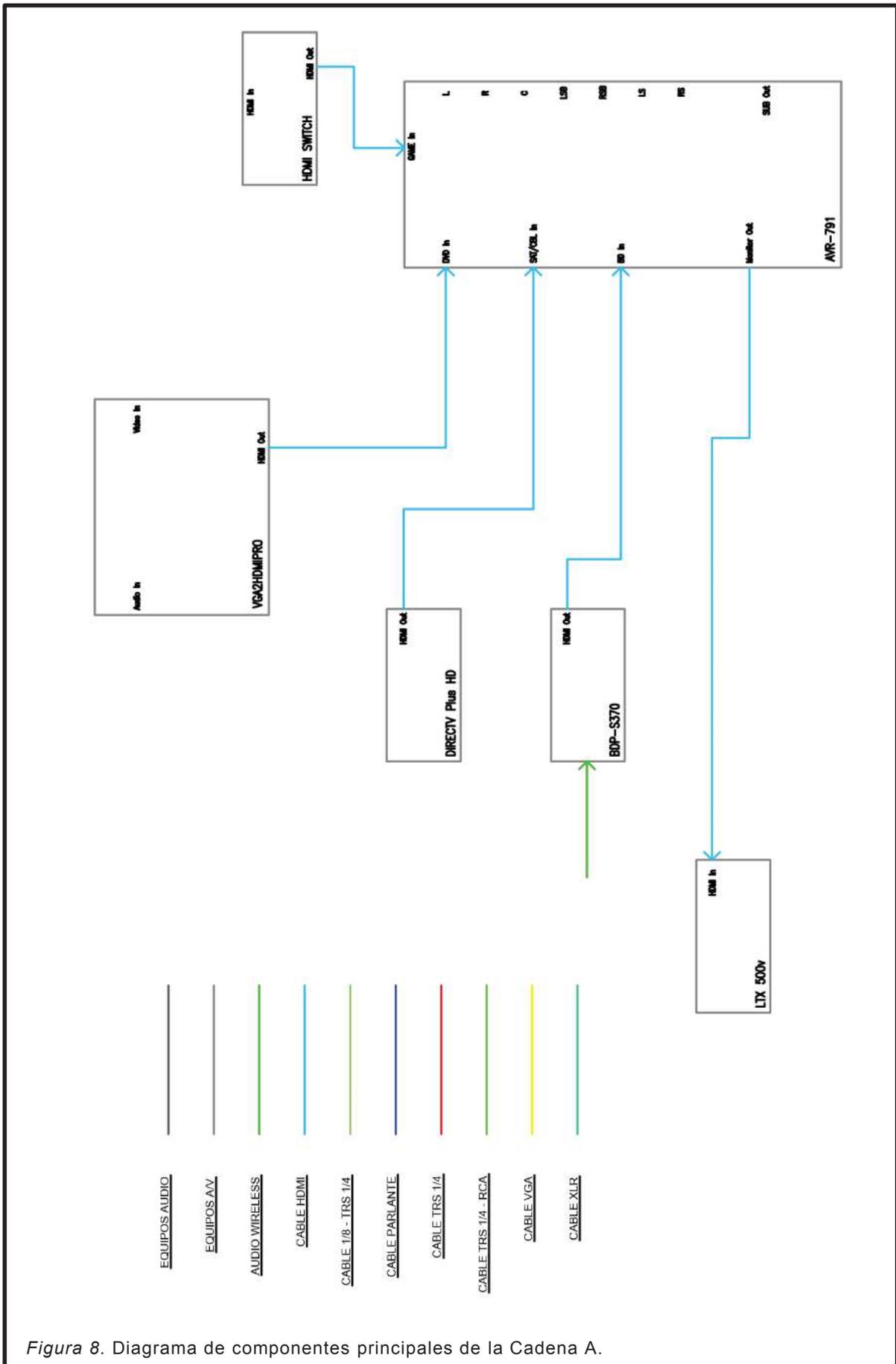


Figura 8. Diagrama de componentes principales de la Cadena A.

2.2.2.2. Sistema de proyección

La calidad de la proyección del video en la sala se debía mantener como prioridad en el diseño de la Cadena A por lo que todas las conexiones de video fueron realizadas mediante interfaces digitales sin pérdida y en alta definición. Cualquier porción de la Cadena A que se encontrase en definición estándar fue primero transformada a una señal digital mediante procesos de Up-Scaling.



Figura 9. Proyector de alta definición instalado en la sala.

Con el fin de aprovechar las capacidades de decodificación y transmisión de señal de video en alta definición, el proyector debía proporcionar el mismo nivel de calidad. El equipo escogido para ésta función fue proyector Anthem LTX 500v con certificación THX.

2.2.2.3. Sistemas adicionales

Los sistemas adicionales a integrarse a la Cadena A debían ofrecer características técnicas de alta calidad similares al resto de componentes, razón por la cual se mantuvo las secciones analógicas de la Cadena al mínimo, prefiriéndose los formatos digitales como medio de transmisión de información para toda el área de entretenimiento del Campamento La Palma.

Dentro de las secciones analógicas de la Cadena se encuentra el sistema de microfonía inalámbrico y la sección de integración de componentes externos como el sistema de videoconferencia. En la parte digital es posible la conexión de cualquier equipo de audio y video con conexión HDMI.

Tomando en cuenta el requerimiento del cliente sobre la capacidad de poder usar la sala de proyección para capacitación y para realizar videoconferencias, se decidió compartir el sistema de microfonía inalámbrico para las dos funciones. Lo que significó aumentar la complejidad considerablemente de la Cadena A.

En el caso del sistema de refuerzo sonoro mediante microfonía inalámbrica se decidió usar dos sistemas Sennheiser serie EW de tercera generación, uno tipo handheld (EW-115 G3) y otro tipo lavalier (EW-114 G3). Los sistemas antes mencionados poseen excelentes características técnicas incluyendo cápsulas cardiodes tipo condensador de alta calidad y 1500 posibles frecuencias para la conexión entre el receptor y el emisor inalámbrico, lo que reduce el riesgo de interferencia con el resto de componentes en el área de entretenimiento.

Con el fin de minimizar el espacio necesario para la instalación de los receptores inalámbricos de los micrófonos fue necesaria la adquisición del kit para montaje en rack provisto por Sennheiser para los receptores de la serie EW.

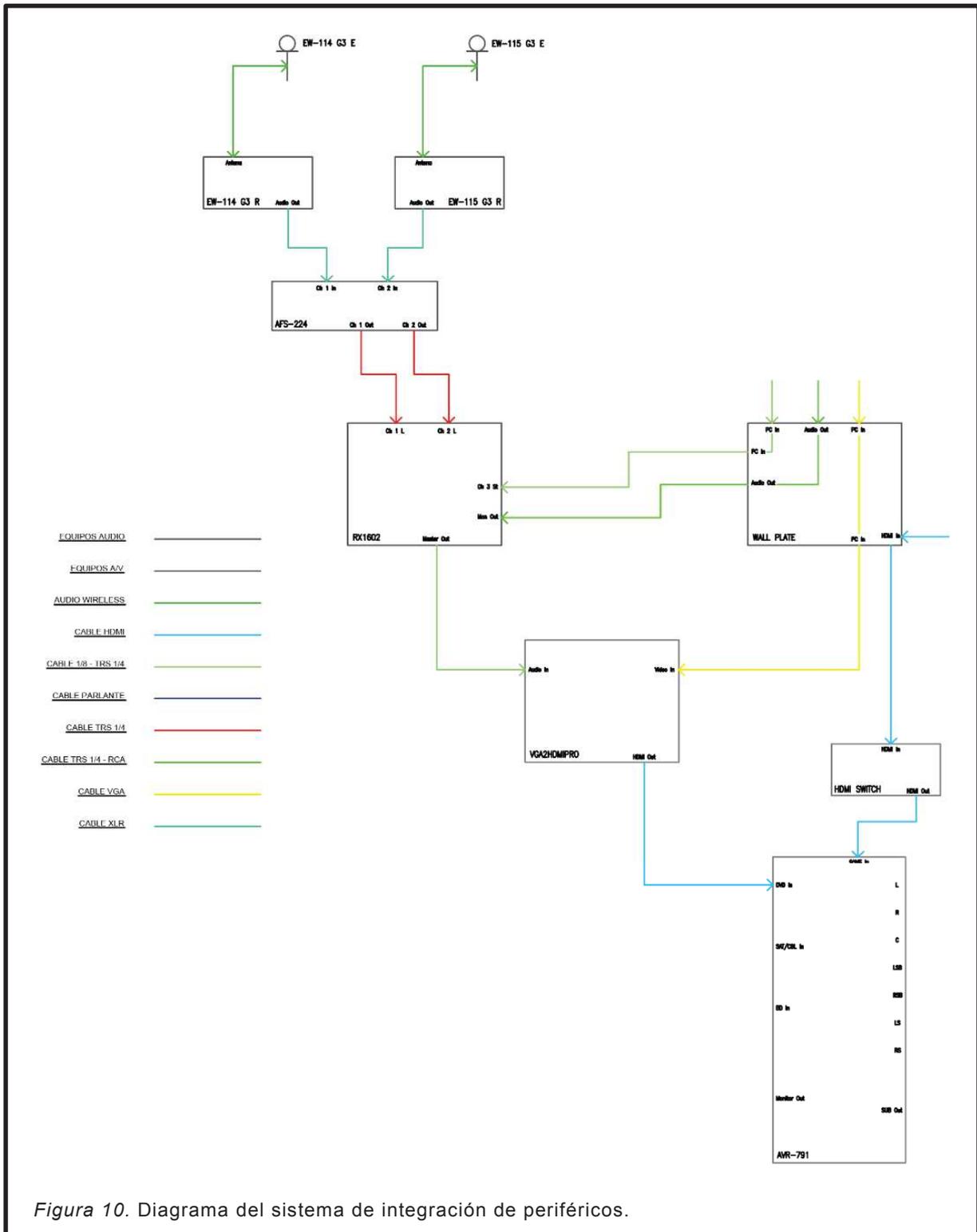
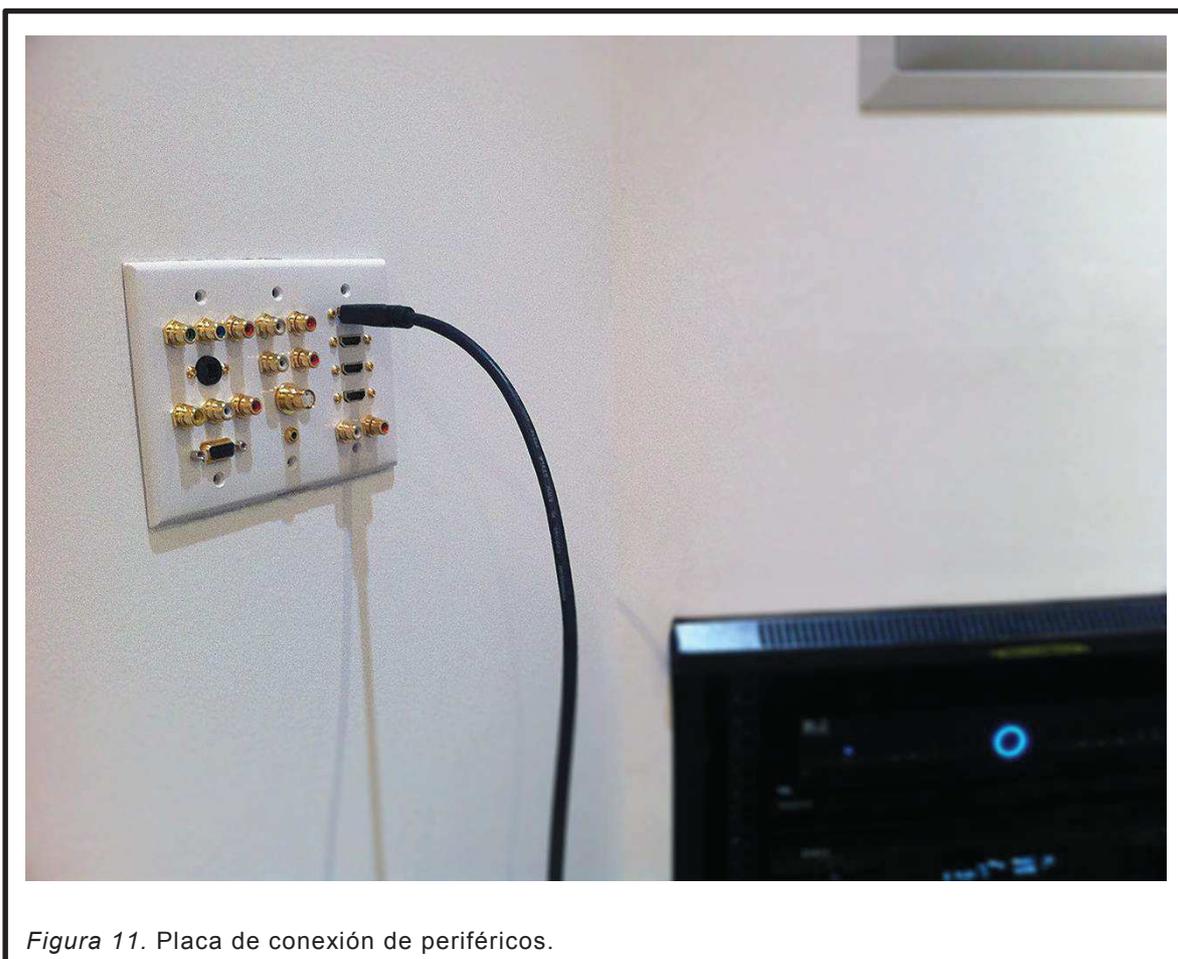


Figura 10. Diagrama del sistema de integración de periféricos.

Debido a la sensibilidad de los micrófonos seleccionados y a la cantidad de altavoces en la sala de proyección, se consideró la existencia de feedback como un problema inminente, razón por la cual se incorporó un sistema de

reducción automática de feedback dbx AFS-224. El sistema dbx permite reducir la frecuencia en la que el sistema genera feedback de forma automática sin necesidad de interacción del usuario.

El sistema de videoconferencia no se incluyó en la instalación, sin embargo en los requerimientos del cliente se indicaba que el sistema a usarse estaría basado en el uso de una computadora con el hardware y software adecuados. La Cadena A debía contar con la capacidad de integración de manera flexible y amigable con los usuarios, por la cual se implementó una placa para conexión de periféricos fuera del rack de equipos de manera que la integración de componentes se pudieran realizar fácilmente sin necesidad de tener conocimiento sobre las conexiones complejas dentro del rack.



La integración del sistema de videoconferencia debía contar con comunicación en dos sentidos entre el computador y la Cadena A y viceversa, debido a que el momento de realizar videoconferencias existe información de audio que proviene de la locación remota con la que se está realizando la conferencia y señales de audio que salen desde la sala de proyección. En el caso de la señal de video solo es necesario una vía de conexión entre la salida de video del computador y la Cadena A.

Para lograr la comunicación en dos sentidos necesaria, se optó por introducir un mezclador con la capacidad de incluir las señales provenientes del computador y de los micrófonos inalámbricos, mezclarlas y enviar dos señales de salida, una de regreso al computador y otra a ser amplificada posteriormente en la Cadena B.

Para lograr esta distribución de señales sin aumentar el espacio requerido para los equipos de la Cadena A se instaló un mezclador diseñado para ser montado en rack, el Eurorack Pro. Este equipo permite incluir más periféricos de ser necesarios y cuenta con la capacidad de crear dos mezclas independientes.



Figura 12. Sistema de microfona inalámbrica y mezcla.

Debido a que los componentes principales de la Cadena A funcionan con señales digitales y con el fin de mantener la mayor calidad posible independientemente de los periféricos conectados, se decidió transformar todas las señales analógicas de audio y video a señales digitales transmitidas por HDMI. Se instaló un transformador StarTech VGA2HDMIPRO VGA – HDMI con up-scaling y conversión de audio analógico - digital.

En el caso de la señal analógica estéreo proveniente del mezclador, el transformador VGA2HDMIPRO convierte la señal de entrada en un stream PCM a 24 bits y 48 kHz compatible con el estándar HDMI 1.4.

Para la señal de video analógica proveniente directamente del computador usado para realizar videoconferencia, se realiza un proceso de up-scaling a 1080p independientemente de la resolución de entrada.

Adicionalmente se habilitaron cuatro entradas HDMI con conexión directa al receptor Denon AVR-791 desde la placa instalada en la pared lateral de la sala de proyección con el fin de brindar mayor flexibilidad al momento de conectar periféricos al sistema principal.

Con el fin de mantener todos los componentes de la Cadena A dentro de los estándares de calidad THX, se usaron cables y conectores Monster Cable con certificación THX. Los cables usados son menos propensos a la interferencia y presentan menor degradación de la señal.



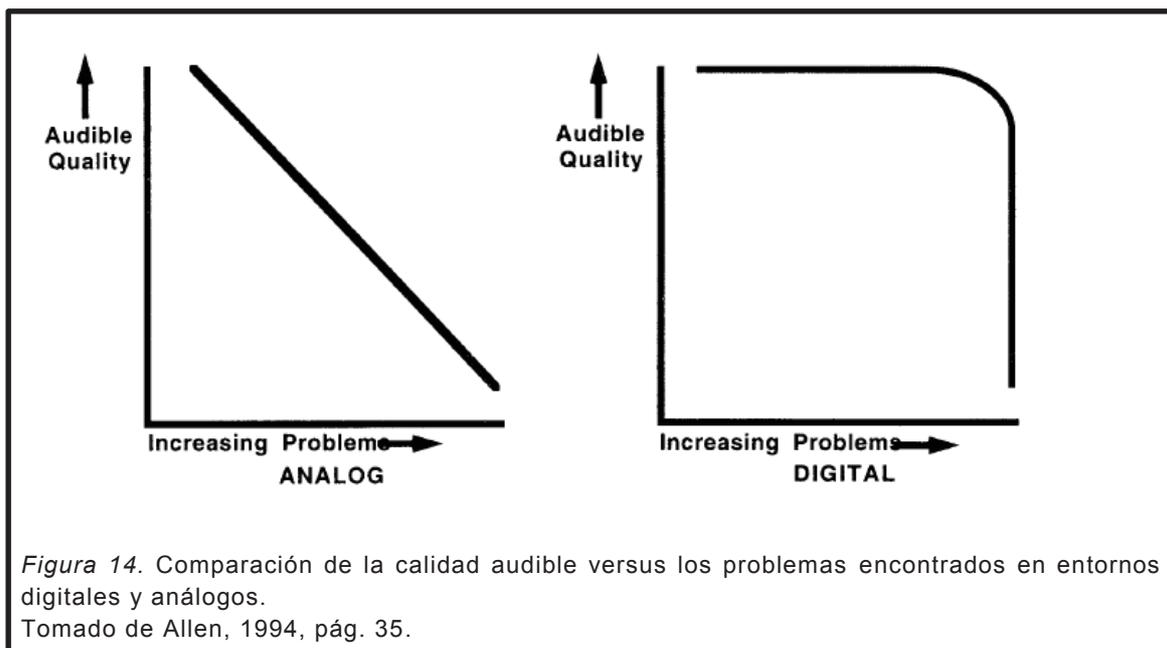
Figura 13. Cable RCA con certificación THX.

2.3. Cadena B

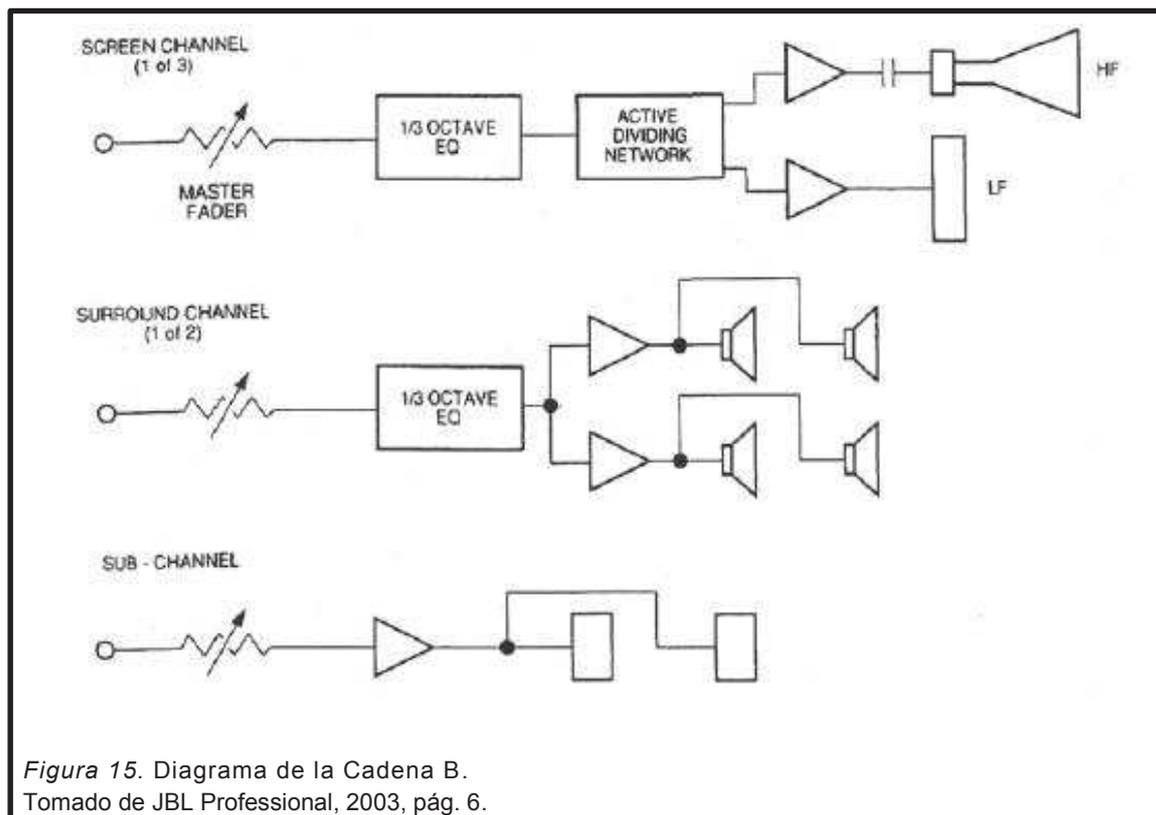
La Cadena B se incorpora a las salas de proyección luego de que se reconociera la importancia de complementar la imagen con audio. Los equipos de la Cadena B cumplen únicamente funciones relativas a la reproducción de sonido, a diferencia de la Cadena A que trabaja tanto con audio como con imagen.

Desde su aparición la Cadena B ha evolucionado en términos de linealidad, respuesta de frecuencia y mayor rango dinámico. El desarrollo de sistemas de reproducción con mayor fidelidad responde a la incorporación de nuevos formatos digitales de audio técnicamente más exigentes (JBL Professional, 2003, pág. 7). Los mayores cambios en los componentes de la Cadena B se pueden encontrar en amplificadores digitales de mayor eficiencia, altavoces con patrones de cobertura controlados, y sobre todo en la capacidad de modificar las señales a nivel de línea para corregir problemas de linealidad y lograr una mejor integración de los altavoces al entorno acústico.

El uso de sistemas digitales en la actualidad presenta varias ventajas sobre los sistemas análogos en términos de linealidad y control de cada aspecto de la reproducción de contenido multimedia. La reducción en la complejidad de las cadenas y consecuentemente el costo asociado a éstas es un factor determinante en la inevitable transición a los sistemas completamente digitales. Otro aspecto que permite obtener mejores resultados con sistemas digitales es la forma no lineal en la que se degrada la señal. En el entorno análogo la degradación del sonido aparece gradualmente conforme se acumulan las imperfecciones y problemas de cada componente. En los sistemas digitales la degradación se puede percibir únicamente cuando el sistema digital falla completamente. Pese a que existen problemas de linealidad en el entorno digital, en la práctica se llega a una condición en la que solo dos estados son posibles: un funcionamiento correcto y sin degradación de la señal o un fallo completo del sistema.



Se puede definir a la Cadena B de forma general como el conjunto de equipos de ecualización, división de frecuencias (crossovers), amplificadores de poder, y altavoces (JBL Professional, 2003, pág. 5). En nuevas salas digitales se puede encontrar sistemas de procesamiento digital de señales muy sofisticados que pueden reemplazar la totalidad de equipos de la Cadena B exceptuando la etapa de amplificación y transducción electroacústica.



Uno de los factores más importantes al momento de definir los equipos necesarios para la Cadena B es el requerimiento de rango dinámico del contenido a ser reproducido. A diferencia de sistemas exclusivamente utilizados para la reproducción de música, los sistemas para reproducción de audio para imagen deben poder manejar variaciones considerables en los niveles de reproducción. Dicha variación representa una mejor simulación de situaciones y espacios reales donde tanto sonidos de bajo nivel como eventos sonoros de mayor amplitud coexisten. En la postproducción de audio para imagen se cuenta con el rango dinámico como herramienta para crear una experiencia más real y envolvente para los espectadores.

Los sonidos de mayor amplitud requieren más potencia en los amplificadores de poder y altavoces capaces de transferir esa energía en sonido de forma eficiente. También hay que tomar en cuenta que a mayor nivel de presión sonora dentro de la sala, ésta deberá estar mejor aislada acústicamente para no interferir con la reproducción en salas contiguas.

Sonidos de muy baja amplitud representan un desafío en términos del ruido de fondo presente en la Cadena B y requieren también de un correcto aislamiento acústico para prevenir el enmascaramiento. Si la Cadena B se encuentra en capacidad de reproducir correctamente el rango dinámico se obtendrá una mejor claridad en diálogos y poca distorsión en sonidos fuertes.

Es recomendable siempre exceder en 6 a 8 dB los requerimientos de nivel de presión sonora del medio a ser reproducido para asegurar un factor de seguridad en todos los equipos de la Cadena B.

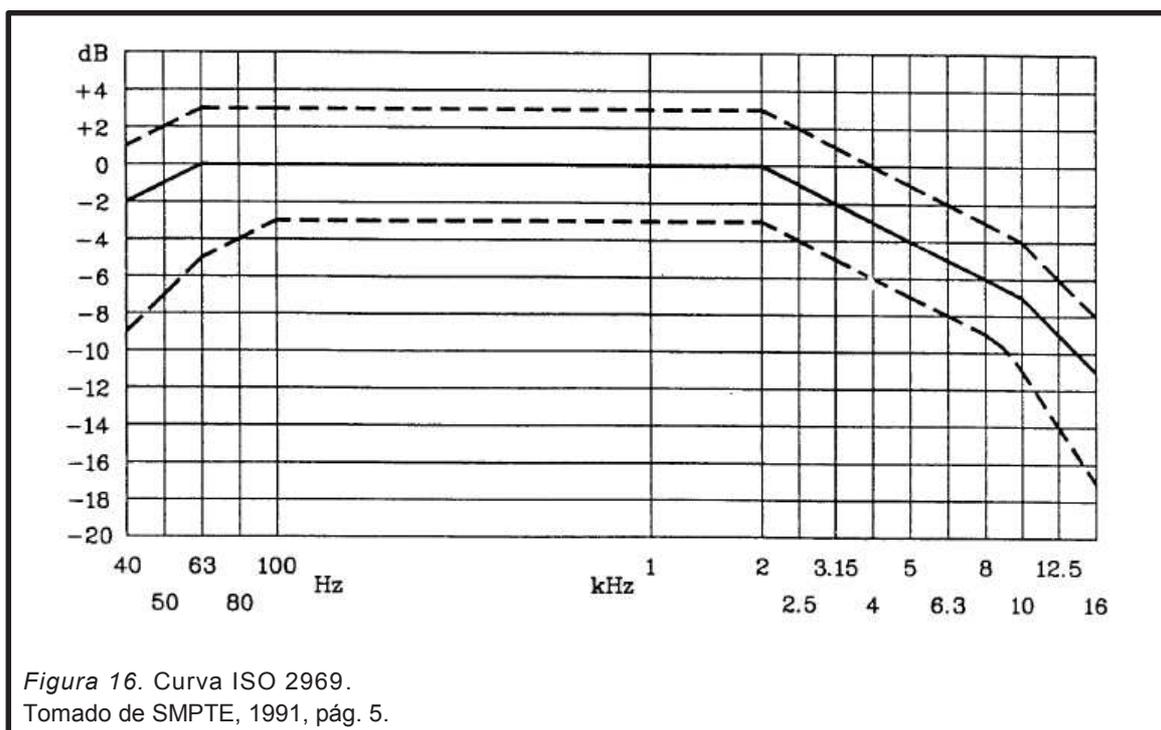
El procesamiento de señales ya sea de forma digital o análoga cumple un papel fundamental en la obtención de una reproducción de alta calidad dentro de la Cadena B. La división de frecuencias permite enviar la señal correcta al transductor correcto, aumentando la eficiencia de todo el sistema y protege a los altavoces de operar fuera de las frecuencias recomendadas. Con la incorporación de crossovers o divisores de frecuencia digitales las pendientes en los puntos de corte pueden ser muy pronunciadas generando redes de división de frecuencia mucho más precisas.

En la actualidad sistemas de altavoces activos o autoamplificados no requieren de crossovers internos simplificando la Cadena B. La alternativa de los altavoces activos representa varias ventajas técnicas y de facilidad de instalación pero son usualmente más costosos que sus contrapartes pasivos. Ejemplos de sistemas activos para salas comerciales pueden ser los altavoces EXP de Meyer Sound o sistemas G Four de Genelec para salas privadas.

La respuesta de frecuencia obtenida en la sala debe ser controlada desde la Cadena B. La interacción de los altavoces con el medio acústico de la sala de proyección incide en la respuesta de frecuencia independientemente de las capacidades técnicas del sistema en campo libre. Se recurre a la ecualización como herramienta para conseguir una reproducción más natural y balanceada.

Como modelo de respuesta de frecuencia ideal se toma la curva definida en el estándar ISO 2969 o curva X (JBL Professional, 2003, pág. 8). Mediante el uso de ecualización paramétrica se busca llegar a la curva ISO 2969 de la manera

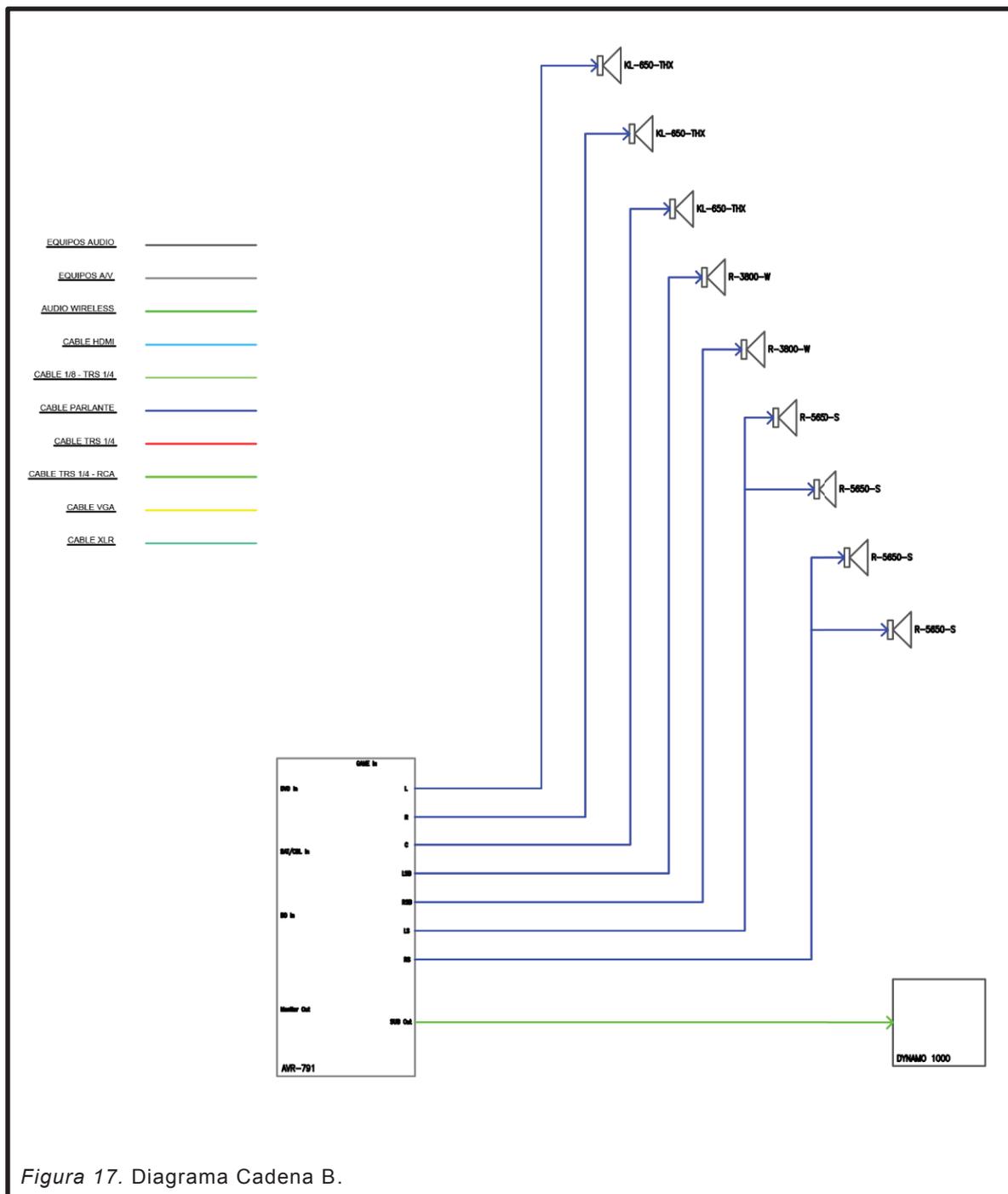
más exacta posible. Es necesario realizar mediciones en varios puntos de la sala para obtener mejores resultados. La curva X sugiere una atenuación en frecuencias bajas por debajo de 50 Hz y altas por encima de 2500 Hz (SMPTE, 1991, pág. 4) para contrarrestar la ganancia en estas bandas producida por las reflexiones dentro de un espacio relativamente reducido y cerrado como el de una sala de proyección.



2.3.1. Implementación

El uso de componentes digitales para las Cadenas A y B presenta varias ventajas sobre un sistema analógico. El reducido espacio necesario para los componentes, la menor cantidad de equipos necesario, relativo bajo costo, entre otros sobresalen como elementos a tomar en cuenta al comparar cadenas analógicas y digitales. Pese a las numerosas ventajas del uso de equipos digitales en la Cadena A, se hace evidente que la Cadena B es la más beneficiada por el uso de equipamiento digital.

Gracias al uso de equipos digitales en la Cadena B es posible incorporar el equivalente a decenas de equipos análogos dentro de un solo procesador digital. En el caso específico de la sala de proyección del campamento La Palma, el equipo Denon AVR-791 previamente seleccionado como base de la Cadena A minimiza la necesidad de equipamiento adicional para los procesos de procesamiento y amplificación de las señales provenientes de la Cadena A. El receptor Denon AVR-791 cuenta con amplificación y procesamiento digital de señales incorporado, razón por la cual resulta innecesaria la instalación de ecualizadores, procesadores de dinámica y amplificadores para lograr una correcta transducción electroacústica en la sala.



2.3.1.1. Procesamiento

Las señales decodificadas provenientes de los componentes previamente expuestos en la Cadena A se mantienen en el dominio digital y son procesadas por el sistema Audyssey MultEQ. Dicho sistema permite modificar las señales de manera digital antes de ser amplificadas, a diferencia de sistemas similares

usados comúnmente para entornos de refuerzo sonoro, el sistema usado en la sala de proyección permite el procesamiento en tiempo real de ocho canales con prácticamente cero latencia.

El sistema Audyssey MultEQ permite realizar cinco procesos de modificación de señal de manera digital por cada canal a una resolución de 24 bits y frecuencia de muestreo de 94 kHz, los procesos son los siguientes: ecualización, división de frecuencias, cambio de polaridad, retraso y control de nivel. A continuación se muestra una tabla con las características principales del sistema Audyssey MultEQ usado en la sala de proyección:

Tabla 1. Características principales del sistema Audyssey MultEQ. Tomado de Denon, 2010, pág. 3.

Característica	MultEQ
Número de filtros (Satélites)	1-99
Número de filtros (Subwoofer)	1-12672
Número de puntos de medición	6
Corrección de modos normales	✓
Crossover, polaridad, delay, nivel	✓

Mediante el proceso de calibración es posible contrarrestar de manera electroacústica los efectos destructivos de la interacción del sonido con las superficies de la sala, fundamentalmente en frecuencias bajas. Además es posible corregir la pérdida en frecuencias altas por la ubicación de la pantalla frente al altavoz central. Siguiendo las recomendaciones THX es posible también distribuir de manera correcta el espectro de frecuencias entre los altavoces dedicados para cada parte del mismo.

El sistema Audyssey cuenta con la opción de calibración automática mediante el uso de un micrófono de medición incluido con el receptor Denon AVR-791. Es posible también modificar cada parámetro de manera manual. Para el caso específico de la sala de proyección del campamento La Palma se usó la calibración automática Audyssey MultEQ como base para luego realizar una calibración adicional usando un sistema de medición y calibración adicional.

Con el fin de obtener la mejor respuesta posible se usó a parte de las herramientas de calibración incluidas con el receptor Denon AVR-791, un micrófono dbx RTA-M con una interfaz Focusrite Saffire Pro 40 en conjunto con Smart v.7 y REW v5.

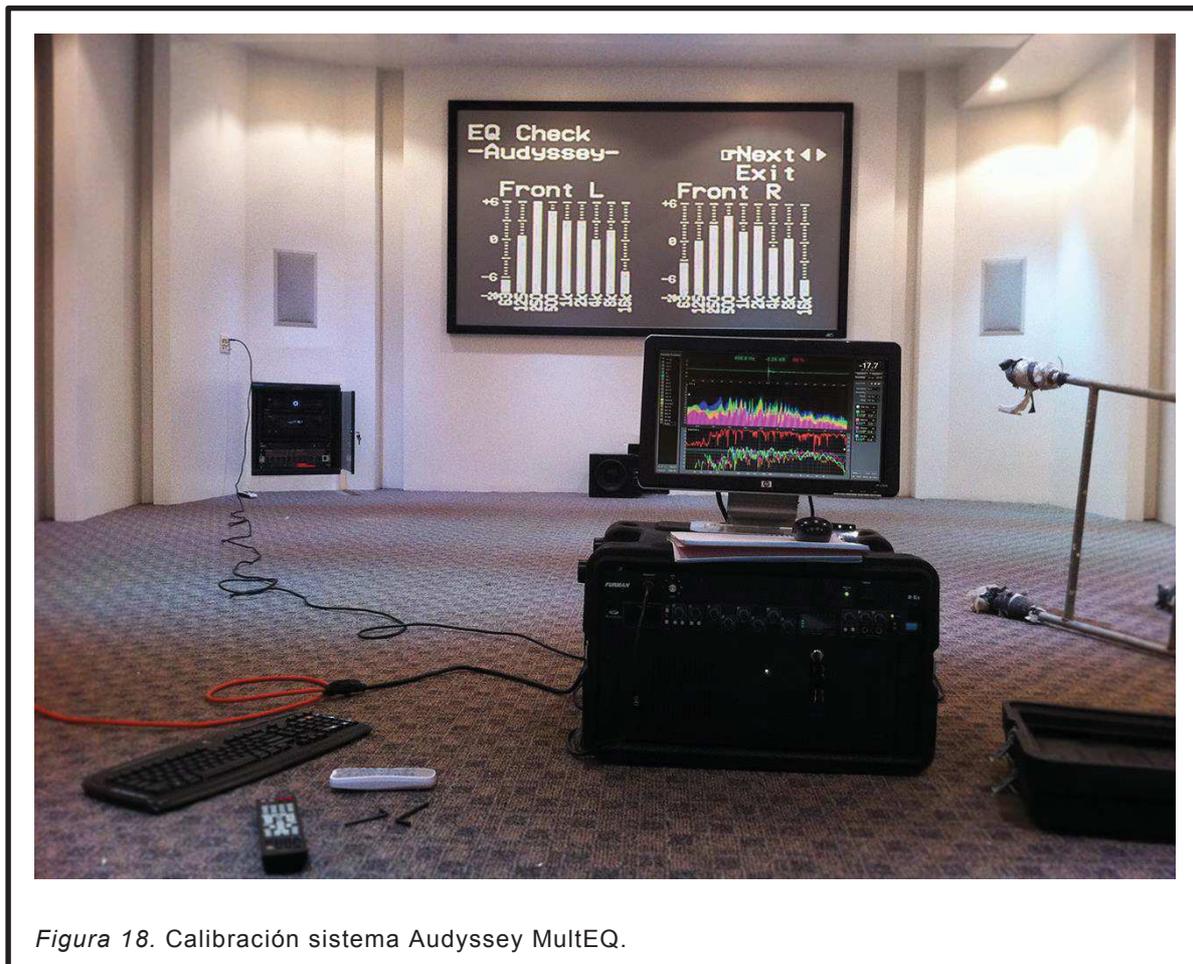


Figura 18. Calibración sistema Audyssey MultEQ.

2.3.1.2. Amplificación

La etapa de amplificación de la señal procesada es fundamental para obtener el mejor resultado posible del sistema electroacústico. Los amplificadores y altavoces son los componentes con menor linealidad de toda la Cadena B. Un amplificador de baja calidad presenta distorsión audible a niveles medios y su eficiencia es baja comparada con un amplificador de mayor calidad.

El receptor Denon AVR-791 cuenta con siete canales de amplificación de muy alta calidad para mantener el ruido de fondo, distorsión y rango dinámico dentro de parámetros sumamente altos. Dentro de las características que aseguran gran linealidad en la etapa de amplificación del receptor Denon AVR-791 se encuentran las siguientes:

Tabla 2. Características técnicas del receptor Denon AVR-79. Obtenido de Denon, 2011, p. 78.

Característica	Altavoces Frontales	Altavoz Central	Altavoces Posteriores
Potencia RMS	90 W	90 W	90 W
T.H.D.	0.08 %	0.08 %	0.08 %
Respuesta de frecuencia	10 Hz – 100 kHz	10 Hz – 100 kHz	10 Hz – 100 kHz
Relación señal - ruido	100 dB (A)	100 dB (A)	100 dB (A)

Contando con un amplificador multicanal de alta calidad es necesario complementar esta etapa de la Cadena B con altavoces que mantengan el mismo nivel de calidad. Otro elemento muchas veces descuidado es el impacto que tiene el uso de cable y conectores de alta calidad en la calidad del sistema.

Con el fin de mantener la calidad de cada componente dentro de estándares THX se decidió usar cable para parlante Monster Cable THX pese al elevado costo que esto representa al igual que conectores tipo banana bañados en oro con certificación THX. Los contactos de los altavoces seleccionados para la sala de proyección también son bañados en oro, manteniendo la calidad a lo largo de toda la cadena electroacústica. El uso de dichos componentes asegura una correcta conexión entre componentes y mantienen la degradación de la señal amplificada al mínimo.

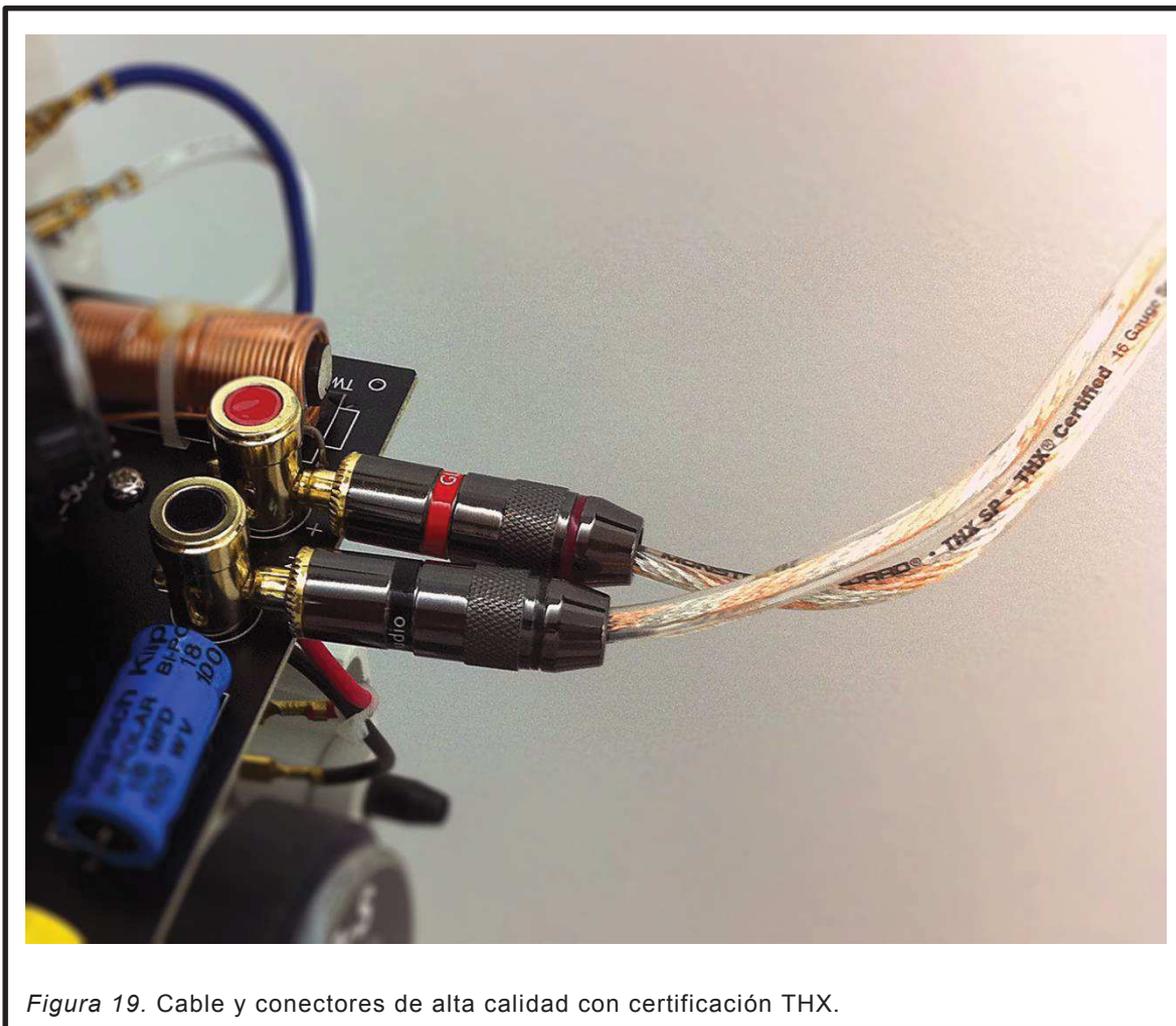


Figura 19. Cable y conectores de alta calidad con certificación THX.

2.4. Altavoces frontales

En la actualidad los formatos de audio multicanal requieren varios altavoces para lograr posicionar los diferentes elementos sonoros sobre los planos de audición de forma precisa. Nuevas configuraciones hacen uso de cientos de canales de audio para lograr una experiencia completamente envolvente. Sin embargo todavía se considera a los parlantes frontales como la parte fundamental del sistema de reproducción sonora. Son éstos altavoces los que contienen la mayor cantidad de información incluyendo los diálogos y debido a su ubicación permiten realizar la mayor cantidad del posicionamiento espacial de los sonidos con respecto a la imagen proyectada en la pantalla.

Los altavoces frontales fueron los primeros en implementarse usando una configuración estéreo. La distribución de dos parlantes se deriva de los sistemas de reproducción de música y su uso se justifica también debido a la limitación de los medios de almacenamiento ópticos de los comienzos del cine sonoro, los cuales no hubieran permitido la impresión de más pistas de audio.

Gracias a la implementación del sistema Dolby Stereo que permitía la grabación digital de hasta cuatro pistas de audio, se incorpora un nuevo altavoz central a la existente distribución estéreo. La idea de introducir un canal en el centro de la pantalla era poder posicionar a los diálogos de una forma más natural y convincente dentro de la imagen (AES Technical Council, 2010, pág. 2). Otro beneficio de usar un canal exclusivamente para diálogos es liberar rango dinámico de los canales izquierdo y derecho en los cuales se pueden introducir sonidos de mayor amplitud sin llegar a niveles de saturación con facilidad.

Los sistemas SDDS, Dolby Pro Logic IIz y DTS Neo: X hacen uso de más de tres canales frontales para introducir un plano de audición más y poder recrear efectos de altura en el eje vertical. Pese a estas nuevas implementaciones, los tres altavoces frontales siguen siendo la base del sistema de reproducción.

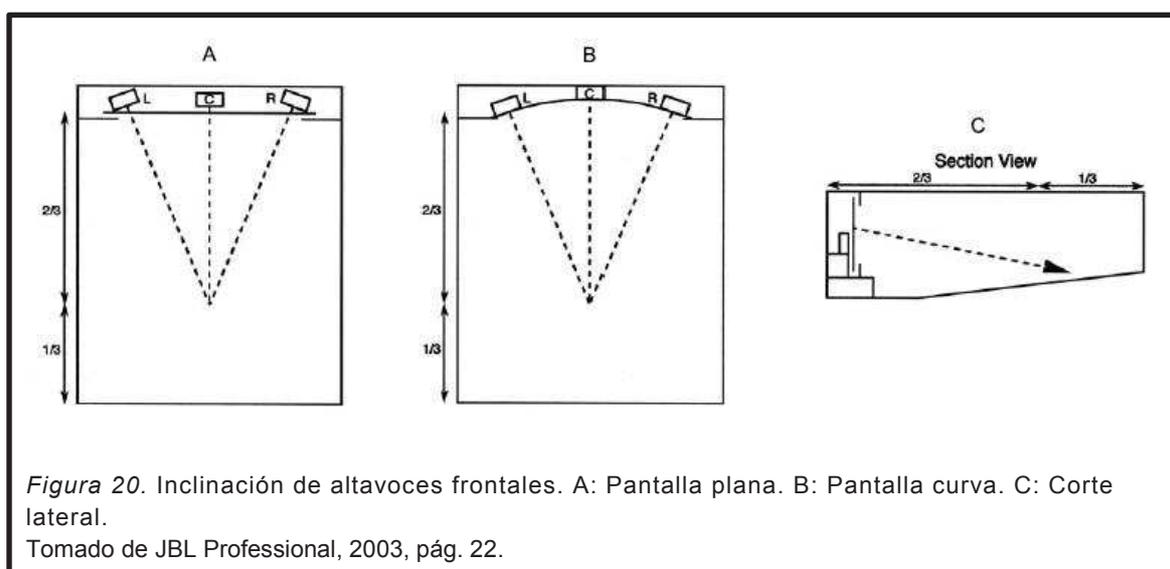
Normalmente se denota las configuraciones multicanal describiendo primero el número de altavoces delanteros seguidos por una barra (/) seguido por el número de canales laterales o posteriores. Se puede incluir también el número de canales de baja frecuencia después un punto. La configuración generalmente conocida como 5.1 se debería denotar técnicamente como 3/2.1.

2.4.1. Ubicación

Cada instalación presenta condiciones distintas que deben ser evaluadas técnicamente para plantear las mejores soluciones. De manera general se pueden seguir las siguientes guías con respecto a la posición de los altavoces.

Los altavoces deben posicionarse a aproximadamente dos tercios de la altura de la pantalla. Dependiendo de la forma de la sala y la disposición de las butacas la altura de los altavoces puede variar. Si el montaje de los parlantes permite su angulación vertical, éstos deben apuntar hacia las butacas ubicadas a dos tercios de la longitud total de la sala desde la pantalla.

A diferencia de salas de proyección privadas de dimensiones reducidas, las salas comerciales presentan distancias desde los altavoces hasta los espectadores considerables. Debido a esto el campo difuso debe considerarse en el diseño de la sala. Al aumentar la distancia entre la audiencia y el campo directo de los altavoces frontales se pierde direccionalidad, lo que impide un correcto posicionamiento espacial de los sonidos. Es por ésta razón que los parlantes frontales izquierdo y derechos deben encontrarse tan espaciados como sea posible. Es recomendable que los altavoces izquierdo y derecho apunten hacia las butacas ubicadas a dos tercios de la longitud total de la sala desde la pantalla. La angulación de los altavoces presenta un desafío en el montaje si se usa una pantalla completamente plana a diferencia de pantallas cóncavas como las encontradas en salas IMAX.



Para obtener una correcta imagen estéreo, los altavoces izquierdo y derecho deben ubicarse en los extremos laterales de la pantalla. Si se está usando un formato de proyección 2.39:1 o Cinemascope, los altavoces deben ubicarse dentro de la pantalla. Se debe tomar en cuenta la pérdida en altas frecuencias producida por la pantalla. La atenuación producida por la pantalla no debería superar los 2 dB a 8kHz. Si la proyección se realiza en un radio de 1.78:1 o Widescreen los altavoces pueden ubicarse fuera de la pantalla. La mayoría de salas privadas usan el radio Widescreen comúnmente conocido como 16:9 para la proyección de imagen, en estos casos la pérdida por la pantalla únicamente afecta al canal central.

En salas privadas con proyección en radio 1.78:1 donde las dimensiones del proscenio no permitan la ubicación de los altavoces izquierdo y derecho fuera de la pantalla es posible ubicarlos de forma similar a las instalaciones con proyectores 2.39:1. La atenuación en altas frecuencias por la inserción de la pantalla debe tomarse en cuenta en estos casos.

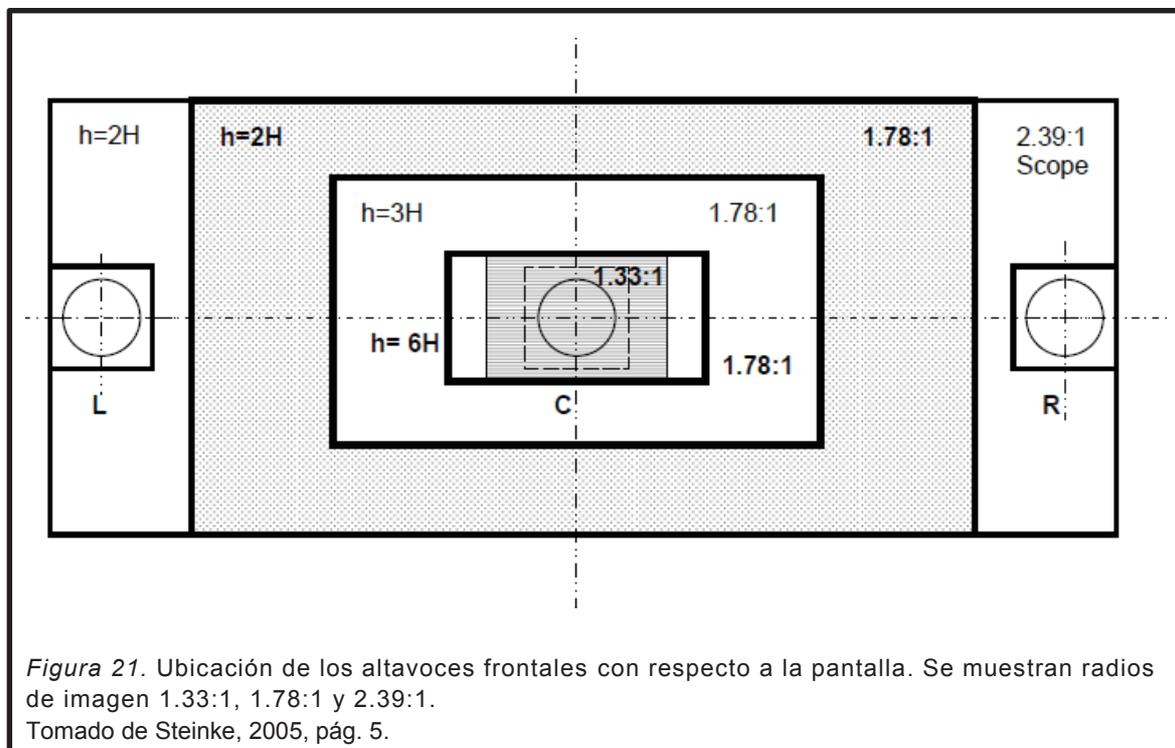


Figura 21. Ubicación de los altavoces frontales con respecto a la pantalla. Se muestran radios de imagen 1.33:1, 1.78:1 y 2.39:1. Tomado de Steinke, 2005, pág. 5.

Otros aspectos a tomar en cuenta al momento de instalar los altavoces frontales son la distancia desde las cornetas de los transductores de altas frecuencias hasta la pantalla. Esta distancia no debe ser inferior a 5 cm. También se deben considerar todas las superficies reflectantes que puedan tener los altavoces. Para eliminar el riesgo de que elementos reflectantes se muestren a través de la pantalla es aconsejable pintarlos de colores mate, preferiblemente negro.

Es recomendable también instalar material absorbente en todas las superficies atrás de la pantalla para evitar reflexiones y filtros de peine entre la pantalla, los altavoces y la pared opuesta de la sala de proyección.

2.4.2. Montaje

Dependiendo del tipo de altavoz se deberán usar diferentes métodos de montaje que brinden flexibilidad y control al instalador, así como seguridad y mínima intrusión en el espacio dedicado a la pantalla. Cualquier sistema de montaje utilizado debe ser completamente rígido y libre de sonidos causados por vibraciones. Cualquier superficie expuesta del sistema de montaje debe ser cubierto con material acústicamente absorbente.

2.4.3. Tipos de altavoces

La mayoría de altavoces para salas comerciales usan cajas de madera para los transductores de bajas frecuencias y dejan a los transductores de altas frecuencias descubiertos. Este tipo de altavoces requieren la construcción de estructuras que puedan soportar el peso. Existen también altavoces tipo In-Wall para salas más pequeñas que no requieren ningún tipo de sistema de montaje. Por último en instalaciones temporales o a gran escala se puede recurrir a arreglos lineales como altavoces frontales, estos sistemas usualmente incluyen soluciones de montaje ofrecidas por el mismo fabricante.

De manera general se prefiere para salas de reproducción audiovisual altavoces de dos vías como mínimo, con drivers de compresión para frecuencias altas. La sensibilidad de los componentes y el patrón de cobertura son aspectos fundamentales a considerarse el momento de escoger los altavoces.

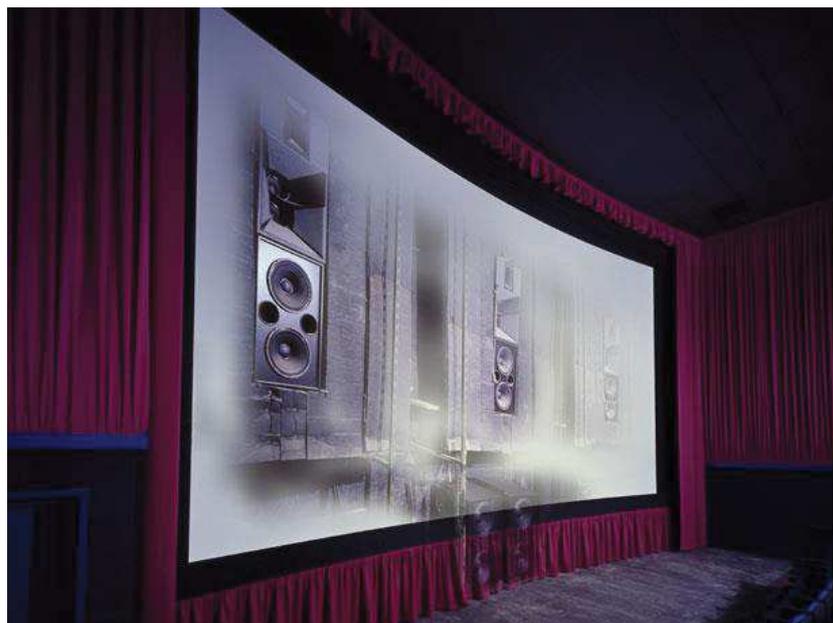


Figura 22. Ubicación de altavoces frontales en la parte posterior de una pantalla de proyección curva.
Tomado de THX, 2009.

2.4.4. Implementación

Siendo los altavoces parte indispensable del sistema electroacústico de la sala de proyección, su selección debe realizarse cuidadosamente tomando en cuenta varios factores tales como sus especificaciones técnicas, viabilidad de instalación y costo.

Debido a la alta calidad de componentes instalados en la Cadena A y primera parte de la Cadena B, los altavoces a instalarse deben mantener los mismos estándares de calidad para no perjudicar el desempeño global del sistema. Los

altavoces de gran calidad usualmente pueden ser asociados a costos considerablemente altos por lo que se debe planificar con anticipación su adquisición para mantener la instalación dentro del presupuesto asignado.

Otros factores que se tomaron en cuenta al momento de decidir los parlantes a ser instalados en la sala de proyección fueron: las condiciones acústicas de la sala, la factibilidad de crear una condición de baffle infinito y la compatibilidad con el sistema de amplificación.

Con respecto a las condiciones acústicas de la sala, al no disponer de un presupuesto alto para acondicionamiento acústico, se debía considerar altavoces con direccionalidad controlada para minimizar la interacción entre el sonido irradiado y las superficies de la sala. La opción más viable para lograr dicho propósito es el uso de altavoces con drivers de compresión con corneta que presente una direccionalidad estable.

Aprovechando la construcción en base de gypsum de las paredes internas de la sala y con el fin de mantener el espacio usado por el sistema al mínimo, se escogieron altavoces tipo in-wall, que adicionalmente crean una condición de baffle infinito mejorando la respuesta del sistema.

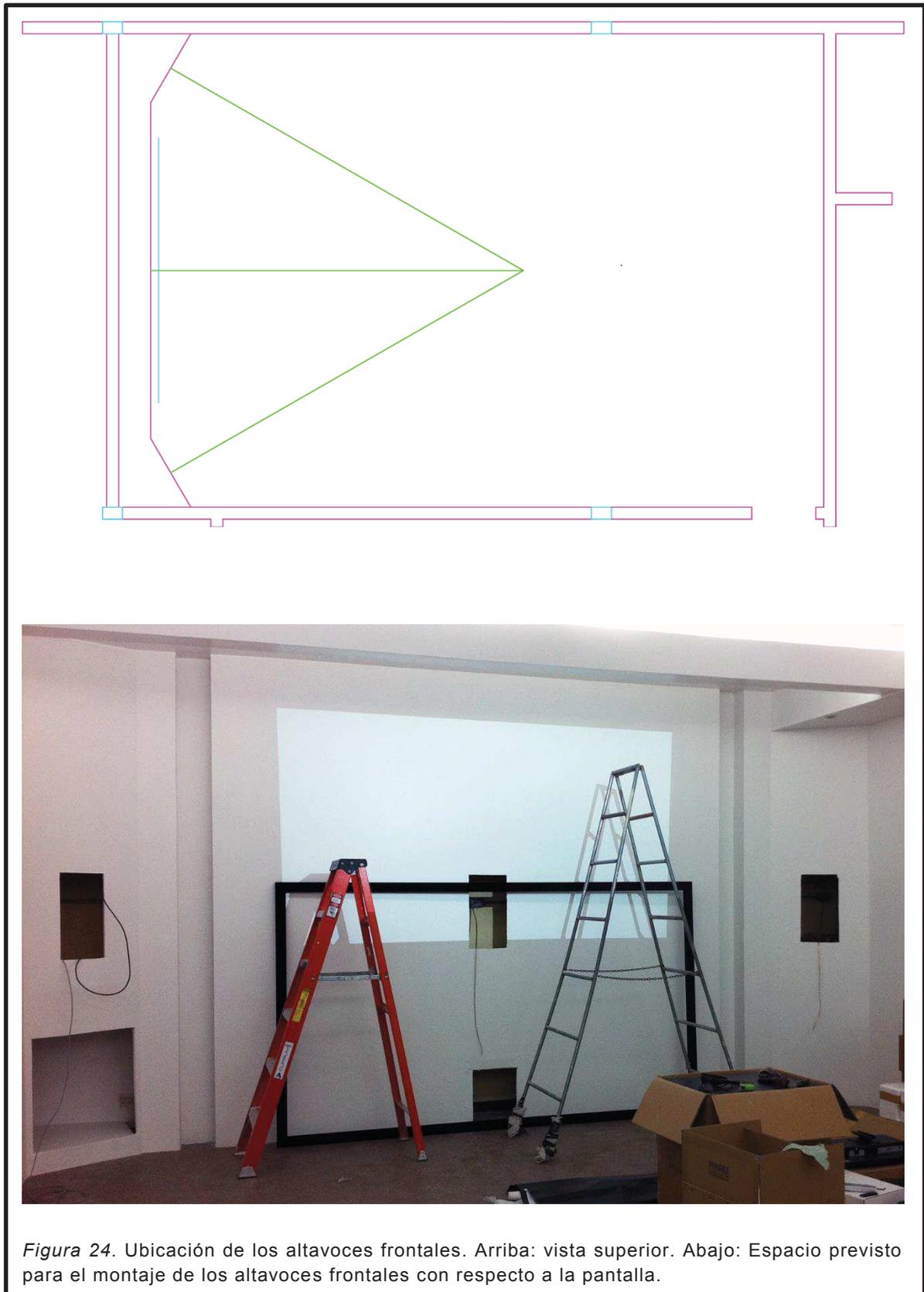
Finalmente, al contar con un amplificador multicanal de gran eficiencia y linealidad pero reducida potencia de salida, fue necesario tomar en cuenta la sensibilidad de los altavoces como un factor decisivo para poder lograr los niveles de presión sonora requeridos dentro de la sala.

Tomando en cuenta los aspectos antes mencionados se decidió usar altavoces Klipsch tipo in-wall conocidos por su excelente calidad, alta sensibilidad y directividad controlada, aparte de ser certificados por THX dentro de la categoría Ultra 2.



Figura 23. Altavoz Frontal Klipsch KL-7800-THX.

Con respecto a la ubicación de los altavoces frontales, se siguieron las recomendaciones mencionadas previamente para pantallas con relación de aspecto 16:9. Tomando en cuenta las dimensiones relativamente reducidas de la sala, los altavoces L y R fueron instalados con la mayor distancia entre sí posible, además se crearon dos paredes inclinadas dentro de la sala para poder montar los altavoces con un ángulo de 30° en relación a las paredes laterales, logrando de esta forma intersecar las líneas de acción de los altavoces a $2/3$ de la profundidad útil de la sala.



2.5. Altavoces posteriores

Con la introducción de sistemas de audio digital en los formatos ópticos de almacenamiento fue posible la implementación de un canal dedicado únicamente para sonidos envolventes, o para efectos sonoros posicionados a los lados y atrás de la audiencia.

El canal envolvente o surround permite a los diseñadores de sonido en post producción crear ambientes sonoros mucho más creíbles proporcionando a los espectadores una experiencia cinematográfica más atractiva, lo cual fue recibido de manera positiva en la industria del cine.

A diferencia de un entorno de audición diseñado para música donde se busca un campo difuso que aporte al sonido directo, las salas de proyección dependen de medios electroacústicos para recrear cualquier sensación de interacción entre el sonido directo y la sala. Usualmente el T_{60} de las salas de proyección es bajo para minimizar el efecto de las superficies sobre el sonido de los altavoces, es por esto que los altavoces posteriores son de suma importancia para lograr un ambiente acústico dinámico y controlado.

La cantidad de canales dedicados para los altavoces posteriores ha ido aumentando a medida que las técnicas de codificación perceptual así lo han permitido. Con la introducción de los sistemas Dolby Digital, DTS y SDDS fue posible incorporar dos canales dedicados para los altavoces posteriores. Las nuevas configuraciones en formato 3/2.1 permiten ubicar sonidos de forma mucho más precisa en la sala de proyección, así como crear efectos de paneo multicanal muy convincentes y envolventes. La mayoría de salas comerciales en la actualidad así como sistemas para consumidor usan ésta configuración que contiene dos canales para altavoces posteriores como estándar (JBL Professional, 2003, pág. 23).

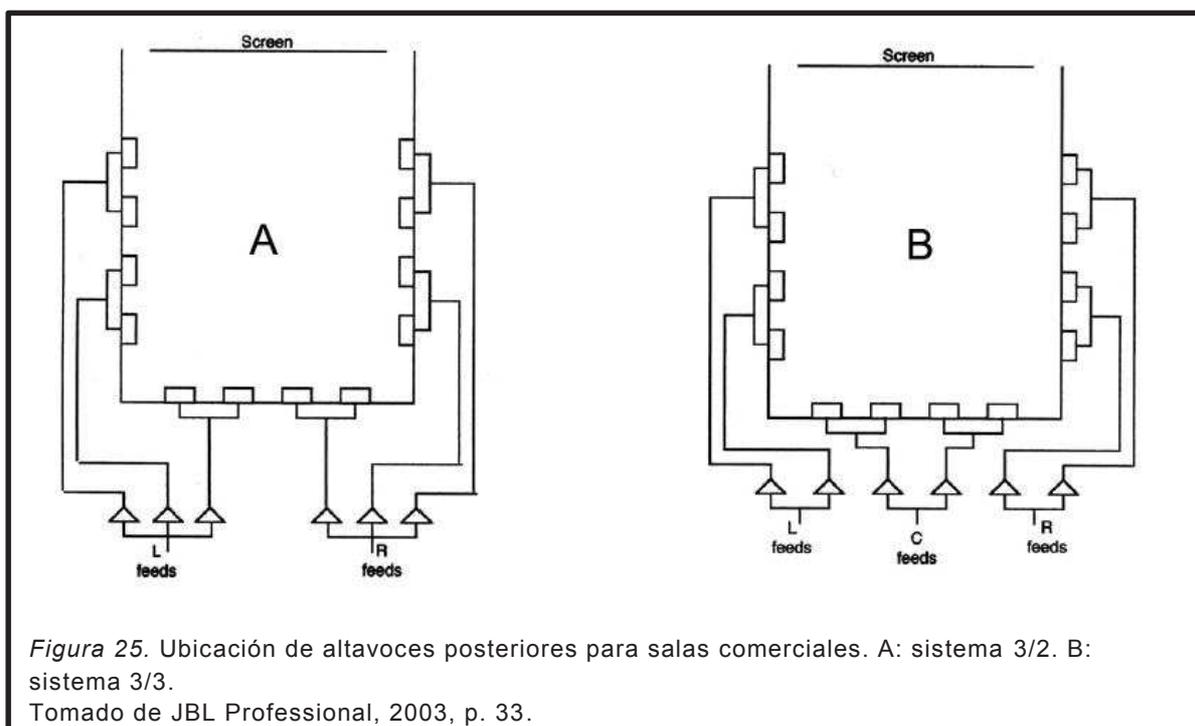
Con el desarrollo de la codificación perceptual multicanal y la introducción de nuevos medios de almacenamiento digital fue posible la incorporación de un canal más para altavoces posteriores conocido como central envolvente. Los

sistemas Dolby Surround EX y DTS Digital Surround ES fueron los primeros en implementar la configuración 3/3.1.

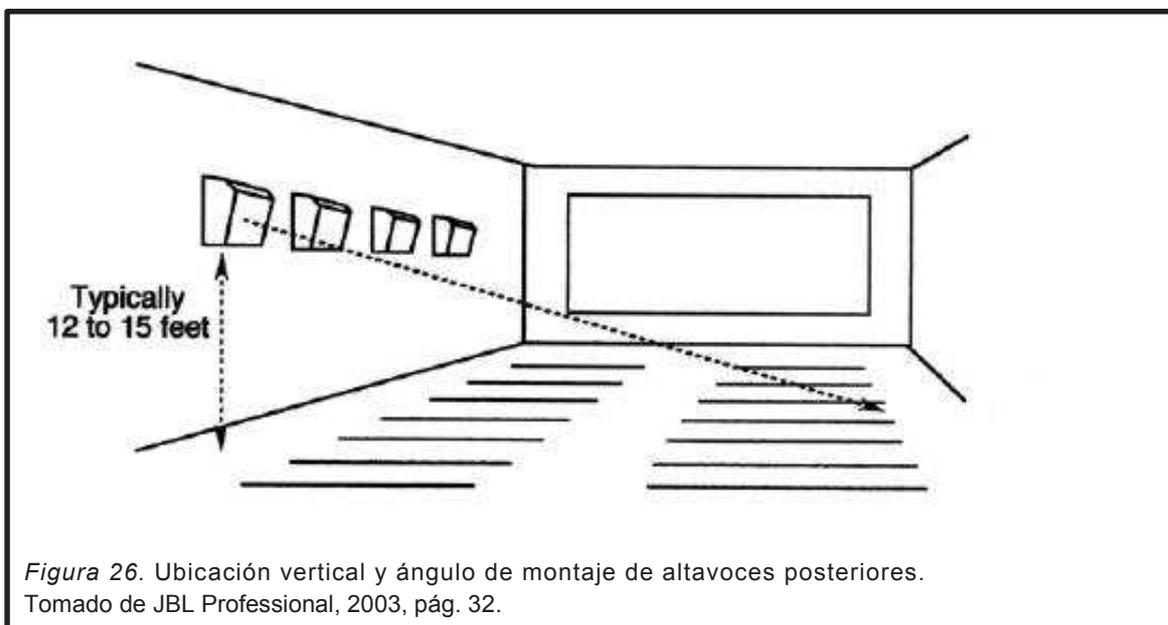
En la actualidad las configuraciones 3/4.1 dominan el mercado de salas privadas y equipos para consumidor de gama alta incorporando cuatro canales dedicados a los altavoces posteriores. Nuevos sistemas como el Dolby Atmos permiten incorporar cientos de canales para posicionar sonidos de forma tridimensional en las salas de proyección. Estos sistemas se integran a implementaciones electroacústicas complejas como las ofrecidas por Meyer Sound Constellation.

2.5.1. Ubicación

Los altavoces posteriores se deben ubicar en las paredes laterales y la pared posterior de la sala de proyección. Independientemente de las dimensiones o forma de la sala, los altavoces deben ubicarse alrededor de la audiencia de forma distribuida y continua.

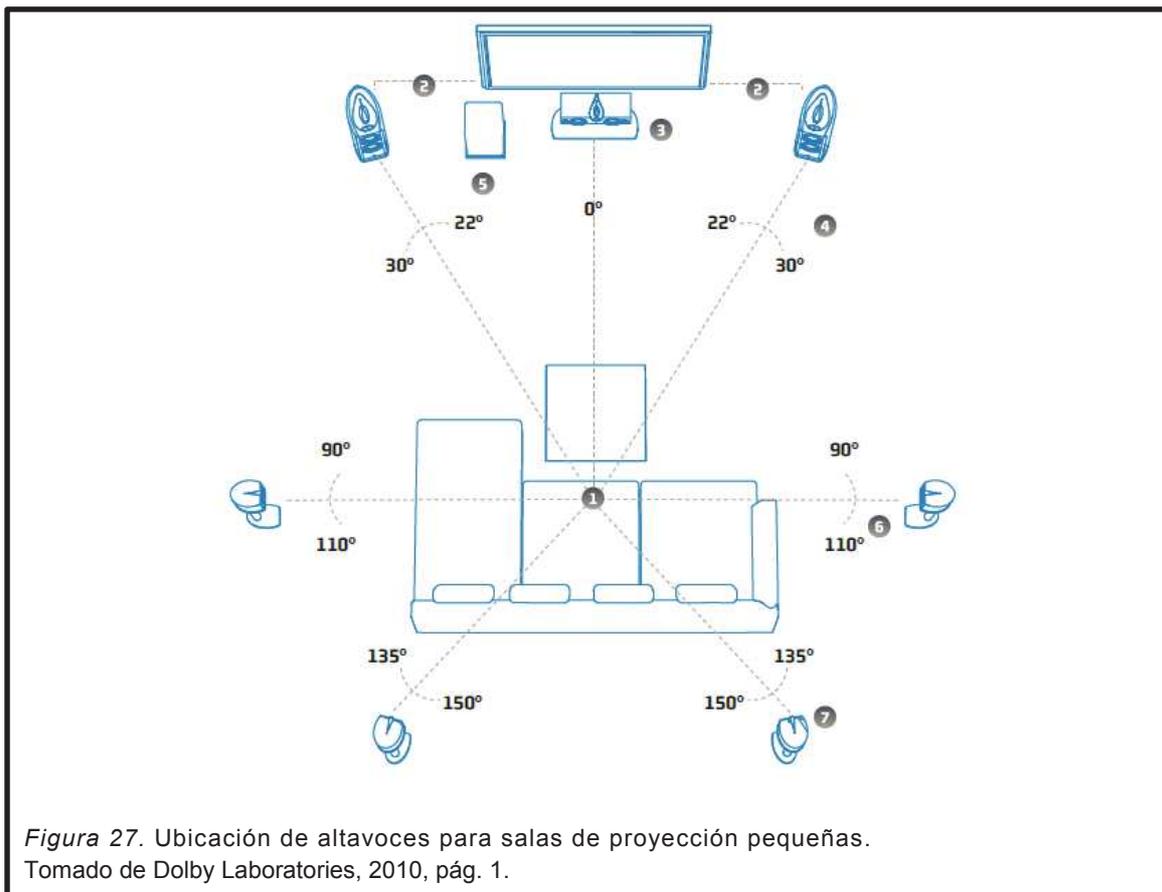


Los altavoces posteriores deben instalarse a 3 - 4.5 metros de altura para salas comerciales dependiendo de la superficie de la misma, apuntando hacia la esquina opuesta entre la pared y el piso de la sala de proyección.



Idealmente los parlantes posteriores no deben interferir con el sonido proveniente de los altavoces frontales, por lo que se recomienda que los primeros altavoces posteriores deben ubicarse a no menos de un tercio de la longitud total de la sala.

En salas residenciales se recomienda ubicar los altavoces posteriores a mínimo 60 cm sobre la altura de los oídos. En este tipo de salas donde las dimensiones no requieren un gran número de altavoces para cubrir a la audiencia se deben instalar los altavoces según los siguientes ángulos:



2.5.2. Cantidad de altavoces

Debido al bajo T_{60} de las salas de proyección, los transductores electroacústicos correspondientes a los canales posteriores de los sistemas de reproducción multicanal son los encargados de generar cualquier sensación de espacialidad dentro de la sala. Usualmente se asocian espacios físicos grandes con tiempos de reverberación altos y reflexiones tempranas distanciadas del sonido directo. Esta percepción sería imposible de lograr en una sala pequeña, quitando realismo al trabajo de post producción de audio. Lo mismo ocurriría si se quiere recrear un espacio físico pequeño en una sala de proyección grande y reverberante. La solución eficiente al problema es minimizar el efecto de las superficies de la sala y recrear cualquier espacio de forma electroacústica.

Para lograr un efecto envolvente convincente es necesario reproducir un campo sonoro muy uniforme y difuso, en el que la audiencia no pueda determinar una fuente puntual con facilidad. Pese al costo asociado con incrementar el número de componentes electroacústicos en una sala, la mejor forma de obtener una distribución uniforme del sonido es usar varios altavoces equidistantes y relativamente cerca entre sí.

El número de altavoces necesarios para cubrir correctamente los requerimientos de una sala de proyección varían dependiendo de varios factores, por lo cual no se puede sugerir un número o distancia entre altavoces de forma general. Sin embargo es posible calcular el número de altavoces de forma exacta mediante el uso de fórmulas si se conocen algunos datos técnicos.

Idealmente todos los altavoces asociados a un canal posterior o surround deben poder generar el mismo nivel de presión sonora creado por cada uno de los altavoces frontales (JBL Professional, 2003, pág. 18). De esta forma se puede deducir que los altavoces posteriores serán más pequeños y de menor potencia que los frontales.

En la actualidad se recomienda que cada canal en una sala de proyección calibrada para reproducción de contenido cinematográfico debe poder generar 85dB_C de nivel de presión sonora a nivel nominal con ruido rosa y medido a dos tercios de la longitud total de la sala desde la pantalla (THX TAP, 2000, pág. 11).

El nivel de sonoridad recomendado se debería mantener constante a lo largo de todo el proceso de producción hasta la reproducción final del contenido. Desde las salas de mezcla hasta las salas de proyección ya sean comerciales o privadas. De esta forma se asegura recibir la mezcla de audio de forma más fiel al original.

El primer paso para calcular la cantidad de altavoces necesarios de un canal posterior es conocer la potencia requerida para lograr el NPS (Nivel de Presión Sonora) deseado. Es necesario también contar con la sensibilidad de los

altavoces a ser utilizados y la distancia desde el punto de montaje hasta el centro de la sala.

$$W = 10^{\left(\frac{Lp - S + 20 \text{Log} r}{10}\right)}$$

Ecuación 8

W= Potencia necesaria por canal.

Lp= Nivel de presión sonora requerido.

S= Sensibilidad de un altavoz en dB a un metro de distancia a un watt.

r= Distancia del altavoz al centro de la sala.

Una vez obtenida la potencia requerida para generar el nivel de presión sonora deseado se deben calcular el número de altavoces que podrán soportar ésta potencia de manera segura. El número de altavoces calculado será el mínimo a ser instalado.

$$N = \frac{W}{PR}$$

Ecuación 9

W= Potencia necesaria por canal.

N= Número de altavoces requeridos por canal.

PR= Potencia nominal de un altavoz.

El número de altavoces instalados puede ser mayor al calculado si fuera necesario crear un campo sonoro con mejor distribución, o si las fuentes pueden ser posicionadas con mucha facilidad por la audiencia. Para salas privadas de menor tamaño es posible usar un solo altavoz por cada canal.

2.5.3. Tipos de altavoces

La función principal de los altavoces ubicados alrededor de la audiencia es generar de forma electroacústica un campo difuso creíble, por lo cual el uso de altavoces con un ángulo de dispersión muy amplio no es aconsejable ya que estos crearían un exceso de frecuencias altas en las butacas cercanas (Allen, 1994, pág. 20). Las frecuencias altas al ser más direccionales permiten que el altavoz se perciba como una fuente puntual y no como un campo difuso natural.

Para salas comerciales se prefiere el uso de altavoces con patrones de cobertura controlados con ángulos de dispersión cerrados. La mayoría de fabricantes que ofrecen líneas completas de altavoces para salas de proyección incluyen parlantes diseñados específicamente para ser usados en la reproducción de los canales envolventes.

Para salas pequeñas donde no es práctico usar un arreglo de varios altavoces pequeños, se opta por usar un solo altavoz por cada canal envolvente. Existe una alternativa para la creación de un campo difuso, los transductores de tipo bipolar y dipolar. Este tipo de altavoces usualmente contiene dos transductores de altas frecuencias posicionados de forma opuesta entre sí generando una cobertura de tipo figura ocho. Este tipo de cobertura hace difícil determinar la ubicación del altavoz y genera un campo difuso en espacios reducidos.

2.5.4. Implementación

Siguiendo los mismos criterios de selección de los altavoces frontales, los altavoces surround seleccionados fueron Klipsch in-wall de alta sensibilidad, direccionalidad controlada y excelente calidad de reproducción sonora.



Figura 28. Altavoz Klipsch R-3800-W.

Para la reproducción de los canales posteriores izquierdo y derecho fueron seleccionados altavoces Klipsch R-3800-W de radiación directa siguiendo las recomendaciones THX. Estos altavoces gracias a su alta sensibilidad aseguran una correcta cobertura de toda el área de audición pese a encontrarse instalados en la pared posterior de la sala lejos de las primeras filas de butacas.



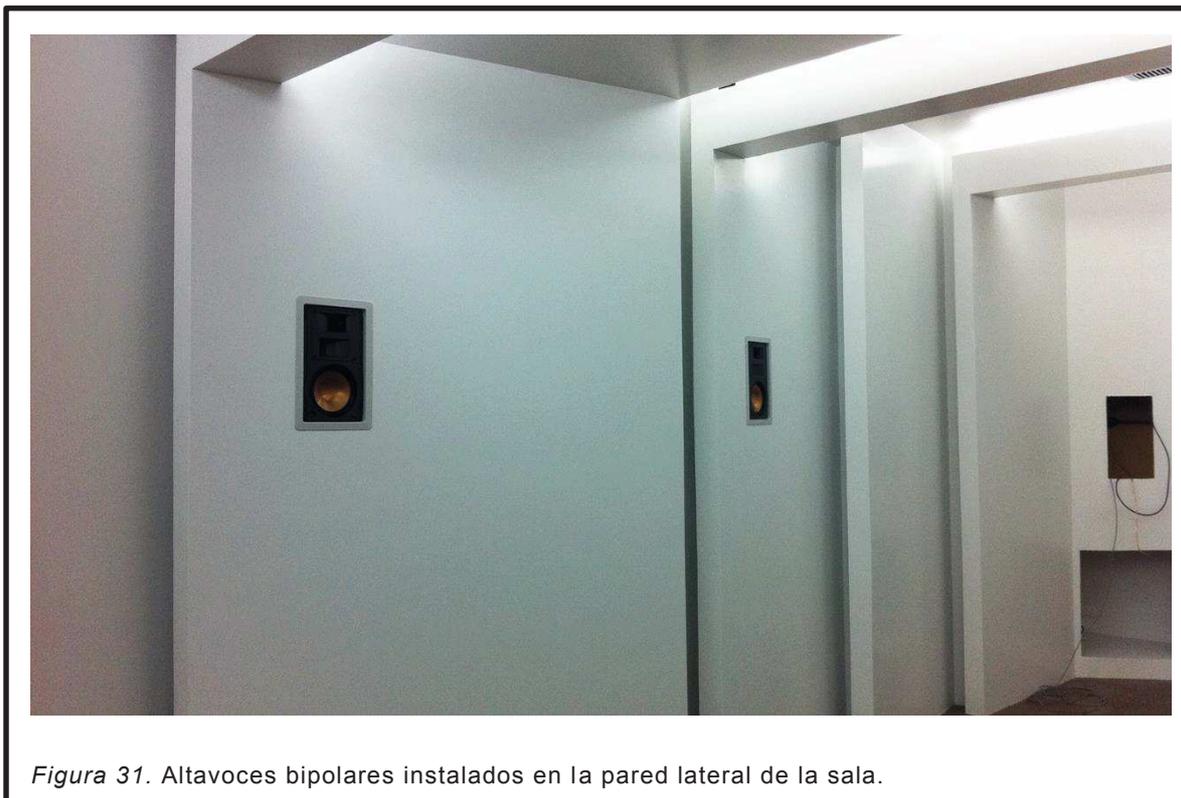
Figura 29. Altavoces Klipsch R-3800-W instalados en la pared posterior de la sala de proyección.

Debido a la forma de la sala, y con el fin de lograr un campo difuso uniforme para a la reproducción de los canales laterales izquierdo y derecho fue necesaria la instalación de dos altavoces por canal. Los parlantes seleccionados también fueron Klipsch, en este caso los R-5650-S.



Figura 30. Altavoz Klipsch R-5650-S.

A diferencia de los altavoces usados para los canales posteriores, los R-5650-S son bipolares. Debido a la corta distancia entre la audiencia y las paredes laterales de la sala, altavoces de radiación directa hubieran generado una imagen demasiado definida, razón por la cual se decidió instalar altavoces bipolares que generan mayor difusión en su proximidad. La distancia hasta la pared opuesta de la sala no es mayor por lo que los altavoces instalados no requieren un tiro largo para cubrir a toda la audiencia.



2.6. Subwoofers

La capacidad para reproducir los extremos del espectro audible se ha visto limitada fundamentalmente por la linealidad de los medios de almacenamiento disponibles. En los primeros sistemas de grabación análogos el ruido de fondo imposibilitaba el correcto almacenamiento de frecuencias altas debido al fenómeno de enmascaramiento. En el caso de frecuencias bajas el limitado rango dinámico de los medios analógicos impedía su correcta grabación apareciendo distorsión audible a muy bajos niveles.

Al encontrarse los medios electroacústicos de reproducción sonora limitados por la calidad de los medios de almacenamiento, su perfeccionamiento en términos de respuesta de frecuencia en los extremos del espectro audible no inició sino hasta los años cincuenta con el aparecimiento de una nueva corriente de tecnologías de audio (Anet, 2003, pág. 1).

La alta fidelidad o Hi-Fi aparece como la búsqueda de una reproducción de audio más transparente y fiel a los sonidos originales. Esta tendencia deriva en

nuevos equipos electroacústicos y fabricantes comprometidos a desarrollar tecnología en un campo nuevo pero que prometía una acogida considerable a nivel de sistemas domésticos.

Se desarrollan transductores de mayor eficiencia y sistemas más complejos con el desarrollo de discos de vinilo que presentaban una respuesta de frecuencia más amplia y mayor rango dinámico. La demanda por mejores sistemas de reproducción de audio incentiva el desarrollo de sistemas para satisfacer un nuevo tipo de consumidores más exigentes, audiófilos en búsqueda de la mejor experiencia posible en reproducción de audio.

Fabricantes de equipos de alta fidelidad como Kef, Bang & Olufsen, Klipsch, entre otros, incorporan transductores de tiro largo que permiten reproducir frecuencias bajas dentro de cajas acústicas de varias vías. El rango de frecuencias extendido hacia el extremo inferior del espectro auditivo tiene una acogida favorable por el público.

La reproducción de frecuencias bajas presenta varios desafíos técnicos no solo para el medio de almacenamiento sino también para los equipos de transducción electroacústica. El oído humano posee una sensibilidad reducida en bajas frecuencias siendo necesario un nivel de presión sonora elevado para recrear la misma sonoridad que en frecuencias medias. Este fenómeno fue estudiado por Robinson-Dadson en 1956 cuando se publicaron por primera vez las tablas de igual sonoridad para el oído humano.

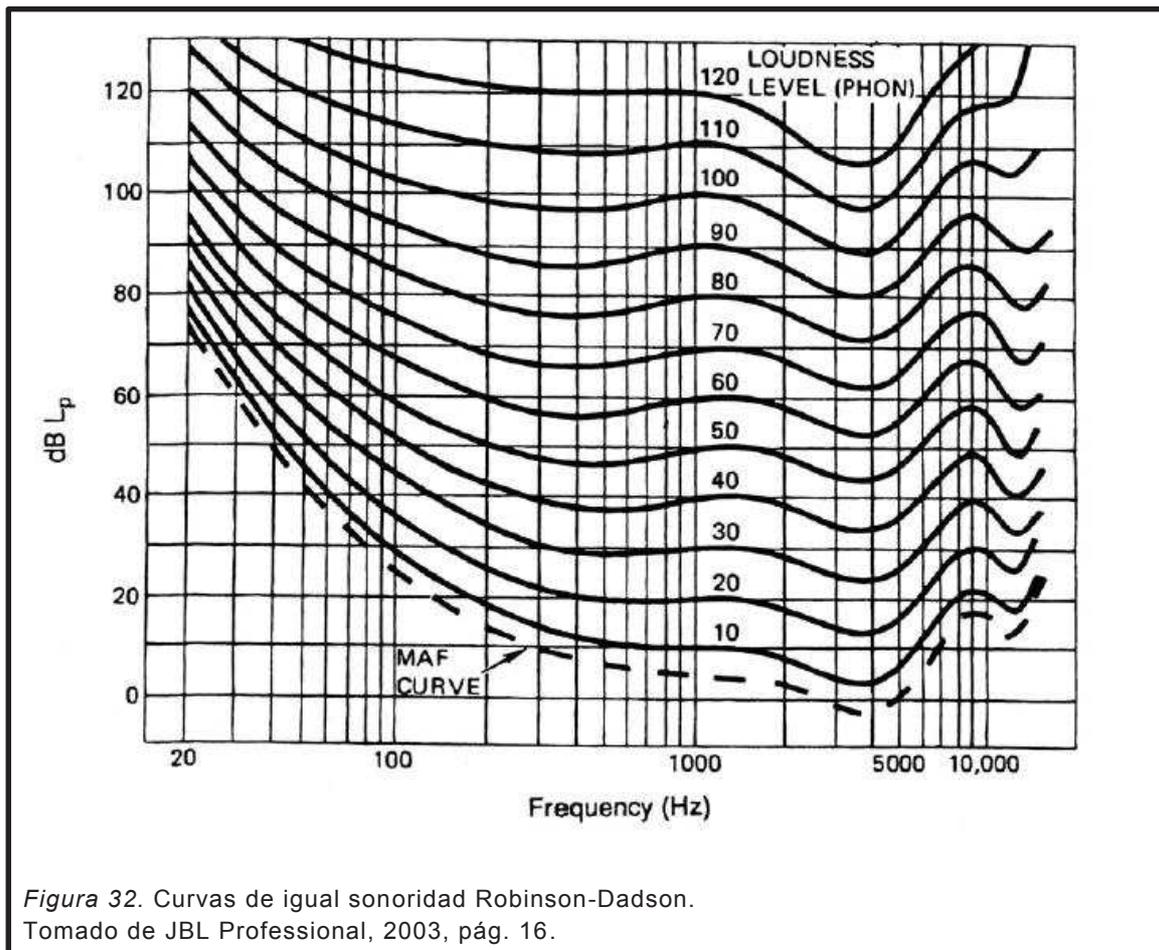


Figura 32. Curvas de igual sonoridad Robinson-Dadson.
Tomado de JBL Professional, 2003, pág. 16.

Otro inconveniente que presenta la reproducción de bajas frecuencias es la sensibilidad de los altavoces de radiación directa en este tipo de frecuencias. La superficie del diafragma debe ser considerable para poder reproducir frecuencias bajas en un rango sonoro audible. El tamaño de los transductores representa un impedimento práctico y estético para sistemas de varias vías, por lo cual se opta por la creación de altavoces específicamente diseñados para la reproducción de frecuencias bajas.

En 1970 James Novak inicia el estudio del diseño de cajas acústicas especialmente optimizadas para la reproducción de frecuencias bajas, su trabajo es perfeccionado por Neville Thiele y Richard Small quienes publicaron ecuaciones que permiten el modelamiento y diseño de cajas acústicas con gran precisión. Esta serie de análisis y modelamientos matemáticos son conocidos como los parámetros Thiele-Small y son usados hasta la actualidad.

La implementación de subwoofers con el fin de extender la respuesta de frecuencias de un sistema tiene gran acogida en el campo del audio para imagen, donde los diseñadores de sonido cuentan con una nueva herramienta para soportar la narrativa e intención de la imagen con un diseño sonoro de mayor impacto en la audiencia. Los sistemas de codificación perceptual y almacenamiento digital permiten un mejor almacenamiento de información de bajas frecuencias en términos de extensión hacia el rango infrasónico y de rango dinámico, convirtiendo al uso de subwoofers prácticamente mandatorio para salas comerciales.

Gracias a la incursión de formatos multicanal que incluyen un canal dedicado para efectos de baja frecuencia en sistemas para consumidor, en la actualidad la mayoría de sistemas tipo teatro en casa incluyen de forma estándar un subwoofer.

2.6.1. Rango dinámico

A diferencia del resto de canales en un sistema multicanal, el canal dedicado para efectos de baja frecuencia o LFE por sus siglas en inglés (Low Frequency Effect) requiere un mayor rango dinámico y headroom para poder transmitir la información de forma lineal y con poca distorsión. La energía acumulada en las primeras bandas audibles es mayor a la energía en frecuencias altas por lo que es necesario considerar que el canal LFE llevará señales de amplitud considerable con tiempos de ataque muy reducidos que podrían ocasionar clipping o recorte de señal.

Para prevenir la saturación del canal LFE ante señales de gran amplitud como explosiones, se toma un nivel de referencia para la grabación de 10 decibeles por debajo del resto de canales, luego el sistema de decodificación amplificará en 10 dB esta señal para compensar por la atenuación previamente realizada pero manteniendo un factor de protección para el sistema (Allen, 1994, pág. 23).

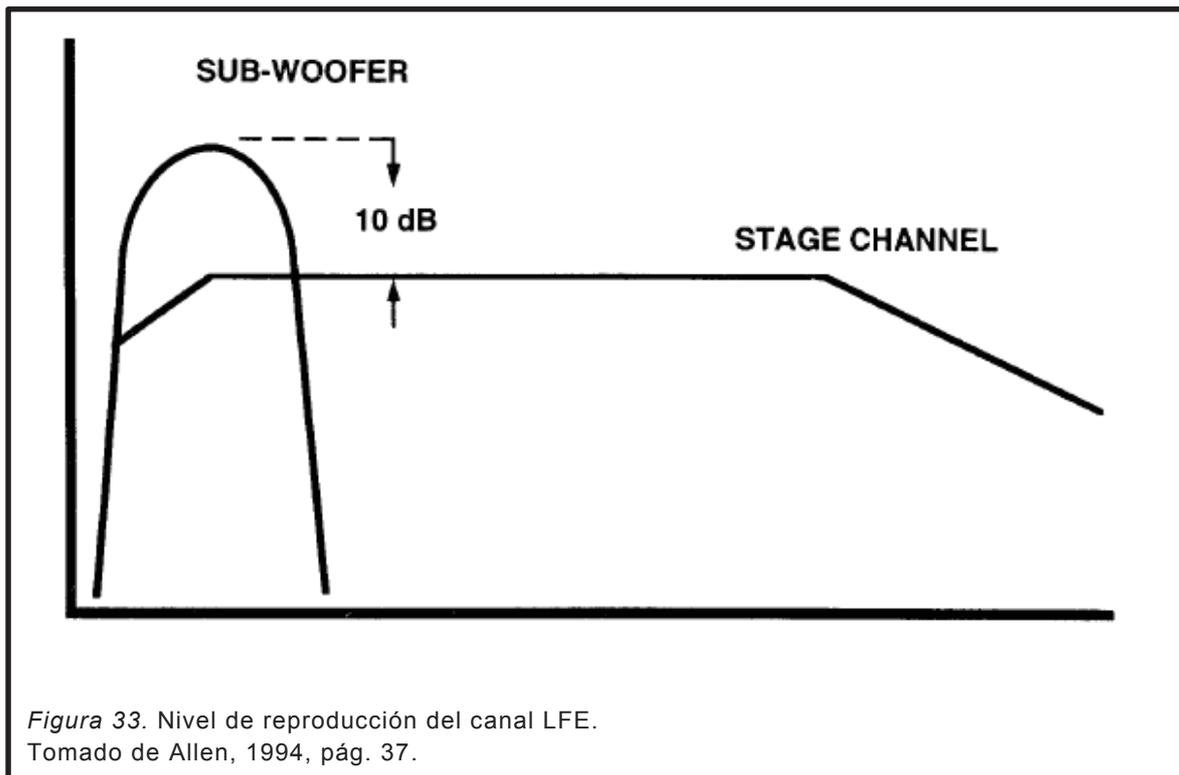


Figura 33. Nivel de reproducción del canal LFE.
Tomado de Allen, 1994, pág. 37.

2.6.2. Ubicación

La interacción de los altavoces de bajas frecuencias con la sala debe ser tomada en cuenta con mayor atención que el resto de altavoces en una configuración multicanal, debido al apareamiento de modos normales de vibración, condiciones de frontera y al fenómeno de acoplamiento entre varios subwoofers.

Una correcta ubicación de los subwoofers en la sala produce una reproducción más lineal de bajas frecuencias, reducción de modos normales y frecuencias estacionarias. Permite también la optimización de los componentes para producir un mayor nivel de presión sonora sin recurrir a la incorporación de equipamiento extra.

Existen dos métodos para optimizar el nivel de presión sonora generada por los subwoofers, el primero es acoplar acústicamente más de un subwoofer para incrementar en 3 dB el NPS. Este método de acoplamiento permite también

aumentar la direccionalidad de un arreglo de subwoofers si se posee la cantidad adecuada de altavoces.

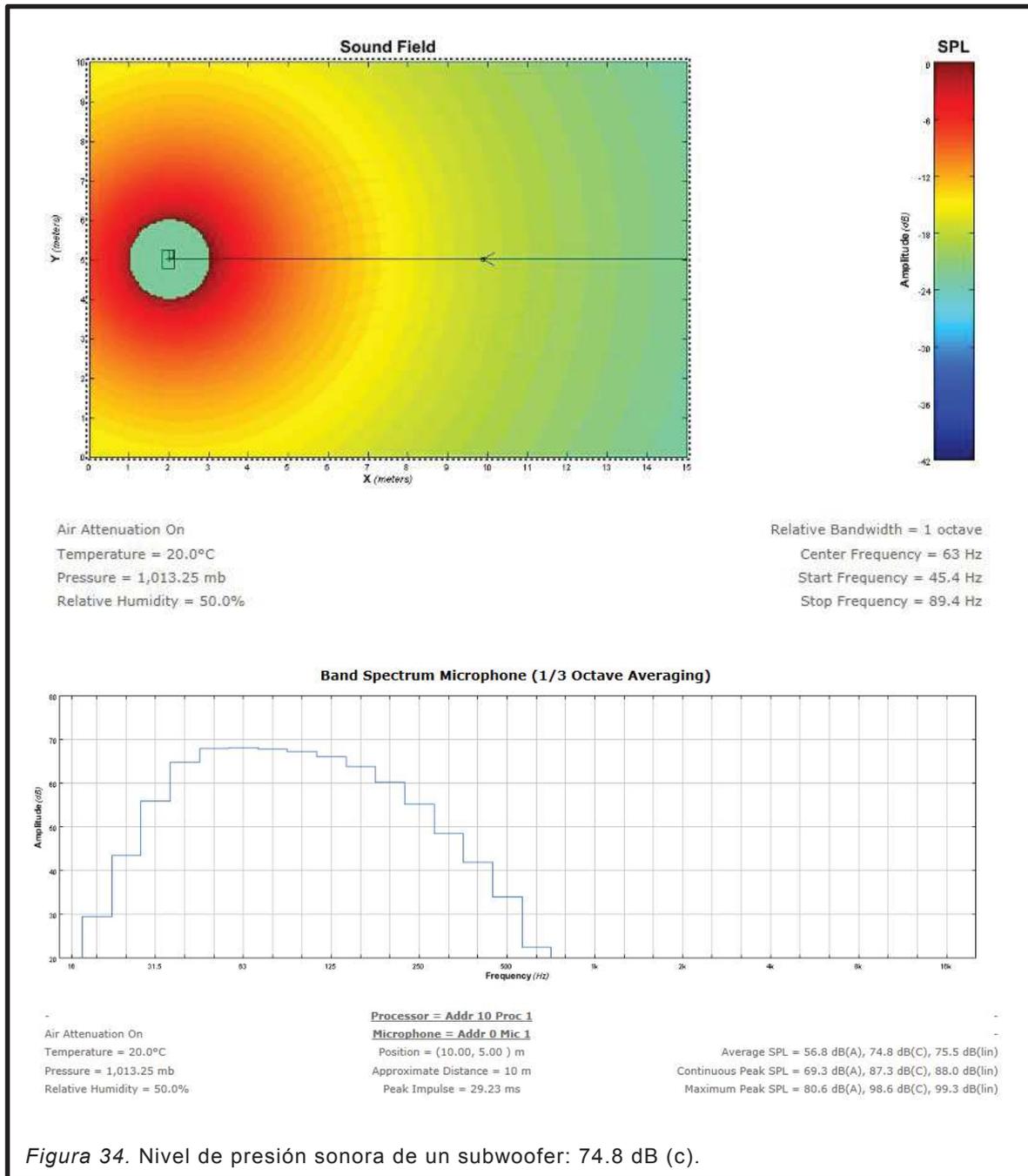


Figura 34. Nivel de presión sonora de un subwoofer: 74.8 dB (c).

La distancia entre las fuentes de bajas frecuencias debe calcularse para evitar problemas de cancelación por fase entre los altavoces del arreglo. La característica omnidireccionalidad de los subwoofers incrementa la posibilidad de interferencia destructiva cuando coincide la separación entre componentes con 2/3 de la longitud de onda de la frecuencia más alta a reproducida por el subwoofer (Ramírez, 2000, pág. 52).

La máxima distancia recomendada para la ubicación de subwoofers se puede obtener mediante la aplicación de las siguientes fórmulas.

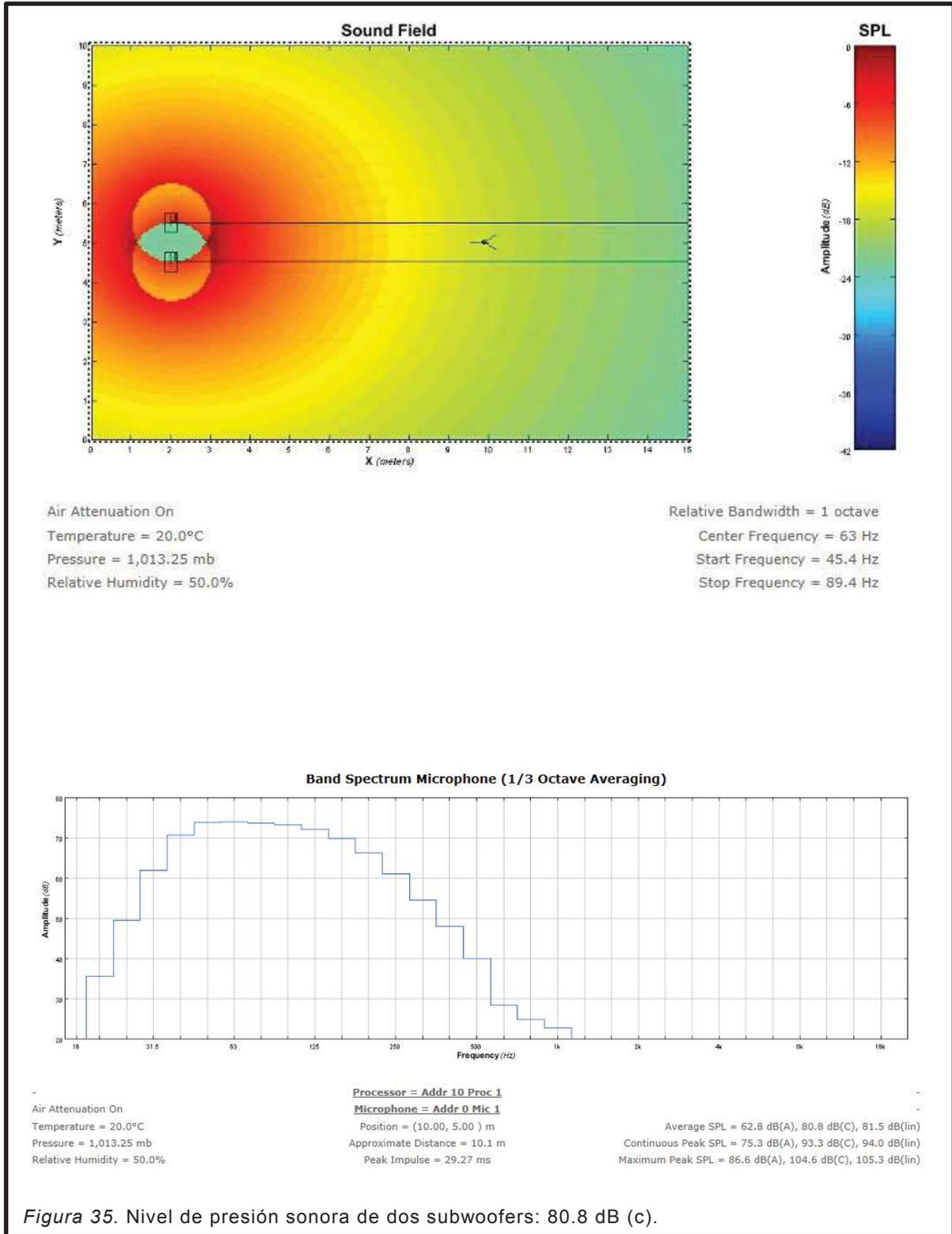
$$\text{Distancia Máxima (m)} = \frac{\text{Velocidad del Sonido } \left(\frac{m}{s}\right)}{\text{Frecuencia Límite Superior (Hz)}} \times 0.666$$

Ecuación 10

$$\text{Velocidad del Sonido } \left(\frac{m}{s}\right) = 331.4 \left(\frac{m}{s}\right) + (0.607 \times ^\circ\text{C})$$

Ecuación 11

La frecuencia límite superior usualmente corresponde a la frecuencia de corte ingresada en el crossover o divisor de frecuencias asignado al canal de efectos de bajas frecuencias. Para la mayoría de aplicaciones en salas pequeñas esta frecuencia suele encontrarse en el rango entre 80 y 120 Hz, para salas comerciales o estudios de postproducción la frecuencia de corte puede cambiar para lograr una mejor integración con el resto de componentes electroacústicos y la sala.



El segundo método consiste en ubicar los subwoofers lo más cerca posible a la mayor cantidad de superficies límite de la sala como sea factible. Cada superficie que se encuentre físicamente acoplada a un subwoofer ofrecerá un incremento de 3 dB de NPS sobre el nivel del mismo altavoz en campo libre.

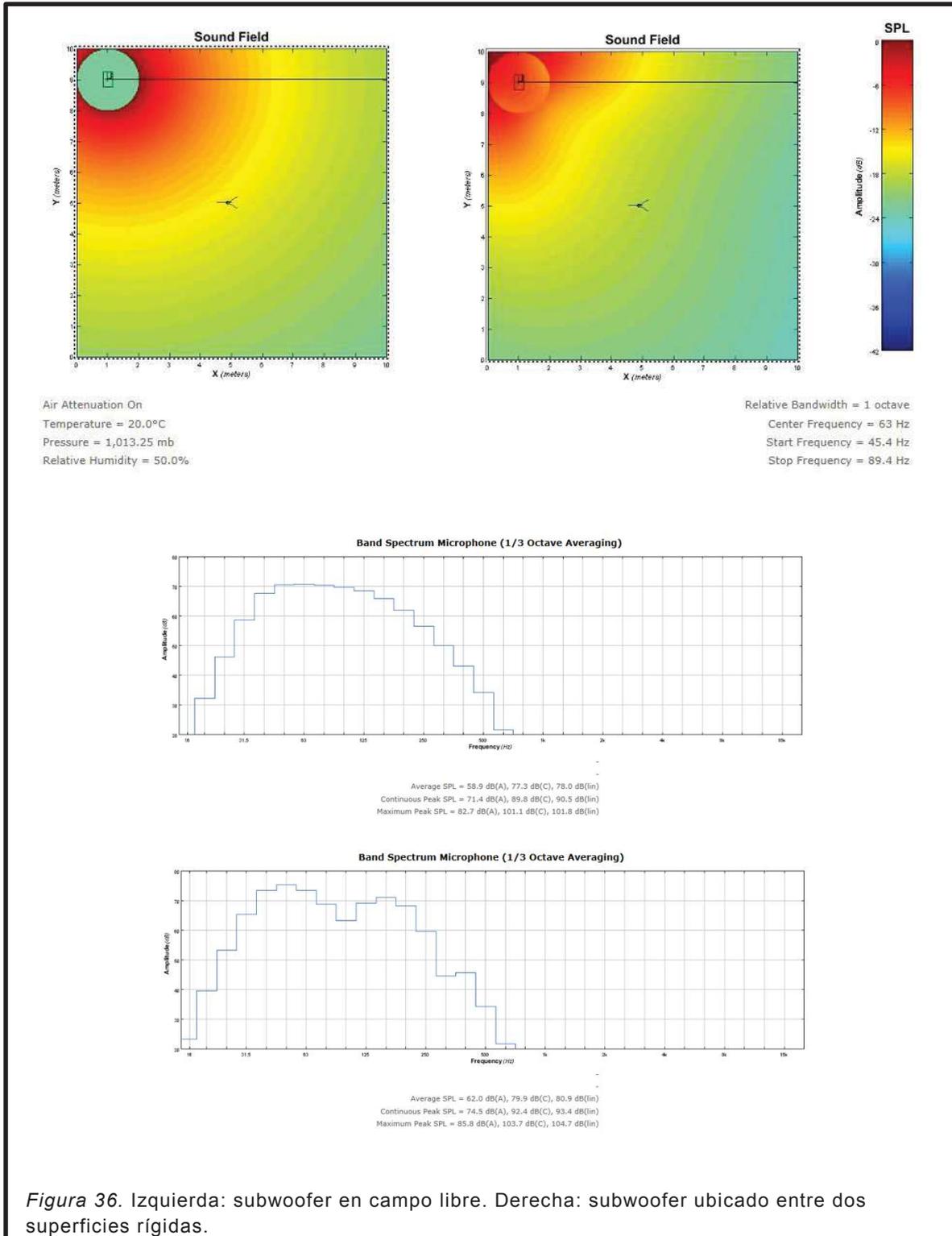
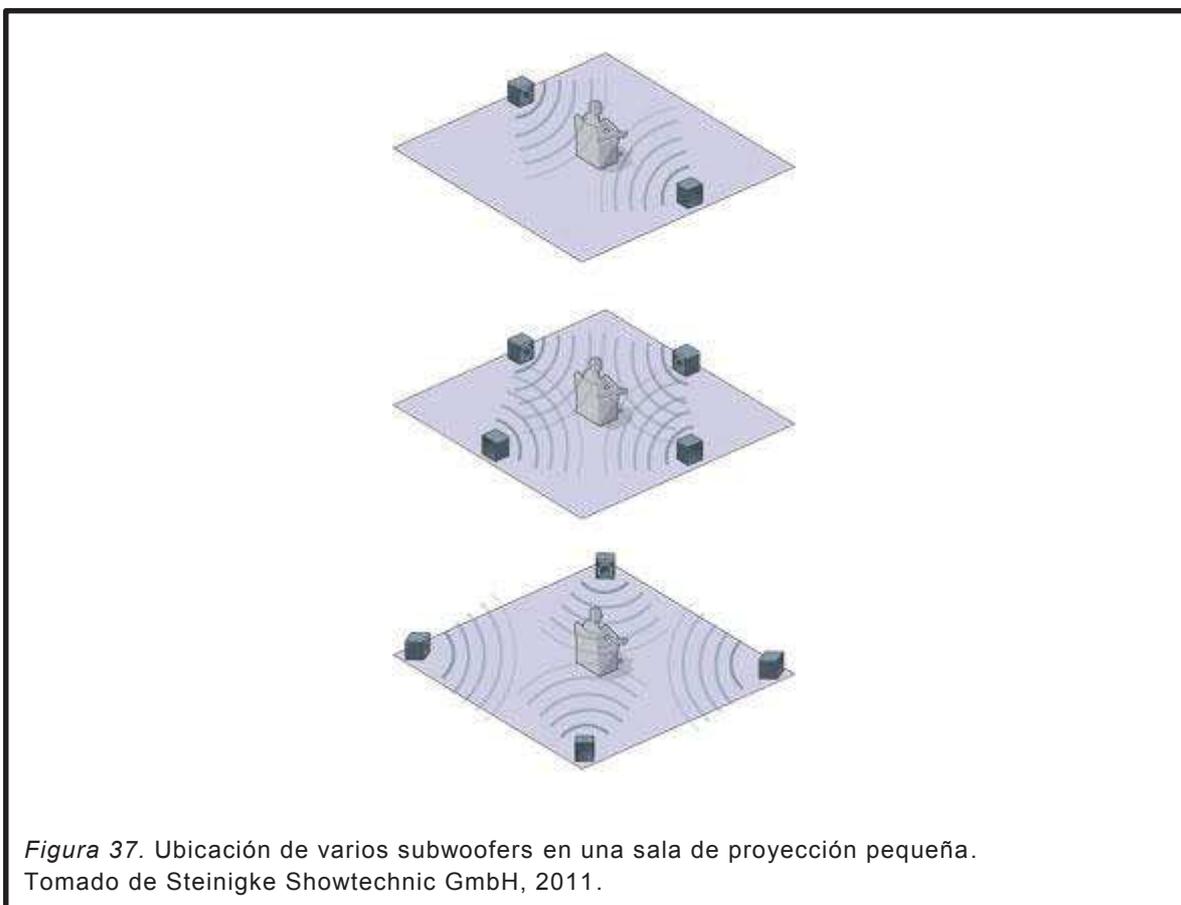


Figura 36. Izquierda: subwoofer en campo libre. Derecha: subwoofer ubicado entre dos superficies rígidas.

Con el fin de reducir los modos normales de vibración y frecuencias estacionarias, es aconsejable ubicar a los subwoofers en lados opuestos de la sala. Esta configuración reduce la cantidad de procesamiento necesaria para mejorar la curva de respuesta del sistema. La única desventaja de ésta distribución es el nivel de presión sonora reducido que se obtiene en comparación a una configuración en la que se usen arreglos de varios subwoofers ubicados a corta distancia entre sí.



2.6.3. Tipos de altavoces de bajas frecuencias

Gracias a los estudios realizados por Neville Thiele y Richard Small es posible entender con mayor facilidad la interacción entre el transductor electroacústico de bajas frecuencias y el aire a su alrededor. Debido a que cada lado del difusor o diafragma del transductor irradia energía con una diferencia de fase de 180° es indispensable el uso de algún tipo de partición que evite la interferencia destructiva que resultaría en una pérdida casi completa de energía sonora.

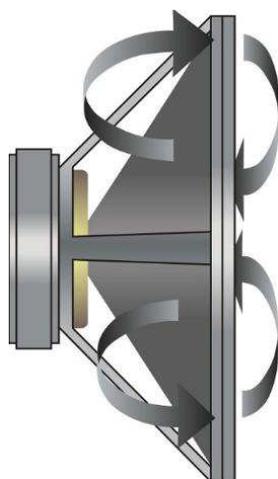
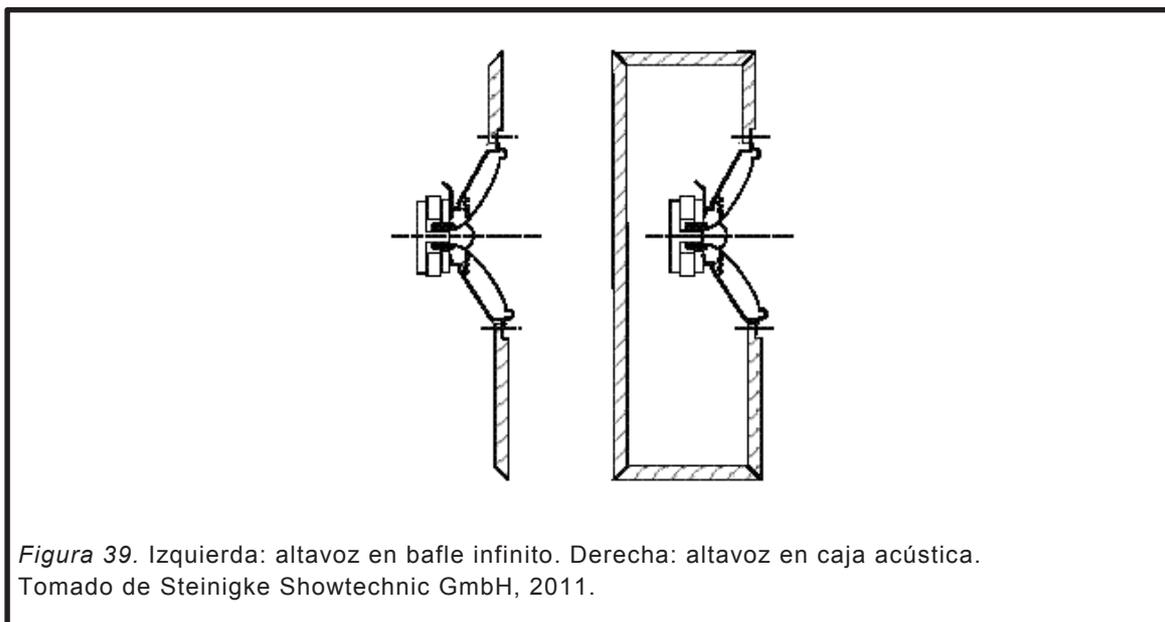


Figura 38. Transductor electroacústico de radiación directa. 180° de diferencia entre los dos lados del diafragma.

Tomado de Steinigke Showtechnic GmbH, 2011.

Idealmente una condición de baffle infinito en el cual los dos lados del altavoz estuvieran separados por una distancia infinita eliminaría cualquier riesgo de cancelación. Esta condición no es viable en la práctica limitándose únicamente a suposiciones teóricas, el método más cercano a esta hipotética condición es una instalación tipo flush-mount sobre alguna superficie rígida.

La superficie necesaria para separar el medio de transmisión a cada lado del transductor debe ser considerable por lo que es de difícil implementación. La solución más práctica encontrada a las limitaciones del baffle infinito es el uso de cajas acústicas que encapsulen el aire a uno de los lados del altavoz. Esta solución ha sido la más usada en el diseño de altavoces por su facilidad de implementación versus la instalación flush-mount de un transductor electroacústico.



Pese a la relativamente fácil implementación de cajas acústicas para altavoces, en el caso de bajas frecuencias se deben considerar las extensas longitudes de onda en el diseño de la caja. Los valores ideales tanto de respuesta de frecuencia como de sensibilidad son usualmente excesivos por lo que se han propuesto diferentes tipos de cajas acústicas con el fin de maximizar el desempeño de los transductores de bajas frecuencias en cajas acústicas.

El desafío que representa el diseño de cajas acústicas para transductores de bajas frecuencias en comparación a transductores de frecuencias medias o altas se vuelve evidente cuando se aplica la siguiente igualdad que permite determinar una relación entre el volumen de aire y el nivel de presión sonora en relación a la frecuencia (Anet, 2003, pág. 3).

$$Volumen = \frac{Volumen_0 \times (Frecuencia_0)^2}{Frecuencia}$$

Ecuación 12

Considerando el mismo NPS:

Volumen: volumen que se quiere encontrar

Volumen₀: volumen conocido para lograr un NPS a cierta frecuencia

Frecuencia₀: frecuencia asociada al Volumen₀

Frecuencia: nueva frecuencia asociada al Volumen

Si se requieren 50 cm³ para generar 110 dB en una frecuencia de 100 Hz, aplicando esta fórmula podemos concluir que son necesarios 1250 cm³ para mantener los mismos 110 dB pero a una frecuencia de 20 Hz.

El diseño de caja acústica más simple es el de tipo sellado, en este diseño se separa completamente la masa de aire dentro de la caja. Este tipo de cajas es el más fácil de construir y mantiene la rigidez de la caja con mayor facilidad.

Las cajas de tipo sellado presentan la mejor respuesta de impulso y linealidad en la respuesta de frecuencia pero sacrifican eficiencia y requieren de un gran volumen de aire interno para poder reproducir frecuencias bajas.

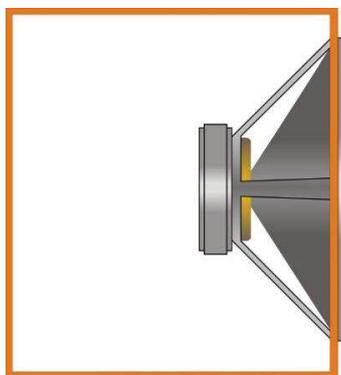
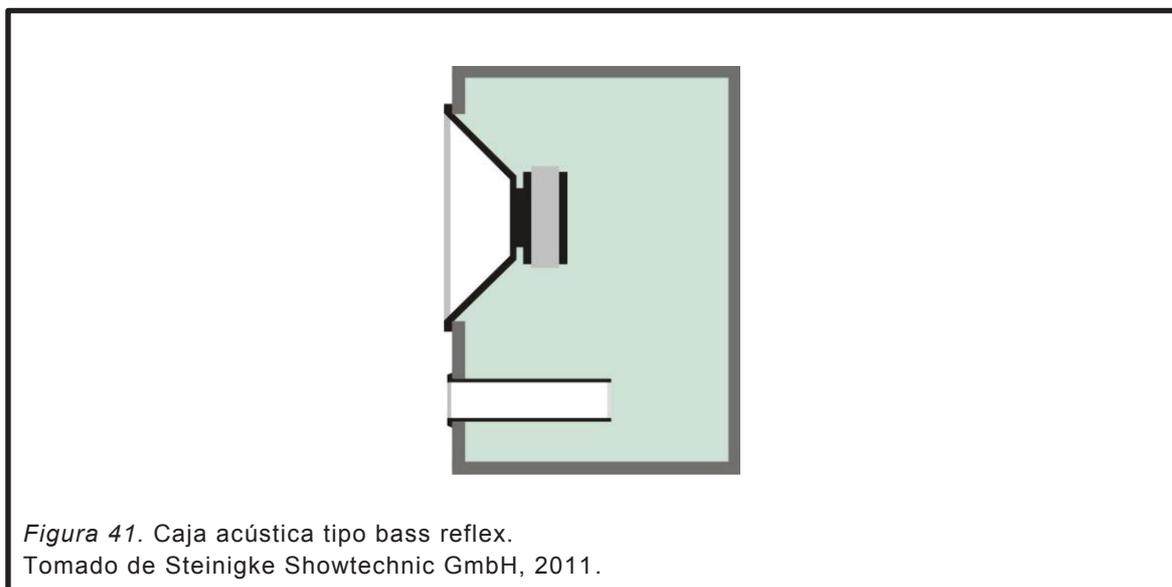


Figura 40. Caja acústica tipo sellado.
Tomado de Steinigke Showtechnic GmbH, 2011.

Otro diseño muy utilizado por el incremento en eficiencia y extensión en el rango de reproducción de frecuencias bajas es la caja ventilada o bass reflex. Este diseño hace uso de un canal que conecta al volumen de aire dentro de la caja con el aire fuera de esta. El canal debe ser cuidadosamente diseñado y construido para no generar turbulencia en el aire que mueve el transductor. En las cajas ventiladas el transductor requiere una menor excursión para lograr el mismo nivel de presión sonora comparado con una caja sellada, reduciendo la necesidad de componentes costosos.

Si bien las cajas tipo bass reflex son muy eficientes, estas presentan una respuesta de frecuencia poco lineal que usualmente debe ser corregida, también producen una respuesta de impulso menos definida comparada con la obtenida en cajas selladas. Pese a los inconvenientes que presentan este tipo de cajas acústicas su uso es muy común en salas de proyección audiovisual tanto a nivel comercial como privado.



Existen otros tipos de cajas acústicas diseñadas específicamente para la reproducción de bajas frecuencias como las cajas tipo pasa banda. Este diseño filtra de forma acústica la respuesta de frecuencia del altavoz sin necesidad de un divisor de frecuencias externo, dicha configuración genera niveles de presión sonora muy elevados cerca a la frecuencia de afinación de la caja pero

limita en gran medida la extensión en la reproducción de frecuencias bajas. Las cajas tipo pasa banda no son usadas comúnmente en salas comerciales por su poca linealidad. En equipos de uso doméstico existen algunos fabricantes que hacen uso de cajas pasa banda para sistemas de reproducción multicanal.

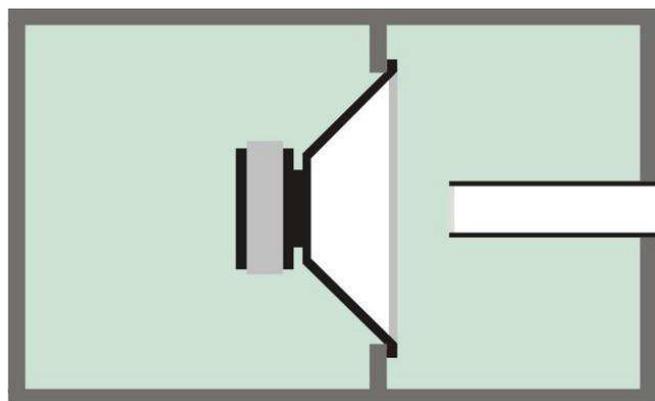


Figura 42. Caja tipo pasa banda.
Tomado de Steinigke Showtechnic GmbH, 2011.

Una de las ventajas de los medios de codificación perceptual en el dominio digital es la respuesta de frecuencia extendida hacia cada extremo del rango audible. Pese al límite auditivo humano de 20 Hz en frecuencias bajas, sonidos en un espectro cercano a los 20 Hz pueden ser percibidos de manera táctil aparte de auditivamente. Gracias a este fenómeno los sonidos con alto contenido de frecuencias bajas presentan una experiencia sensorial más impactante para la audiencia.

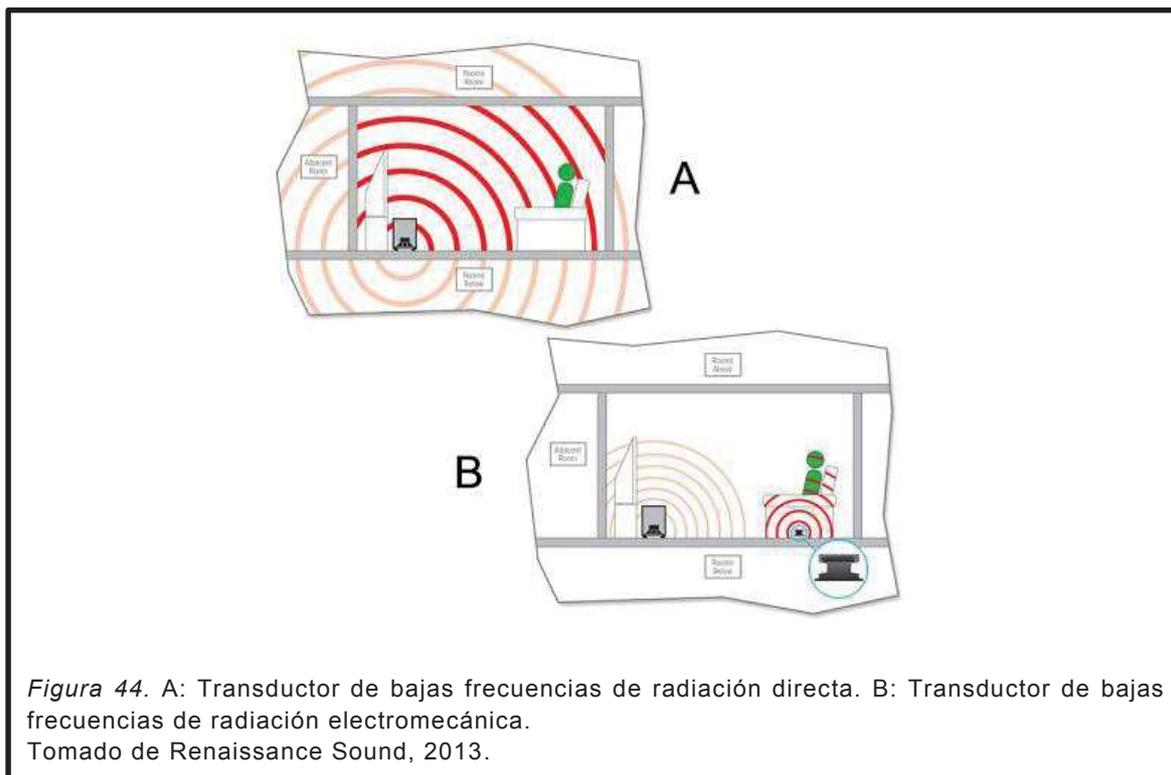
Aprovechando las características de las frecuencias cercanas o inferiores a los 20 Hz se han desarrollado transductores electromecánicos que tienen la capacidad de reproducir señales de muy baja frecuencia denominados transductores táctiles. A diferencia de altavoces convencionales para bajas frecuencias los transductores táctiles usan medios densos de transmisión en lugar del aire. Al ser acoplados mecánicamente a una superficie rígida los transductores táctiles transmiten la información de las señales de baja frecuencia directamente a la superficie de contacto.

Mediante el uso de esta tecnología es posible transformar superficies rígidas en difusores de bajas frecuencias con capacidad de vibrar por debajo de los 20 Hz. La instalación más común de transductores táctiles se realiza por debajo de las butacas para crear una sensación completamente envolvente para la audiencia.



Figura 43. Transductor táctil.
Tomado de Renaissance Sound, 2013.

Debido a que no es necesario mover aire para transmitir la energía, esta tecnología permite focalizar el sonido dentro de la sala minimizando su transmisión fuera de ésta. Esto implica una reducción en el presupuesto necesario para aislar acústicamente la sala.



En la actualidad el uso de transductores táctiles no es común en salas comerciales de presupuesto limitado. La implementación de transductores electromecánicos se centra básicamente en instalaciones de gama alta y salas denominadas 4D. Existen también variantes de éstos transductores electromecánicos para el mercado doméstico donde su uso es más común.

2.6.4. Implementación

Gran parte de la información sonora almacenada en las pistas de audio de los contenidos cinematográficos actuales consiste en sonidos de baja frecuencia. La mayoría de formatos multicanal en la actualidad dependen del canal dedicado LFE tanto para efectos de baja frecuencia como para complementar al resto de altavoces satélite.

La correcta selección y ubicación del subwoofer para la sala de proyección fue un factor determinante para el resultado final. Dentro de las consideraciones para escoger el subwoofer adecuado se encontró: la limitación de espacio

físico para su implementación, y el tipo de conexión existente en el receptor Denon AVR-791 para el canal LFE.

Con respecto al espacio físico disponible, las paredes internas de la sala de proyección permitían la instalación de un subwoofer de máximo 40 cm de profundidad. Manteniendo la idea de no reducir el área útil de la sala con ningún equipo de audio o video, la selección del subwoofer se limitó a equipos de dimensiones reducidas. Consecuentemente el subwoofer a ser instalado debía proveer una eficiencia considerable para poder generar altos niveles de presión sonora desde una caja acústica relativamente pequeña.

Si bien la limitación de las dimensiones del subwoofer a ser instalado representó un desafío técnico, la forma en la que éste sería instalado generaría una condición de baffle infinito sumamente beneficioso para la reproducción de bajas frecuencias con lo cual se podría compensar en cierta medida el alto requerimiento de NPS dentro de la sala.

El segundo factor importante al momento de escoger el subwoofer fue su integración con el resto de la Cadena B. Tomando en cuenta que el receptor Denon AVR-791 posee una salida a nivel de línea para el canal LFE y no un canal de amplificación dedicado para bajas frecuencias, el subwoofer a ser utilizado debía ser activo. Tomando en cuenta las consideraciones antes mencionadas se escogió al subwoofer Martin Logan Dynamo 1000 para ser instalado en la sala.



El subwoofer Dynamo 1000 es activo, cuenta con un driver de alto desempeño de 12 pulgadas y una caja acústica de baja resonancia de tipo sellada. Además de generar grandes niveles de presión sonora desde los 22 Hz hasta los 200 Hz, sus dimensiones son muy reducidas. Martin Logan es mundialmente conocido por sus equipos de audio de gama alta en los que sobresale el cuidado a los detalles y un nivel de calidad de reproducción sonora muy alto.

El subwoofer fue instalado en la parte inferior del altavoz central luego de determinar por medio de ensayo y error que ésta era la mejor ubicación para su montaje. Con el fin de minimizar el riesgo de resonancia del proscenio, éste fue reforzado con una estructura de aluminio adicional y en la sección adyacente al subwoofer se usó una construcción compuesta por dos planchas de gypsum.

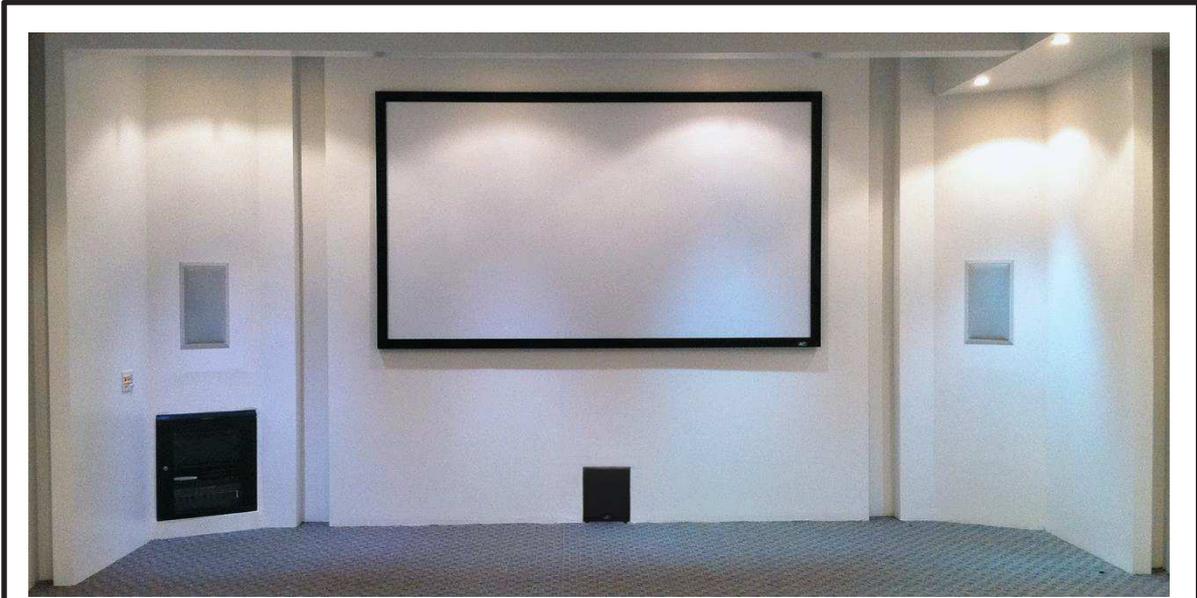


Figura 46. Ubicación del subwoofer en la pared frontal de la sala de proyección.

3. CAPÍTULO III. Consideraciones acústicas

3.1. Introducción

Las condiciones acústicas de cualquier recinto cuyo propósito incluya la reproducción de un sistema electroacústico deben ser tomadas en cuenta como un factor determinante en el resultado final de dicho sistema. El uso de equipos de alta calidad puede resultar en una reproducción mediocre si no se considera la interacción de los transductores con la sala. El tratamiento acústico debe ser incluido en la cadena de componentes que conforman la construcción integral de una sala de reproducción multimedia. De ser el diseño acústico el elemento de menor calidad, el resto de componentes estarán limitados a su desempeño sin importar sus capacidades de forma individual.

A diferencia de salas dedicadas para presentaciones en vivo o reproducción de música donde las condiciones acústicas de la sala constituyen una prioridad en el diseño, las salas de proyección dependen de mayor medida de medios electroacústicos para el enriquecimiento de la experiencia de audición.

En salas diseñadas para reproducción de contenido musical las reflexiones sonoras deben manejarse inteligentemente para poder cubrir toda el área de interés de forma uniforme mediante el uso de superficies reflectantes o difusoras cuidadosamente ubicadas. La atenuación del sonido al llegar a los espacios más distantes de la fuente es usualmente corregida también mediante el uso del sonido reflejado. La inteligibilidad se logra manteniendo un delicado balance entre superficies absorbentes y reflectantes dependiendo del uso que se le dé al recinto. De manera general la sala llega a convertirse en un elemento que aporta su propio carácter y sonoridad única al contenido interpretado en la sala.

En el caso de salas modernas de reproducción multimedia que cuentan con sistemas multicanal, el aporte acústico de la sala al sonido reproducido debe ser mínimo. Al agregar al sonido percibido por la audiencia cualquier tipo de coloración o carácter tonal no encontrado en la mezcla original se modifica el

trabajo de post producción alterando así la intensidad narrativa del contenido. Cualquier sensación de espacialidad que se quiera transmitir es fácilmente obtenible mediante el uso de los canales surround y no de medios acústicos, por lo que en la actualidad se prefiere trabajar con salas acústicamente neutras para lograr una reproducción electroacústica más transparente y dinámica.

Antes de introducirse sonido grabado a la reproducción de imagen en movimiento, ésta se acompañaba con interpretaciones musicales en vivo, viéndose la necesidad de usar un recinto diseñado para la audición de música en vivo. Al introducirse señales de audio en los medios de almacenamiento ópticos e implementarse los primeros sistemas de reproducción electroacústica, las condiciones acústicas de las salas no se consideraban como un factor importante debido a la baja calidad del contenido a reproducirse.

Gracias al desarrollo de nuevas tecnologías de codificación y almacenamiento de audio para imagen, al apareamiento de entidades dedicadas a generar estándares de calidad y al desarrollo de equipos de audio y video de alta calidad, el aspecto acústico de las salas se empieza a tomar en cuenta e implementar de forma correcta.

Dolby recomienda desde 1994 tomar en cuenta el ruido de fondo para poder aprovechar el rango dinámico de sus nuevos formatos digitales (Allen, 1994, pág. 35), y THX por su parte implementa requerimientos acústicos a sus sistemas de certificación, ayudando a difundir a la acústica como una práctica necesaria en el diseño y construcción de salas de proyección en todo el mundo.

Pese al uso exhaustivo de medios electroacústicos para lograr un entorno sonoro de alta calidad, todavía existen consideraciones acústicas importantes que pueden representar la diferencia entre una sala de reproducción de baja calidad y una sala de alta fidelidad. El tiempo de reverberación, el ruido de fondo y el aislamiento acústico conforman de manera general los elementos relacionados a la acústica que todavía deben tomarse en cuenta para lograr

resultados satisfactorios independientemente de los equipos electroacústicos a ser utilizados.

Si bien el acondicionamiento acústico es un factor importante, en la práctica es usualmente relegado por el costo que conlleva su aplicación y desconocimiento de las ventajas que se pueden obtener gracias a su implementación.

3.2. Ruido de fondo

Considerando el rango dinámico máximo de 144 dB que los nuevos formatos de codificación multicanal ofrecen, se puede esperar un rango de sonidos de varias intensidades a lo largo de la proyección. A diferencia de los primeros sistemas de grabación análogos en los que el ruido de fondo inherente al medio de almacenamiento generaba enmascaramiento en los sonidos de baja intensidad, ahora es posible grabar secciones con niveles muy cercanos al ruido de fondo sin correr riesgo de enmascaramiento. De la misma forma es posible incluir sonidos de muy alto nivel que luego de una correcta reproducción pueden generar picos de más de 150 dB sin la saturación existente en sistemas análogos que contaban con poco espacio físico para la impresión de pistas ópticas de audio.

Pese a las ventajas introducidas por sistemas de gran rango dinámico, se crea la necesidad de espacios más controlados en términos de ruido de fondo para la correcta reproducción de contenido de alta calidad. Los sonidos de baja intensidad presentan el desafío de requerir un entorno sumamente silencioso para poder ser reproducidos y entendidos apropiadamente. De manera similar los sonidos que generan altos niveles de presión sonora dentro la sala no deben interferir con los espacios adyacentes ya sean estos otras salas en un complejo tipo multiplex o cualquier otra área donde se requieran niveles de ruido controlados.

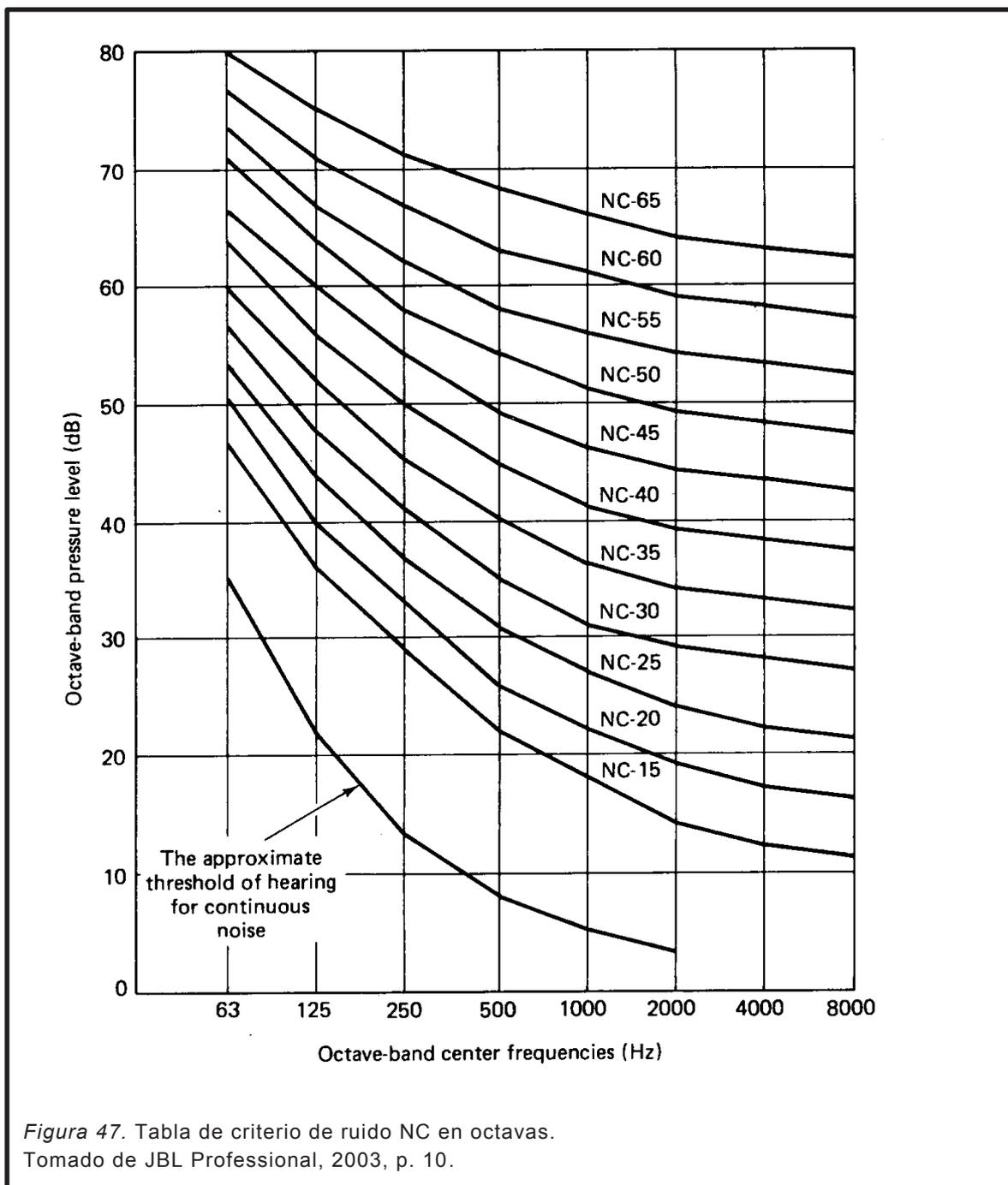
El ruido de fondo comúnmente encontrado en una sala de proyección puede clasificarse como continuo, normalmente generado por sistemas de aire

acondicionado o ruido producido por el sistema de enfriamiento del proyector; y ruido de fondo intermitente, que puede ser generado por el paso de tráfico aéreo o de manera frecuente por el ruido filtrado de salas adjuntas (Allen, 1994, pág. 35).

Para poder cuantificar el nivel de ruido de fondo se ha implementado el uso de tablas de criterio de ruido NC como estándar para salas de proyección. De acuerdo a los parámetros recomendados por los Laboratorios Dolby, el nivel de ruido de fondo debe mantenerse en lo posible por debajo de NC-25 siendo NC-30 el peor caso aceptable y NC-35 lo máximo recomendado para sonidos ocasionales (Allen, 1994, pág. 35).

Según los parámetros recomendados por THX sobre el ruido de fondo, ningún sonido externo a la sala puede ser percibido sin importar su nivel (THX TAP, 2000, pág. 13). El máximo nivel de ruido de fondo dentro de la sala no puede exceder NC-30 y en el caso del ruido proveniente de salas de proyección contiguas, éste no puede superar el 1% del tiempo de una proyección (JBL Professional, 2003, pág. 10) y ningún tono puro reproducido en otra sala puede ser percibido con facilidad.

Gracias a la estandarización de los parámetros antes mencionados con las tablas NC como referencia, es posible calcular de manera bastante exacta la cantidad de aislamiento acústico necesario y el tipo de elementos de reducción de ruido a ser implementados en sistemas de ventilación.



3.3. Análisis situación inicial

Dentro del diseño original del edificio de entretenimiento del campamento La Palma, el área destinada a la sala de proyección consistía básicamente de un espacio de 53 m² similar al resto de secciones contenidas en la misma

edificación, ningún criterio técnico se tomó en cuenta al momento de su diseño y posterior construcción.

La falta de consideraciones técnicas al momento de construir la sala conllevó posteriormente a varios inconvenientes durante la implementación del sistema de reproducción multimedia y sus periféricos. Debido a que el diseño original de la sala no fue realizado interdisciplinariamente con el correcto asesoramiento, ningún tipo de conexión de audio y video fue prevista al igual que un correcto aislamiento y acondicionamiento acústico. La forma física de la sala tampoco se encuentra dentro de ningún parámetro técnico para salas de proyección.

Al momento de iniciar el diseño del sistema a ser instalado se pudo observar de manera puntual los siguientes factores problemáticos: la forma de la sala, la ubicación de la sala dentro del campamento, la existencia de ventanas, el insuficiente aislamiento acústico dentro de la sala y el tiempo de reverberación.

Con respecto a la forma de la sala, el piso completamente horizontal imposibilita una correcta visualización de la pantalla para todos los espectadores.

Cerca al espacio dedicado para la sala de proyección se encuentra un sistema de aire acondicionado que genera un nivel de presión sonora moderado, el cual representaba un problema debido a las tres ventanas ubicadas en la pared próxima a dicho sistema. Las ventanas presentaban un inconveniente en términos de flanqueo de ruido así como una gran dificultad para controlar la luz dentro de la sala.



Figura 48. Arriba: ventanas ubicadas en la pared lateral derecha de la sala. Abajo: Sistema de aire acondicionado ubicado afuera de la sala de proyección.

El techo flotante existente permitía el paso de ruido desde el exterior hacia la sala y viceversa, la iluminación instalada en dicho techo no era la adecuada debido a su predisposición a entrar en resonancia.



Figura 49. Techo flotante originalmente instalado en sala de proyección.

Finalmente el área contaba con un piso reflectante que podría acentuar las primeras reflexiones provenientes de los altavoces frontales.

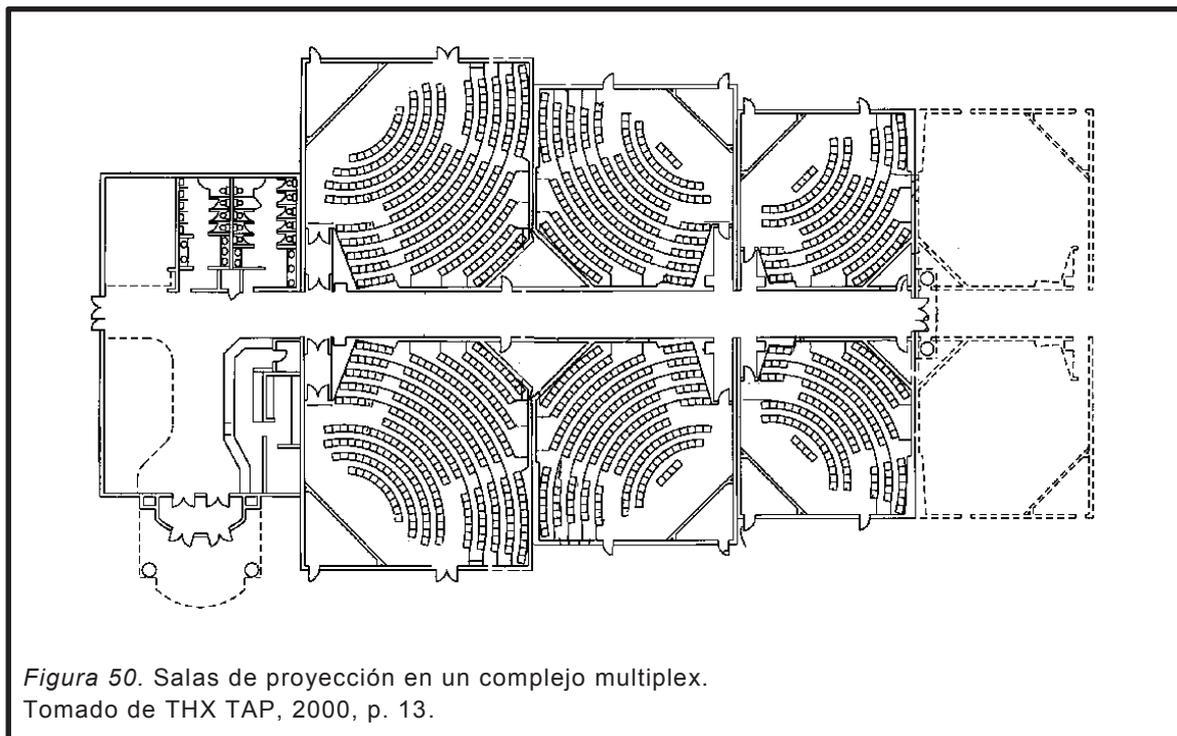
3.4. Aislamiento acústico

El nivel de ruido de fondo especificado para salas de proyección difícilmente puede ser logrado en la práctica sin algún tipo de aislamiento acústico que prevenga la transmisión de sonido desde el exterior de la sala.

En la actualidad la mayoría de salas de proyección se encuentran ubicadas en complejos tipo multiplex (varias salas adyacentes) ubicadas en un área específica. La disposición multiplex permite aumentar el aforo total del complejo manteniendo un área de acceso en común reduciendo el costo de operación, siendo ésta la configuración más común para salas comerciales. Para salas privadas usualmente se implementa una única sala.

Los complejos multiplex presentan el desafío de posicionar de forma contigua varios espacios en los cuales se pueden obtener grandes niveles de presión

sonora pero que a la vez requieren niveles de ruido de fondo muy bajos. Debido a esto el diseño del aislamiento acústico entre salas y el exterior del complejo debe ser tomado en cuenta como un aspecto prioritario en su construcción o modificación.



Si se asume un nivel de presión sonora máximo de 95 dB en una sala, y el requerimiento de ruido de fondo para la sala adyacente es de NC-30, podemos suponer que será necesario un aislamiento entre salas de por lo menos 65 dB (JBL Professional, 2003, pág. 10). La partición entre las dos salas deberá obtener una clasificación STC (Sound Transmission Class) 65 para poder aislar el ruido entre salas.

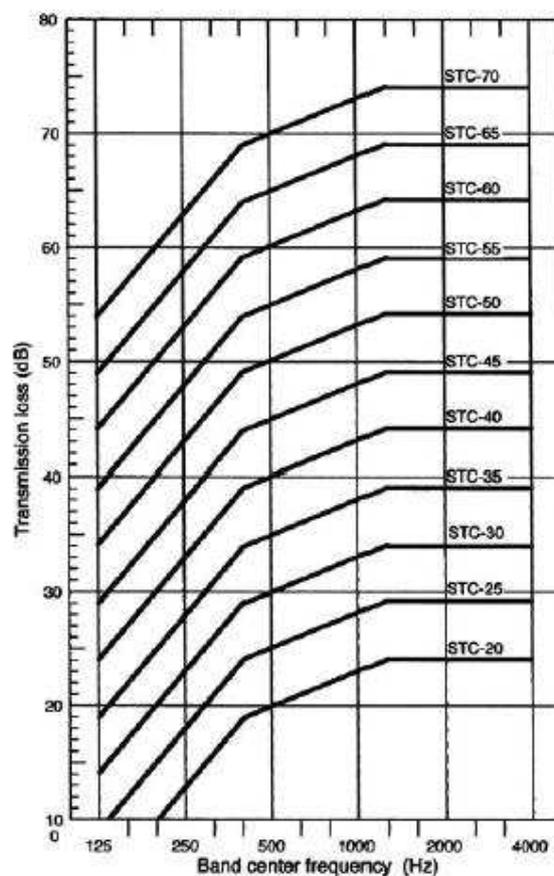


Figura 51. Tabla de transmisión de sonido STC.
Tomado de JBL Professional, 2003, p. 10.

Las clasificaciones STC permiten evaluar un material o estructura compuesta por varios elementos en relación a su capacidad para atenuar energía sonora. Si bien la especificación de particiones con STC alto incrementa la probabilidad de obtener el resultado de aislamiento deseado, se deben tomar en cuenta varios factores que contribuyen a la propagación no deseada del ruido entre salas o el exterior de un complejo multiplex.

3.4.1. Paredes

Las paredes entre las salas deberán atenuar la mayor cantidad de ruido, por lo que su diseño y construcción debe ser realizada de manera técnica, de forma similar se deben observar otras estructuras como el techo, piso y puertas.

En el caso de las paredes entre las salas de proyección de complejos multiplex comerciales o entre la sala y el exterior de una sala privada, es aconsejable como regla general que la suma del STC de la partición y el requerimiento de ruido de fondo NC sea superior a 95.

Tabla 3. Clasificación STC común para paredes entre salas de proyección

STC Mínimo	Ruido de Fondo	Descripción
STC 60	NC 35	Estándar mínimo
STC 65	NC 30	Típico
STC 70	NC 25	Aconsejable

Todas las particiones usadas en salas de proyección deben ser completas de piso a techo sin ningún tipo de apertura a excepción de las requeridas para las puertas o conexiones eléctricas. De usarse particiones de tipo compuesto éstas deberán estar selladas herméticamente. Es aconsejable también usar sellante elástico entre las uniones entre las paredes, piso y techo con el fin de reducir el flanqueo de sonido. El uso de gypsum para las particiones entre salas es muy común por su facilidad de construcción y altos niveles de atenuación al paso de ruido si se implementa de forma correcta.

Es recomendable combinar una estructura de gypsum con una pared de mampostería incluyendo un espacio de aire en el medio para obtener el mayor nivel de aislamiento posible. La estructura de gypsum debe aislarse mecánicamente mediante el uso de clips elásticos específicamente diseñados para aislamiento acústico, y ésta no debe estar acoplada a ninguna superficie como el piso o techo de forma rígida.

El uso de materiales acústicos diseñados específicamente para aislamiento puede presentar grandes beneficios a cambio de un incremento considerable en el costo de construcción de las particiones, por lo que en la práctica dichos materiales no son comúnmente usados.

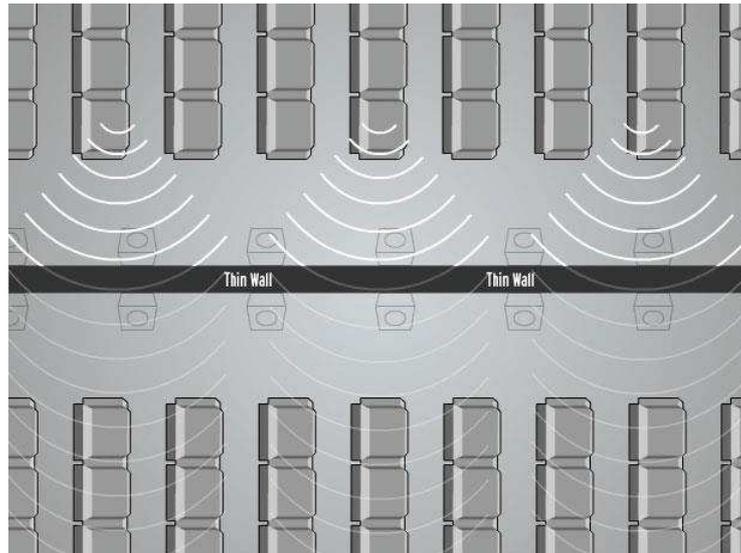


Figura 52. Problema de filtración de sonido entre salas sin tratamiento acústico. Tomado de THX TAP, 2000, p. 15.

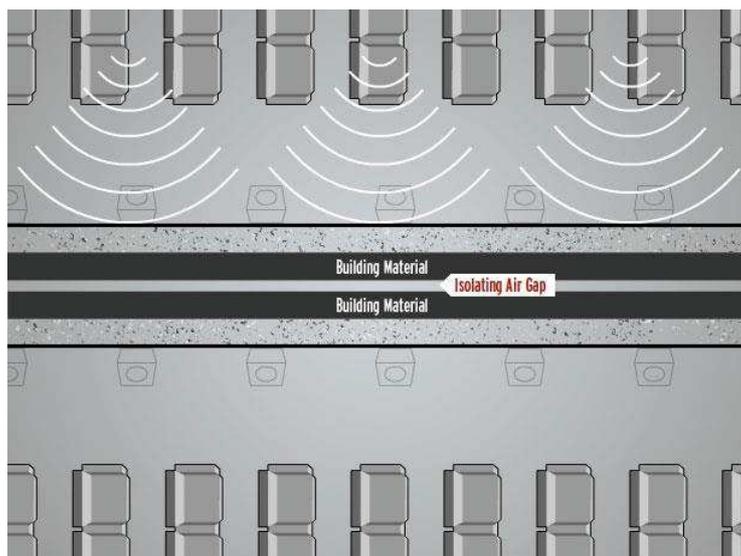
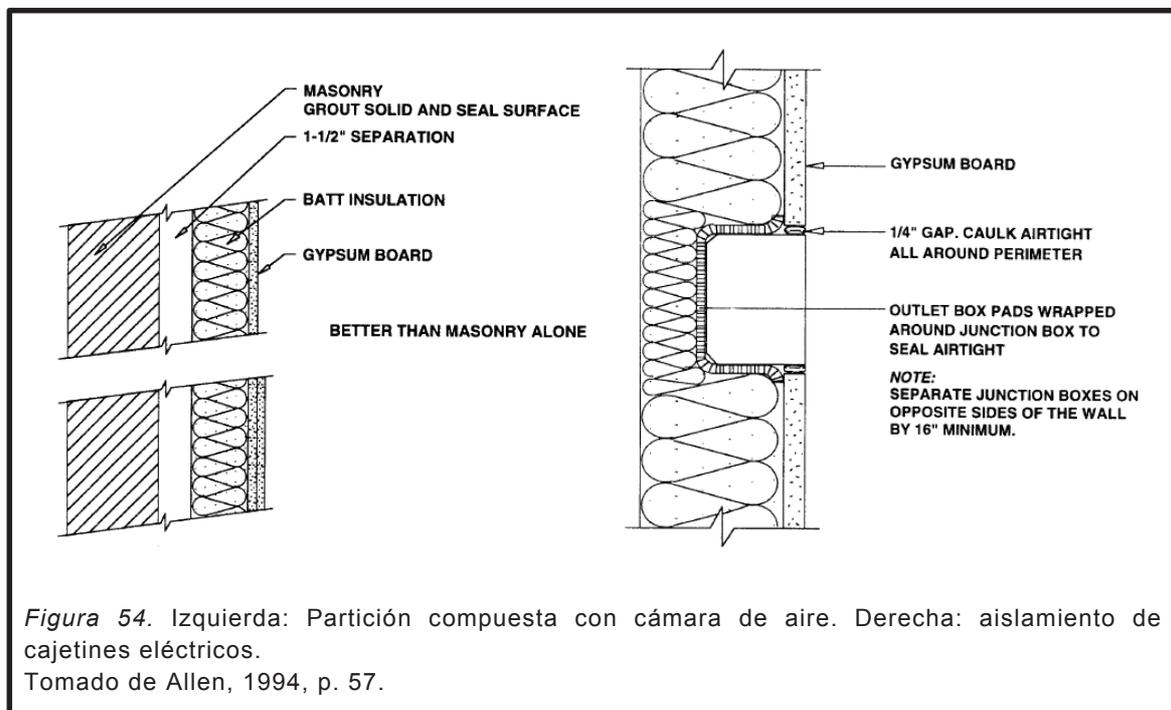


Figura 53. Aislamiento acústico entre salas adyacentes. Tomado de THX TAP, 2000, p. 15.

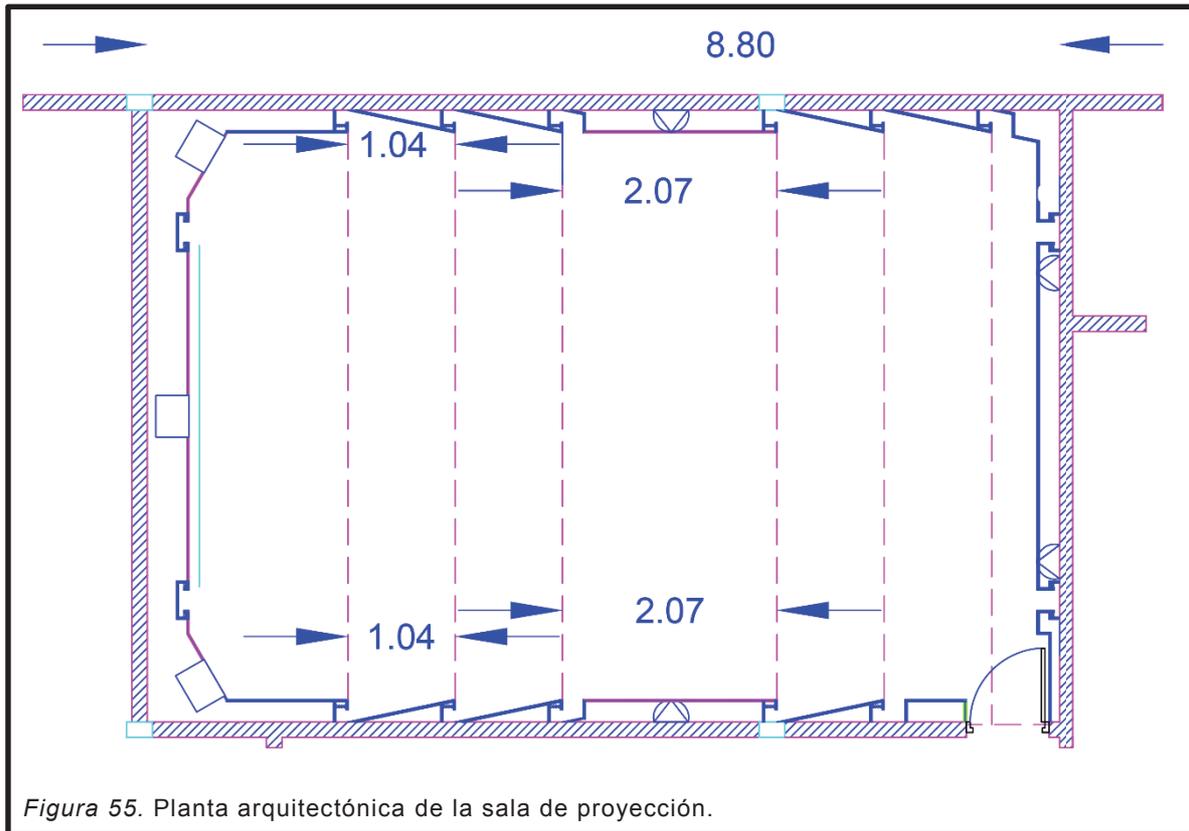
Cualquier perforación que sea requerida en las paredes de la sala de proyección debe ser correctamente tratada para prevenir la filtración de sonido de espacios adyacentes.



A parte del espacio para los accesos, las perforaciones necesarias para ubicar los cajetines utilizados para conexiones eléctricas son comunes en salas de proyección tanto privadas como comerciales. Para éste tipo de perforaciones es necesario sellar el espacio detrás del cajetín de forma hermética y usar un material suave para desacoplar las superficies.

3.4.1.2. Implementación

Con el fin de aislar a la sala de ruido proveniente del exterior, las ventanas ubicadas en la pared lateral derecha fueron removidas y los espacios respectivos rellenos con mampostería. Adicionalmente se crearon nuevas paredes de gypsum dentro de la sala, creándose así particiones compuestas con cámara de aire interna.



Las paredes internas aparte de ofrecer aislamiento acústico adicional permitieron la incorporación de luces indirectas, la instalación del rack de equipos, la creación del baffle THX y la eliminación de gran parte de superficies paralelas en paredes opuestas de la sala.



Figura 56. Construcción de paredes internas de la sala de proyección.

3.4.2. Techo, piso

Otro aspecto fundamental para el correcto aislamiento acústico de las salas de proyección es el techo. Si éste no es lo suficientemente denso o existen espacios por donde pueda existir propagación de sonido los requerimientos de ruido de fondo no se podrán alcanzar.

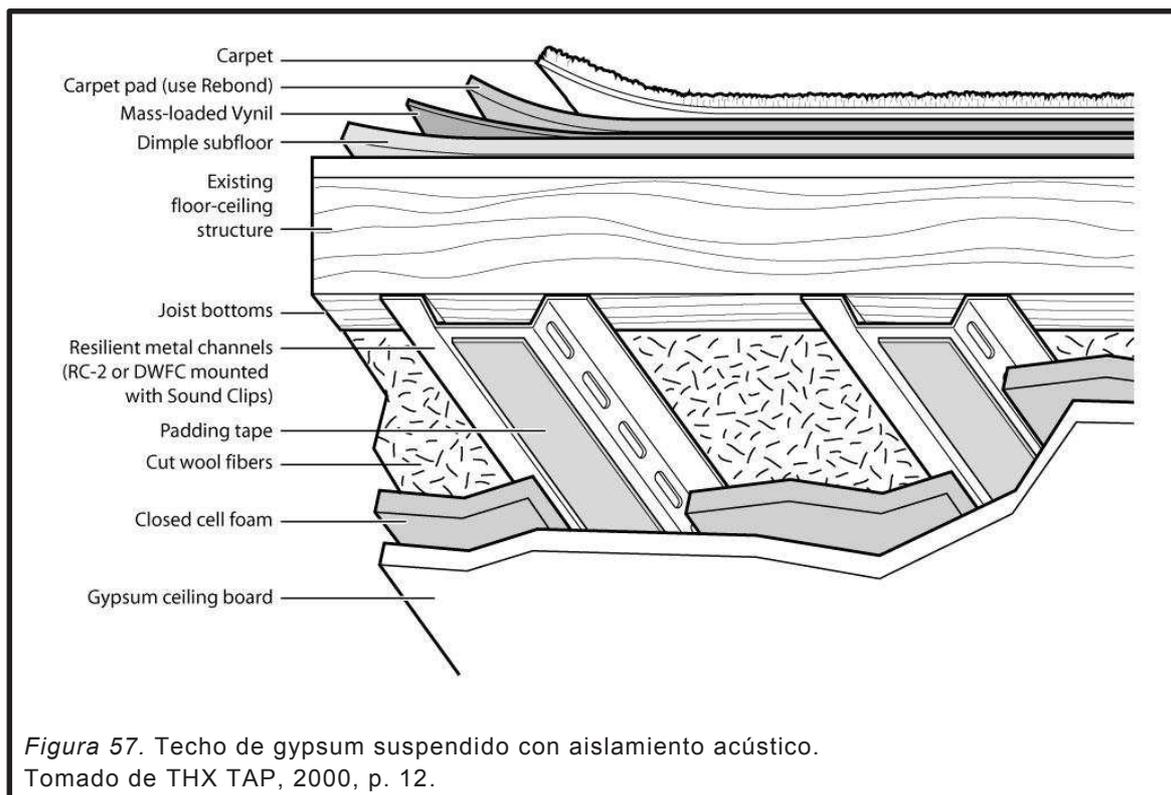
En el caso de una sala de proyección que no cuente con infraestructura por encima ni salas adyacentes, el uso de una losa de cemento de 15 cm como mínimo (Allen, 1994, pág. 46) puede ser suficiente considerando un ruido de fondo moderado. Para otro tipo de construcciones donde el ruido de fondo sea mayor se debe recurrir a tratamiento acústico dedicado para impedir el paso de sonido hacia el interior de la sala.

Es aconsejable usar una estructura compuesta para obtener el STC más alto posible. Una opción frecuentemente usada en salas de proyección por su efectividad para aislar ruido y la facilidad de instalación de luces y sistemas de aire acondicionado es el techo de gypsum suspendido.

Existen varios factores que incrementan la necesidad de un techo de gypsum suspendido a parte de la estructura convencional del techo:

- Existe un sistema de aire acondicionado en la parte superior de la sala.
- De encontrarse la sala en un edificio con más pisos encima, si éstos no se encuentran debidamente aislados.
- La losa usada para el techo no tiene un espesor de por lo menos 15 cm.
- La actual estructura del techo posee un STC demasiado bajo, comúnmente encontrado en losas alivianadas o estructuras metálicas poco densas.

De ser necesario el uso de una partición compuesta, ésta deberá incluir aislamiento de vinil denso, estructura de montaje para gypsum con canales aislantes, clips elásticos y material absorbente o una cámara de aire.



Las uniones entre el techo y las paredes deben sellarse correctamente con aislante elástico para prevenir la propagación del sonido por grietas. De igual forma todas las perforaciones necesarias para la instalación de lámparas deben sellarse. Para salas privadas donde usualmente se trabajan con techos más elaborados para cumplir con un diseño estético, se debe tomar en cuenta las uniones adicionales existentes en techos de gypsum con formas complejas. El uso de luces LED para crear ambientes y acentos estéticos en la sala aumenta el riesgo de propagación indeseada de ruido desde el exterior.

En el caso del piso el uso de alfombra es común en instalaciones comerciales y privadas. El uso de un material absorbente como la alfombra para cubrir una superficie extensa como el piso de toda la sala de proyección tiene varias ventajas, el alto coeficiente de absorción de la alfombra ayuda a mantener un T_{60} bajo en la sala, las primeras reflexiones sobre el piso pueden absorberse con mayor eficiencia y el uso de colores oscuros para el piso ayuda también a absorber la luz excedente de la proyección sobre la pantalla.

3.4.2.1. Implementación

El techo representaba uno de los mayores puntos de flaqueo para el ingreso de ruido proveniente de otras áreas del edificio de entretenimiento y del exterior. Además del problema de aislamiento, la forma del techo imposibilitaba la correcta ubicación de la pantalla para asegurar una correcta visualización de la imagen.

La solución a implementarse con respecto al techo fue crear una estructura de gypsum interna aprovechando la altura total de la estructura metálica exterior existente. De esta forma fue posible instalar la pantalla a una altura superior a la altura disponible con el techo flotante original. Desafortunadamente las tuberías del sistema contra incendios imposibilitaron aumentar la altura del techo a una ubicación óptima.

Todas las luces fueron instaladas de tal forma en la que no entraran en resonancia por las vibraciones de baja frecuencia generadas por el subwoofer.

El piso fue cubierto con alfombra para minimizar las primeras reflexiones provenientes de los altavoces delanteros.

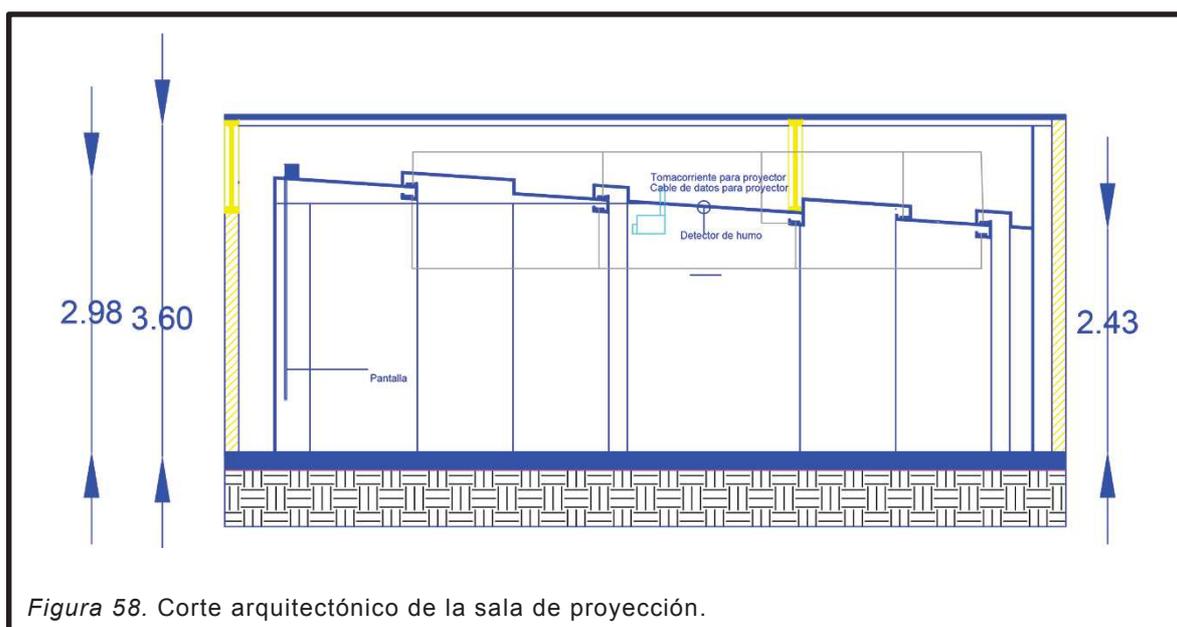


Figura 58. Corte arquitectónico de la sala de proyección.



Figura 59. Implementación del techo interno de la sala de proyección.

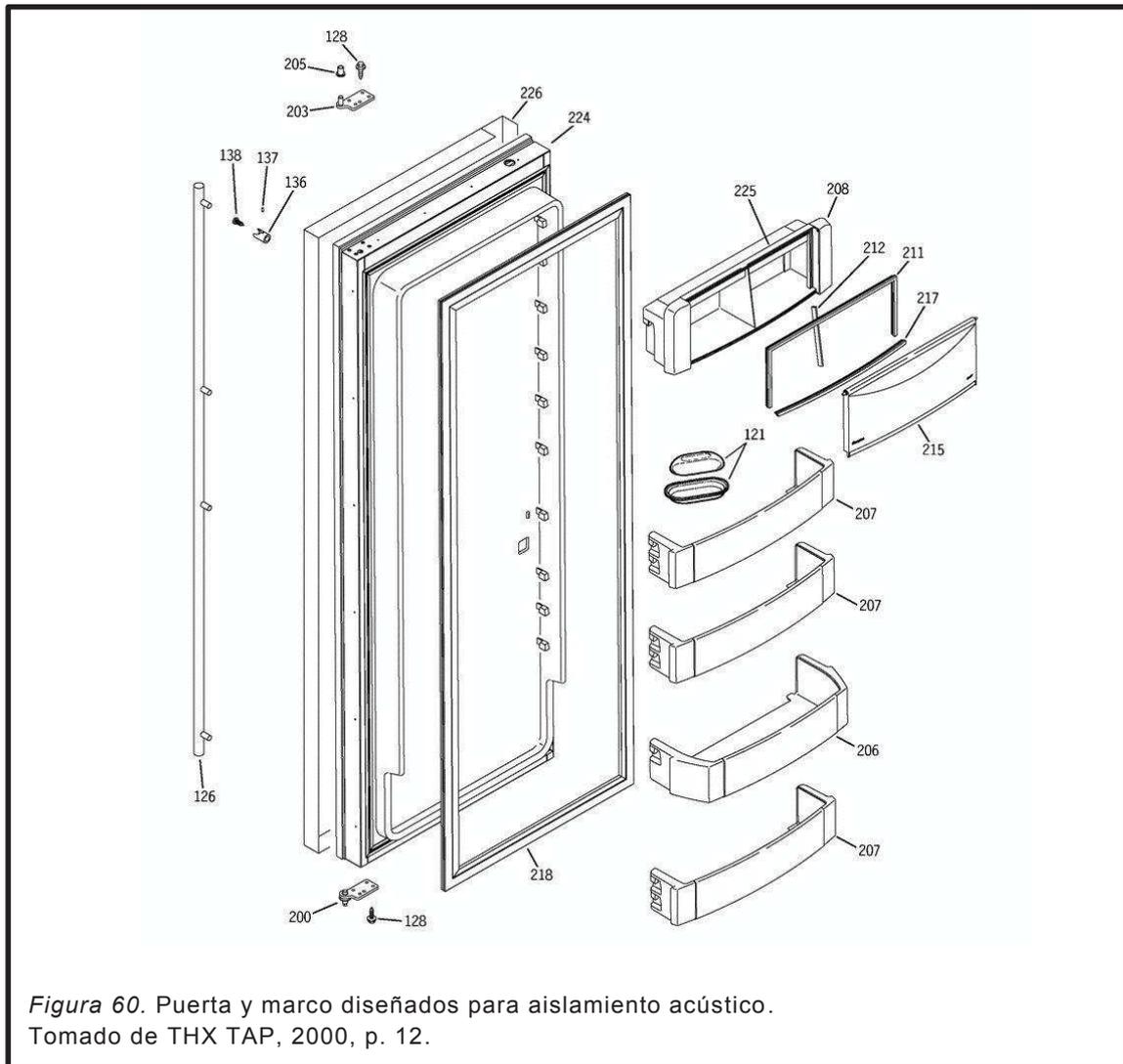
3.4.3. Puertas

Los accesos a las salas de proyección presentan un desafío para el aislamiento acústico ya que introducen una discontinuidad en las particiones compuestas con altos STC. Sin el uso de puertas especialmente diseñadas para aislamiento acústico, existe un gran riesgo de filtración de ruido a través de la superficie de la puerta o en las uniones de la misma.

Las salas comerciales dependiendo de su tamaño pueden incorporar varias puertas para accesos principales y salidas de emergencia por lo que se debe tomar en cuenta la necesidad de puertas especiales al momento de presupuestar la construcción. El correcto diseño e implementación de medidas de aislamiento acústico pueden resultar poco efectivas de existir un solo componente que permita la filtración de ruido. Para salas más pequeñas o instalaciones privadas normalmente una puerta resulta suficiente para proveer acceso adecuado a la sala.

Las puertas especialmente diseñadas para aislamiento acústico presentan una construcción especial haciendo uso de materiales de gran densidad y alto STC combinado con un marco específicamente diseñado para la puerta que brinda un sellado completo.

Normalmente las puertas con diseño acústico ofrecen certificaciones de resistencia al fuego, gracias a su construcción extremadamente rígida y uso de materiales aislantes, por lo que su implementación permite satisfacer requerimientos acústicos y de seguridad.



3.5. Tiempo de reverberación

Uno de los parámetros más comunes a ser tratados en recintos destinados a la interpretación o reproducción de contenido audible es el tiempo de reverberación, también conocido como T_{60} . Si bien el tiempo de reverberación es uno de los varios aspectos a ser tomados en cuenta para obtener mejores resultados al momento de reproducir contenido en una sala de proyección, éste está extensamente relacionado con la inteligibilidad de los diálogos, razón por la cual se prioriza al T_{60} como uno de los factores más importantes en el acondicionamiento acústico de salas.

Para recintos dedicados a la audición exclusiva de música, se debe lograr un balance entre superficies absorbentes y reflectantes con el fin de obtener un T_{60} que aporte al género de música a ser reproducida o interpretada.

Los recintos demasiado absorbentes reducen la imagen y profundidad del sonido, pese a que minimizan los efectos negativos que pueden ocurrir en la interacción de las ondas sonoras con la sala produciendo una degradación de la experiencia auditiva.

Espacios exageradamente difusos pueden aportar nivel y espacialidad al sonido pero reducen la claridad de la música e inteligibilidad del contenido vocal, lo cual reduce la calidad del contenido reproducido al punto en el que sus diferentes elementos no pueden ser distinguidos con facilidad.

En el caso de las salas de proyección la imagen, espacialidad, nivel y profundidad del sonido se obtiene de forma dinámica por medios electroacústicos, razón por la cual es deseable minimizar el impacto de las condiciones acústicas de la sala sobre el sonido a reproducirse.

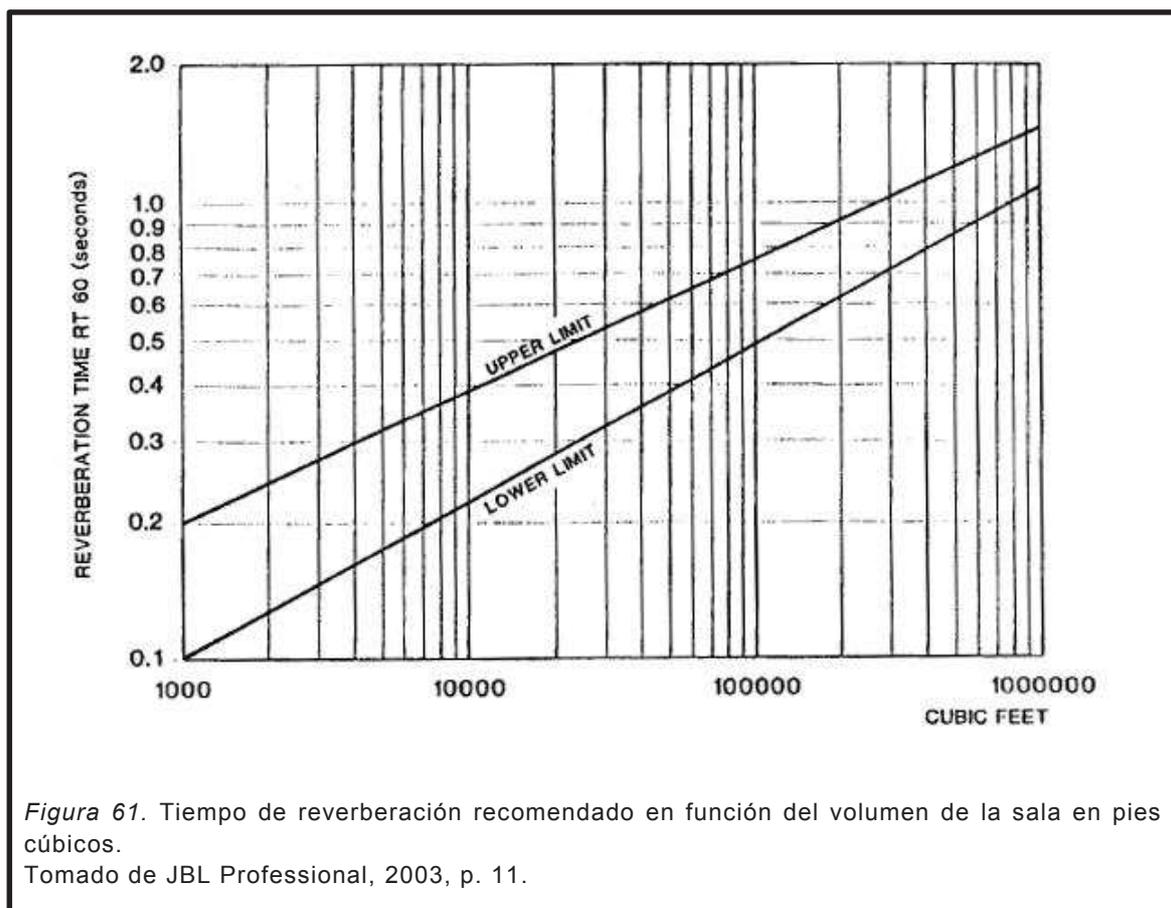
Uno de los aspectos más importantes en la post producción de audio para imagen es la claridad de los diálogos. La necesidad de transmitir el mensaje y la intención del trabajo siendo proyectado es de vital importancia e interés para los realizadores del contenido.

La excesiva reverberación y ecos son destructivos para la inteligibilidad de los diálogos por lo que deben ser minimizados en las salas de proyección (THX TAP, 2000, pág. 13).

La diversidad en tamaño y forma de las salas de proyección tanto comerciales como privadas impiden la especificación de un valor único de T_{60} que permita obtener las condiciones acústicas ideales. Salas de mayor tamaño tendrán asociado un T_{60} mayor debido a las extensas distancias que el sonido debe recorrer.

En salas pequeñas el tiempo de reverberación asociado tiende a ser mayor en bajas frecuencias por la interacción de modos normales de vibración y frecuencias estacionarias; y mayor en frecuencias altas debido a la absorción que crea el aire como medio de propagación (Allen, 1994, pág. 36). Por este comportamiento del T_{60} dependiente de la frecuencia, en salas pequeñas es necesario realizar un tratamiento acústico dedicado a las frecuencias bajas para mantener, en la medida de lo posible, una linealidad del tiempo de reverberación en relación a la frecuencia.

Considerando que las dimensiones de las salas de proyección influyen en el tiempo de reverberación obtenido, se sugieren valores en función al volumen de la sala en el rango de 0.5 segundos para salas pequeñas hasta 2 segundos para salas comerciales con aforos grandes (THX TAP, 2000, pág. 13). El valor máximo de 2 segundos no deberá sobrepasarse bajo ningún motivo debido a la notable disminución de la inelegibilidad de los diálogos por encima de este valor.



Los valores especificados en la tabla hacen evidente la necesidad de obtener tiempos de reverberación muy reducidos para minimizar la interacción entre la sala y el sonido reproducido electroacústicamente. Si bien según parámetros Dolby y THX no es mandatorio el uso de materiales absorbentes en toda la sala (Allen, 1994, pág. 39), es recomendable escoger de manera adecuada el acabado de las superficies para poder lograr el T_{60} deseado al momento de la construcción o adecuación de la sala sin necesidad de recurrir a la implementación de material acústico de forma correctiva.

Existen otros factores que contribuyen de manera considerable al tiempo de reverberación de la sala de reproducción y deben ser tomados en cuenta al momento del diseño para obtener el resultado deseado y poder proponer un presupuesto preciso, entre éstos factores se destacan el acondicionamiento detrás de la pantalla y la selección de las butacas.

3.5.1. Implementación

Con el fin de mantener las condiciones acústicas dentro de los parámetros recomendados sin incurrir en una gran inversión para acondicionamiento acústico, se decidió usar alfombra en el piso, butacas absorbentes y material acústicamente absorbente atrás de la pantalla. Adicionalmente la creación de superficies que minimizan la creación de ondas estacionarias y las reducidas dimensiones de la sala ayudaron a mantener un tiempo de reverberación adecuado con el cual se logró una reproducción sonora de gran calidad.

3.5.2. Absorción detrás de la pantalla

Desde la incorporación de un canal central dedicado en gran parte al contenido vocal, la ubicación de los parlantes frontales en relación a la pantalla adquirió gran importancia. Altavoces frontales correctamente ubicados aseguran una reproducción más coherente e integrada con la imagen siendo proyectada, lo que a su vez crea una experiencia más convincente para los espectadores.

Los altavoces frontales crean un efecto más realista si son posicionados por detrás de la pantalla lo que trae varios inconvenientes al momento de su instalación. La mayoría de pantallas crean una barrera al paso de la energía acústica sobre todo en altas frecuencias creando una degradación en la respuesta de frecuencia de los altavoces.

Dependiendo del material usado para la construcción de la pantalla la atenuación puede presentarse en la mayoría del rango de operación del altavoz afectando no solo la respuesta de frecuencia sino también la sensibilidad del sistema.

Con el fin de minimizar el efecto nocivo de la inserción de la pantalla, varios fabricantes han desarrollado materiales porosos que no impiden el paso del sonido pero que tampoco presentan una degradación en la calidad de la imagen proyectada. En la actualidad los materiales usados para las

denominadas pantallas acústicamente transparentes presentan una atenuación prácticamente imperceptible, sin embargo existe una mínima parte de la energía irradiada por los altavoces que rebota en la pantalla generando problemas de interferencia destructiva.

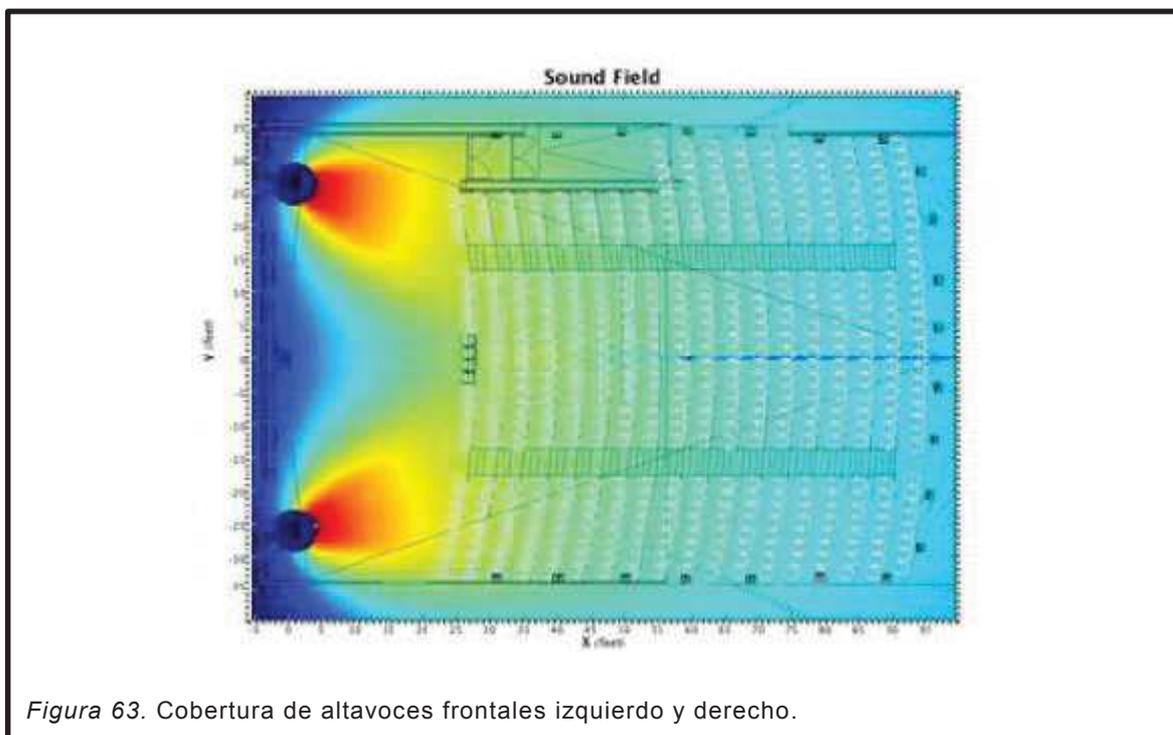


Figura 62. Textura de la pantalla acústicamente transparente instalada en la sala de proyección.

Para evitar que el sonido reflejado por la pantalla regrese a la audiencia es recomendable cubrir la superficie atrás de la pantalla con material absorbente.

Otra razón por la cual se recomienda el uso de material absorbente es la de atenuar todas las reflexiones provenientes de la pared opuesta a la pantalla. Los altavoces frontales son los responsables de reproducir la mayoría de

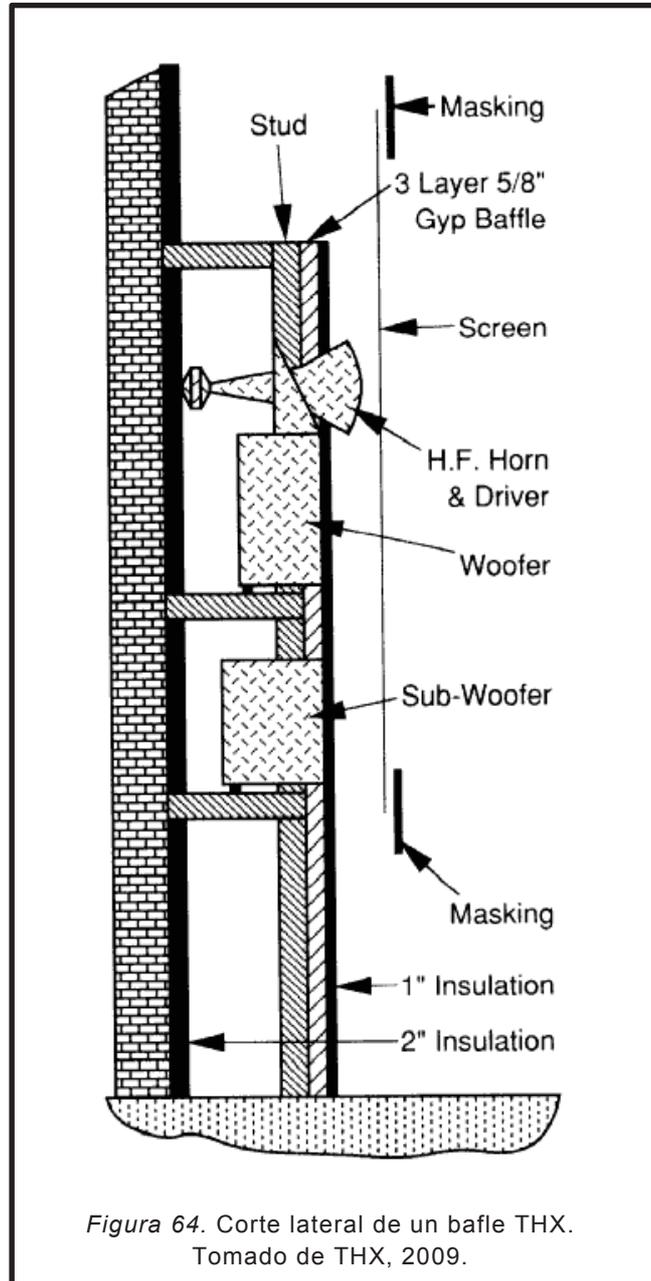
información de audio en configuraciones multicanal por lo que usualmente son éstos los transductores que deben generar el mayor nivel de presión sonora para cubrir a toda la audiencia. Al producir un NPS alto, los altavoces frontales generarán también las reflexiones de mayor nivel dentro de la sala entre las dos superficies más distanciadas entre sí de todo el recinto.



De regresar el sonido reflejado por la pared posterior de la sala hacia la audiencia por medio de otra reflexión en la pared donde se encuentra la pantalla, se producirá una grave interferencia destructiva que en la mayoría de casos afecta a la inteligibilidad de los diálogos y aumenta el T_{60} . Con el fin de reducir este efecto nocivo de las reflexiones dentro de la sala se recomienda el correcto tratamiento de la pared detrás de la pantalla.

La forma más efectiva de crear una superficie detrás de la pantalla beneficiosa para el desempeño del sistema electroacústico es la construcción de un baffle completamente absorbente donde los altavoces puedan ser instalados a ras. La implementación del baffle ayuda a mejorar la linealidad en frecuencias bajas de los altavoces y reduce las reflexiones problemáticas razón por la cual esta

superficie es uno de los elementos más importantes de los parámetros THX (Allen, 1994, pág. 38).

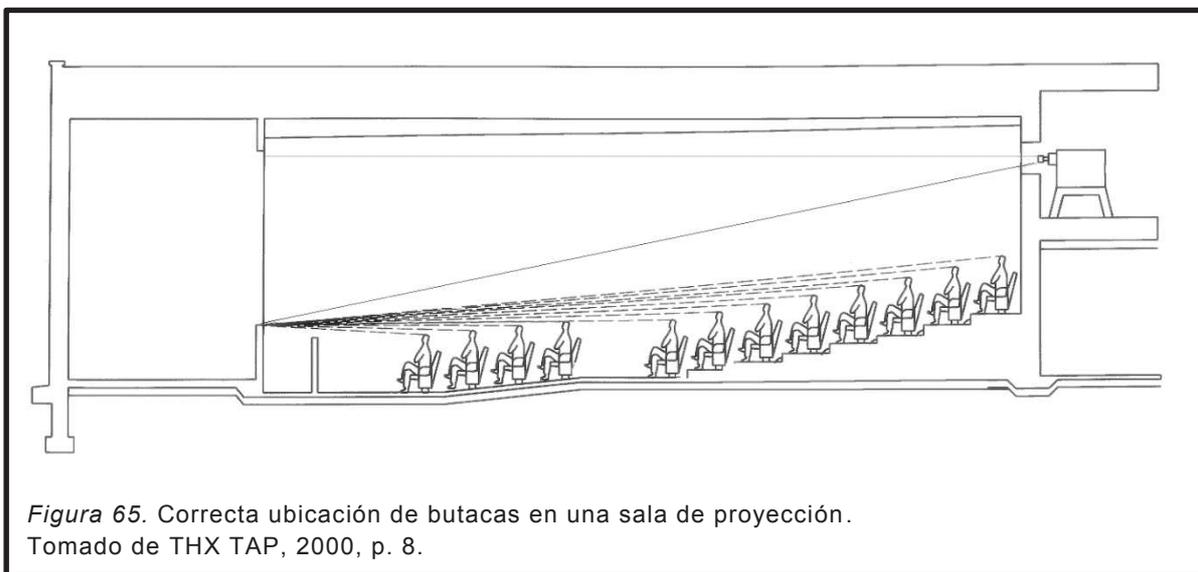


3.5.3. Butacas

Un elemento que debe ser considerado por su incidencia en las condiciones acústicas de la sala son las butacas. Debido a que una gran parte de la superficie del piso de la sala estará destinada para la audiencia, la elección de butacas que minimicen el impacto negativo en el tiempo de reverberación debe ser fundamental.

Butacas de las cuales se conozca sus coeficientes de absorción pueden proveer una ventaja considerable al momento del diseño de la sala, ahorrando tiempo y recursos de no ser necesaria la implementación de material absorbente para compensar la inserción de las mismas.

Idealmente una butaca diseñada para ser usada en salas de proyección debe presentar el mismo coeficiente de absorción estando ocupada o no (Allen, 1994, pág. 43). De esta forma se puede suponer las mismas condiciones acústicas con la sala llena o vacía descartando la necesidad de usar sistemas de acústica variable.



La ubicación y calidad de las butacas representan factores sumamente importantes en el confort de la audiencia. Los usuarios de la sala deben poder permanecer sentados con completa comodidad por el tiempo que dure la proyección. El correcto diseño de la inclinación y arreglo de las butacas en la sala permiten también obtener los mejores resultados en relación a la visualización de la pantalla.

Según recomendaciones THX las butacas deberán ubicarse en filas paralelas direccionadas hacia la pantalla, de ser posible las butacas pueden ser instaladas siguiendo una curvatura circular. El diseño de la sala usando una disposición de butacas tipo estadio es mandatorio para construcciones nuevas y debe ser el criterio de diseño prioritario para remodelaciones de salas existentes.

Con respecto a las dimensiones de las butacas, THX recomienda como mínimo 20 pulgadas (50.8 cm) de ancho. La distancia entre filas de butacas debe ser tan extensa como sea posible siendo el mínimo recomendado 36 pulgadas (91.44 cm) para butacas fijas y 38 pulgadas (96.52 cm) para butacas abatibles. Otra recomendación importante es la de no ubicar pasillos en el centro visual de la sala, donde la prioridad debe darse a la ubicación de butacas.

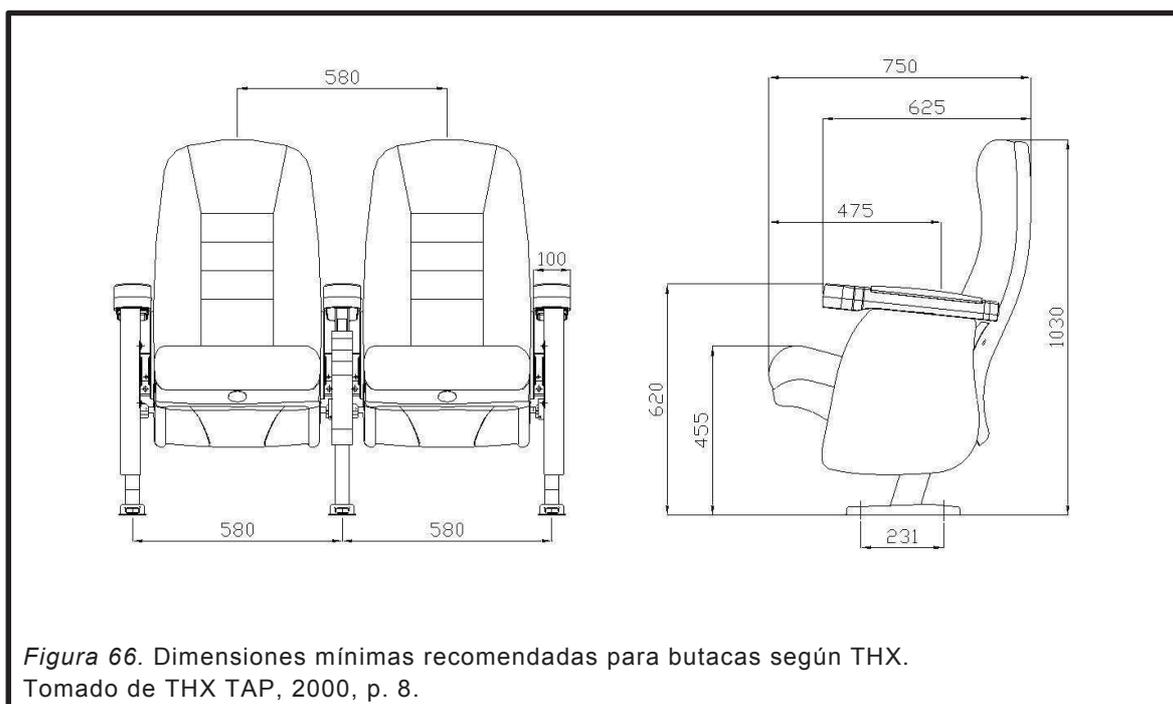


Figura 66. Dimensiones mínimas recomendadas para butacas según THX.
Tomado de THX TAP, 2000, p. 8.



Figura 67. Butacas instaladas en la sala de proyección.

4. CAPÍTULO IV. Presupuesto

Uno de los factores más importantes al momento de definir el alcance del proyecto, así como para la correcta selección del equipamiento electroacústico, de video y sus periféricos, fue la definición de un monto referencial para la ejecución de las obras de adecuación de la sala y posterior implementación de los sistemas requeridos.

Una vez negociado con el cliente el monto total a destinarse para el proyecto, fue posible realizar un presupuesto detallado.

Se puede encontrar el presupuesto final del proyecto en el Anexo 4, adicionalmente se incluye un detalle de los equipos y trabajos adicionales necesarios para la implementación de la cadena electroacústica, calibración y adecuación de la sala de proyección multimedia.

5. CAPÍTULO V. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Se implementó la cadena electroacústica de la sala de proyección audiovisual en el edificio de entretenimiento del campamento administrativo de la represa hidroeléctrica Toachi – Pilatón, siguiendo los estándares de calidad propuestos por THX dentro del tiempo establecido en los pliegos de contratación pública y el presupuesto definido por la entidad contratante.

Gracias al correcto diseño de la cadena electroacústica de la sala de proyección audiovisual fue posible integrar sistemas periféricos de video conferencia y refuerzo sonoro a la cadena principal de reproducción de contenido multimedia según los requerimientos del cliente. Sin limitarse a la integración de los periféricos antes mencionados, el sistema tiene la capacidad de incorporar por medio de entradas auxiliares análogas y digitales cualquier componente externo compatible, convirtiéndose así en un sistema escalable y de fácil integración para futuros requerimientos técnicos.

La implementación de la cadena electroacústica y sus periféricos fue realizada de manera satisfactoria sin necesidad de ninguna modificación al diseño original.

Tomando en cuenta las restricciones inherentes a una instalación efectuada sobre un área previamente construida sin criterio técnico, se optimizó el espacio destinado a los equipos de audio y video mediante el uso de componentes compactos y sistemas diseñados para instalaciones tipo in-wall.

Mediante el uso de componentes de alta calidad en todas las etapas de la cadena electroacústica fue posible mantener un nivel de ruido de fondo inaudible, niveles de distorsión imperceptibles y una respuesta de frecuencia extendida por encima del rango de audición humana.

La calibración del sistema permitió limitar el impacto de las condiciones acústicas de la sala en el desempeño del sistema, notándose una mejora considerable en frecuencias bajas donde la interacción de los altavoces con la sala es mayor.

5.2. Recomendaciones

Contar con asesoramiento previo a la construcción de cualquier edificación en la cual se tenga prevista la instalación de equipamiento electroacústico, con el fin de reducir costos al momento de la implementación, minimizar el tiempo de instalación y asegurar mejores resultados.

Al trabajar con equipos digitales es aconsejable incrementar la longevidad del sistema mediante la selección de componentes que permitan la decodificación de los últimos formatos y estándares disponibles. Pese a que adquirir la tecnología más reciente resulte en un incremento en los costos de la instalación, los equipos tendrán una mayor vida útil antes de volverse obsoletos e incompatibles con nuevos estándares.

El resultado global de una instalación electroacústica estará limitado por la calidad de los componentes de menores prestaciones del sistema, por lo que es recomendable distribuir el presupuesto de manera equitativa entre todos los equipos a ser utilizados.

Pese a la complejidad de cualquier sistema instalado, es necesario mantener la interacción entre éste y los usuarios de la manera más simple, con el fin de asegurar una completa satisfacción del cliente así como minimizar el requerimiento de asistencia post venta.

Es recomendable calibrar la respuesta de frecuencia y fase de cualquier sistema. Dicha calibración puede presentar mejoras significativas invirtiéndose una fracción del costo necesario para obtener los mismos resultados mediante la incorporación de componentes electrónicos de mayores prestaciones o de la modificación de las condiciones acústicas de la sala.

REFERENCIAS

- AES Technical Council. (2010). *AESTD1001.1.01-10*. Nueva York, Estados Unidos: AES TC Technical Publications.
- Allen, I. (1994). *Technical Guidelines for Dolby Stereo Theaters*. San Francisco, Estados Unidos: Dolby Laboratories Inc.
- Anet, C. (2003). *An Insight into Subwoofers*. Iisalmi, Finlandia: Genelec.
- Denon. (2010). *Audyssey FAQ Sheet*. New Jersey, Estados Unidos: D&M Holdings.
- Denon. (2011). *AVR-791 Owner's Manual*. New Jersey, Estados Unidos: D&M Holdings.
- Dolby Laboratories. (2010). *Home Theater Speaker Guide*. San Francisco, Estados Unidos: Dolby Laboratories Inc.
- Hidrotoapi. (2013). *Esquema del Proyecto*. Recuperado el 27 de marzo de 2013 de <http://www.celec.com.ec/hidrotoapi/images/Imagenes/esquema.jpg>
- JBL Professional. (2003). *Cinema Sound System Manual*. Northridge, Estados Unidos: JBL Publishing.
- Kinsler, L. (1992). *Fundamentos de Acústica*. México D.F., México: Limusa S.A.
- Martin Logan Corp. (2013). *Martin Logan Dynamo 1000*. Recuperado el 17 de agosto de 2013 de <http://www.martinlogan.com/products/dynamo1000/>
- Producers & Engineers Wing. (2004). *Recommendations For Surround Sound Production*. Santa Monica, Estados Unidos: The National Academy of Recording Arts & Sciences, Inc.
- Ramírez, M. (2000). *Guía para optimizar sistemas de sonorización*. México D.F., México: Meyer Sound Laboratories Inc.
- Renaissance Sound. (2013). *IBeam Vibro Tactile Devices*. Recuperado el 19 de octubre de 2013 de <http://www.feltheaudio.com/>
- SMPTE. (1991). *B-Chain Electroacoustic Response 202M-1991*. White Plains, Estados Unidos: The Society of Motion Picture and Television Engineers.

Steinigke Showtechnic GmbH. (2011). *Overview on subwoofer types*. Recuperado el 16 de julio de 2013 de <http://blog.steinigke.com/omnitronic/overview-on-subwoofer-types/>

Steinke, G. (2005). *High-Definition Surround Sound with accompanying HD Picture*. Berlin, Alemania: AES TC Technical Publications.

THX. (2009). *Speaker Layout and Baffle Wall*. Recuperado el 17 de agosto de 2013 de <http://www.thx.com/files/2009/12/thx-speaker-layout-baffle-wall616w.jpg>

THX Ltd. (2013). *The THX Story* . Recuperado el 17 de agosto de 2013 de <http://www.thx.com/about-us/the-thx-story/>

THX TAP. (2000). *Recommended Guidelines for Presentation Quality and Theatre Performance*. San Rafael, CA, Estados Unidos: Lucasfilm Ltd.

ANEXOS

Anexo 1. Lista de fórmulas

Ecuación 1: Voltaje a través de un transductor 8

$$V = Z_{EB}I + T_{em}u$$

V = Voltaje a través de las entradas de un transductor

Z_{EB} = Impedancia eléctrica bloqueada

I = Corriente

T_{em} = Coeficiente de transducción

u = Velocidad de la superficie radiante

Ecuación 2: Fuerza en la superficie radiante 8

$$F = T_{me}I + Z_{mo}u$$

F = Fuerza en la superficie radiante

T_{em} = Coeficiente de transducción

I = Corriente

Z_{mo} = Impedancia mecánica de circuito abierto

u = Velocidad de la superficie radiante

Ecuación 3: Factor de acoplamiento 8

$$K^2 = \frac{T_{em}T_{me}}{Z_{EB}Z_{mo}}$$

K^2 = Factor de acoplamiento

T_{em} = Coeficiente de transducción

T_{me} = Coeficiente de transducción

Z_{EB} = Impedancia eléctrica bloqueada

Z_{mo} = Impedancia mecánica de circuito abierto

Ecuación 4: Eficiencia electroacústica altavoz de bobina móvil 12

$$n \approx \frac{\Phi_M^2}{|Z_{mo} + Z_r|^2} \frac{R_r}{R_0}$$

n = Eficiencia electroacústica altavoz de bobina móvil

Φ_M^2 = Fuerza electromagnética

Z_{mo} = Impedancia mecánica de circuito abierto

Z_r = Impedancia de radiación

R_r = Resistencia de radiación

R_0 = Resistencia de la bobina móvil

Ecuación 5: Rigidez de una caja cerrada a frecuencias bajas 13

$$S_c = (\pi a^2)^2 \frac{\rho_0 c^2}{V}$$

S_c = Rigidez de una caja cerrada a frecuencias bajas

a = Radio del altavoz

P_0 = Presión acústica inicial

c = Velocidad del sonido

V = Volumen del gabinete

Ecuación 6: Impedancia mecánica en una caja abierta 14

$$Z_{mc} = (\pi a^2)^2 Z_{Ac}$$

Z_{mc} = Impedancia mecánica en una caja abierta

a = Radio del altavoz

Z_{Ac} = Impedancia acústica de entrada del gabinete

Ecuación 7: Ecuación se Sabine 20

$$T \propto \frac{V}{A}$$

T = Tiempo de reverberación

V = Volumen del recinto

A = Absorción sonora total del recinto

Ecuación 8: Potencia necesaria por canal surround 65

$$W = 10^{\left(\frac{L_p - S + 20 \text{Log} r}{10}\right)}$$

W = Potencia necesaria por canal.

L_p = Nivel de presión sonora requerido.

S = Sensibilidad de un altavoz en dB a un metro de distancia a un watt.

r = Distancia del altavoz al centro de la sala.

Ecuación 9: Número de altavoces requeridos por canal surround 65

$$N = \frac{W}{PR}$$

W = Potencia necesaria por canal.

N = Número de altavoces requeridos por canal.

PR = Potencia nominal de un altavoz.

Ecuación 10: Distancia máxima para la ubicación de varios subwoofers..... 76

$$\text{Distancia Máxima (m)} = \frac{\text{Velocidad del Sonido } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{\text{Frecuencia Límite Superior (Hz)}} \times 0.666$$

Ecuación 11: Velocidad del sonido en el aire 76

$$\text{Velocidad del Sonido } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = 331.4 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + (0.607 \times ^\circ\text{C})$$

$^\circ\text{C}$ = Temperatura promedio del ambiente

Ecuación 12: Volumen para cajas acústicas de bajas frecuencias 82

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Volumen}_0 \times (\text{Frecuencia}_0)^2}{\text{Frecuencia}}$$

Considerando el mismo NPS:

Volumen: volumen que se quiere encontrar

Volumen₀: volumen conocido para lograr un NPS a cierta frecuencia

Frecuencia₀: frecuencia asociada al Volumen₀

Frecuencia: nueva frecuencia asociada al Volumen

Anexo 2. Glosario

Acústica: Rama de la física que estudia las ondas mecánicas que se propagan a través de la materia.

Alta definición: (HD) Sistemas de audio y video de alta calidad por encima de 720 pixeles horizontales de resolución, en el caso de video digital y 24 bits de resolución y 94 kHz frecuencia de muestreo en audio digital sin compresión.

Altavoz In-wall: Tipo de altavoz diseñado para instalarse dentro de una pared. Usualmente el resultado es estéticamente superior al de altavoces cuya caja acústica queda expuesta.

Altavoz: Transductor electroacústico que convierte energía eléctrica en energía acústica audible.

Baffle THX: Estructura posicionada detrás de la pantalla de proyección en la cual se montan los altavoces frontales de una sistema multicanal. Cuenta con una construcción poco resonante y material absorbente en su superficie.

Curvas de ruido NC: Conjunto de curvas que definen en rangos de octava el nivel de ruido máximo permisible para diferentes entornos.

Decibel: Unidad logarítmica que expresa la relación entre dos valores de una cantidad física.

Distorsión armónica total: Efecto destructivo de una señal a la que se le suman nuevas frecuencias que múltiplos de la frecuencia original de entrada.

Dolby Laboratories: Empresa fundada por Ray Dolby en 1965 pionera en el desarrollo de técnicas de codificación perceptual y reducción de ruido para audio digital y analógico.

Dolby Pro Logic: Tecnología de procesamiento de audio analógico desarrollada por Dolby Laboratories. Versiones recientes de este sistema soportan hasta 9.1 canales de audio.

Dolby Stereo: Formato de sonido analógico para cine desarrollado por Dolby Laboratories con capacidad para simular cuatro canales de audio en base a una señal estéreo.

DTS: Empresa desarrolladora de tecnologías de compresión de audio digital multicanal de alta calidad.

Ecualizador: Equipo usado para alterar la respuesta de frecuencia mediante el uso de filtros.

Electroacústica: Parte de la acústica dedicada al estudio, análisis y diseño de transductores que convierten energía eléctrica en energía sonora y viceversa, y sus componentes asociados.

Feedback: Fenómeno en el cual una parte de la señal de salida reingresa al sistema para volver a ser amplificada.

HDMI: High Definition Multimedia Interface. Interfaz para la transferencia de video y audio de alta definición sin compresión entre dispositivos compatibles.

Hertz: Unidad de frecuencia medida en ciclos por segundo abreviada Hz.

ISO: International Organization for Standardization. Organización internacional encargada de promover el desarrollo y adopción de normas internacionales de fabricación comercio y comunicación.

LFE: Low Frequency Effects. Canal de audio en una configuración multicanal exclusivo para la reproducción de sonidos de baja frecuencia.

Lucasfilm: Productora de cine fundada por George Lucas en 1971 que ha incursionado en el desarrollo de nuevas tecnologías de efectos visuales, animación y sonido.

Micrófono: Transductor electroacústico capaz de transformar energía acústica en energía eléctrica.

NPS: Nivel de Presión Sonora. Determina la intensidad del sonido generado por una fuente, se mide en decibelios.

PCM: Pulse Code Modulation. Método usado para representar de forma digital señales de audio analógicas.

Preamplificador: Amplificador electrónico que prepara una señal eléctrica de bajo nivel para ser procesada o amplificada.

Procesamiento digital de señales: (DSP) Manipulación matemática de una señal discreta en términos de tiempo y frecuencia con el fin de lograr una modificación o mejora de la señal original.

Rango dinámico: Relación entre el nivel máximo y mínimo que puede tener una señal.

Reducción de ruido Dolby NR: Sistema de reducción de ruido basado en modificaciones a la dinámica de la señal de entrada para audio analógico.

Refuerzo sonoro: Refuerzo de sonidos acústicos o electrónicos por medio de procesos de amplificación y transducción electroacústica con el fin de que éstos puedan ser escuchados por una determinada audiencia.

Respuesta de frecuencia: Frecuencias límite que un dispositivo puede reproducir de manera normal.

SDDS: Sony Dynamic Digital Sound. Sistema de compresión de audio desarrollado por Sony multicanal de hasta 12 canales de audio con pérdida.

SMPTE: Society of Motion Picture and Television Engineers. Asociación internacional de profesionales con sede en Estados Unidos que desarrolla estándares y guías técnicas para producción de audio y video.

STC: Sound Transmission Class. Clasificación que indica el nivel de atenuación de ruido que posee una partición.

THX Ultra 2: Certificación de calidad otorgada por THX para equipos cuyo correcto funcionamiento se puede asegurar para sala por encima de 3000 pies cúbicos.

THX: Empresa propiedad de Lucasfilm que desarrolla estándares de calidad para la correcta producción y difusión de contenido de audio y video de alta fidelidad.

Tiempo de reverberación: Tiempo necesario para lograr una atenuación de 60 dB en las reflexiones desde que el sonido directo ha dejado de propagarse.

Time code: Secuencia de códigos numéricos generada en intervalos regulares por un sistema de sincronización de tiempo.

Up-scaling: Técnica de conversión de video de baja resolución a video de alta resolución.

Anexo 3. Archivo fotográfico

Figura 68. Pared lateral sala de video previo adecuaciones. 9/7/2010.



Figura 69. Pared frontal sala de video previo adecuaciones. 9/7/2010.



Figura 70. Inicio de adecuaciones sala de video. 1/5/2011.



Figura 71. Inventario de materiales a cargo del Departamento de Activos de Hidrotoapi. 1/5/2011.



Figura 72. Desarmado del techo existente. 1/12/2011.



Figura 73. Inicio del ensamblaje de las paredes internas de la sala de video. 1/17/2011.



Figura 74. Corte de espacios destinados para altavoces In-Wall. 2/7/2011.

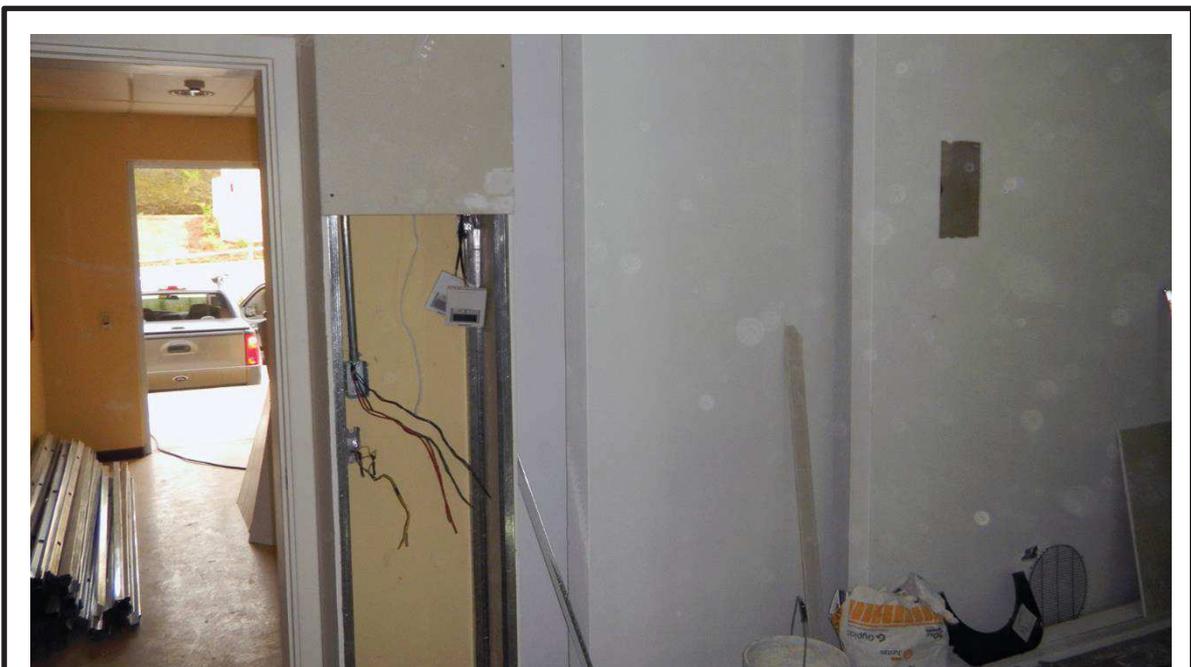


Figura 75. Instalación de tubería para cableado eléctrico, datos y audio. 2/8/2011.



Figura 76. Finalización de las paredes internas de la sala de video. 2/17/2011



Figura 77. Inicio del ensamblaje del techo interno de la sala de video. 3/31/2011.





Figura 80. Instalación del rack de equipos. 4/11/2011.



Figura 81. Inventario de equipos de audio y video. 4/18/2011.



Figura 82. Instalación del proyector. 4/20/2011.

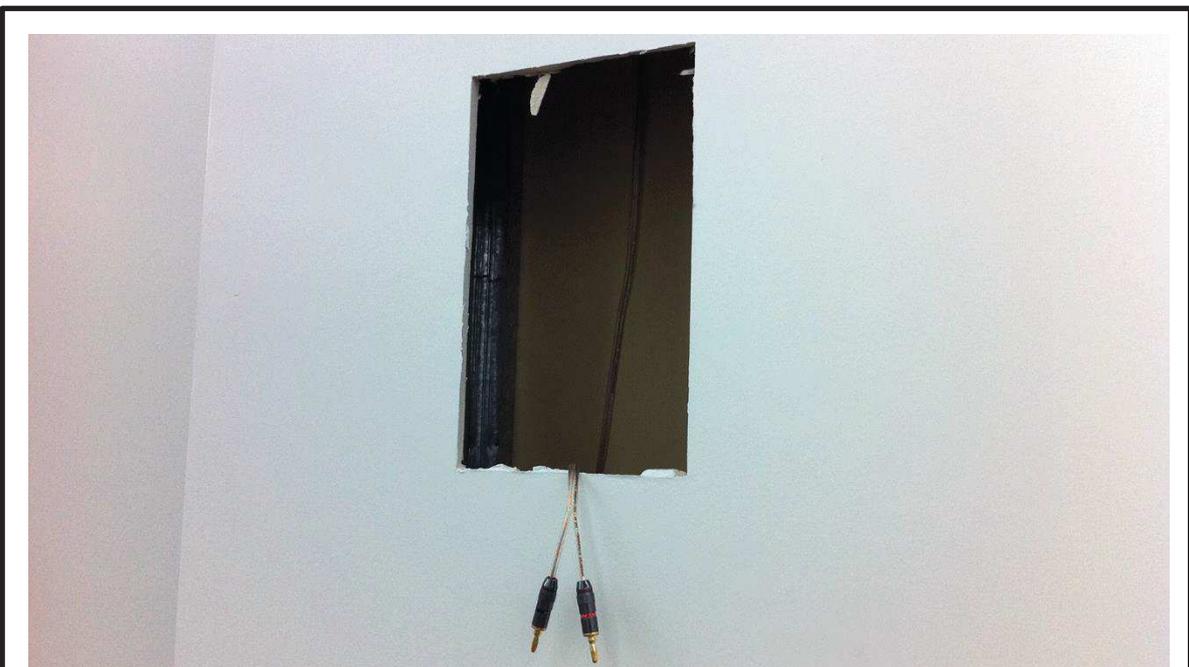


Figura 83. Instalación de cable de parlante y conectores THX. 4/20/2011.

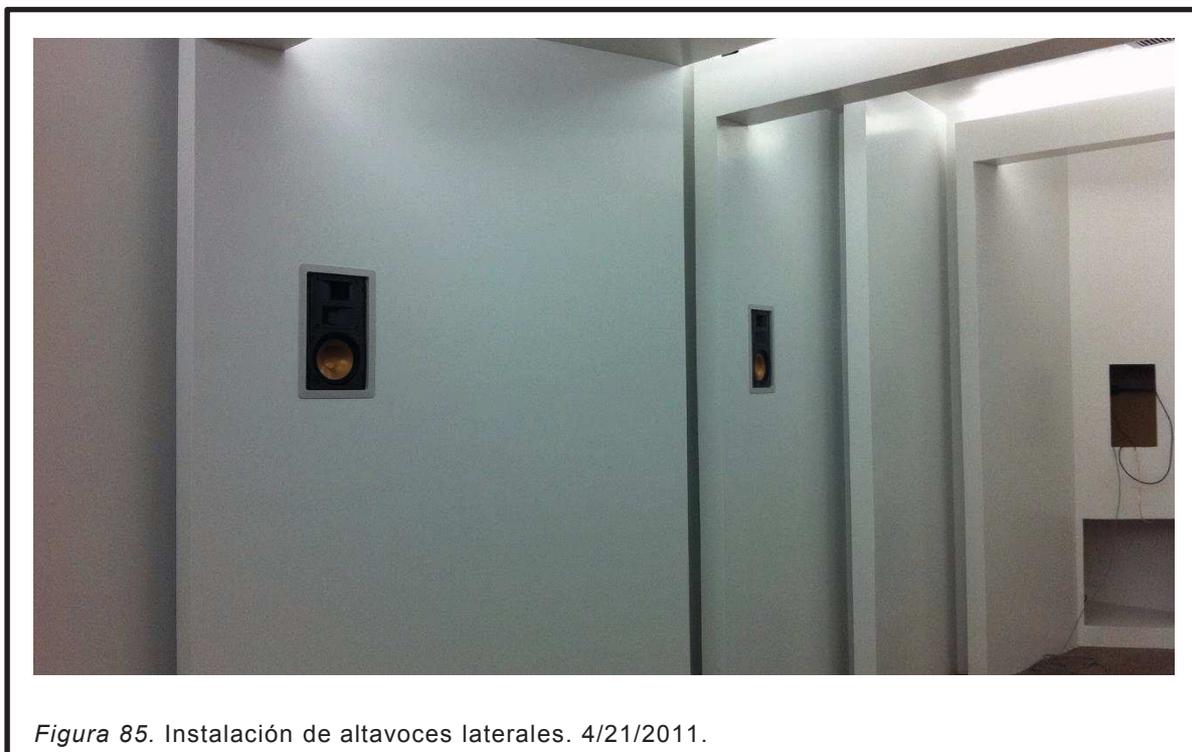






Figura 88. Instalación de alfombra. 4/25/2011.

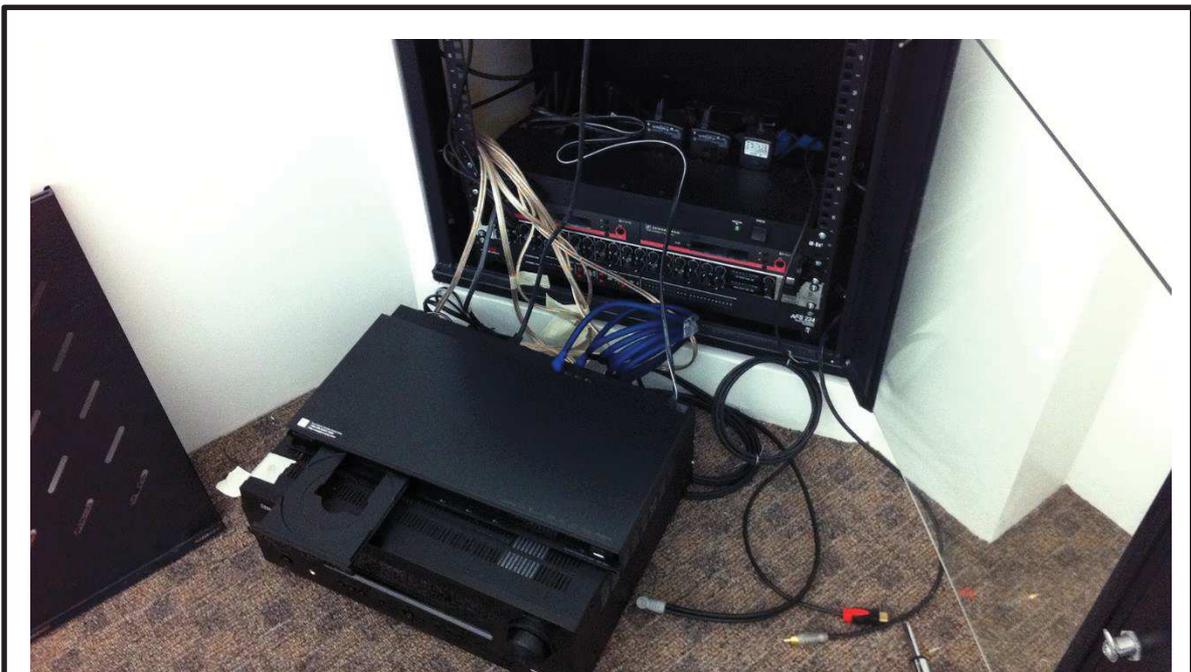


Figura 89. Instalación de equipos en el rack principal. 4/27/2011.

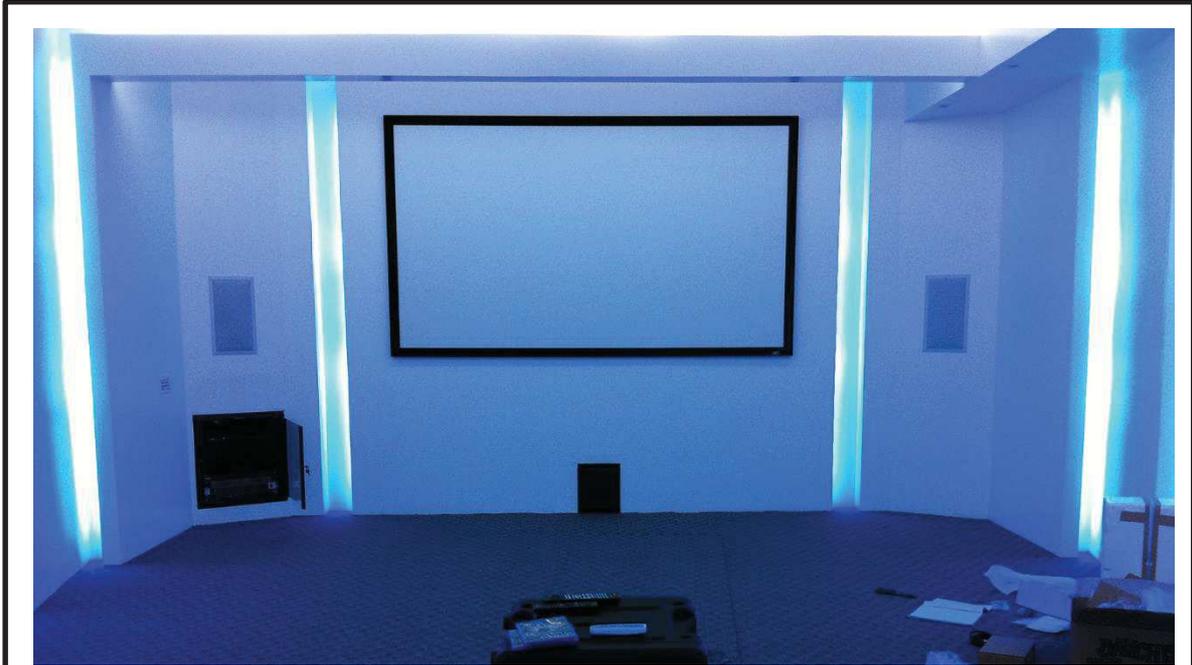


Figura 90. Montaje de pantalla de proyección y rejillas de altavoces. 4/28/2011.

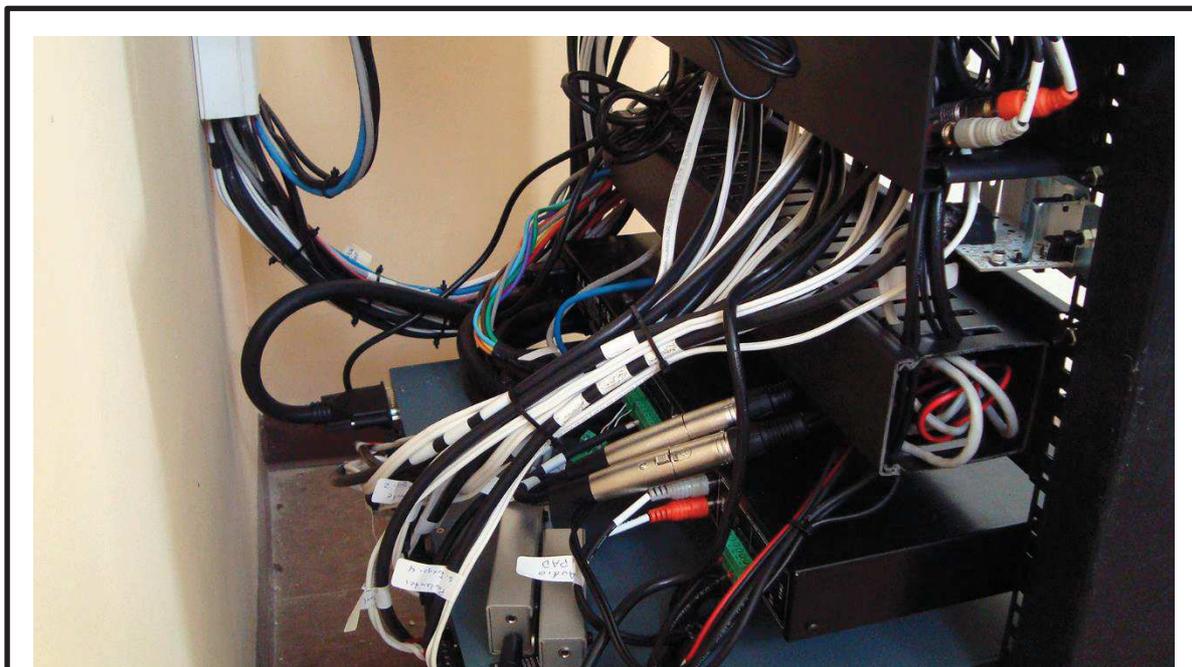


Figura 91. Conexión de componentes de audio en rack secundario. 4/30/2011.



Anexo 4. Presupuesto

Código	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
01	3	Altavoz LCR tipo in-wall Klipsch	2,300.00	6,900.00
02	4	Altavoz surround bipolar tipo in-wall Klipsch	850.00	3,400.00
03	2	Altavoz surround de radiación directa tipo in-wall Klipsch	850.00	1,700.00
04	1	Subwoofer activo de 12 pulgadas Martin Logan	2,500.00	2,500.00
05	1	Proyector de alta definición Anthem	16,000.00	16,000.00
06	1	Receptor 7.1 Denon	1,200.00	1,200.00
07	1	Sistema de microfonía inalámbrico Sennheiser lavalier	1,000.00	1,000.00
08	1	Sistema de microfonía inalámbrico Sennheiser hand held	1,000.00	1,000.00
09	1	Supresor de feedback dbx	650.00	650.00
10	1	Placa para conexión de periféricos	380.00	380.00
11	1	Soporte para instalación de proyector en techo	200.00	200.00
12	1	Reproductor Blu-ray Sony	280.00	280.00
13	1	Mezclador de 16 canales tipo rack mount	250.00	250.00
14	3	Acondicionador de poder Furman	250.00	750.00
15	1	Pantalla de proyección Elite Screens de 120 pulgadas	1,800.00	1,800.00
16	1	Router y access point inalámbrico 802.11n Apple	350.00	350.00
17	1	NAS HP con 6TB de memoria	850.00	850.00
18	2	Extensión de audio sobre Cat5e Gefen	200.00	400.00
19	1	Extensión HDMI sobre Cat5e Gefen	850.00	850.00
20	1	Convertidor VGA a HDMI	350.00	350.00
21	1	Rack metálico con ventilación, puerta de vidrio y chapa	375.00	375.00
22	1	Control remoto universal táctil Logitech	750.00	750.00
23	1	Cables y conectores Monster Cable	1,200.00	1,200.00
24	42	Butacas con asiento auto reclinable	280.00	11,760.00
25	1	Adecuación física de la sala de proyección audiovisual	16,800.00	16,800.00
26	53	Alfombra	16.00	848.00
27	1	Movimiento sistema de aire acondicionado	850.00	850.00
28	1	Movimiento sistema contra incendios	550.00	550.00
29	1	Diseño, instalación del sistema y calibración de la sala	14,800.00	14,800.00
			Subtotal:	88,743.00
			IVA:	10,649.16
			Total:	99,392.16



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
01	3	Altavoz LCR tipo in-wall Marca: Klipsch Modelo: KL-7800-THX Respuesta de frecuencia: 80Hz-20kHz 3dB Sensibilidad: 91dB @ 2.83 volts/1m Potencia: 150 w máximo continuo (600 w pico) Impedancia nominal: 8 ohm Direccionalidad: 80 x 80	Alta sensibilidad Dispersión controlada Certificación THX Ultra 2	2,300.00
			Precio Total:	6,900.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
02	4	Altavoz surround bipolar tipo in-wall Marca: Klipsch Modelo: R-5650-S Respuesta de frecuencia: 60Hz- 23KHz ± 3dB Sensibilidad: 92dB @ 2.83 volts/1m Potencia: 50 w máximo continuo (200 w pico) Impedancia nominal: 8 ohm Direccionalidad: bipolar semiesférico	Alta sensibilidad Dispersión controlada Ayuda a crear un campo difuso para los canales surround	850.00
			Precio Total:	3,400.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
03	2	Altavoz surround de radiación directa tipo in-wall Marca: Klipsch Modelo: R-3800-W Respuesta de frecuencia: 46Hz-23KHz ± 3dB Sensibilidad: 93dB @ 2.83 volts/1m Potencia: 50 w máximo continuo (200 w pico) Impedancia nominal: 8 ohm Direccionalidad: 80 x 80	Alta sensibilidad Dispersión controlada Sonido localizado para efectos surround Horn móvil	850.00
			Precio Total:	1,700.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
04	1	Subwoofer activo de 12 pulgadas Marca: Martin Logan Modelo: Dynamo 1000 Respuesta de frecuencia: 22–200 Hz ±3dB Potencia: 500 w máximo continuo (1000 w pico) Transductor: 12" Direccionalidad: omnidireccional	Alto nivel de presión sonora Transductor de alta eficiencia Amplificador interno digital	2,500.00
			Precio Total:	2,500.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
05	1	Proyector de alta definición Marca: Anthem Modelo: LTX 500v Luminosidad: 900 ANSI Contraste: 50000 : 1 Ruido audible: 19 dB (A) Resolución nativa: 1920 x 1080 Potencia: 280 W Duración de la lámpara: 2500 h Radio de aspecto: 16:9	Certificación THX Bajo ruido audible Excelente calidad de imagen	16,000.00
			Precio Total:	16,000.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
06	1	Receptor 7.1 Marca: Denon Modelo: AVR-791 Respuesta de frecuencia: 10 Hz–100 kHz \pm 3dB Potencia: 90 w máximo continuo Canales: 8 THD: 0.08% S/N: 100 dB (A) Soporte de video: HDMI 1.4 Transformador: toroide de alta calidad	Certificación THX Select 2 Presenta una gran eficiencia Cuenta con un tamaño muy reducido para ofrecer 8 canales independientes	1,200.00
			Precio Total:	1,200.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
07	1	Sistema de microfónica inalámbrico lavalier Marca: Sennheiser Modelo: EW-114 G3 Respuesta de frecuencia: 25Hz - 18kHz Frecuencia de operación: 518-554 MHz Canales: 1440 Patrón polar: cardiode S/N: 110 dB (A)	Excelente aislamiento a interferencia electromagnética Fácil uso Fue adquirido con el kit opcional para montaje en rack	1,000.00
			Precio Total:	1,000.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
08	1	Sistema de microfónica inalámbrico hand held Marca: Sennheiser Modelo: EW-115 G3 Respuesta de frecuencia: 25Hz - 18kHz Frecuencia de operación: 518-554 MHz Canales: 1440 Patrón polar: cardiode S/N: 110 dB (A)	Excelente aislamiento a interferencia electromagnética Fácil uso Fue adquirido con el kit opcional para montaje en rack	1,000.00
			Precio Total:	1,000.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
09	1	Supresor de feedback Marca: DBX Modelo: AFS-224 Respuesta de frecuencia: 20Hz - 20kHz, +/-0.5dB THD: 0.002% Canales: 2 Rango dinámico: 119 dB (A) Crosstalk: 80 dB (A)	Operación automática Tamaño reducido para montaje en rack Dos canales independientes	650.00
			Precio Total:	650.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
10	1	Placa para conexión de periféricos Soporte de video digital: HDMI 1.4 Soporte de video análogo: VGA, componente, compuesto Soporte de audio digital: HDMI 1.4 Soporte de audio análogo: RCA, plug TRS 1/8" Tamaño: 2-Gang	Ensamblado bajo pedido Soldadura de alta calidad Todos los contactos bañados en oro	380.00
			Precio Total:	380.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
11	1	Soporte para instalación de proyector en techo Marca: Peerless Modelo: PRG-EXC-W Dimensión mínima: 19" Dimensión máxima: 32.6" Peso máximo: 23 lb Construcción: aluminio	Fácil instalación Permite incrementos graduales de longitud y ángulo	200.00
			Precio Total:	200.00



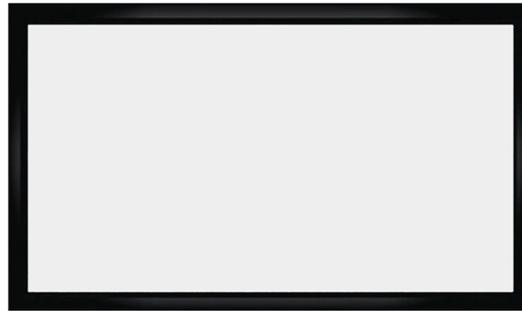
Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
12	1	Reproductor Blu-ray Marca: Sony Modelo: BDP-S370 Salidas digitales: HDMI, componente, audio óptico, audio coaxial, RCA (audio), video compuesto, Ethernet, USB 2.0 Convertidor digital análogo: 24 bit/192 kHz Audio sin compresión: DTS, Dolby, PCM	Excelente compatibilidad con formatos de audio y video digital Fácil operación Capacidad de reproducir contenido multimedia en red	280.00
			Precio Total:	280.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
13	1	Mezclador de 16 canales tipo rack mount Marca: Behringer Modelo: RX1602 Respuesta de frecuencia: 20Hz - 200kHz, +0-3dB THD: 0.0025% Canales: 16 Rango dinámico: 97 dB (A) Crosstalk: 70 dB (A)	Tamaño reducido para montaje en rack 16 canales independientes Presenta la opción de expandir el sistema	250.00
			Precio Total:	250.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
14	3	Acondicionador de poder Marca: Furman Modelo: M-8x Filtro de ruido: RFI, EMI Soporte de corriente: 15 A Salidas posteriores: 8 Salidas frontales: 1 Voltaje de operación: 120 VAC @ 60Hz Disipación de energía: 170 joule Máxima corriente pico: 12000 A	Montable en rack Ofrece excelente protección para los equipos Rechaza ruido inducido en la línea AC	250.00
			Precio Total:	750.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
15	1	Pantalla de proyección Marca: Elite Screens Modelo: R120WH1-A1080P2 Dimensión diagonal: 120" Tipo de montaje: marco fijo Tipo de pantalla: AcousticPro1080P2 Material marco: aluminio Absorción de overshoot: terciopelo Atenuación a 20 kHz: 2dB Ángulo de visualización: 160°	La pantalla presenta una atenuación por inserción mínima en el canal central Excelente reproducción cromática	1,800.00
			Precio Total:	1,800.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
16	1	Router y access point inalámbrico Marca: Apple Modelo: Airport Extreme Protocolos: IEEE 802.11a/b/g/n Bandas de operación: 2.4 GHz y 5 GHz Puertos WAN: 1 Ethernet Puertos LAN: 3 Ethernet Gigabit Puertos adicionales: 1 USB 2.0 Seguridad: WPA/WPA2, WEP	Fácil configuración El router cuenta con suficientes puertos Ethernet para la conexión de todos los componentes	350.00
			Precio Total:	350.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
17	1	Servidor de almacenamiento en red Marca: HP Modelo: MediaSmart EX487 Capacidad: 6 TB Procesador: Intel Celeron 2.0 GHz RAM: 2 GB Tipo de memoria: DDR2 Interfaz de discos: SATA Sistema operativo: Windows Home Server	Gran capacidad de almacenamiento en una unidad compacta Compatibilidad con todos los componentes del sistema	850.00
			Precio Total:	850.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
18	2	Extensión de audio sobre Cat5e Marca: Gefen Modelo: EXT-AUD-1000 Protocolo: Cat5e Rango máximo: 300 m Frecuencia de muestreo: 48 kHz Conectores de audio: TRS 3.5 mm Conectores de datos: RJ45 Fuente de poder: 5V DC	No presenta degradación de la calidad de audio sobre recorridos de cable largos	200.00
			Precio Total:	400.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
19	1	Extensión HDMI sobre Cat5e Marca: Gefen Modelo: GTV-HDBT-CAT5 Protocolo: Cat5e Rango máximo: 60 m Resolución máxima de video: 3840 x 2160 @ 30 Hz Soporte de audio: hasta 8 canales sin compresión Conectores de datos: RJ45	No presenta degradación de la calidad de audio y video en alta definición sobre recorridos de cable largos	850.00
			Precio Total:	850.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
20	1	Convertidor VGA a HDMI Marca: StarTech Modelo: VGA2HDMIPRO Resolución máxima: 1920 x 1080 Estándares: DVI 1.0, HDCP 1.1 Soporte de audio: estéreo PCM Conectores de audio: TRS 3.5 mm, Toslink, RCA Conectores de video: VGA, HDMI Fuente de poder: 5V DC Material del chasis: metal	Permite convertir señales análogas en digitales de manera automática	350.00
			Precio Total:	350.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
21	1	Rack metálico Marca: Connection Capacidad: 12U Puerta: vidrio templado Ventilación: ventilador superior de 12 cm Rieles: frontal y posterior de metal Seguridad: puntos de anclaje y chapa Conectividad: ranuras para paso de cables laterales y posteriores	El rack permite realizar una instalación ordenada Los equipos se encuentran seguros La ventilación alarga la vida útil del sistema	375.00
			Precio Total:	375.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
22	1	Control remoto universal táctil Marca: Logitech Modelo: Harmony 1100 Tamaño de pantalla: 3.5" Resolución de pantalla: 320 x 240 Control táctil: resistivo Rango máximo IR: 22 m Teclas: retro iluminadas Cantidad máxima de dispositivos: 15 Fuente de poder: batería recargable	Permite simplificar notablemente el uso del sistema La interacción con el usuario es sumamente amigable	750.00
			Precio Total:	750.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
23a	6	Cable de parlante Marca: Monster Cable Modelo: THX SP 16-100 Grosor: 16 AWG Longitud por rollo: 30 m Aislamiento: LPE Material: cobre libre de oxígeno Recubrimiento: PVC de alta resistencia Tipo de cable: multifilamento flexible	Certificación THX Cable de muy alta calidad que asegura poca pérdida de calidad sobre distancias medias	100.00
			Precio Total:	600.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
23b	28	Plugs tipo banana Marca: Monster Cable Modelo: QuickLock MKII Tipo de conector: banana Máximo grosor de cable: 14 AWG Recubrimiento: oro 24 quilates Construcción: dos piezas Material: cobre-berilio	Mejora la conexión entre los terminales del amplificador, los altavoces y el cable de parlante	8.00
			Precio Total:	224.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
23c	1	Cable para subwoofer Marca: Monster Cable Modelo: THX1100-SW16NF Grosor: 16 AWG Longitud por rollo: 4.87 m Aislamiento: LPE Material: cobre libre de oxígeno Recubrimiento: PVC de alta resistencia Tipo de conectores: RCA	Certificación THX Cable de muy alta calidad que asegura poca pérdida de calidad sobre distancias medias	50.00
			Precio Total:	50.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
23d	2	Cable estéreo Marca: Monster Cable Modelo: THX1100-SW16NF Grosor: 16 AWG Longitud por rollo: 4.87 m Aislamiento: LPE Material: cobre libre de oxígeno Recubrimiento: PVC de alta resistencia Tipo de conectores: RCA	Certificación THX Cable de muy alta calidad que asegura poca pérdida de calidad sobre distancias medias	60.00
			Precio Total:	120.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
23e	3	Cable HDMI Marca: Monster Cable Modelo: 1000HDX Grosor: 16 AWG Longitud por rollo: 4.87 m Aislamiento: LPE Material: cobre libre de oxígeno Recubrimiento: PVC de alta resistencia Tipo de conectores: HDMI 1.4	Certificación THX Cable de muy alta calidad que asegura poca pérdida de calidad sobre distancias medias	68.00
Precio Total:				204.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
24	42	Butacas Profundidad: 45 cm Densidad del material del asiento: 65 kg/m ³ Recubrimiento: tela de alta densidad resistente al fuego Mecanismo: auto-retractable de doble resorte Protección al fuego: NFPA, UNE 23727-91 Coeficiente de absorción acústica: 0.51 @ 500 Hz	La absorción acústica de las butacas vacías es similar a la absorción presentada por la audiencia suponiendo que la sala se encuentra llena	280.00
Precio Total:				11,760.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
25	1	Adecuación de la sala de proyección Obras físicas necesarias para la creación de las estructuras internas de la sala de proyección Incluye: paredes y techo interno de gypsum, instalaciones eléctricas, cerrado de ventanas, instalación de luces	El valor incluye mano de obra y materiales	16,800.00
			Precio Total:	16,800.00



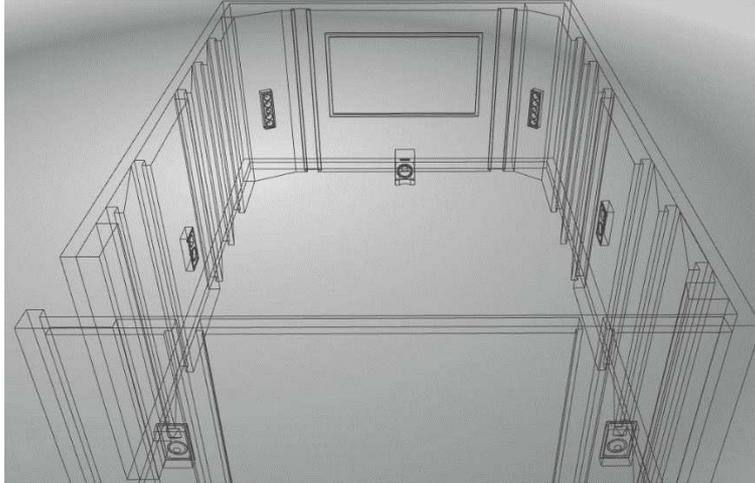
Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
26	53	Instalación de alfombra Alfombra de alto tráfico Resistente al fuego Tipo: pelo raso Antialérgico Coeficiente de absorción acústica: 0.06 @ 500 Hz	Precio por metro cuadrado Incluye instalación	16.00
			Precio Total:	848.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
27	1	Movimiento del sistema de aire acondicionado Modificación de las tuberías del sistema de aire acondicionado Cambio de ubicación de los equipos de salida del sistema A/C Reprogramación del sistema de aire acondicionado Reposicionamiento de rejillas de toma de aire	El valor incluye mano de obra y materiales	850.00
			Precio Total:	850.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
28	1	Movimiento del sistema contra incendios Modificación de las tuberías del sistema contra incendios Cambio de ubicación de los sprinklers del sistema contra incendio Reposicionamiento de sensores de humo	El valor incluye mano de obra y materiales	16.00
			Precio Total:	848.00



Código	Cantidad	Descripción	Observaciones	Precio Unitario
29	1	Diseño, instalación del sistema y calibración de la sala Adquisición e importación de todos los equipos de audio y video Capacitación sobre el uso del sistema al personal encargado del mismo Configuración de la red interna de Hidrotoapi para la integración de medios de almacenamiento y reproducción multimedia en red Garantía técnica y soporte por dos años	El valor incluye mano de obra y materiales adicionales no detallados en el presupuesto	14,800.00
			Precio Total:	14,800.00

