



**FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**DISEÑO DE UNA SALA MULTIFUNCIONAL PARA PRODUCCIONES  
AUDIOVISUALES CON SISTEMA DE MONITOREO 5.1**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los  
requisitos establecidos para optar por el título de

**INGENIERO EN SONIDO Y ACÚSTICA**

Profesor Guía

ING. YOLANDA CARREÑO POZO

**NICOLÁS FERNÁNDEZ PÉREZ**

AÑO

2011

### **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

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

YOLANDA CARREÑO POZO

Ingeniera Acústica

C.I. 172169464- 2

### **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

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

NICOLÁS FERNÁNDEZ PÉREZ

C.I. 171275804-2

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco muy especialmente a mi Directora Guía, Ing. Yolanda Carreño, por su valiosa asesoría y por el tiempo dedicado a esta tesis, así como a todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron apoyo en su elaboración y desarrollo.

## **DEDICATORIA**

A mi Madre y a mi Hermano,  
quienes me brindaron su apoyo  
incondicional y me impulsaron a  
lo largo de mi carrera.

## RESUMEN

Con la estandarización del DVD y más recientemente del Blue-Ray, y con el lanzamiento de nuevos formatos de codificación 5.1 Surround como el Dolby Digital (AC-3), el DTS y el Sony SDDS, las producciones cinematográficas y musicales con sonido 5.1 Surround se volvieron más accesibles y se comercializaron a todo el público, por lo que la demanda de esta tecnología tuvo un crecimiento mundial, creándose así la industria del Home Theater o Cine en Casa, la cual trata de llevar la misma experiencia visual y auditiva, que sólo se conseguía en los cines, al cómodo espacio del hogar, sin tener que gastar mucho ni ser un privilegio de pocos. No está por demás decir que los sistemas de audio multicanal Surround tienen un futuro brillante y mucho por hacer todavía para el mundo del entretenimiento y la producción audiovisual, como por ejemplo el AUDIO 3D (Holografía), el que cabe aclarar, no es lo mismo que sonido Surround 5.1 pero están muy relacionados. En definitiva, la clave de la producción sonora multicanal es hacer uso efectivo de los parlantes Surround y del Subwoofer para crear un producto con un máximo valor de entretenimiento virtual.

## ABSTRACT

With the standardization of the DVD and more recently the Blue-Ray, and with the launching of new encoding formats 5.1 Surround and Dolby Digital (AC-3), DTS and the Sony SDDS, the cinematographic productions and musical sound with 5.1 Surround became commercial and more accessible to the public, so that the demand for this technology had a global growth, thereby creating the industry of Home Theater or Home cinema, which tried to implement the same visual and hearing experience, which was only achieved in the cinemas, to the comfortable space at home, without having to spend a lot of money or be a privileged individual. Needless to say, that the systems of multichannel audio surround have a bright future and there is still a lot to do for the world of entertainment and audiovisual production, as for example the AUDIO 3D (Holophonics), which, it should be clarified, is not the same as Surround Sound 5.1 but they are closely related. In the final analysis, the key to sound production multichannel is how to make an effective use of the Surround speakers and Subwoofer in order to create a product with a maximum value of virtual entertainment.

## ÍNDICE

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

### **Capítulo I**

1.1 Monitoreo .....	8
1.1.1 Altavoces frontales L y R.....	10
1.1.2 Altavoz Frontal C.....	12
1.1.3 Altavoces posteriores Surround (Ls y Rs) .....	13
1.1.4 Subwoofer o LFE .....	17
1.2 El Sistema Bass Management.....	20
1.2.1 Crossover.....	24
1.2.2 LPF .....	24
1.2.3 HPF.....	24
1.3 Calibración del Sistema 5.1 .....	25
1.3.1 Ecuación.....	25
1.3.2 Calibración de Niveles .....	27
1.3.2.1 Nivel de canales principales .....	27
1.3.2.2 Nivel de canal LFE.....	30
1.3.3 Fase y Ajustes de Delay.....	32
1.4 Formatos de sonido multicanal .....	34
1.4.1 Circuitos electro-acústicos matrix y discreto.....	37
1.4.2 Down-mixing .....	39
1.5 Monitor de video e iluminación .....	40
1.6 Especificaciones técnicas de los altavoces.....	40

### **Capítulo II**

2.1 Recomendaciones acústicas para una sala de monitoreo multicanal.....	42
-----------------------------------------------------------------------------	----

2.1.1 Geometría .....	42
2.1.2 Aislamiento .....	42
2.1.3 Acondicionamiento.....	43
<b>Capítulo III</b>	
3.1 Diseño.....	45
3.1.1 Dimensiones y geometría.....	46
3.1.2 Acondicionamiento.....	50
3.1.3 Aislamiento .....	61
3.1.4 Absorción y Tiempo de Reverberación.....	67
<b>Capítulo IV</b>	
4.1 Conclusiones.....	70
4.2 Recomendaciones.....	72
Bibliografía .....	73
Anexo .....	75

## Índice de Figuras

Fig. A	<i>“Fantasound: Cinta de 4 Canales”</i>	2
Fig. B	<i>“Cinerama”</i>	3
Fig. 1.1	<i>“Disposición de altavoces L/C/R y LS/RS”</i>	9
Fig. 1.2	<i>“60° entre L-R”</i>	10
Fig. 1.3	<i>“45° entre L-R”</i>	11
Fig. 1.4	<i>“Posición superior de altavoz C”</i>	12
Fig. 1.5	<i>“Posición inferior de altavoz C”</i>	13
Fig. 1.6	<i>“Surround directo y difuso”</i>	13
Fig. 1.7	<i>“Surround directo: 110°, 135°, 150° para LS y RS”</i>	14
Fig. 1.8	<i>“Surround difuso”</i>	16
Fig. 1.9	<i>“EQ por posición”</i>	19
Fig. 1.10	<i>“Sistema Bass Management”</i>	21
Fig. 1.11	<i>“Respuesta de Frecuencia con Bass Management”</i>	22
Fig. 1.12	<i>“La Curva X”</i>	26
Fig. 1.13	<i>“RTA-Nivel de un canal con Bass Management”</i>	28
Fig. 1.14	<i>“RTA-Nivel de canal LFE con Bass Management”</i>	31
Fig. 1.15	<i>“RTA Comb Filter-Ajuste de fase entre 2 canales”</i>	33
Fig. 1.16	<i>“Procesador matricial 5.0”</i>	37
Fig. 1.17	<i>“Procesador matricial 6.1”</i>	38

Fig. 1.18	<i>“Procesador discreto 5.1”</i>	38
Fig. 1.19	<i>“Lo/Ro Downmix”</i>	39
Fig. 1.20	<i>“Lt/Rt Downmix”</i>	40
Fig. 2.1	<i>“Las curvas NC”</i>	43
Fig. 2.2	<i>“Límites del tiempo de reverberación”</i>	44
Fig. 2.3	<i>“ITU-Límites de respuesta operacional de la sala”</i>	44
Fig. 3.1	<i>“CAD-Posicionamiento de altavoces”</i>	46
Fig. 3.2	<i>“CAD-Dimensiones mínimas de la sala”</i>	48
Fig. 3.3	<i>“CAD-Superposición del pentágono”</i>	49
Fig. 3.4	<i>“CAD-Sala resultante hexagonal”</i>	50
Fig. 3.5	<i>“CAD-Difusor QRD”</i>	53
Fig. 3.6	<i>“CAD-Difusor QRD con fractal”</i>	55
Fig. 3.7	<i>“CAD-Plano de sala acondicionada acústicamente”</i>	56
Fig. 3.8	<i>“SketchUp 3D-Corte lateral”</i>	60
Fig. 3.9	<i>“Insul-Dimensión de muros laterales”</i>	61
Fig. 3.10	<i>“Insul-TL de los muros laterales”</i>	62
Fig. 3.11	<i>“SketchUp 3D-Vista planta baja”</i>	63
Fig. 3.12	<i>“Insul-Dimensiones del techo”</i>	64
Fig. 3.13	<i>“Insul-TL del techo”</i>	65
Fig. 3.14	<i>“SketchUp 3D-Axonometría de la sala”</i>	66

## **Índice de Tablas**

Tabla 1.1: <i>Especificaciones técnicas de altavoces JBL aprobados por ITU</i>	41
Tabla 3.1: <i>Recomendaciones para salas con monitoreo 5.1 (HDTV Japón)</i>	45
Tabla 3.2: <i>Modos axiales propios de la sala</i>	57
Tabla 3.3: <i>Problemas de resonancia en la sala</i>	58

## INTRODUCCIÓN

La percepción auditiva es una rama de la anatomía y de la acústica que estudia el comportamiento de la audición humana y la forma como el sonido incide sobre nuestros canales auditivos, desde que llega a la oreja y es captado por el oído interno hasta el proceso cerebral que implica, para así determinar factores tales como respuesta de frecuencia (curvas isofónicas), directividad, sonoridad y espacialidad. Esta ciencia se llama Psicoacústica.

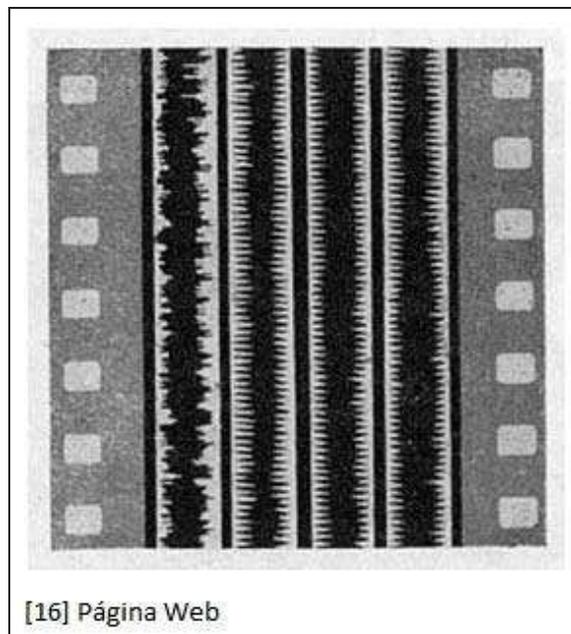
Nuestros oídos nos permiten captar y localizar sonidos provenientes de cualquier dirección, es decir podemos captar y concluir que un sonido viene de atrás de nuestras cabezas, sin saber visualmente su posición. Esto se debe a que nuestro cerebro analiza las señales que entran por nuestros dos oídos y al momento que un sonido ingresa primero al oído izquierdo y luego al derecho, por diferencias de distancia, tiempo y componentes armónicos, el cerebro capta esas leves diferencias y nos permite concluir que un sonido vino desde el lado izquierdo y no desde el lado derecho. A estos mecanismos se los llama Diferencia de Tiempo Interaural (ITD) y Diferencia de Nivel Interaural (ILD). Esto permite que podamos reconocer auditivamente la posición de una fuente sonora que se encuentre a nuestro alrededor y aquí es donde nace la ciencia del monitoreo Surround, las cuales no son más que técnicas estereofónicas para recrear una experiencia sonora envolvente que nos permita experimentar sensaciones auditivas que complementan e intensifican la realidad virtual visual, por medio de producciones audio-visuales, como el cine.

La historia del monitoreo surround nos lleva años atrás con los primeros experimentos psicoacústicos y estudios sobre las técnicas estereofónicas hechas por los laboratorios Bell en los años 30's, en las que describían a un sistema de 3 canales estereofónicos, el cual es considerado como el inicio y el corazón de las técnicas estereofónicas multicanales de hoy en día. Este

estudio concluye que, mientras un número infinito de parlantes frontales era el ideal para representar un campo estereofónico real, el uso de 3 secciones (canales) L, C y R, son suficientes en la práctica para representar dicho campo estereofónico ya que se crean imágenes o fuentes virtuales entre los parlantes los cuales representan infinitos altavoces. En esta época todavía no existía el concepto de surround con altavoces traseros pero se comprobó que con 3 parlantes frontales se creaba un campo sonoro envolvente que podía representar el sonido panorámicamente.

Posteriormente los estudios llevados a cabo sobre el sistema multicanal de los laboratorios Bell y el desarrollo del mismo, condujo a que, años más tarde, en 1938, Disney Studios patentara un sistema de cine diseñado para el estreno de la película *Fantasia* llamado "*Fantasound*", que consistía en 3 canales frontales (L, C y R) localizados detrás de la pantalla y un canal surround localizado en las esquinas posteriores del teatro, además de inventar la grabación multipista, el paneo y el *overdubbing*. Este sistema esencialmente era un monitoreo multicanal 5.0 y es la base de todos los sistemas surround de la actualidad.

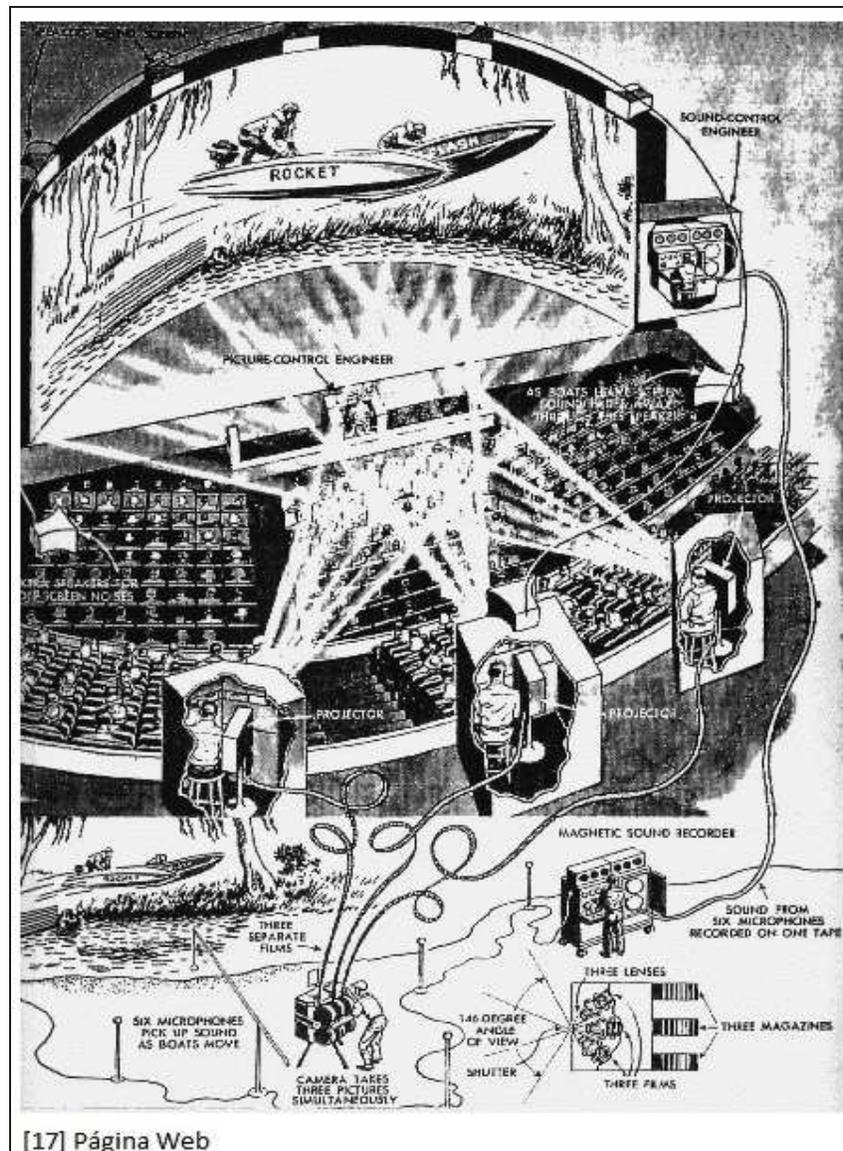
Figura 1.1 Fantasound A



[16] Página Web

Posteriormente, se desarrolló el sistema *Cinerama*, el cual estaba conformado por video y audio panorámicos y envolventes. Se usaba una cámara con 3 lentes, los cuales apuntaban de manera que la imagen grabada era el triple de grande en el plano horizontal con un ángulo de  $146^\circ$  de cobertura, lo que fue representado en sonido, con un sistema estereofónico de 7 canales: 5 canales frontales detrás de la pantalla de proyección (L, Lc, C, Rc y R) y 2 canales de efectos (L rear y R rear) localizados en las paredes laterales del auditorio.

Figura 1.2 Cinerama C



No tuvo mucho éxito debido a que los costos de implementación eran demasiado elevados para la época y por lo tanto sólo pocos teatros en el mundo contaban con esta tecnología, hasta que en 1970, los laboratorios Dolby patentaron su sistema Dolby Stereo que contaba con 4 canales de información, diseñado para ser reproducido en 3 parlantes frontales y un arreglo de parlantes traseros, que provenían de una cinta con 2 pistas de audio estéreo y una pista de video. Debido a que los sistemas de sonido en cine eran incapaces de reproducir frecuencias bajas a un volumen considerable sin saturar (clipping), los ingenieros de Dolby implementaron un parlante subwoofer al que llamaron LFE (Low Frequency Enhancer/Effects), el cual reproducía sólo las frecuencias bajas, lo que permitía incrementar efectivamente el rango dinámico de reproducción en los cines. Así, ya a mediados de los 80's se estandarizó el sistema 5.1 para la reproducción de audio de las cintas de 70mm, constituido por 3 canales frontales de espectro completo (L, C y R) y 2 canales traseros también de espectro completo, además de un subwoofer al cual se lo denominó .1 debido a que reproduce aproximadamente 1/10 del rango de frecuencias del resto parlantes. Se llegó a la conclusión de que este estándar 5.1 era el mínimo de parlantes necesarios para proveer una experiencia de sonido envolvente al oyente sin perder la capacidad de localización de las fuentes.

Posteriormente, en el año de 1994, ya con un estándar en el mercado, y con el advenimiento de la era digital, la organización de Estándares Europea más conocida como ITU (Unión de Telecomunicaciones Internacional) por sus siglas en Inglés, publicó un documento en el que se especificaba el correcto posicionamiento de los parlantes en un sistema 5.1 Surround llamado *ITU-R BS.775-1 "Recommendation for Multichannel Stereophonic Sound System With and Without Accompanying Picture"* y otro documento en el que se especificaban las condiciones acústicas profesionales, necesarias para implementar un sistema 5.1 Surround en un recinto, llamado *ITU-R BS. 1116-1*

*“Methods for the Subjective Assessment of Small Impairments in Audio Systems Including Multichannel Sound Systems”*. Estos dos documentos constituyen la base para el diseño de recintos profesionales, en los cuales se implementará un sistema de sonido 5.1 Surround.

Con la estandarización del DVD y más recientemente el Blue-Ray, y con el lanzamiento de nuevos formatos de codificación 5.1 Surround como el Dolby Digital (AC-3), el DTS y el Sony SDDS, las producciones cinematográficas y musicales con sonido 5.1 Surround se hicieron comerciales y más accesibles a todo público, por lo que la demanda de esta tecnología tuvo un crecimiento mundial, creándose así la industria del Home Theater o Cine en Casa, la cual trata de llevar la misma experiencia visual y auditiva, que sólo se conseguía en los cines, al cómodo espacio del hogar, sin tener que gastar mucho ni ser un privilegio de pocos.

En la actualidad el sistema 5.1 Surround ya no sólo es campo exclusivo, desarrollado sólo para el cine o la música, sino que se lo ha implementado en los medios de comunicación masivos como la TV y la radio, en consolas de videojuegos, y hasta en el internet. Se ha avanzado mucho en las técnicas de grabación y reproducción Surround multicanal y actualmente existe el sistema 7.1 y 10.2 Surround, las cuales son expansiones interesantes del estándar 5.1 Surround, que buscan perfeccionar la realidad virtual audiovisual envolvente y que se están implementando cada vez más en las principales producciones cinematográficas. No está por demás decir que los sistemas de audio multicanal Surround tienen un futuro brillante y mucho por hacer todavía para el mundo del entretenimiento y la producción audiovisual, como por ejemplo el AUDIO 3D (Holografía), que cabe aclarar, no es lo mismo que sonido Surround 5.1 pero están muy relacionados.

En definitiva, la clave de la producción sonora multicanal es como hacer efectivo el uso de los parlantes surround y del subwoofer para crear un

producto con un máximo valor de entretenimiento virtual, y no es su propósito recrear un espacio acústico virtual de 360°.

Por lo tanto, en un medio en desarrollo como el del Ecuador, en el que cada vez existe más demanda de producción cinematográfica y musical, es de suma importancia contar con una sala en la que se pueda realizar una mezcla 5.1 Surround profesional. Mientras que actualmente existen muchos estudios de grabación musical y postproducción, en el Ecuador, no existe uno que se dedique específicamente a la producción de sonido Surround 5.1. Existen salas con sistemas 5.1 para reproducción de material de entretenimiento pero no para producción multicanal profesional que se acerque a los requerimientos de Dolby o THX. Si los productores y/o directores quisieran realizar sus producciones en este formato, no tienen otra alternativa que buscar esos servicios en el exterior.

Asimismo, para ser competitivo y poder tener algo de exposición a nivel internacional, se debe presentar las producciones en formatos que actualmente sean estándares internacionales, como el sonido 5.1, pero en nuestro medio, es todavía un área que está sin explotar, y que resulta necesaria a la hora de crear una industria audiovisual local que pueda competir y alinearse con los estándares internacionales.

### **Objetivo General**

- Diseñar una sala multifuncional dedicada a producciones audiovisuales con sistema de monitoreo surround 5.1, implementando los factores electroacústicos, acústicos y arquitectónicos, específicos de este tipo de sala, basados en los estándares internacionales de monitoreo multicanal.

## **Objetivos Específicos**

- Justificar el diseño electroacústico y el posicionamiento de los altavoces y del monitor de video, basados en la psicoacústica.
- Presentar las especificaciones técnicas de los altavoces a utilizar.
- Justificar las dimensiones de la sala, así como sus proporciones y geometría.
- Diseñar el acondicionamiento e aislamiento acústico de la sala.

## **Hipótesis**

*“Un monitoreo multicanal 5.1 profesional depende de parámetros acústicos y electroacústicos que se relacionen mutuamente para lograr una homogeneidad sonora en un espacio determinado de la sala donde se puede interactuar con la percepción estereofónica del oído humano”.*

## 1. CAPITULO I

### 1.1. Monitoreo

El sistema estereofónico multicanal 5.1 o Surround está compuesto por 6 altavoces en total, de los cuales 5 son destinados a reproducir banda completa de frecuencias y un subwoofer destinado a reproducir sonidos de muy baja frecuencia. Los altavoces se encuentran distribuidos simétricamente formando un círculo que rodea y envuelve al punto de escucha, que es el centro de ese círculo.

La simetría entre los altavoces con respecto al centro del círculo (punto de escucha) dependen de la equidistancia de cada parlante con respecto al centro y de la angulación de los mismos, y es necesaria para formar un sistema en fase y así evitar problemas de comb filtering y efecto Hass. Además, se debe procurar que todos los altavoces (excepto el subwoofer) sean del mismo modelo y marca, para que no haya diferencias de respuesta de frecuencia ni de directividad.

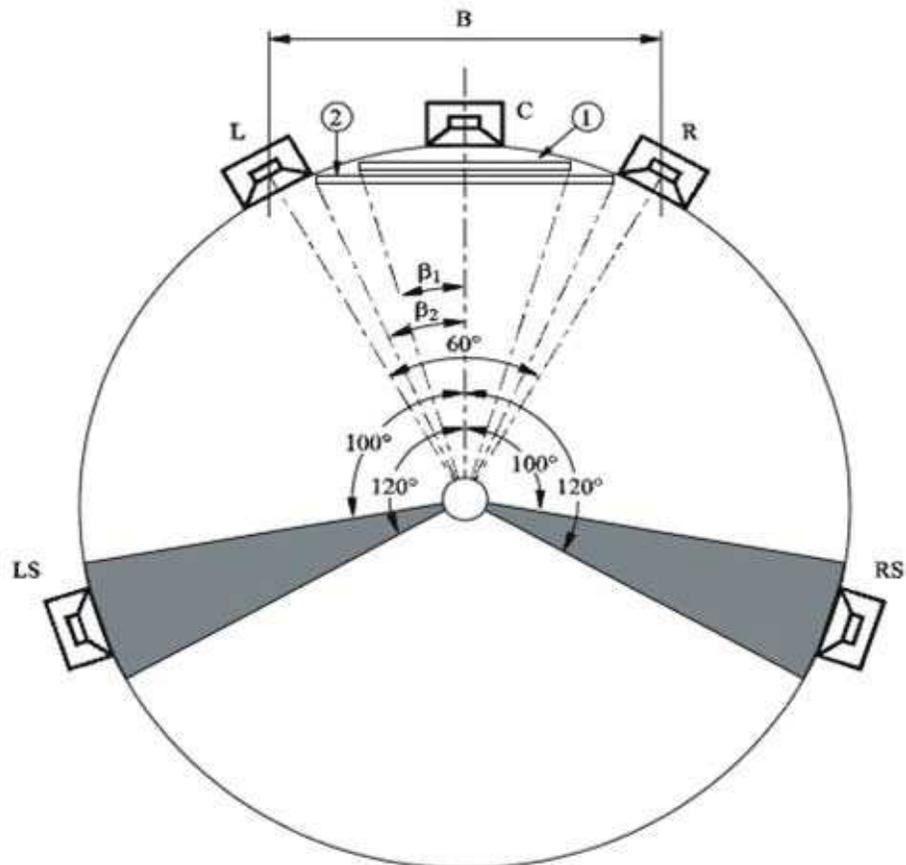
A continuación se presenta la Figura 1.1 que muestra la distribución de los parlantes y monitores de video para formar un sistema 5.1 Surround, estandarizado por la norma ITU-775.

Sin embargo, las recomendaciones ITU-775 están basadas en experimentos y mezclas de música 5.1 (DVD-Audio) y tiene unas ligeras diferencias con respecto a las recomendaciones para sonido acompañado de imagen y la post-producción de audio para video o TV (DVD-Video), que serán analizadas posteriormente.

El correcto monitoreo es la clave del sonido multicanal, ya que de eso dependerá el buen sonido final que se reproduzca para el usuario. Los ingenieros de mezcla dependen de un buen balance espectral y un buen balance espacial entre monitores y sala, y toman decisiones de lo que suena bien basándose en la representación de lo que oyen. Por lo tanto un ambiente

neutro y balanceado espectral y especialmente es necesario para producir un sonido multicanal profesional, que tendrá como finalidad brindar al usuario la misma experiencia sonora que tienen los ingenieros en la sala de mezcla 5.1.

Figura 1.1 Disposición de altavoces L/C/R y



Pantalla 1 Distancia de referencia para TVAD  $= 3 H (2\beta_1 = 33^\circ)$

Pantalla 2  $= 2 H (2\beta_2 = 48^\circ)$

H: Altura de la pantalla

B: Línea básica de alta voces

Altavoz	Ángulo horizontal desde el centro (grados)	Altura (m)	Inclinación (grados)
C	0	1,2	0
L, R	30	1,2	0
LS, RS	100 ... 120	$\geq 1,2$	0 ... 15 hacia abajo

El ambiente de reproducción de una sala 5.1 depende de dos factores:

1. Posicionamiento de los altavoces (en pedestales o empotrados en las paredes)
2. Acústica (que incluye forma, aislación, absorción, reflexión y difusión)

En este capítulo, nos concentraremos en la función y el posicionamiento de cada altavoz.

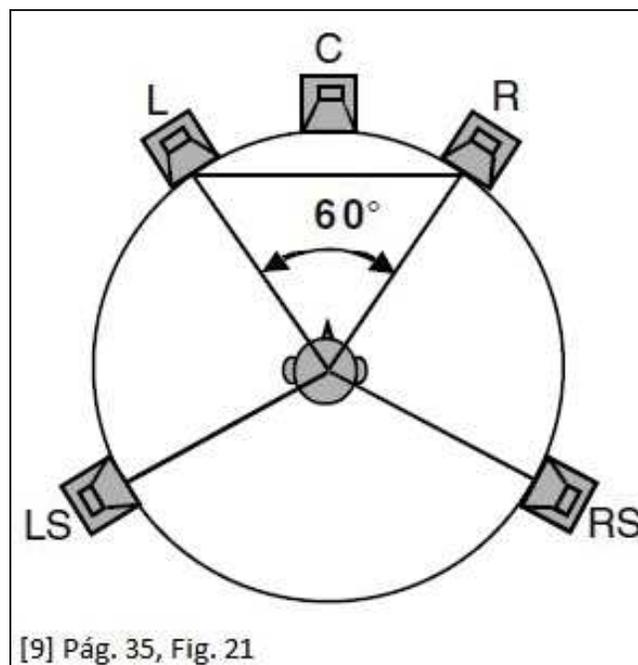
Como regla general, los altavoces de los canales principales deben estar a una altura  $\geq 1.2$  m. del piso y a una distancia  $\geq 1$  m. de las paredes que lo rodean.

### 1.1.1. Altavoces Frontales “L – R”

Existen 2 teorías de angulación para los parlantes frontales L-R:

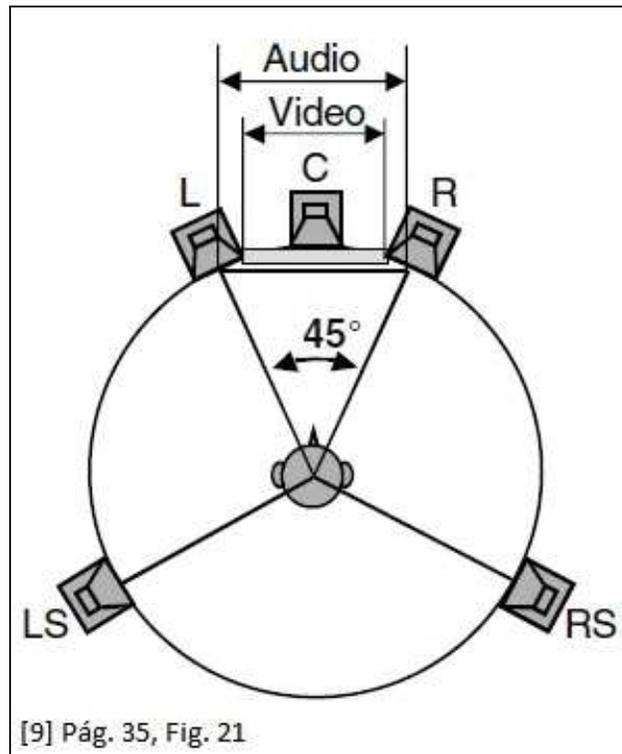
- $60^\circ$  de angulación entre L-R: muy compatible con sistemas convencionales estéreo usados para reproducción de música. Es usado para producciones sonoras sin imagen visual. Engrandece la imagen Estéreo.

Figura 1.2 Angulación  $60^\circ$  entre L-R



- 45° de angulación entre L-R: es utilizado cuando el ambiente de reproducción contiene una imagen y es principalmente usado para post producción de TV y cine.

Figura 1.3 Angulación 45° entre L-R



En casos en los que el sonido acompaña a la imagen, es importante no considerar un valor numérico (45°), sino más bien una angulación que se acople a las dimensiones de la imagen para que el estéreo se introduzca en los límites de la pantalla. Como recomendación no se debe exceder de 4° la abertura de los altavoces, desde los límites de la pantalla.

La información que se reproduce por estos canales L-R, son básicamente ambientes sonoros, efectos de sonido y música. Tienen una respuesta de frecuencia de banda completa.

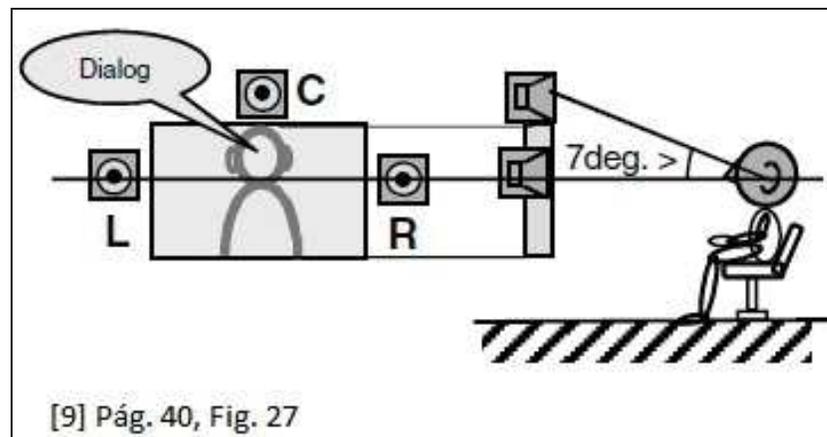
### 1.1.2. Altavoz Frontal “C”

Este altavoz es uno de los más importantes ya que es el que se encarga de reproducir todos los diálogos o voces del material sonoro. Se encuentra entre L y R, en el eje central a  $0^{\circ}$  y se lo puede colocar detrás de una pantalla de proyección acústicamente transparente.

Si no se usa una pantalla de proyección y se utiliza un televisor pantalla plana, (de 42” preferentemente) existen 2 opciones, colocar al altavoz arriba de la televisión o colocarlo debajo de la pantalla.

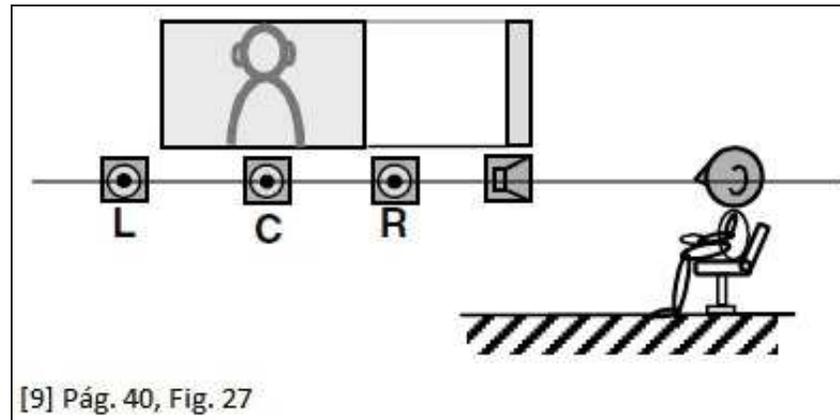
Si se coloca C arriba de la pantalla, el ángulo de elevación no debe superar los  $7^{\circ}$  para que el paneo entre L y R sea natural por C. Este método provee de una buena relación entre dialogo e imagen visual.

Figura 1.4 Posición superior de C



Si se coloca debajo de la pantalla, los parlantes L-C-R deben estar a la misma altura y por debajo de la pantalla. Se debe procurar alinear los tweeter's de los 3 altavoces frontales, por lo que se puede girar el altavoz, ya sea que C este arriba o abajo de la pantalla; esto se debe a que nuestro oído es mas direccional en frecuencias medias-altas.

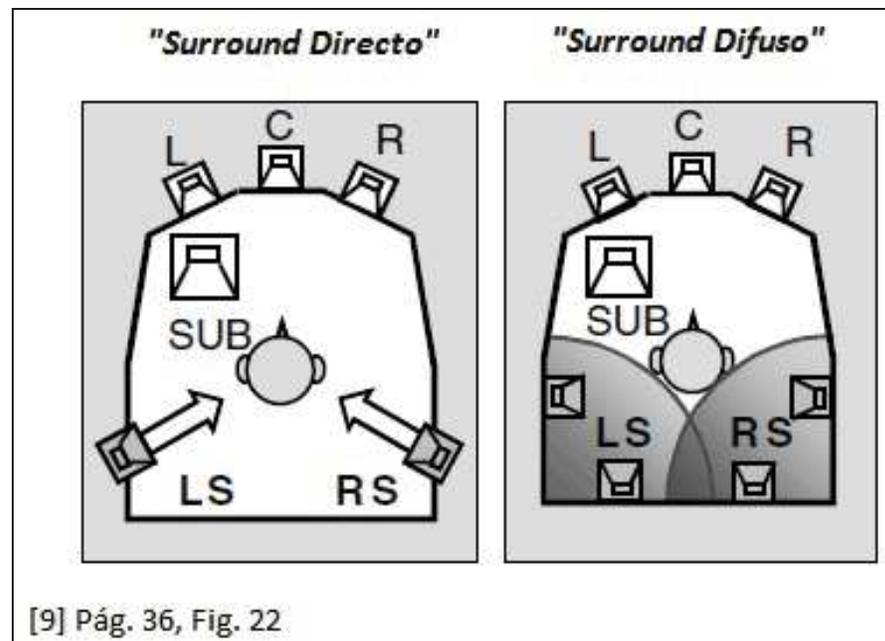
Figura 1.5 Posición inferior de C



### 1.1.3. Altavoces Posteriores Surround (Ls - Rs)

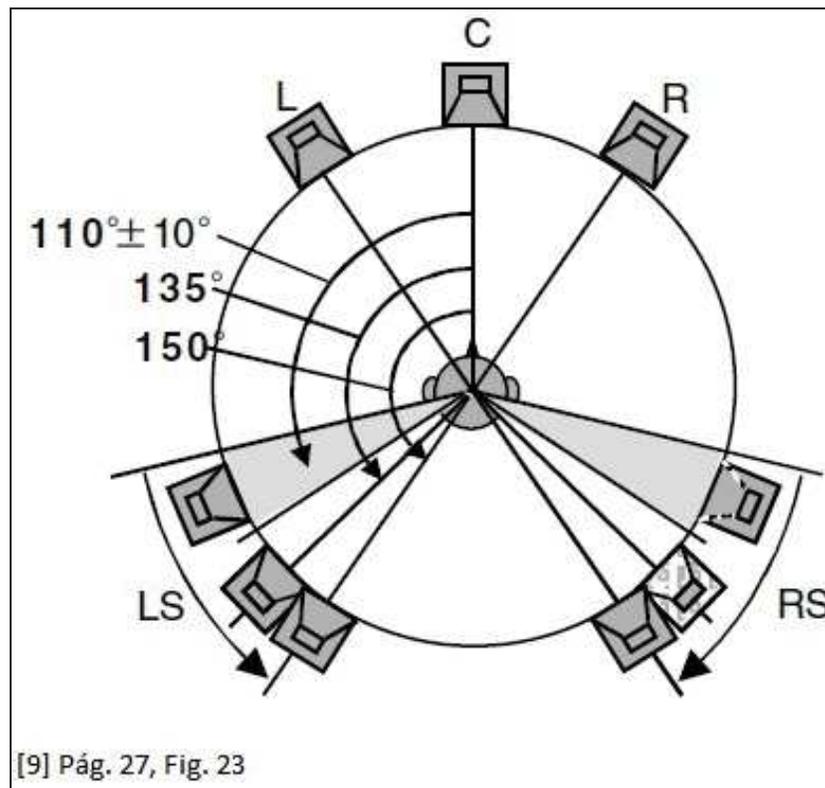
Existen dos tipos de arreglos para los altavoces surround, el de reproducción directa o "direct surround" y el de reproducción difusa y "diffuse surround".

Figura 1.6 Surround directo y difuso



- El método de **surround directo**: está compuesto por dos altavoces Ls y Rs que apuntan directamente a la posición de escucha, es decir al centro del círculo.

Figura 1.7 Surround directo para LS-RS



Este método está compuesto por una combinación de estéreo surround y sensación de profundidad trasera, dependiendo de cómo se posicionen los altavoces. Al colocarlos más abiertos hacia las paredes laterales, se crea un campo trasero estéreo que intensifica los paneos y los movimientos laterales, caso contrario de colocar los parlantes más cerrados hacia la pared posterior, posición que aumenta la sensación de profundidad trasera, asemejando a una envolvente de 360°, pero reduciendo la imagen estéreo surround.

La angulación de  $110^\circ \pm 10$  es el estándar especificado en ITU-775, y localiza los altavoces surround hacia los lados laterales de la sala, lo que da como resultado, mayor separación entre Ls y Rs y por lo tanto la posibilidad de reproducir un campo sonoro surround mas detallado panorámicamente pero con defectos en impresión de profundidad trasera.

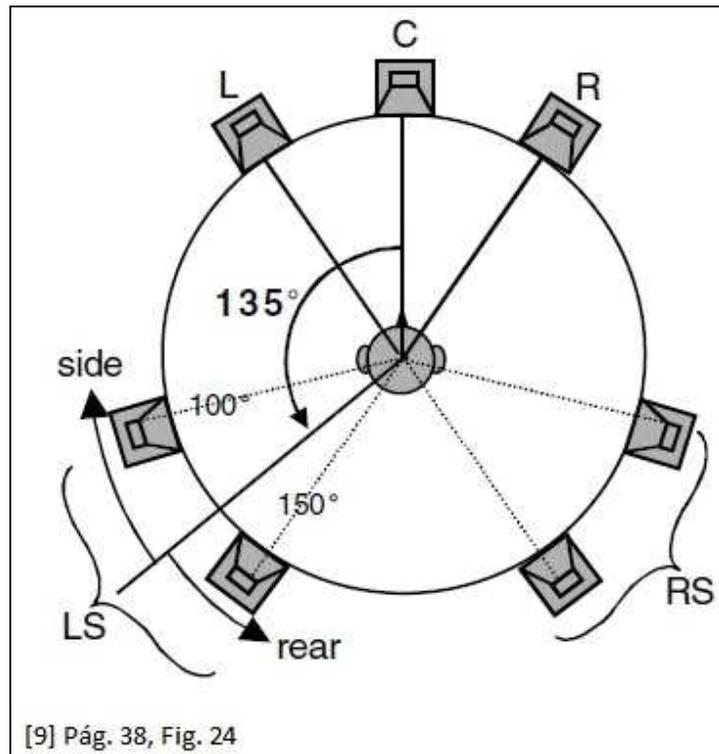
El paneo surround esta típicamente limitado a expresiones y efectos especiales en los que la imagen sonora pasa rápidamente por detrás del oyente, sin que la imagen de localización tenga demasiada profundidad.

Para recrear un ambiente surround que tenga más sensación de profundidad, y tratar de asemejar a un ambiente envolvente de 360°, se deben colocar los altavoces a una angulación > 135°, típicamente de 150°.

Al colocar los altavoces surround a una angulación de 135°, se crea una sensación de profundidad trasera que a 110° ±10 no se consigue, conservando además, la sensación de paneo lateral de ITU-775, por lo que se recomienda usar la angulación de 135° ya que es una solución práctica para poder emular ambos ambientes, el panorámico y el de profundidad trasera.

- El método de **surround difuso**: está compuesto por un arreglo de altavoces laterales y traseros por lado (2 para Ls y 2 para Rs), que no necesariamente apuntan directamente al centro de escucha, sino que son colocados perpendicularmente uno del otro, con la finalidad de obtener un campo sonoro difuso que reproduzca más naturalmente los paneos y la sensación de profundidad; además de expandir el área de cobertura surround, perfecto para proyecciones con muchos espectadores. Este es el método utilizado en las salas de cine, para crear un ambiente sonoro envolvente.

Figura 1.8 Surround difuso



Para evaluar que tipo de arreglo surround conviene implementar en una sala, mucho depende la aplicación a producir, y es que existen varias diferencias técnicas entre un producto destinado a reproducirse en cines, un producto destinado a reproducirse en sistemas domésticos estéreo o surround, y un producto destinado a transmitirse por TV (mono).

Han habido varios debates entre expertos sobre cual sistema surround es mejor, el directo o el difuso, siempre basándose en la finalidad de darle la mejor experiencia posible al usuario final, y las respuestas varían dependiendo de las aplicaciones.

Se puede concluir que el método de *surround directo* puede funcionar para producción musical multicanal así como para producción audiovisual multicanal, pero si se recomienda usar el método de *surround difuso* si es que las producciones tienen como destino proyectarse en salas de cine, aun que en

la mayoría de casos, es preferible hacer la mezcla final en una sala *de dubbing*, el cual se asemeja mucho a las características de un cine, con la finalidad de recrear la misma sensación sonora, en cualquier sala del mundo.

#### **1.1.4. Subwoofer o LFE (FX de baja frecuencia)**

El uso de un subwoofer para frecuencias bajas en un arreglo multicanal está basado en la psicoacústica humana. En general, las frecuencias bajas son difíciles de localizar porque la gran longitud de onda del sonido produce mínimas diferencias entre los dos oídos. Estas frecuencias de gran longitud de onda viajan libremente alrededor de nuestra cabeza por difracción, causando diferencias imperceptibles entre los oídos.

El canal 0.1, llamado LFE, sirve para brindar más rango dinámico en las frecuencias menores a 120Hz, en las cuales el oído es menos sensible y necesita más NPS para que suene igual de fuerte que las frecuencias medias.

Es por esto que la mayoría de sistemas 5.1 emplean 5 altavoces de banda completa y un subwoofer que trabaja por 6, primeramente, extendiendo la respuesta de los 5 altavoces a las frecuencias más bajas posibles (20Hz) y luego haciendo el trabajo propio del canal 0.1. A este tipo de configuración se la conoce como "Bass Management" y no es más que controlar por medio de procesadores, el nivel y la respuesta de frecuencias bajas reproducido, además de dirigir el contenido de frecuencias bajas de los 5 altavoces principales hacia el subwoofer, para que sean reproducidas fielmente.

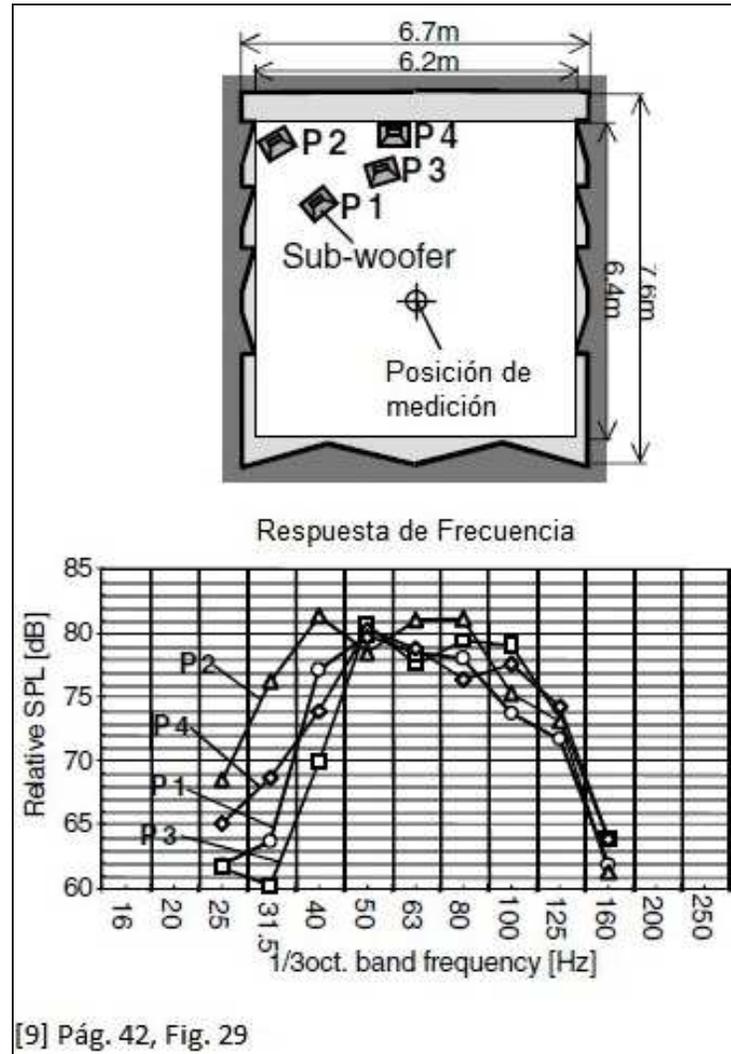
Es muy importante lograr una reproducción plana y fiel de las frecuencias bajas, para crear FX de sonido que magnifique la experiencia audiovisual. Para llegar a esto primero se debe obtener un campo sonoro de bajas frecuencias que sea imposible de localizar, es decir, crear un ambiente sonoro con bajas

frecuencias totalmente omnidireccionales. La localización del subwoofer se puede generar accidentalmente por componentes del altavoz que generen distorsión y por el ruido generado por el aire moviéndose a través de la compuerta *Bass Reflex*. Estos ruidos generados contienen frecuencias más altas que las reproducidas por el subwoofer, por lo que pueden hacernos localizar el altavoz y desviar nuestra atención.

Para lograr un esparcimiento balanceado y plano de las frecuencias bajas en una sala, existe un método llamado "Placement EQ" o Ecuilización por Posición, el cual consiste en variar la posición del subwoofer dentro de la sala, hasta encontrar una reproducción balanceada, pero su funcionamiento está íntimamente ligado a la acústica propia de la sala.

Al momento de colocar un subwoofer, se debe tener en cuenta tanto el nivel de reproducción como el de respuesta de frecuencia. Por ejemplo, si se coloca un subwoofer en la esquina de una sala, producirá buenos resultados en términos de nivel, pero no será bueno en términos de respuesta de frecuencia debido a la interacción con las ondas estacionarias. (Ver Fig. 1.9)

Figura 1.9 EQ por posición



En algunos casos, colocar dos subwoofers a los lados del punto de escucha, reproduciendo una señal monofónica, pueden estabilizar un ambiente sonoro creando una reproducción espacial más natural que al usar un solo subwoofer. Se deben desfasar  $90^\circ$  uno del otro para excitar los modos laterales asimétricos más fielmente y mejorar la espacialidad en bajas frecuencias.

Se debe tener en cuenta que puede ocurrir un acoplamiento de subwoofers debido a la interacción entre los parlantes y la impedancia del aire, cuando hay una distancia menor a la mitad de el largo de onda ( $\lambda$ ) reproducido, causando

así una suma de niveles inestable, que afectara la compatibilidad entre la ecualización de mezclas para distintos arreglos de altavoces.

Colocar dos subwoofers en la parte frontal, distribuidos simétricamente a lo ancho de la sala, contribuye a que haya una mejor conexión panorámica entre L y R cuando se reproduzca material con Bass Management.

## **1.2. Sistema Bass Management**

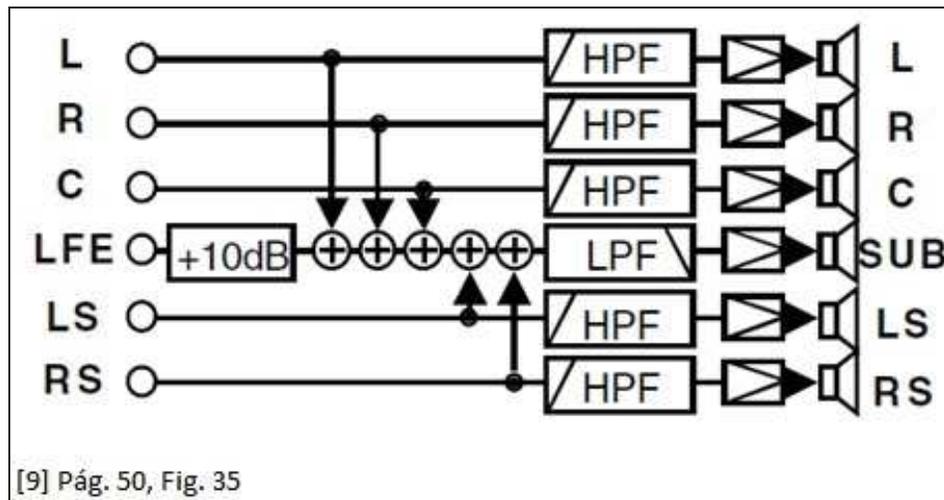
Los requerimientos de un monitoreo multicanal, deben asegurar que la respuesta de baja frecuencia de cada canal sea consistente. En una sala de dimensiones pequeñas a medianas, los modos normales de vibración generados por las ondas estacionarias casi siempre son un problema, que se ve reflejado en la reproducción desbalanceada de bajas frecuencias. Es por esto que se recurre a un sistema de control de bajas frecuencias, el cual asegura una reproducción consistente en bajas frecuencias, implementando una compensación electroacústica en la sala (<120Hz).

El sistema de Bass Management es de gran utilidad cuando el tamaño de la sala es pequeño y no permite revestirla con material absorbente de bajas frecuencias ya que se necesitaría alrededor de 85cm. de grosor para absorber alrededor de los 100Hz.

El controlador "Bass Management" es un circuito procesador de filtro crossover, el cual se encarga de enviar los componentes de baja frecuencia hacia un subwoofer. Esto quiere decir que el subwoofer reproducirá los componentes de baja frecuencia combinados de cada uno de los 5 canales principales más la señal propia del canal LFE, la cual tiene una ganancia de más 10dB con respecto al resto de canales.

A continuación se presenta la Figura 2.2, el circuito de un controlador Bass Management:

Figura 1.10 Sistema Bass Management



Los 5 canales principales normalmente están representados por altavoces que reproducen hasta los 50Hz. Es por esto que sus señales son ruteadas en paralelo hacia el subwoofer y posteriormente expuestas a un filtro pasa altos (HPF) con la frecuencia de corte ubicada alrededor de 80Hz y 120Hz. Esto asegura que los altavoces principales reproduzcan hasta la frecuencia de corte, haciendo que el resto de frecuencias inferiores a este punto sean ruteadas hacia el subwoofer, extendiendo así la respuesta general de cada canal principal, a alrededor de 20Hz.

En el canal del subwoofer se agrega una ganancia de +10 dB, y a esto se le agrega la sumatoria de señales de los 5 canales principales para luego todo ser filtrado por un LPF que limita la reproducción del subwoofer hasta 80 o 120Hz. Generalmente la ganancia de +10dB en el canal LFE se la aplica en producciones audiovisuales para DVD-Video pero se la suele omitir en producciones musicales para DVD-Audio y Super Audio CD.



1. La respuesta de frecuencia entre los canales principales (L, C, R, Ls y Rs) se hace consistente y esto es la base de un ambiente de monitoreo multicanal profesional, indistintamente de la calidad de la respuesta de frecuencia.
2. Al colocar el subwoofer en una posición óptima, se puede mejorar la respuesta de frecuencia de todos los canales. Esto es la llamada "Placement EQ".
3. Se asegura que haya +10dB de nivel en el canal LFE, comparado al nivel del resto de canales principales. Esto es muy importante a la hora de producir efectos de baja frecuencia para cine y video.
4. A todos los canales se les asigna una respuesta de reproducción equivalente a la de altavoces grandes, y así poder reproducir frecuencias muy bajas de hasta 20Hz.
5. Se puede evaluar la reproducción que tendrá en sistemas domésticos comunes y así asegurar una correcta reproducción en ambientes de consumo domésticos como los teatros en casa, tan comerciales en la actualidad.

Por lo tanto, el codificador Bass Management es un proceso de sumado eléctrico, en el cual la señal de baja frecuencia de cada canal es mezclado eléctricamente. En contraste, las señales de baja frecuencia reproducidas sin el uso de Bass Management, son sumadas acústicamente a través de toda la sala hasta llegar al oído. En comparación con la suma acústica, la suma eléctrica es prominente a causar interferencias entre señales si es que no se tiene cuidado.

Esto sugiere que es muy posible que se pierda información de baja frecuencia, que en una sala de producción sin Bass Management si se oía, pero que en los reproductores domésticos con decodificador Bass Management no se oye, porque se canceló eléctricamente.

### 1.2.1. Crossover

El filtro crossover de un sistema Bass Management está compuesto por un filtro “Pasa Bajos” y un filtro “Pasa Altos” que interactúan con la respuesta de frecuencia en bajos de los altavoces; es importante que el punto de cruce entre los dos filtros sea exactamente el mismo para evitar pérdida de información en bajos.

### 1.2.2. LPF (*Low Pass Filter*)

En el caso del LPF la frecuencia de corte debe ser ubicada entre 80 y 120Hz para evitar localización de la fuente. Normalmente el decaimiento del filtro se debe centrar en -24dB/8va ya que si es menor (-12dB/8va) se pueden filtrar frecuencias que no debe ser reproducidas por el subwoofer, y al contrario si es mayor (-36dB/8va) se creará un hueco sonoro entre el rango de frecuencias bajas y medias bajas.

### 1.2.3. HPF (*High Pass Filter*)

En el caso del HPF la frecuencia de corte debe ser la misma del LPF así como su decaimiento, pero su decaimiento/8va debe ser configurado de acuerdo al decaimiento/8va propio de los altavoces en bajas frecuencias. La regla dice que “respuesta de filtro + respuesta de altavoz = respuesta del crossover”.

Como ejemplo, se asume que el LPF es de 80Hz y -24dB/8va y se tienen dos opciones de altavoces, unos pequeños que a partir de 80Hz decaen -12dB/8va y otros grandes que reproducen bajos hasta 40Hz.

- En el caso de altavoces pequeños, el HPF debe colocarse a 80 Hz y -12dB/8va ya que al sumarse con los -12dB/8va propios del altavoz dan como resultante una caída de -24dB/oct.

- En el caso de los altavoces grandes, no hay un decaimiento en 80Hz, es decir 0dB/8va, por lo tanto, el HPF debe colocarse a 80Hz y -24dB/8va ya que al sumarse los 0dB/8va del altavoz, dan como resultante -24/8va.

### **1.3. Calibración del Sistema 5.1**

#### **1.3.1. Ecualización**

El uso de ecualización en sistemas de monitoreo multicanal sirve para estandarizar la respuesta de frecuencia de la sala y evitar defectos en una mezcla. El ingeniero que mezcla, toma decisiones de EQ basándose en la respuesta frecuencial de su sala y si existe algún problema de respuesta en esta sala, un buen mezclador, por ejemplo, compensara o atenuara esa falta o exceso de graves propias de la sala, lo que dará como resultado una mezcla que sonara muy distinto en otras salas.

Lo ideal es producir material que tengan un sonido universal, es decir, que suenen lo más cercano a lo que el mezclador escucho en su estudio, en cualquier sala en la que se reproduzca, por lo que es recomendable tener una sala bien balanceada en respuesta de frecuencia para que la mezcla sea universal y se pueda disfrutar la misma experiencia que el ingeniero de mezcla creó, en cualquier sala del mundo.

Para ecualizar un sistema multicanal se debe disponer de un ecualizador de 31 bandas divididas en 1/3 de 8va, para corregir los efectos de acústica propios de la sala.

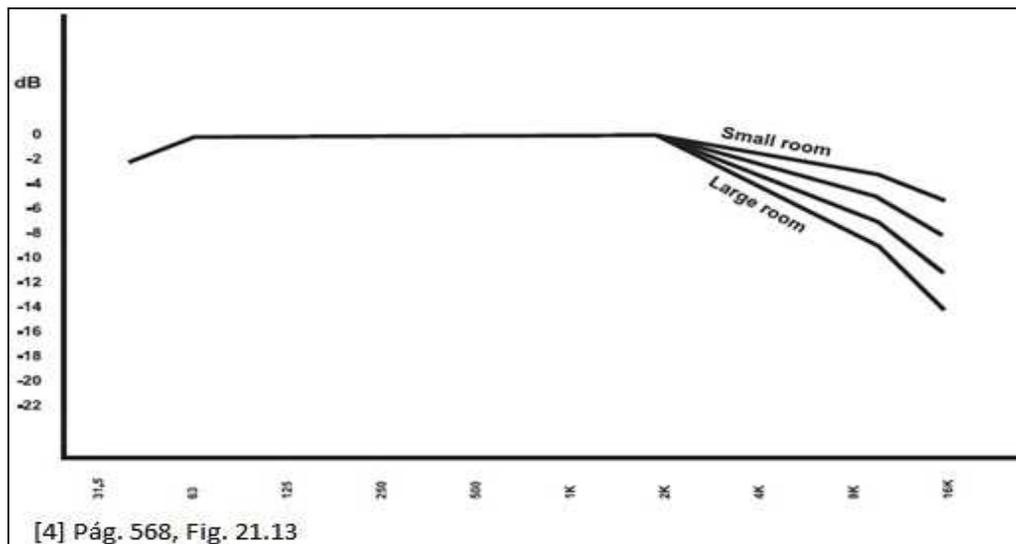
El método de ecualización debe ser por medio de consolidación espacial. Esto significa que no se debe medir en solo un punto fijo ya que esto no representa bien lo que el oído humano escucha, ya que tenemos 2 oídos. Para proceder con la consolidación espacial, hay que promediar las respuestas de varios puntos de medición y concluir una respuesta que represente a todos los puntos, lo que hará que la EQ sea menos drástica y mejor en términos de calidad sonora.

Se debe usar ruido rosa filtrado en 1/3 de 8vas. y promediar temporalmente por al menos 20 segundos, ya que así se obtienen desviaciones bastante pequeñas que nos sirven para ecualizar en detalle.

En la industria del cine existe un estándar de ecualización internacional (ISO 2969 y SMPTE 202) de salas con monitoreo multicanal, llamado la “Curva X”, que lleva su nombre debido a su extendida respuesta de frecuencia. Esta curva ha ayudado en el mundo del cine a que el intercambio de material cinematográfico sea global. (Figura 1.12)

Su respuesta varía dependiendo del volumen de la sala y debe ser medida en campo lejano usando ruido rosa con un micrófono de medición de diafragma pequeño.

Figura 1.12 La Curva X



Como recomendación, casi toda la ecualización necesaria esta en el rango entre 50 y 400 Hz, debido a que en este rango se encuentran los efectos de ondas estacionarias que dominan la sala.

Para monitorear sonido en formato Film, debe existir una traducción entre la curva X y una sala de monitoreo normal (respuesta plana), caso contrario el material de film sonara muy brillante en una sala normal. Para esto THX ha creado la llamada "Re-Ecualización", la cual añade un filtro shelving de alta frecuencia de -4dB en 10kHz, que se traduce en un mejor sonido.

Una complicación al medir altavoces dentro de salas es que la directividad del altavoz varía con la frecuencia, además del tiempo de reverberación. Generalmente los altavoces se vuelven más direccionales en altas frecuencias donde el tiempo de reverberación decae. Como resultado se puede decir que uno puede escuchar el campo reverberante en frecuencias bajas y medias, y el sonido directo del altavoz en frecuencias altas.

En los últimos años, con el avance de la tecnología, se han desarrollado algoritmos matemáticos de corrección acústica para salas, en las que se pretende medir la cadena electroacústica, incluyendo la respuesta de la sala en la posición de escucha y así calcular un filtro adecuado para corregir la respuesta, por medio de un micrófono de medición. Estos sistemas normalmente en su medición, incluyen una proporción de la respuesta de impulso de reflexiones de la sala para que la interacción de la sala con el sonido directo proveniente de los altavoces sea calculada.

Una vez finalizado la calibración de respuesta de frecuencia y ecualización se procede a nivelar los canales principales y el canal LFE.

### **1.3.2. Calibración de Niveles (NPS)**

#### **1.3.2.1. Nivel de canales principales (L/C/R/Ls/Rs)**

La razón de medir el NPS del monitoreo surround es principalmente para fijar y cumplir estándares de escucha para control de calidad y intercambiabilidad entre distintos sistemas.

HDTV Japón recomienda usar una señal de ruido rosa de espectro completo grabada a -18dBrms (es decir 18dB por debajo del pico digital 0 VU) para alinear los niveles de los 5 altavoces principales y para ajustar el *headroom* del estudio.

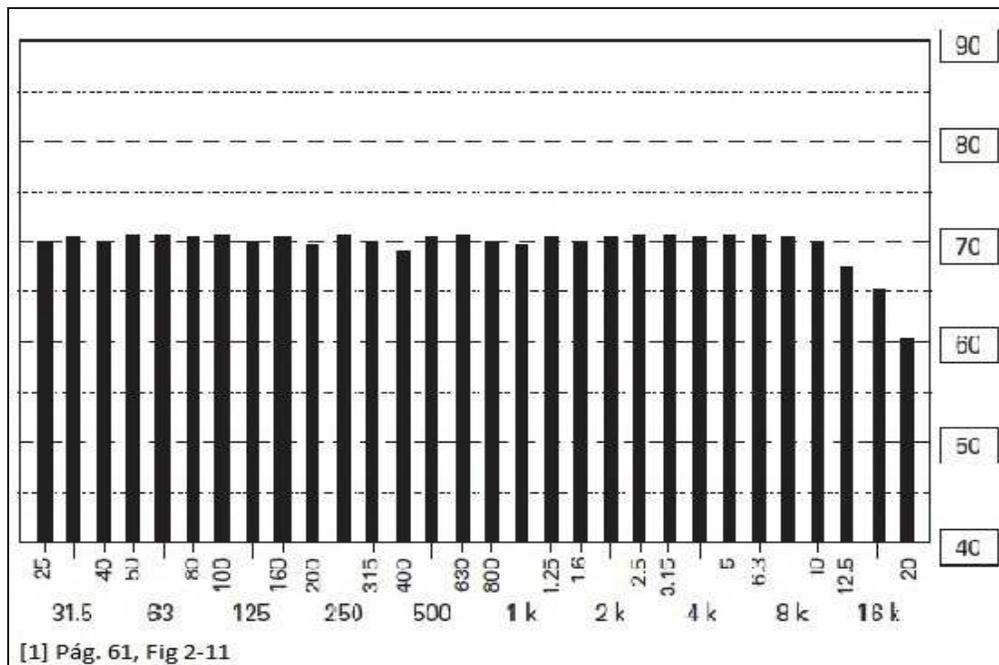
De acuerdo con estos estándares el nivel de cada canal de reproducción debe estar configurado para que en el punto de referencia (centro del círculo) se tenga

$$NPS/canal = 85dBC$$

Este valor de 85dB es el valor medido por un sonómetro en ponderación C, respuesta *slow* y representa el valor de un ruido rosa de banda completa (ruido rosa compuesto por un rango espectral de 20-20kHz dividido en 1/3 de 8vas) reproducido por un altavoz. Por lo tanto se debe regular las 16 bandas de 1/3 de 8va a 71dBC cada una, con un RTA para asegurar una respuesta de frecuencia nivelada.

Por lo tanto el nivel combinado de los 5 canales principales será de 93dBC en el punto de referencia.

Figura 1.13 RTA- Nivel de un Canal con Bass Management



ITU y EBU recomiendan usar ruido rosa de banda completa y con curva de ponderación A, para alinear cada canal principal individualmente a:

$$L_{ref} = 85 - 10 \log n \text{ (dBA)}$$

Donde  $n$  es el número de canales principales. Por lo tanto, si un canal individual tiene un nivel referencial de 78dBA luego los 5 canales principales del sistema multicanal darán como nivel referencial resultante combinado 85dBA. Para comprobar el nivel resultante se debe reproducir en todos los canales a la vez, una señal de ruido rosa *no coherente*, es decir ruido rosa que tenga una relación de fase aleatoria entre canales. Si se usa ruido rosa común (coherente) se obtendrá malos resultados porque esta es una señal principalmente monofónica que al ser reproducida en múltiples canales y sumada acústicamente, tendrá como resultante una respuesta con picos y valles anormales debido a la fase.

Existe otro método de medición, desarrollado por la industria del cine, el cual varía un poco en su procedimiento de medición con respecto a la recomendación ITU y EBU. Esta recomendación dice que para nivelar los canales principales se debe usar ruido rosa de banda limitada entre 500Hz y 2kHz, grabada a -20dBFS. Esta señal debe ser reproducida por los 5 canales para obtener un NPS combinado de 83dBC (slow) en el punto de referencia.

Este nivel de 83dBC resulta un poco más fuerte en términos de sonoridad comparado a los 85dBA de la ITU y EBU, y es comprensible ya que en producciones cinematográficas, los niveles de mezcla son mucho más altos.

Cualquier diferencia de niveles entre canales no debe exceder 1dB y  $\pm 0.25$ dB es lo recomendado.

Dolby recomienda bajar el nivel general en el punto de referencia a 79dBC cuando se mezcla material surround con diálogos para ser reproducidos en ambientes domésticos. Esto hace que inconscientemente el mezclador suba los diálogos un poco más de lo normal, y así serán escuchados más claramente en ambientes domésticos donde generalmente hay mucho ruido de fondo.

Existe un estándar para producciones con target *Film*, el cual establece que los altavoces surround forman un arreglo estéreo, que en conjunto deben dar un NPS de 85dBC. Esto quiere decir que cada uno de los altavoces surround debe estar nivelado a 82dBC, para así obtener un NPS combinado de 85dBC. ( $S=L_s+R_s=85\text{dBC}$  /  $L_s=R_s=82\text{dBC}$ )

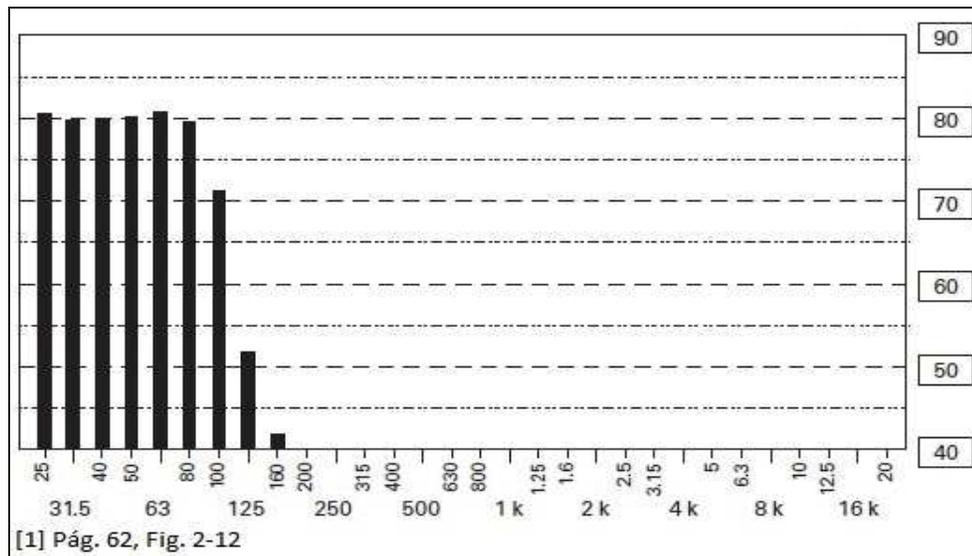
Para producciones con target *DVD-Video* el estándar es nivelar cada uno de los altavoces surround a 85dBC al igual que el resto de canales frontales.

### **1.3.2.2. Nivel del canal LFE**

Este canal está diseñado para estar nivelado +10dB por encima que el resto de canales en reproducción. Esto no significa que la señal total reproducida por el subwoofer debe estar +10dB mayor que el resto de canales, ya que esto hará que incorrectamente se aumente +10dB a toda la información de baja frecuencia ruteada hacia el subwoofer proveniente de los canales principales.

Para medir el NPS del subwoofer se debe reproducir ruido rosa de banda limitada entre 20Hz y la frecuencia de crossover, generalmente ubicada entre 80Hz y 120Hz. Y se la debe nivelar por tercios de octava hasta estar 10dB por encima del resto de canales en este rango de frecuencias entre 20Hz y 120Hz.

Figura 1.14 RTA-Nivel de canal LFE con Bass



Esto quiere decir que si se tiene como objetivo llegar a un NPS total de 85dB en los canales principales, el canal LFE con sus +10dB de ganancia entre 20Hz y 120Hz debe darnos como resultante un nivel total de 89dB y no 95dB como se concluiría con una suma normal.

Esto se debe a que si se obtiene 85dB de una señal de banda completa (20Hz-20kHz), y posteriormente se filtra la señal de 8va, se obtendrá aproximadamente 71dB como NPS de ese rango de 8va en un RTA (Analizador en Tiempo Real). Si se suman el conjunto de bandas de 8va de todo el espectro audible se obtendrá aproximadamente 86dB [71dB+10log(31bandas)] y si se filtra en ponderación C existe -1dB de pérdida de energía, lo que nos da como resultado un NPS de 85dB.<sup>1</sup>

Por lo tanto un ruido rosa que reproduce el canal LFE con un ancho de banda limitado de 20 a 120Hz no tiene la misma sonoridad que un ruido rosa de banda completa, es por esto que al aumentarle +10 dB al LFE desde el nivel

<sup>1</sup> En productos destinados a DVD-Audio o Super Audio CD, donde no se agrega +10dB al nivel de salida del canal LFE y por lo tanto todos los canales tienen el mismo nivel, se podrá medir 79 dB de NPS si se asume que el ancho de banda de reproducción es de 20 – 120Hz.

referencial de 85dBC, no se obtiene 95dBC como normalmente se sumaría, sino que se obtienen 89dBC, que es la representación sonora de un ruido rosa filtrado de 20 a 120Hz.

### 1.3.3. Fase y Ajustes de Delay

Es muy importante que el sonido reproducido por los 5 altavoces principales llegue al tiempo correcto al punto de referencia, para evitar problemas de *Comb Filtering*. Se asume que al colocar los 5 altavoces alrededor de la circunferencia, equidistantes a su centro, se obtiene una igualdad en fase y en tiempo de llegada al centro, pero en la práctica es difícil llegar a este objetivo por simple posicionamiento equidistante al centro, debido a que es difícil ser tan exacto y preciso, por lo que es mejor medir y ajustar la alineación de tiempos de llegada al punto de referencia por medio de delays electrónicos.

Además de la diferencia de distancias a cada altavoz, el tiempo en que el sonido llega al punto de referencia puede ser retrasado ligeramente por componentes propios de los altavoces, como distintos materiales usados, y circuitería interna; es por eso que se recomienda usar altavoces de misma marca y modelo para los canales principales.

La principal ventaja de tener ajustado el tiempo entre los altavoces, está relacionada con la imagen fantasma o fuente virtual que se crea entre los mismos.

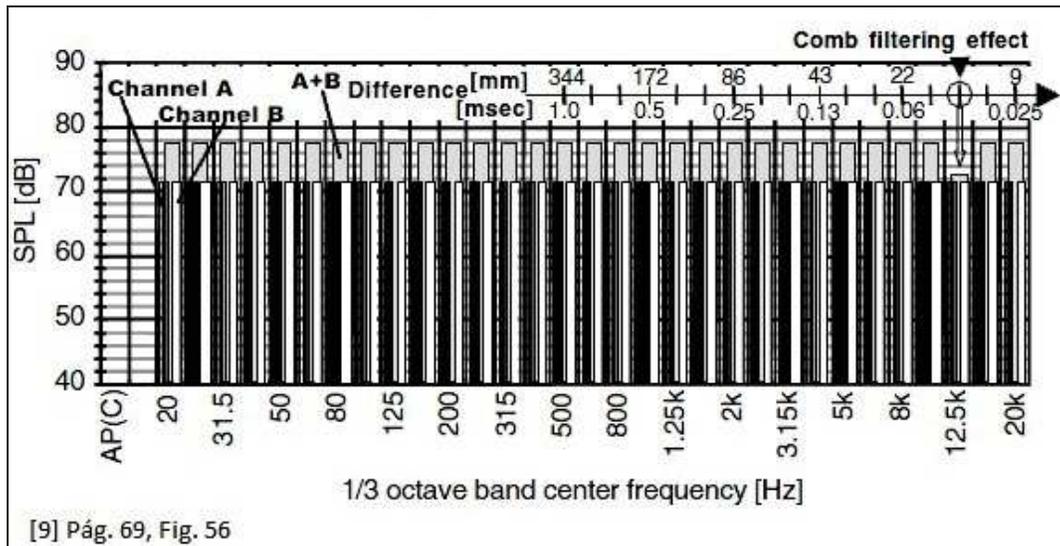
Por ejemplo, si se panea un sonido exactamente a la mitad de camino entre L y C, y sabemos que C se encuentra más cerca de L por limitaciones en espacio, se escuchara el sonido más cerca al centro que en la posición de paneo escogida. Esto hará que en la imagen estéreo (L-C-R), en el instante en que se empieza a panear de L hacia C se sentirá que la fuente sonora se mueve rápidamente hacia el centro y se mantiene ahí todo el paneo hasta el instante en que llega a R. Este fenómeno se debe al efecto de procedencia. El arribo temprano del sonido central tiene procedencia sobre el arribo tardío de L y R.

Como primer paso se debe calcular el tiempo de delay necesario basándose en la diferencia de distancias hacia cada altavoz, por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de Delay (mseg)} = \frac{\text{Diferencia de distancia (mm)}}{344 \left( \frac{\text{m}}{\text{seg}} \right)}$$

Luego se debe medir en el punto de referencia y probar cualquier problema de “Comb Filtering” que pueda ocurrir debido a pequeñas diferencias de tiempo entre canales. El método es reproduciendo ruido rosa de banda completa al mismo tiempo en 2 canales y midiendo con un RTA en bandas de 1/3 de 8va. la respuesta de frecuencia.

Figura 1.15 RTA Comb Filter – Ajuste de fase entre 2 canales



Si se aprecia una caída en alguna banda que no estaba al medir los canales independientes, por ejemplo en 12.5kHz, se presencia un problema de Comb Filtering debido a diferencias en delay entre los dos canales. Esto se traducirá sonoramente en pérdida de frecuencias altas en el punto de referencia. Si no

se presentan caídas de nivel en alguna banda, entre 20Hz y 20kHz significa que los 2 canales están alineados temporalmente con una precisión de 0.025 mseg. (8mm) o mejor.

El ajuste de delays entre canales es importante no solo para corregir la posición correcta de los altavoces, sino también para mantener la respuesta de frecuencia de reproducción, plana en la sala. Por esto es necesario usar equipamiento que permita ajustar delays con una precisión igual o mejor a 0.025 mseg.<sup>2</sup>

Una vez que se ha alineado en fase los canales a un punto de referencia, se ha creado una reproducción de campo sonoro surround concentrada en el punto central (Sweet Spot). Una vez creado este campo sonoro surround concentrado, el radio de cobertura plana se expande, lo que permite que la ubicación correcta del oyente ya no solo se centre en el Sweet Spot, sino que se pueda extender hacia atrás y hacia los lados.

En una sala en la que se aplica Bass Management, los ajustes de delay deben ser aplicados después del Bass Management (altavoces, subwoofer), no antes del Bass Management (canales, buses).

#### **1.4. Formatos de sonido multicanal**

A continuación se exponen los formatos de codificación y compresión más usados en sistemas 5.1, clasificados de acuerdo a su aplicación y formato de destino:

➤ **Film o cinta:**

➤ Codificación 5.1 discreto

- *Dolby DIGITAL (DD)* : compresión Dolby AC-3
  - Nivel=L=C=R ; Ls=Rs= - 3dB (full range)

---

<sup>2</sup> 0.025 mseg = una muestra en 48kHz ó 44.1Hz

- LFE= 20-120Hz ; +10dB en banda
  - *DTS* : compresión APT-X100
    - Igual a DD pero Ls=RS=80-20k Hz
    - LFE=20-80Hz
  - *SDDS* : compresión ATRAC
    - Igual a DD pero soporta codificación 7.1 que añade 2 canales frontales entre L-C y R-C llamados LC y RC (pantallas grandes)
- Codificación 5.0 matriz
  - *Dolby Pro Logic II* : codificación 5-2 Matrix
    - Full Range=L=C=R=Ls=Rs=Nivel
    - No LFE (LFE sumado en L-R)
- **DVD-Video:**
  - Codificación 5.1 discreto
    - *Dolby DIGITAL* : compresión Dolby AC-3
      - Full Range=L=C=R=Ls=Rs=Nivel
      - LFE= 20-120Hz ; +10dB en banda
    - *DTS* : compresión DTS Coherent Acoustic (CA)
      - Igual a DD
  - Codificación 5.0 matriz
    - *Dolby Pro Logic II* : codificación 5-2 Matrix
- **Música:**
  - Codificación 5.1 discreto
    - *DVD-Audio (WG-4)* :
      - Compresión PPCM (96kHz/24bit/6ch)

- LPCM no comprimido (96kHz/16bit/6ch)
- Full Range=L=C=R=Rs=LFE=Nivel
- *Super Audio CD*: compresión DST (Direct Stream Transfer)
  - Igual al DVD-A

➤ **Medios de difusión (broadcast):**

➤ Codificación 5.1 discreto:

- *ISO* : compresión MPEG-2 AAC (Japón)
  - Nivel=L=C=R=Rs=LFE=Full Range
- *Dolby DIGITAL* : compresión Dolby AC-3
  - Igual al DVD-V
- *DTS* : compresión DTS CA

➤ Codificación 5.0 matriz:

- *Dolby Surround*
- *Pro Logic II (x)*
- *Circle Surround*

➤ **Videojuegos:**

➤ Codificación 5.1 discreto

- *Dolby DIGITAL* : compresión Dolby AC-3
  - Igual al DVD-V
- *DTS* : compresión DTS CA

Existen dos métodos de codificación multicanal:

- Método Multi-Bit (PCM, LPCM)
  - $f_s = 44.1$ - 48k Hz/16 bits  $\approx$  96dB de rango dinámico
  - $f_s = 88.2$ - 96k Hz/24 bits  $\approx$  144 dB de rango dinámico

- Método Single-Bit: muestreo de alta velocidad o DSD (Direct Stream Digital) propio de Sony & Phillips para SACD.
  - $f_s = 2.8224 \text{ MHz}$  (Delta-Sigma conversion)  $\approx 120 \text{ dB}$  de rango dinámico.

Existen dos métodos de compresión multicanal:

- Compresión con pérdida (no reversiva)
  - Dolby AC-3, DTS coherent acoustic, ATRAC, MPEG-2(AAC).
  - Film, DVD-Video, videojuegos, medios de difusión
- Compresión sin pérdida (Lossless)
  - MLP (PPCM: Packed PCM), DST (Direct Stream Transfer)
  - DVD-Audio, Super Audio CD

Formatos multicanal sin compresión:

- LPCM (CD, DVD-V, DVD-A)
- Direct Stream Digital o DSD (Super Audio CD)

#### 1.4.1. Circuitos electro-acústicos de procesamiento matricial y Discreta

Figura 1.16 Procesador Matricial 5.0

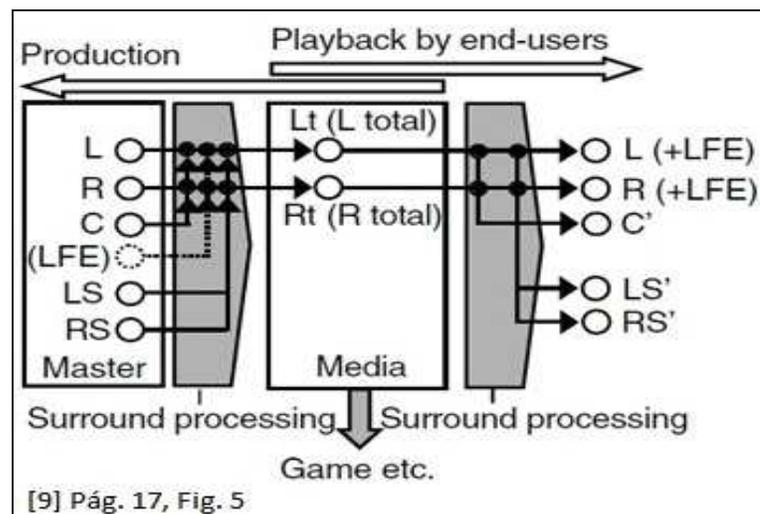
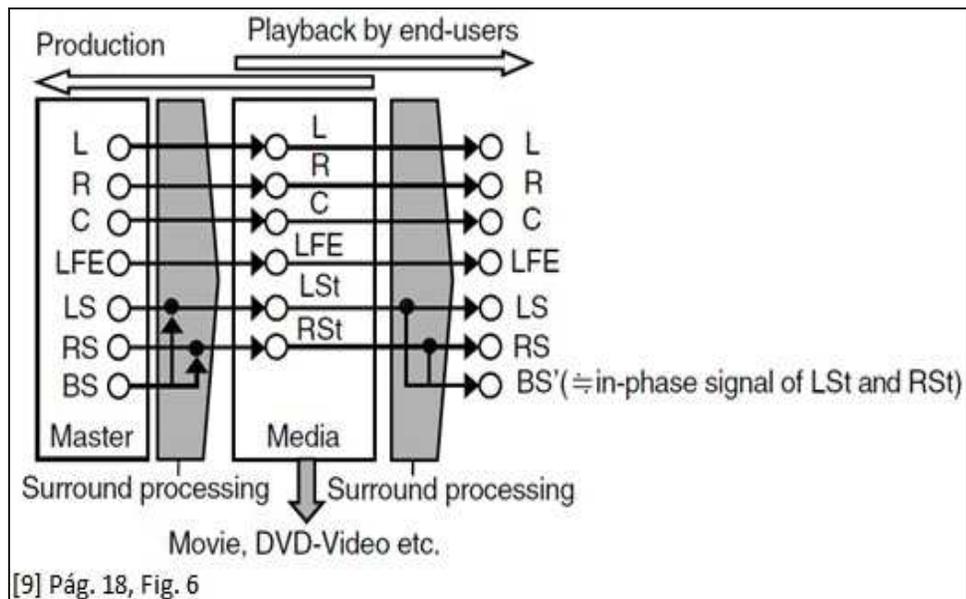
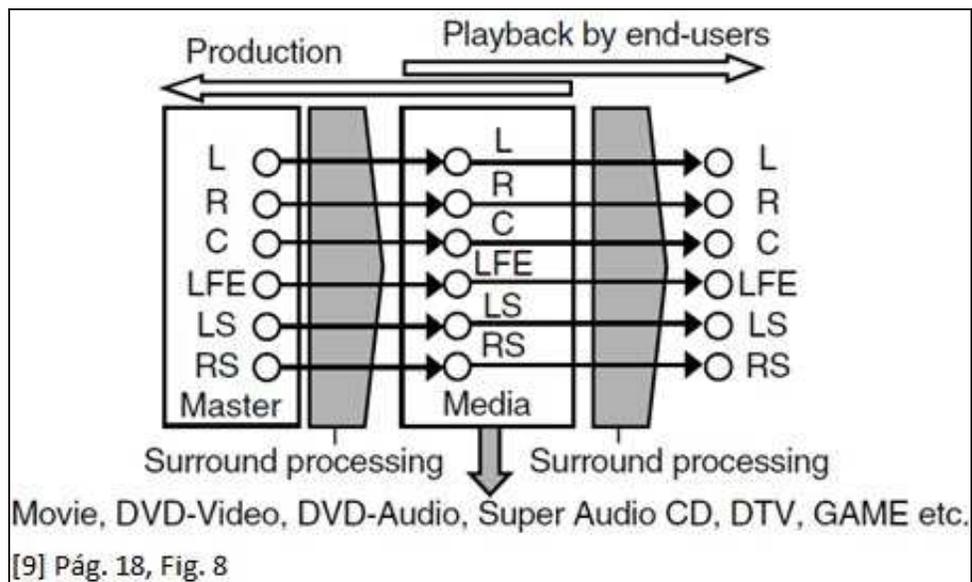


Figura 1.17 Procesador Matricial 6.1



El circuito 6.1 Matrix agrega un canal central posterior Bs y el canal LFE. Lo usan Dolby DIGITAL Surround EX y DTS-ES Matrix

Figura 1.18 Procesador discreto 5.1



### 1.4.2. Down-mixing

Este término se refiere a la posibilidad de que un material multicanal se pueda mezclar en 2 canales estéreo. Esto se debe a que la mayoría de usuarios no tienen un sistema de monitoreo 5.1 instalado en casa y solo poseen el sistema estéreo de sus televisiones. Es necesario transferir la misma banda sonora de formato multicanal a formato estéreo.

Existen 2 formatos para DVD-Video:

- **Lo/Ro downmix:** el algoritmo de “fold-down” contiene información guardada como meta-data en el DVD
- **Lt/Rt downmix:** puede reproducir 3-1, 5.1, 6.1 y 7.1 a partir de los 2 canales Lt/Rt.

Figura 1.19 Lo/Ro Downmix

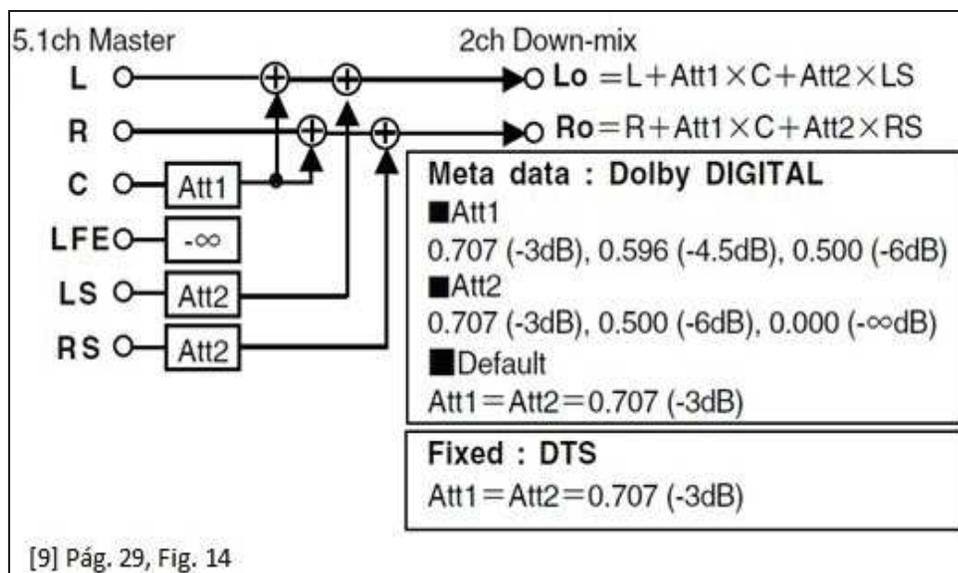
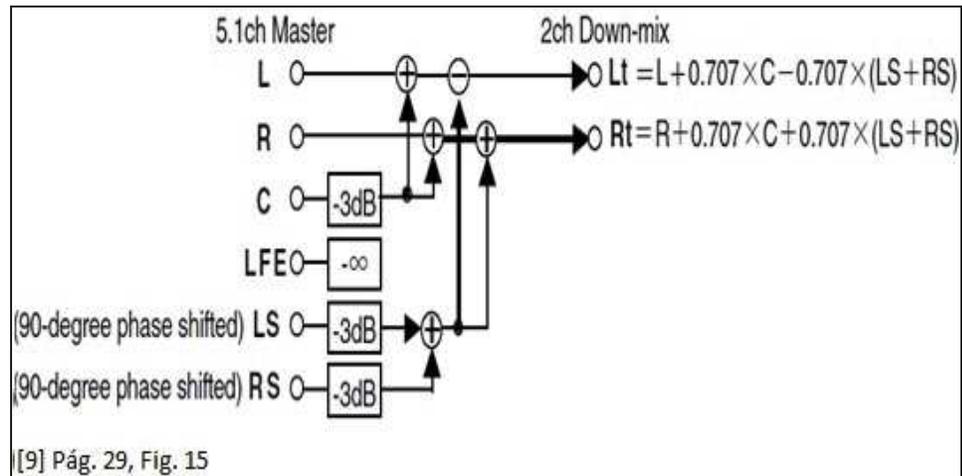


Figura 1.20 Lt/Rt Downmix



### 1.5. Monitoreo de video e iluminación

El video debe ser reproducido por la pantalla de TV que se disponga, mínimo recomendado de 42" HDTV LCD o Plasma.

La iluminación interior debe ser bastante oscura para poder proyectar la imagen nítidamente. Los revestimientos internos deben ser de color oscuro para así no tener ningún rebote de luz hacia la pantalla de video.

Se pueden tener lámparas en la parte posterior de la sala, direccionadas hacia atrás, para asegurar que no haya reflexiones de luz hacia la parte frontal, donde se encuentra la pantalla.

### 1.6. Especificaciones técnicas de los altavoces

Los monitores de estudio JBL LSR6325P-1, con su bajo costo y alto rendimiento, cumplen con todas los requerimientos técnicos que exige la norma ITU-1116, por lo están aprobados para uso multicanal y diseño de estudios certificados THX pm3 (Anexo 2)

Tabla 1.1: Especificaciones técnicas de altavoces

JBL aprobados por ITU.

<b>Especificaciones: JBL - LSR6325P-1 - Linear Spatial Reference Bi-Amplified Studio Monitor</b>		
Respuesta de Frecuencia (+1, -2 dB):	70 Hz - 20 kHz	
Frecuencia de resonancia de la caja	55 Hz	
Extensión de Baja Frecuencia:		
-3 dB:	65 Hz	
-6 dB:	56 Hz	
-10 dB:	48 Hz	
Bajos - Altos Crossover:	2.3 kHz	4th-order Electroacoustic Linkwitz-Riley
Indice de Directividad	± 30° horizontal y ± 15°	Ver la Figura 3.1
THD, 96 dB SPL, 1 m:		
Medio-Alto (150 Hz - 20 kHz):		
	2nd Harmonic:	<0.5%
	3rd Harmonic:	<0.5%
Bajos (<150 Hz):		
	2nd Harmonic:	<2%
	3rd Harmonic:	<3%
NPS Máximo RMS (90 Hz - 20 kHz):	>106 dB SPL / 1m	
NPS Máximo Peak (90 Hz - 20 kHz):	>109 dB SPL / 1m	
Sensibilidad de entrada calibrada:		
	XLR, +4 dBu:	96 dB SPL / 1 m
	RCA, -10 dBV:	96 dB SPL / 1 m
Voltaje de entrada AC:	115 /230 VAC, 50/60 Hz (seleccionable)	
Nivel de Ruido Inherente:	<10 dBA / 1 m	
Control de altas frecuencias (3 kHz -	+1.5 dB, 0 dB, -1.5	
Low Frequency Acoustic Alignment:	36 dB/Octave Butterworth bi-pass at 40	
	36 dB/Octave Bessel hi-pass at 80 Hz	(para uso con Subwoofer)
Ganancia de entrada:	0 - 26 dB	
Señal de entrada:	XLR, Balanceada	
	RCA, desbalanceada	Positive voltage applied to XLR Pin 2 (RCA tip) produces outward woofer motion.
Diámetro del woofer:	134 mm (5.25 in)	
Impedancia nominal:	8 ohm	
<b>Diámetro del Tweeter:</b>	25 mm (1 in) diaphragm	
Impedancia nominal:	4 ohms	
Peso Neto:	7.7 kg (17 lb)	
Dimensiones (WxHxD):	17.3 x 26.9 x 24.1 cm	

## CAPITULO II

### 2.1 Recomendaciones acústicas para una sala con monitoreo multicanal

#### 2.1.1 Geometría

- Diseñar las dimensiones de la sala basándose en la siguiente proporción:

$$(\text{altura}(h) : \text{ancho}(w) : \text{Largo}(l)) = (1 : 0.9-2.3 : 2.24-2.8)$$

Esta proporción supone una razonable distribución uniforme de los modos de vibración en baja frecuencia, propios de la sala.

- Cumplir con las siguientes restricciones:

$$1.1 * w/h \leq l/h \leq 4.5 * (w/h) - 4$$

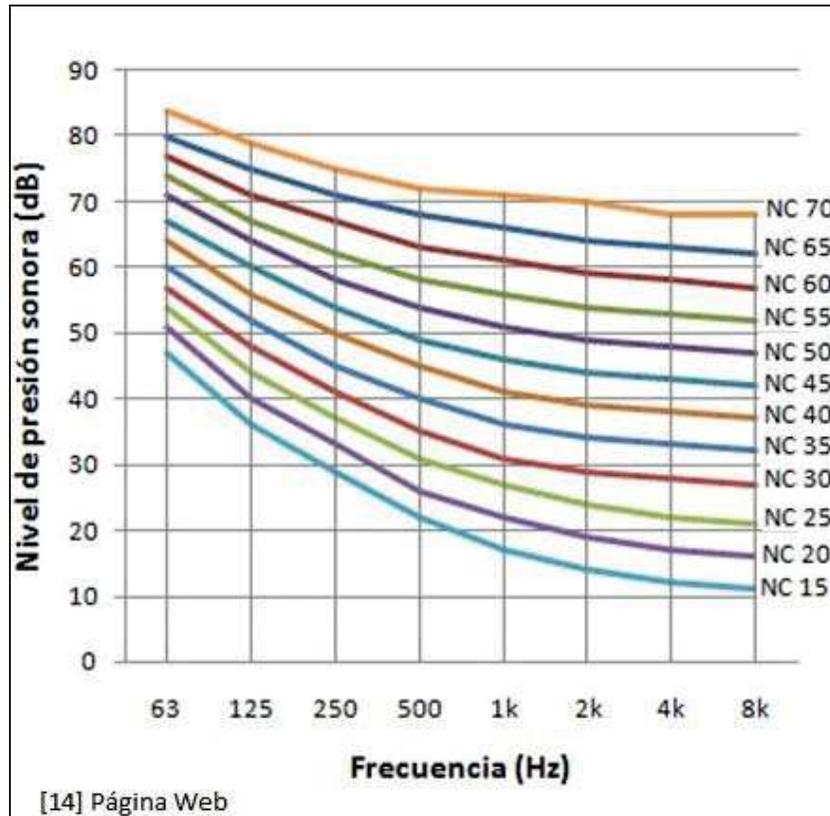
Además

$$l/h < 3 \text{ y } w/h < 3.$$

#### 2.1.2 Aislamiento

- Diseñar la sala proyectando un aislamiento que cumpla con la curva isofónica NC-20 (USA) o NR-18 (Europa) como máximo. (Figura 3.1)
- El ruido de fondo con todo el equipamiento prendido y listo para operar, no debe exceder un NPS de 25 dBA.
- Aislar el ruido de ventilación para cumplir un ruido de fondo entre NC-15 y NC-20.
- Se recomienda que los dampers o amortiguadores de aire, estén mínimo a 4 m sobre el piso.

Figura 2.1 Las Curvas NC



### 2.1.3 Acondicionamiento

- Acondicionar acústicamente la sala para alcanzar el Tiempo de Reverberación ( $T_m$ ) necesario (entre 0.2 y 0.4 segundos) basándose en la fórmula:

$$T_m (\text{seg}) = 0.25 \times \left(\frac{V}{V_o}\right)^{1/3}$$

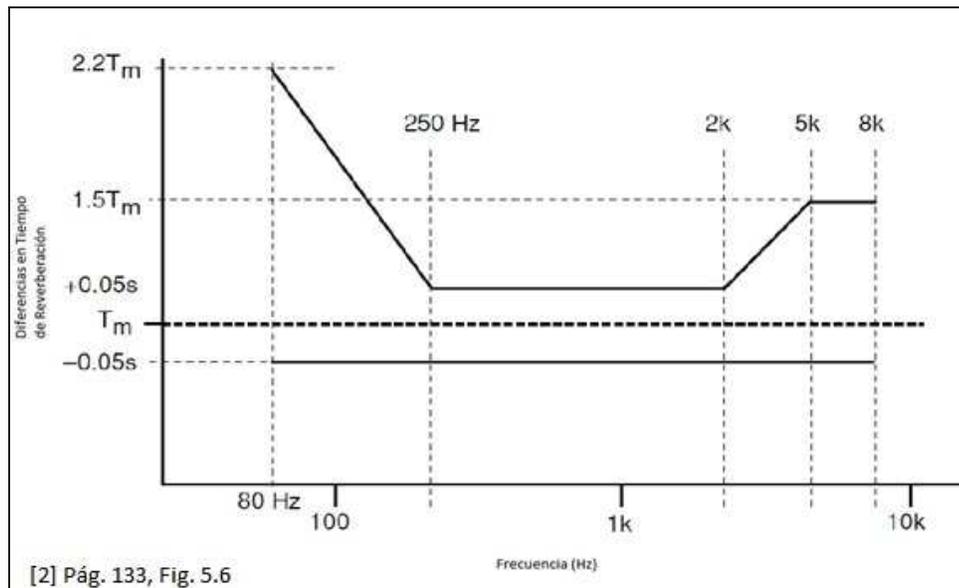
Donde:  $T_m$  = Tiempo - Valor nominal entre 250 y 2k Hz (seg)

$V$  = Volumen de la sala ( $m^3$ )

$V_o = 100 m^3$  (Volumen Referencial)

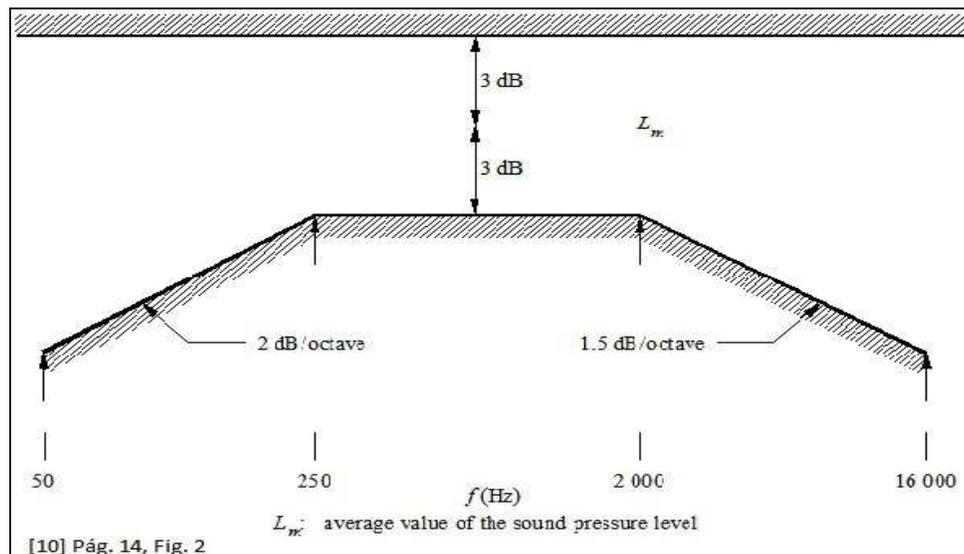
Además que  $T_m$  se encuentre dentro de las restricciones de la Figura 2.2

Figura 2.2 AES-Limites del Tiempo de Reverberación



- Conseguir una atenuación de -10dB en las primeras reflexiones (primeros 15 msec, en el rango de 1k - 8k Hz) en la posición de escucha.
- Calibrar el sistema y la acústica de la sala para obtener una respuesta de frecuencia en la posición de referencia, de acuerdo a los siguientes límites:

Figura 2.3 ITU- Límites de respuesta operacional de la sala



### 3 CAPITULO III

#### 3.1 Diseño

Se propone un diseño basado en las recomendaciones tratadas anteriormente en los capítulos 1 y 2, y en la siguiente tabla donde se muestra un resumen de las recomendaciones para el diseño de una sala con monitoreo multicanal 5.1.

Tabla 3.1 – Recomendaciones para salas con monitoreo 5.1  
(Asociación HDTV Japón)

Recomendaciones para salas con monitoreo 5.1		
	Sala Pequeña	Sala Mediana
<b>SALA</b>		
Area del piso (m <sup>2</sup> )	50 ±20	100 ±30
Volumen (m <sup>3</sup> )	≥ 80	≥ 200
Forma	Evitar superficies paralelas	
Altura (m)	entre 3 y 4	entre 4 y 6
Acabados interiores	Absorción, difusión y reflexión simétrica y uniforme	
<b>ACÚSTICA</b>		
Tiempo de Reverberación (seg)	0,2 ±0,05 @ 500 Hz	0,3 ±0,1 @ 500 Hz
Coefficiente de absorcion medio ( $\bar{\alpha}$ )	0,4 - 0,6 @ 500 Hz	
Características de Reverberación	(Ver Figura 2.2)	
Respuesta de Frecuencia @ Sweet Spot	± 3dB entre 125 - 4k Hz en bandas de 8va. (Ver Figura 2.3)	
<b>POSICIÓN DE ALTAVOCES</b>		
	Empotrados en las paredes o parados libremente en pedestales	
Altura (m)	1,2 - 2	
Distancia a las superficies internas (m)	≥ 1	
Distancia entre altavoces principales y el punto de referencia = radio del circulo (m)	entre 2 y 4 metros	
Angulación Horizontal (Referencia C = 0° )		
Frontal (L-R)	± 30°	
Posteriores (SL - SR)	± (120 ±10)	
Niveles de Monitoreo por cada canal medido con Ruido Rosa @ -18 dBFS	85 ±2 dBC para altavoces grandes	
	80 ±2 dBC para altavoces medianos	
	78 ±2 dBC para altavoces pequeños	

[2] Pág. 134-135, Tabla 5.4

### 3.1.1 Dimensiones y Geometría

A partir de la Tabla 2 se puede proceder a dar dimensiones a nuestra circunferencia y a nuestra sala. Se empezara el diseño de la sala desde su interior hacia el exterior, es decir, armando el sistema 5.1 y a partir de su centro acústico (punto de referencia), diseñar la sala simétricamente.

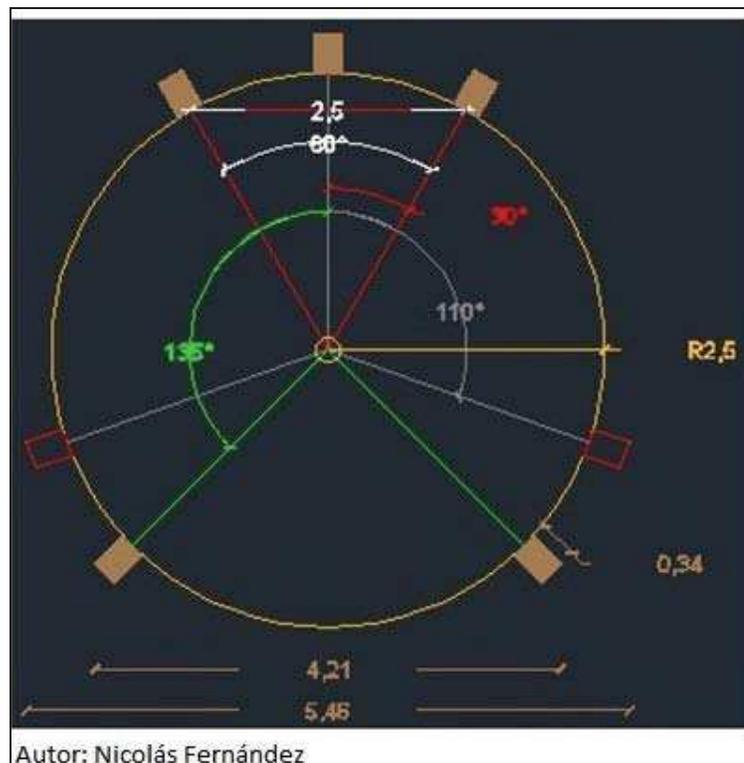
Se debe diseñar la sala simétricamente a partir del eje 0° del altavoz central.

Tomando como radio de circunferencia y distancia parlantes-punto de referencia:

$$r = 2.5 \text{ m. ; Diámetro} = 5 \text{ m}$$

y tomando como eje central de la sala, el punto de referencia (centro del círculo), se pueden empezar a dar valores dimensionales para satisfacer los requerimientos de ITU-1116.

Figura 3.1 AutoCAD – Posicionamiento de altavoces



Sabiendo que se van a utilizar los altavoces parados libremente sobre pedestales, por razones de presupuesto, se debe tomar en cuenta que los altavoces deben estar mínimo a 1 m. de distancia de las paredes que los rodean. Por lo tanto, a los 5.46 m. de distancia máxima del sistema 5.1 ( $\pm 110^\circ$ ) tomando 34 cm como el espesor del altavoz, se le deben sumar 2 m. (1 m. por lado), lo que nos dará el valor de dimensión mínima del ancho de la sala  $W = 7.46$  m. Se concluye en que la altura de la sala será  $H = 3.25$  m.

Debemos verificar que las dimensiones de la sala cumplan las restricciones de geometría en 2.1.1:

- ✓  $(H) : (W) : (L) = (1) : (0.9-2.3) : (2.24-2.8)$
- ✓  $1.1 * W/H \leq L/H \leq 4.5 * (W/H) - 4$
- ✓  $L/H < 3 ; W/H < 3.$

Tenemos que:

$$H = 3.25 \text{ m. y } W = 7.46 \text{ m}$$

Se puede ver que la proporción máxima para cumplir se encuentra justo en el límite superior de **W**, al multiplicar

$$H=3.25 * 2.3 = 7.475 \text{ m. es el espesor máximo recomendado}$$

Por lo tanto el valor **W** escogido anteriormente se encuentra dentro de esa proporción y cumple la restricción.

Ahora se da un valor a  $L = 8.5$  m. y se comprueba si se encuentra dentro del rango permitido para **L** según las restricciones.

$$3.25 \times 2.8 = 9.10 \text{ m. es la longitud máxima recomendada.}$$

Por lo tanto el valor **L** escogido anteriormente se encuentra dentro de esa proporción y cumple la restricción.

Recapitulando tenemos las siguientes dimensiones de la sala:

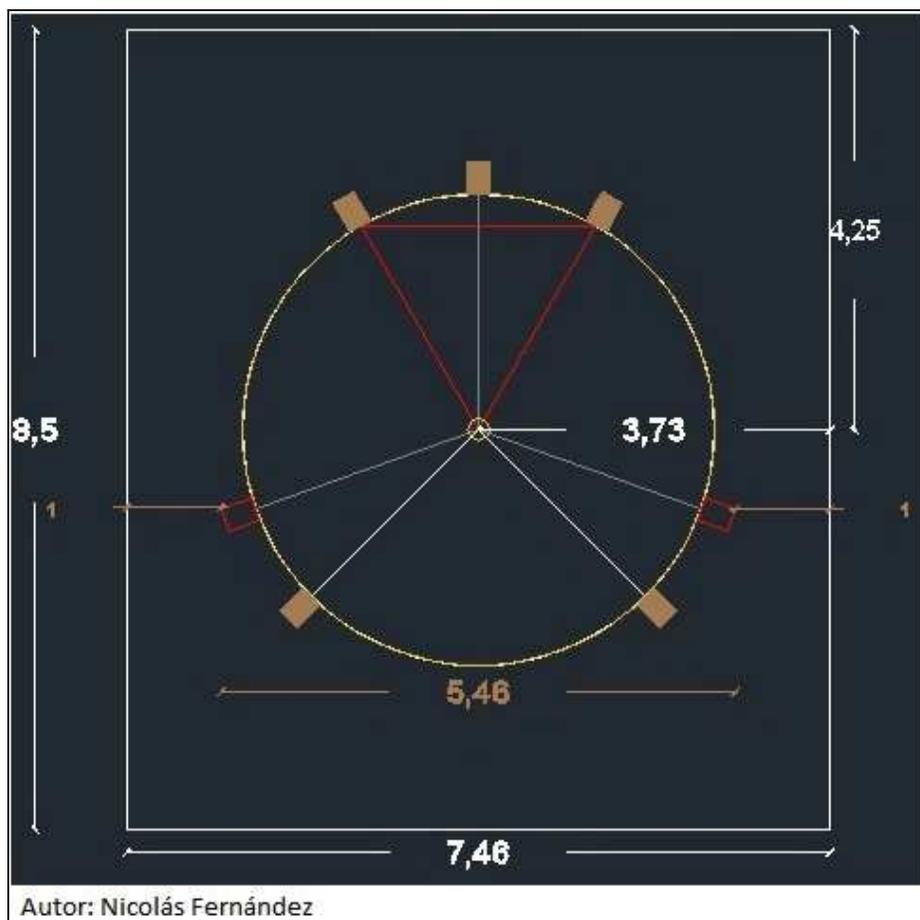
$$H = 3.25 \text{ m.} ; \quad W = 7.46 \text{ m.} ; \quad L = 8.5 \text{ m.}$$

Simétricamente distribuidas a partir del centro acústico del sistema 5.1.

Además cumplen con las otras restricciones:

- ✓  $2.5 \leq 2.6 \leq 6.3$
- ✓  $2.83 < 3 ; 2.48 < 3$

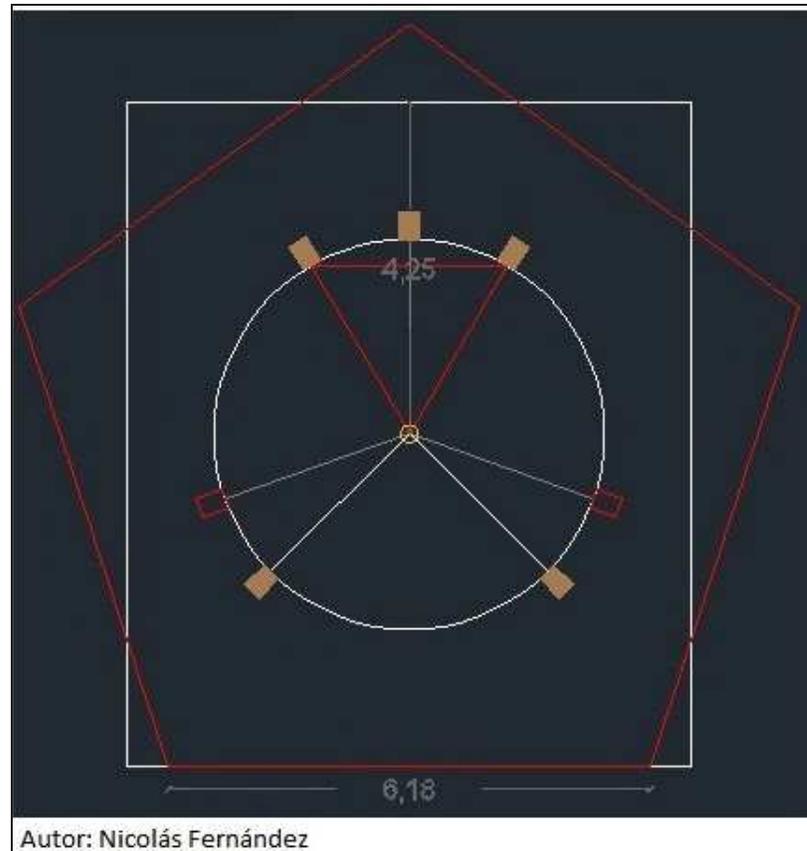
Figura 3.2 AutoCAD – Dimensiones mínimas de la sala



Ahora tenemos nuestras dimensiones correctas ya que cumplen con los requisitos dimensionales.

Se decide modificar la geometría de la sala para evitar superficies paralelas, por lo que se generó un pentágono centrado en el punto de referencia de nuestro sistema, para así obtener una geometría resultante entre el rectángulo y el pentágono. Se escogió un pentágono por su similitud con un sistema 5.1 en el número de lados simétricos a su centro.

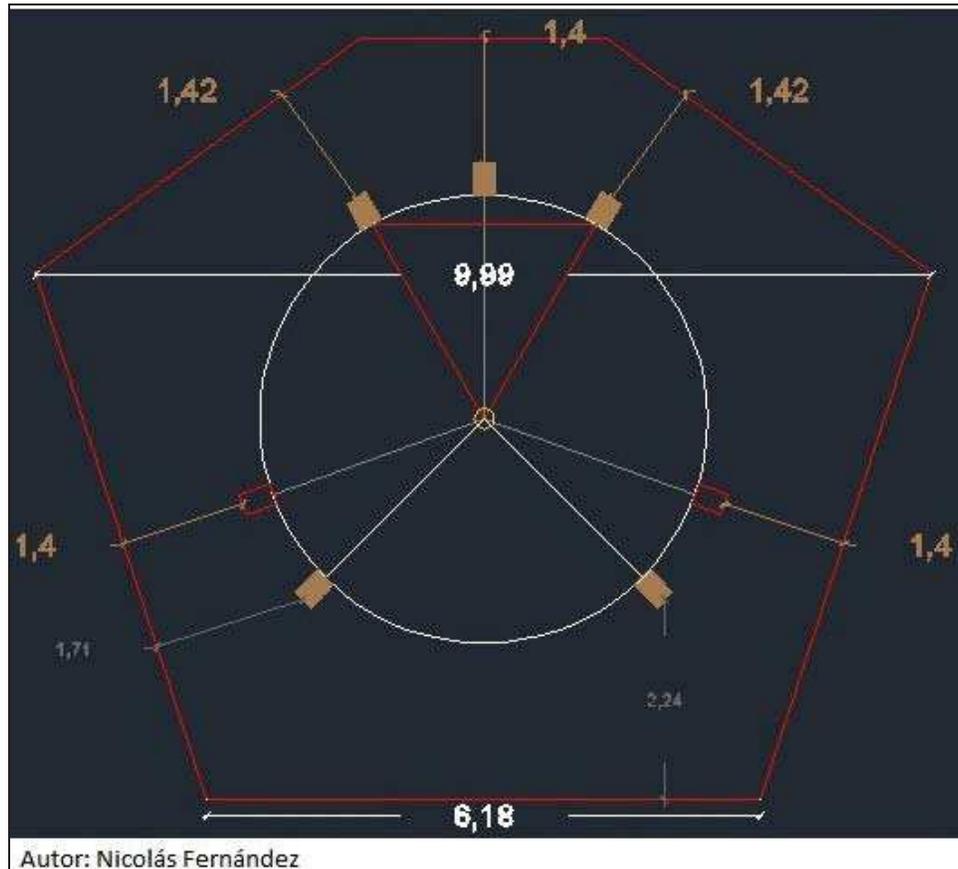
**Figura 3.3 AutoCAD- Superposición del pentágono**



Normalmente se diseñan salas con geometrías rectangulares por su facilidad en predecir comportamientos en modos normales y en baja frecuencia, pero se ha decidido experimentar con una nueva geometría que propone una forma resultante entre un rectángulo y un pentágono, como lo muestra la Figura 3.4.

Se mantendrán los valores de Largo y Alto anteriores, pero el ancho será modificado por las medidas del pentágono resultante.

Figura 3.4 AutoCAD- Sala resultante hexagonal



Esta geometría hexagonal es la resultante, y nos da unas proporciones nuevas que son simétricas al centro, y que nos permiten acondicionar simétricamente la sala hacia el interior, con la posibilidad de colocar paneles absorbentes y difusores de 40 cm. de espesor, sin romper la regla de que debe haber 1 m. de distancia entre los altavoces y las superficies que los rodean.

El área o superficie de esta figura es de  $64.23 \text{ m}^2$  lo que nos da un Volumen de  $208.75 \text{ m}^3$ .

### 3.1.2 Acondicionamiento

Por lo tanto se deberán diseñar paneles absorbentes de 40cm de espesor, con 4 placas de lana de vidrio rígida de 10 cm. cada una, apiladas

paralelamente para formar un espesor de 40cm. de lana de vidrio que se sostendrá con marcos de madera que serán colocados en todas las paredes de la sala.

Para encontrar la frecuencia desde la cual empieza a absorber nuestro panel sabemos que:

$$W_p = 0.4(m) = \frac{\lambda}{4} \quad \text{y} \quad \lambda = \frac{c}{F_p}$$

$$F_p = \frac{c}{4W_p} = \frac{344 \left(\frac{m}{s}\right)}{4 \times (0.4)}$$

Por lo tanto:

$F_p = 215 \text{ Hz}$  (frecuencia desde la cual empieza a absorber el panel de 40 cm.)

Además se diseño un difusor QRD unidimensional que tenga como altura máxima 40 cm.

$$S_n = n^2 \text{ mod } p \quad \rightarrow \text{QRD unidim}$$

Se obtiene la secuencia:

n=0:(p-1)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
p = 19	0	1	4	9	16	6	17	11	7	5	5	7	11	17	6	16	9	4	1

$$f_{\text{máx}} = 2^3 f_0 \text{ (3 octavas)}$$

$$W = \frac{c}{2f_{\text{máx}}} - T \quad [m]; \quad W_i = W_p$$

$$W_i = W \times p \quad \rightarrow \text{sin divisores}$$

Donde:

n: N° enteros que van desde 0 a (p-1)

p: número primo = 19

$S_n$ : elemento de secuencia

$c$ : velocidad del sonido en el aire 344 [m/s]

$T$ : ancho del divisor [m] ( $0.1W \leq T \leq 0.15W$ )

$W$ : ancho de la ranura [m]

$W_t$ : ancho de una secuencia [m]

$f_0$ : frecuencia de diseño [Hz]

$d_{sn}$ : Altura máxima de las ranura  $S_{17} = 0.4$  m.

$$d_{sn} = 0.4 = \frac{S_n c}{2 p f_0} [m]$$

Despejando:

$$f_0 = \frac{S_n c}{2 p * 0.4} [m]$$

Por lo tanto:

$$f_0 = \frac{17 \times 344}{2 \times 10 \times 0.4} = 384.7 \approx 385 \text{ Hz}$$

$f_0 = 385 \text{ Hz}$  (frecuencia a partir de la cual empieza a difundir el QRD)

Se obtiene:

$$f_{\text{máx}} = 3.08k \text{ Hz}$$

$$W = 5.6 \text{ cm. (sin divisor)}$$

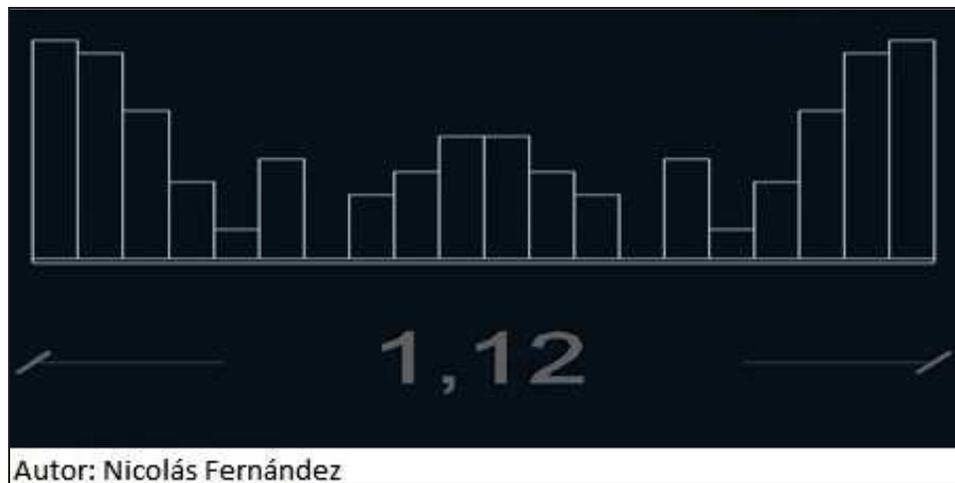
$$W_t = 1.06 \text{ m}$$

Sn	Sn inverso	dSn (cm)
0	17	d0 = 40
1	16	d1 = 37,5
4	11	d4 = 26
5	9	d5 = 21
6	7	d6 = 16,5
7	6	d7 = 14
9	5	d9 = 12
11	4	d11= 9,5
16	1	d16= 2,5
17	0	d17= 0

Para obtener un QRD simétrico se debe usar  $p+1$  lo que nos dará un

$$W_t = 1.12 \text{ m.}$$

Figura 3.5 AutoCAD – Difusor QRD



Autor: Nicolás Fernández

Para expandir el rango de frecuencias de difusión, se diseña un difusor fractal que se colocara encima de cada ranura del QRD:

$$P' = 7$$

$$W' = \frac{W(m)}{p'+1} = \frac{0.056}{8} = 7\text{mm.} = 7 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

Por lo tanto:

$$f_{\text{máx}} = \frac{c}{2 \times W'} = \frac{344}{2 \times (7 \times 10^{-3})}$$

$$f_{\text{máx}} = 24.6 \text{ k Hz}$$

$$f_o = \frac{f_{\text{máx}}}{\lambda} = \frac{24.6 \text{ k}}{\lambda} = 3.07 \text{ k Hz}$$

Se genera la secuencia:

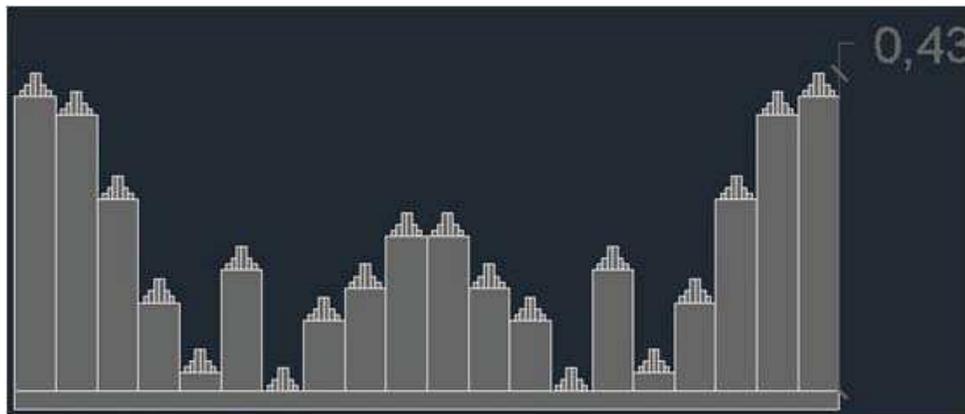
n=0 : p'	0	1	2	3	4	5	6	7
p' = 7	0	1	4	2	2	4	1	0

Sn	Sn inverso	dSn (cm)
0	4	d0 = 3,2
1	2	d1 = 1,6
2	1	d2 = 8mm
4	0	d4 = 0

Se usa p'+1 para que sea simétrica la secuencia del fractal con respecto a W.

Se colocará el fractal después de los 40 cm de cada  $d_{sn}$  del QRD, lo cual hará que la altura total de la secuencia más alta ya no sea de 40 cm. sino de 43.2 cm.

Figura 3.6 AutoCAD – Difusor QRD con Fractal

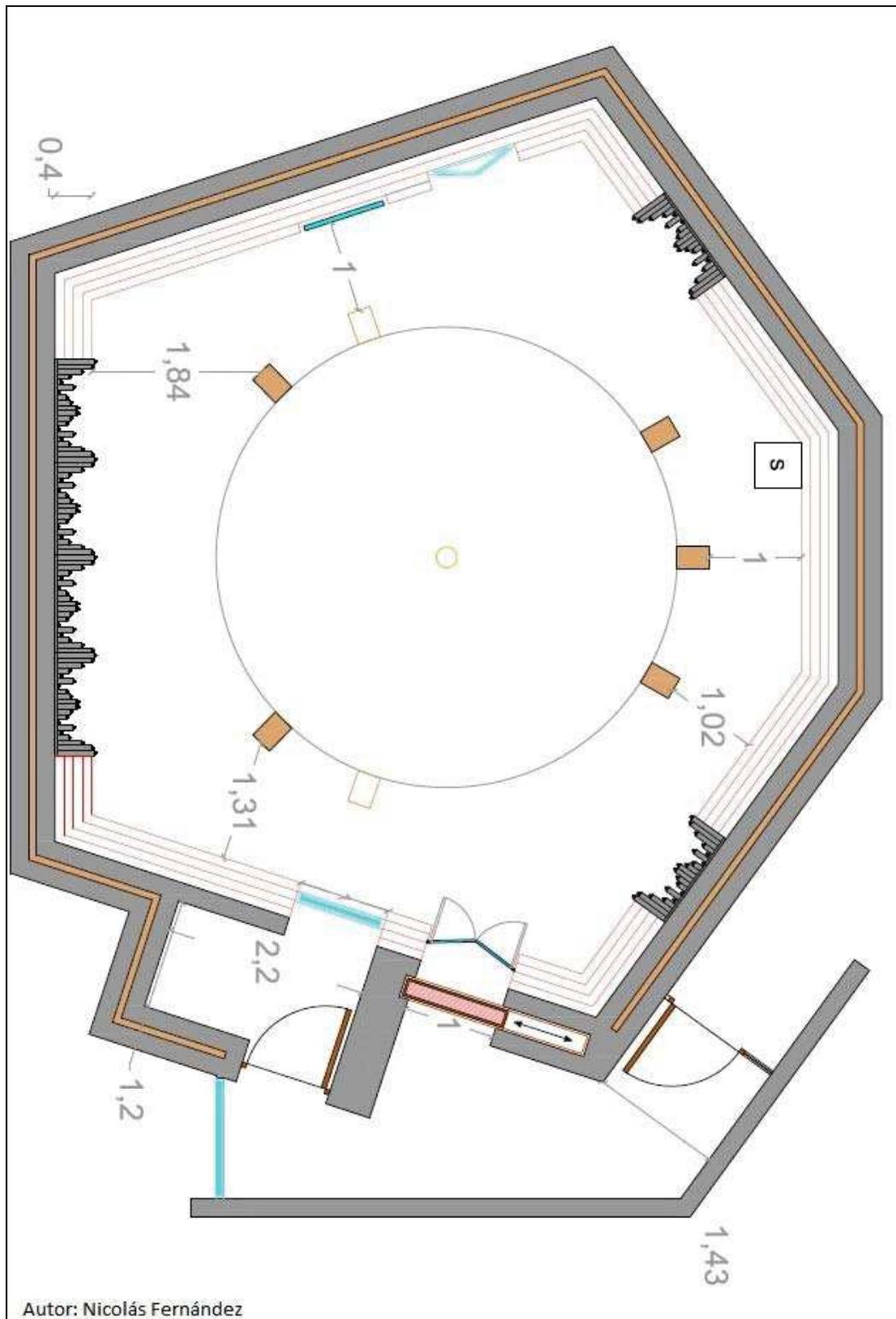


Autor: Nicolás Fernández

Esta diferencia de alturas bajara la frecuencia resultante del QRD, a  $f_{0 \text{ resultante}} = 356$  Hz pero, la frecuencia de difusión óptima del QRD seguirá siendo  $f_0 = 385$  Hz.

Por lo tanto la sala, después de implementar los paneles absorbentes y los difusores en el interior, se verá como en el siguiente plano: (Fig. 3.7)

Figura 3.7 AutoCAD - Plano de sala acondicionada  
acústicamente



La distribución de los difusores y los paneles reflectantes triangulares es simétrica desde el eje central del altavoz C, lo que asegura una difusión simétrica y uniforme alrededor del punto de referencia.

Las frecuencias modales propias de la sala exigen un tratamiento acústico, ya que se generan resonancias en bajas frecuencias. En este caso se diseñaron resonadores tipo mata esquinas para poder absorber estas resonancias tabuladas en la *Tabla 3.2*.

$$f_1 = \frac{c/2}{l; w; h}$$

f1 = modo axial [Hz]

C = 344 m/s

**Tabla 3.2: Modos axiales propios de la sala**

<b>Dimensiones de la Sala Poligon = 8,5 x 10 x 3,25</b>			
<b>Resonancias en Modos Axiales (Hz)</b>			
	<b>Largo = 8,5 ; f1=172/l</b>	<b>Ancho=10 ; f1=172/w</b>	<b>Altura=3,25 ; f1=172/h</b>
f1	20,2	17,2	52,9
f2	40,5	34,4	105,8
f3	60,7	51,6	158,8
f4	80,9	68,8	211,7
f5	101,2	86,0	264,6
f6	121,4	103,2	317,5
f7	141,6	120,4	
f8	161,9	137,6	
f9	182,1	154,8	
f10	202,4	172,0	
f11	222,6	189,2	
f12	242,8	206,4	
f13	263,1	223,6	
f14	283,3	240,8	
f15	303,5	258,0	
f16		275,2	
f17		292,4	
f18		309,6	

Elaborado por: Autor

Ya que la sala por su geometría no tiene un ancho constante, se ha tomado el valor de  $W$  (ancho) más grande de la sala ya que ese valor representa las resonancias más bajas que puede llegar a tener la sala.

Tabla 3.3: Problemas de resonancias en la sala

<i>Ordenados en orden ascendente (Hz)</i>	<i>Rango diferencial (Hz)</i>	
17.2	3.0	
20.2	14.2	
34.4	6.1	
40.5	11.1	
51.6	1.3	problema
52.9	7.8	
60.7	8.1	
68.8	12.1	
80.9	5.1	
86.0	15.2	
101.2	2.0	problema
103.2	2.6	
105.8	14.6	
120.4	1.0	
121.4	16.2	
137.6	4.0	
141.6	13.2	
154.8	4.0	
158.8	3.1	
161.9	10.1	
172.0	10.1	
182.1	7.1	
189.2	13.2	
202.4	4.0	
206.4	5.3	
211.7	10.9	
222.6	1.0	problema
223.6	17.2	
240.8	2.0	
242.8	15.2	
258.0	5.1	
263.1	1.6	problema
264.6	10.6	
275.2	8.1	
283.3	9.1	
292.4	11.1	
303.5	6.1	
309.6	7.9	
317.5		

Elaborado por: Autor

Se puede observar en la Tabla 3.3, que la sala tiene problemas de resonancia en la banda de 51.6 Hz, ya que tiene dos modos axiales casi superpuestos, con una diferencia de 1.3 Hz, la cual es muy pequeña, lo que representa una resonancia en ese rango de frecuencias tan pequeño.

Además existe un problema parecido una 8va. más arriba, en el rango de 102 Hz. Esto hace vital diseñar un resonador sintonizado en la frecuencia más baja de la 8va. es decir en 51 Hz para que así asegure una absorción en su siguiente 8va. es decir 102 Hz.

El resto de problemas en frecuencias más altas no son de preocupación ya que el panel absorbente de 40cm. contiene absorción desde 215 Hz en adelante, lo que hace innecesario diseñar un resonador para estas frecuencias mayores a 215 Hz.

Por lo tanto el diseño del mata esquinas se centrará en:

$$f_0 = 51 \text{ Hz}$$

$$\lambda = 6.745 \text{ m.}$$

$$V; l \leq 42.2 \text{ cm.}$$

$$7\text{mm} \leq a \leq 19.6 \text{ cm}$$

$$\text{Sea: } l = 25 \text{ cm.}$$

$$a = 1 \text{ cm}$$

$$M_a = 1003 \text{ (m}^5/\text{N)}$$

$$C_a = 9.71 \times 10^{-9} \text{ (Kg/m}^4\text{)}$$

$$V = 1.36 \text{ mm}^3$$

$$\text{Sea: } H = B = 25 \text{ cm.}$$

$$h = 4.3 \text{ cm}$$

$$d = 13.2 \text{ cm}$$

Se obtiene una absorción máxima  $A_{max} = \lambda^2/4 \cdot \pi = 3.62$  (m<sup>2</sup> Sabine), y lo recomendado es tener una absorción mínima de 10 m<sup>2</sup> Sabine en total, por lo que se recomienda instalar 4 mata esquinas en la sala, para obtener una absorción  $\geq 10$  m<sup>2</sup> Sabine. Se diseñó una caja contenedora con los 4 mata esquinas en el interior.

$$4 \cdot A_{max} = 14.5 \text{ m}^2 \text{ Sabine.}$$

A continuación se presenta la sala modelada en 3D, con el diseño del techo y la instalación de los mata esquinas entre el techo y la pared trasera.

Figura 3.8 SketchUp 3D – Corte lateral



El techo tiene una forma piramidal convexa, lo que rompe paralelismo con el piso y hace que las reflexiones sean desviadas fuera del punto de referencia, hacia los extremos que lo rodean. En su punto más bajo (punta del techo) tiene

3 m. y en su punto más alto 3.25 m. de altura. El techo exterior está a 4 m. de altura.

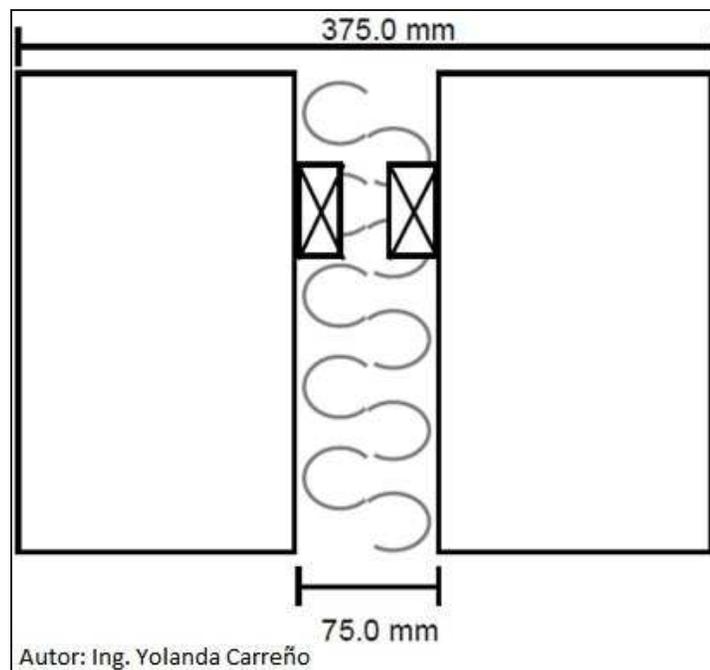
Además se puede apreciar las alturas de cada uno de los difusores y reflectores dentro de la sala, siendo simétrico entre derecha e izquierda.

### 3.1.3 Aislamiento

Además se presenta el diseño de de los muros, para obtener un NC-20 dentro de la sala. Se han instalado paredes dobles de hormigón en masa (de 15cm de espesor cada una) que tienen una densidad superficial  $m= 351\text{Kg}/\text{m}^2$  con cámara de 3" (7.5cm), con doble fijación de madera separados 60cm, rellena de fibra de vidrio de  $10\text{kg}/\text{m}^3$  lo cual asegura un ruido de fondo que se alinea entre NC-20 y NC-15.

Curva \ Frecuencia	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
NC 15	47	36	29	22	17	14	12	11
NC 20	51	40	33	26	22	19	17	16

Figura 3.9 Insul – Dimensión de muros laterales



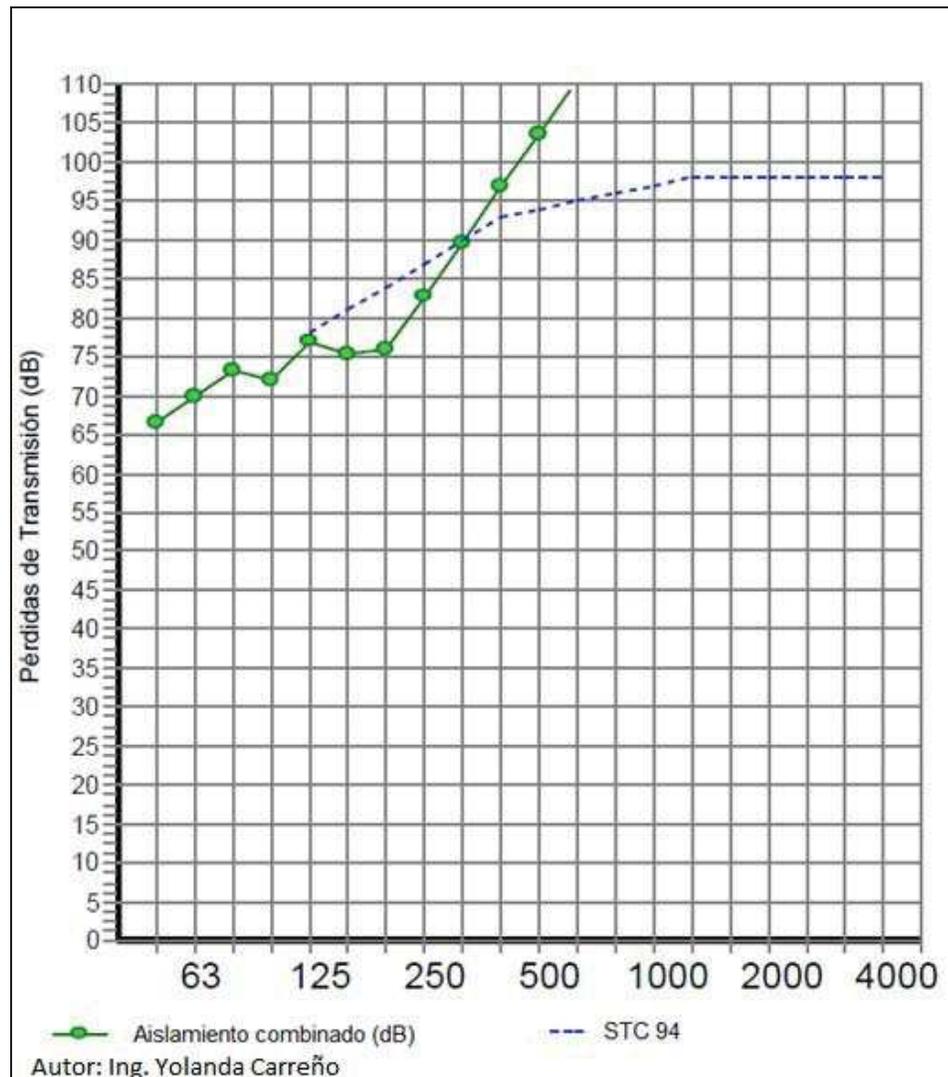
Este muro tiene una frecuencia de resonancia Masa-Aire-Masa de 17Hz.

Además cumple con la curva STC 94.

Composite TL per Frequency(Hz))						
63	125	250	500	1k	2k	4k
69	74	80	101	117	131	141

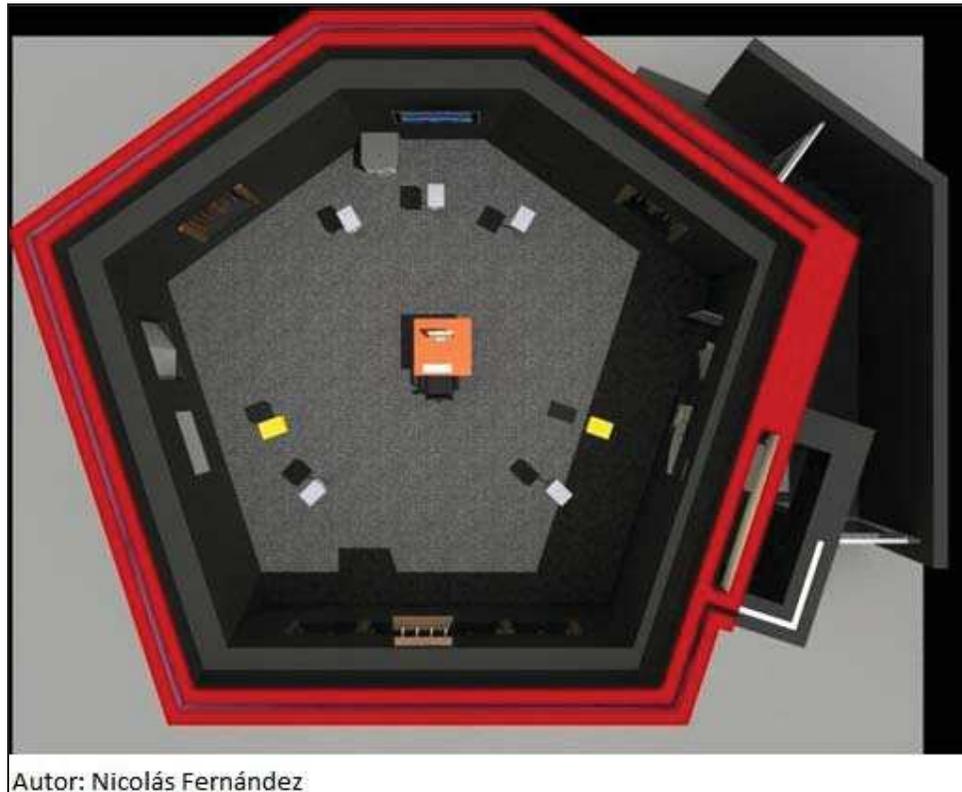
Estos son los valores combinados de pérdida por transmisión.

Figura 3.10 Insul – TL de los números naturales



Se puede apreciar que la simulación muestra que este tipo de muro combinado provee de la aislación necesaria, centrando el ruido de fondo superior a la curva NC-15.

Figura 3.11 Sketch Up 3D – Vista Planta Baja

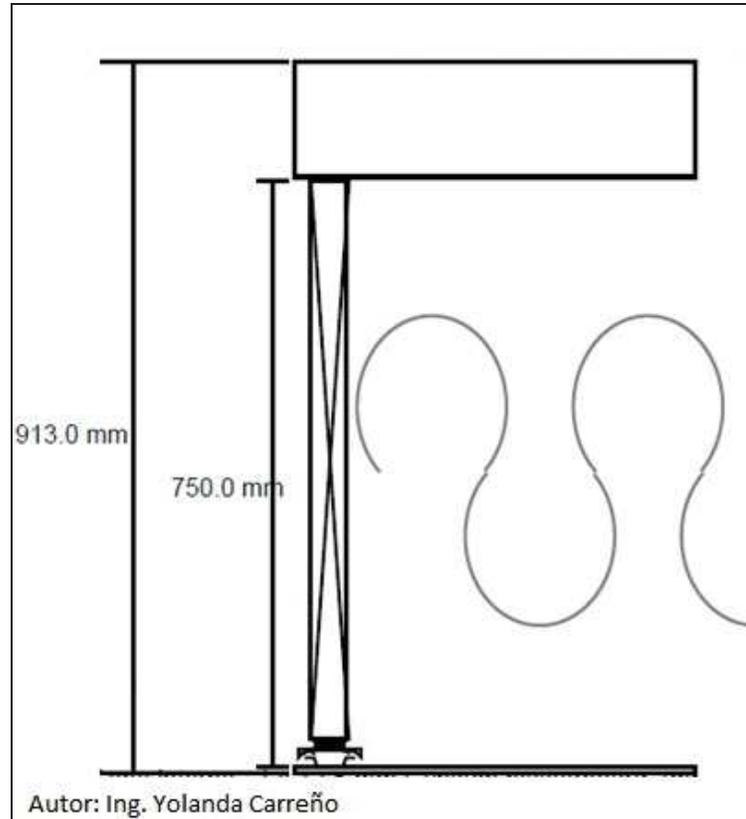


El recinto pequeño anexo a la sala, el cual es una cabina de doblajes, está conectado visualmente con la sala por medio de una ventana. Esta cabina deberá estar cubierta de esponja absorbente para asegurar una acústica absorbente para realizar ADR.

La puerta de entrada al interior de la sala es corrediza lo que asegura una aislación hermética al cerrarla, ya que tiene juntas que bloquean cualquier tipo de filtración de aire entre piso, paredes y techo con respecto a la puerta. (Figura 3.7)

El techo está compuesto por dos paneles, el interno de gypsum de 12.5 mm y el externo, de bloque de hormigón en masa de 150 mm, con una cavidad de 75 cm de espesor rellena de fibra de vidrio ( $10\text{kg/m}^3$ ) donde se encuentra una fijación de madera anclada con elastómeros.

Figura 3.12 Insul – Dimensiones de techo

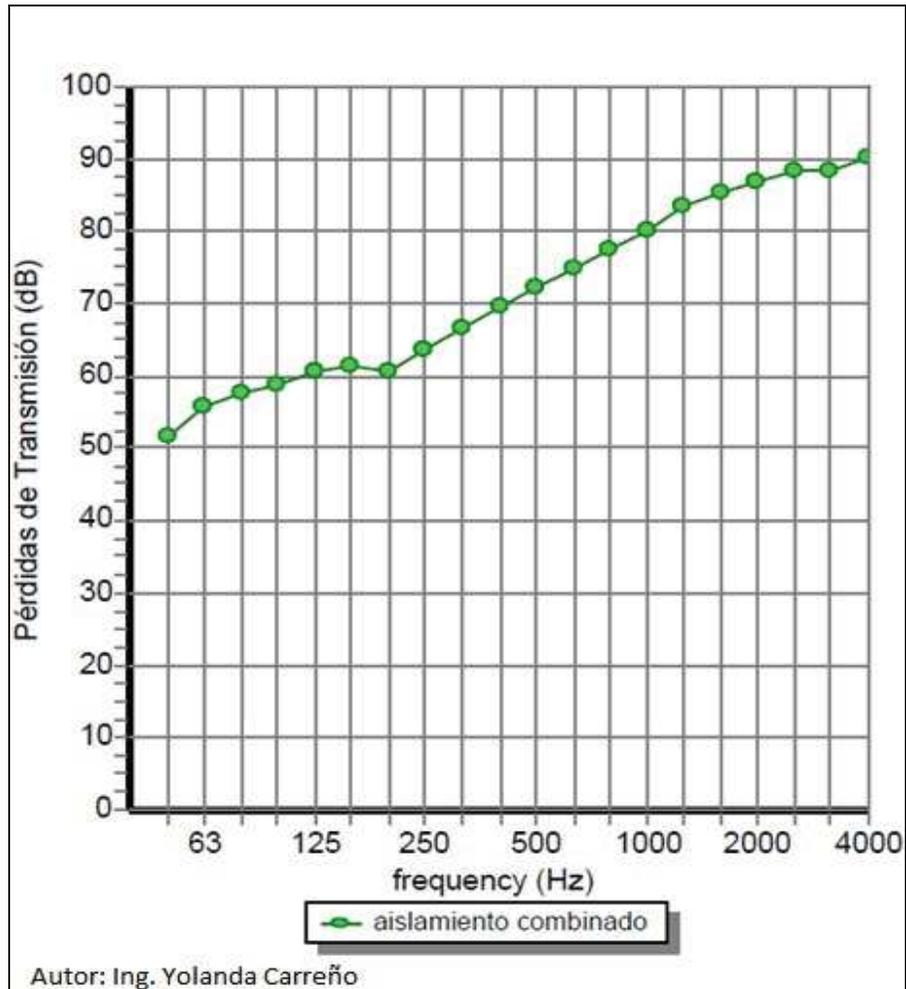


El techo doble tiene una frecuencia de resonancia Masa-Aire-Masa de 24Hz.

Composite TL per Frequency(Hz))						
63	125	250	500	1k	2k	4k
54	60	63	72	80	87	90

Estos son los valores combinados de pérdida por transmisión:

Figura 3.13 Insul –TL del techo

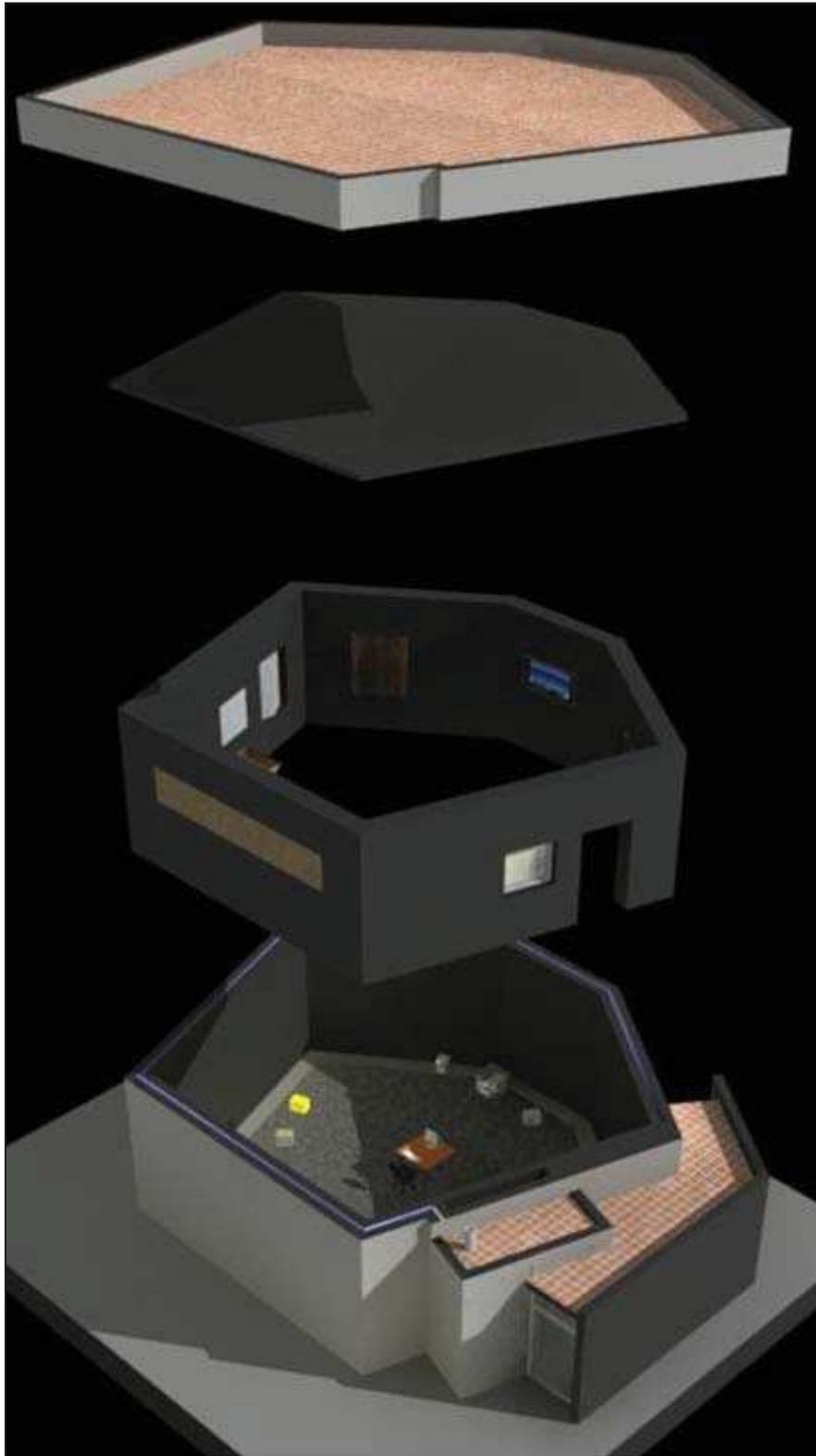


Por lo tanto el techo cumple con las necesidades de aislación necesarias, las cuales son bastante exigentes.

La Figura 3.14 presenta una axonometría de la sala, dividida en sus capas, desde arriba hacia abajo son:

- ✓ Techo exterior de hormigón
- ✓ Techo interior de gypsum
- ✓ Revestimientos para acondicionamiento acústico
- ✓ Muros laterales

Figura 3.14 SketchUp 3D – Axonometría de la sala



Autor: Nicolás Fernández

El sistema de aire acondicionado debe ser instalado fuera de la sala, por lo que se propone colocarlo en el techo de la cabina de doblajes, con ductos circulares que dirijan el flujo de aire hacia el interior de la sala. Se debe atenuar el ruido generado por el aire en los ductos, recubriendo su interior con material absorbente e implementando 2 codos por lo menos en el trayecto para atenuar lo más posible el ruido de ventilación que llega al interior de la sala.

### 3.1.4 Absorción y Tiempo de Reverberación

El tiempo de reverberación de la sala viene dado por:

$$T_{60} = 0.161 \times \frac{V (m^3)}{A (m^2 \text{ Sabine})}$$

$$T_m = 0.25 \times \sqrt[3]{\frac{V (m^3)}{100 (m^3)}} = 0.25 \times \sqrt[3]{\frac{208.75 (m^3)}{100 (m^3)}} = 0.32 \text{ seg. @ } 500\text{Hz}$$

La recomendación dice que se debe tener un  $T_{60} = 0.2$  y  $0.4$  seg en 500Hz.

Hay que averiguar cuánto representa en términos de Absorción ( $m^2$  Sabine)  $T_m = 3.2$  seg @ 500 Hz.

$$A (m^2 \text{ Sabine}) = 0.161 \times \frac{V (m^3)}{T_m} = 0.161 \times \frac{208.75 (m^3)}{0.32 (seg)}$$

$A (m^2 \text{ Sabine}) = 105.02 m^2 \text{ Sabine. @ } 500 \text{ Hz}$  es la absorción que se debe tener para tener un  $T_m = 3.2$  seg.

Por lo tanto la absorción  $A (m^2 \text{ Sabine})$  deseada en 500 Hz para obtener un  $T_m = 0.2$  seg. está definido como:

$$A (m^2 \text{ Sabine}) = 0.161 \times \frac{208.75 (m^3)}{0.2 (seg)}$$

$A$  ( $m^2$  Sabine) = 168.04  $m^2$  Sabine. @ 500 Hz es la absorción máxima para el mínimo  $T_m = 0.2$  seg.

Por lo tanto la absorción  $A$  ( $m^2$  Sabine) deseada en 500 Hz para obtener un  $T_m = 0.4$  s. viene dada por:

$$A \text{ (m}^2 \text{ Sabine)} = 0.161 \times \frac{208.75 \text{ (m}^3\text{)}}{0.4 \text{ (seg)}} = 84.02 \text{ m}^2 \text{ Sabine}$$

**84.02  $m^2$**  @ 500 Hz es la absorción mínima para el máximo  $T_m = 0.4$  seg.

Por lo tanto se procede a calcular la absorción que se tiene en la sala:

- 2 paredes laterales de 5.59 m x 3.25 de altura = 18.17  $m^2$  – 1  $m^2$  (ventana) – 2.1  $m^2$  (puerta) = 15.07  $m^2$  \* **2 paredes = 30.14  $m^2$**
- 1 pared trasera de 5.59 m x 3.25 m = 18.17  $m^2$  - 4.31  $m^2$  (difusor trasero) = **13.89  $m^2$**
- 2 paredes laterales de 4.05 x 3.25 m = 13.16  $m^2$  -1.82  $m^2$  (difusor) = **11.34  $m^2$  \* 2 paredes = 22.68  $m^2$**
- 1 pared frontal de 2.5 x 3.25 m = **8.125  $m^2$**

Se suman todas las superficies resultantes de cada pared y se obtiene la superficie total de muros con lana mineral de 10 cm:

- 30.14 + 13.89 + 22.68 + 8.125 = **74.83  $m^2$  de superficie de lana mineral de 10 cm.**
- **Se multiplica por el coeficiente de absorción de la lana mineral de 10 cm en 500 Hz:**
  - 74.83 \* 0.73 = **54.63  $m^2$  Sabine por paredes.**
- Para el piso se pondrá alfombra de lana acolchada (1.5cm):

- $64.23 \text{ m}^2 * 0.35 = \mathbf{22.48 \text{ m}^2 \text{ Sabine por piso}}$
- Para el techo se pondrá lana mineral de 2.5 cm sobre la superficie de madera:
  - $64.23 \text{ m}^2 * 0.39 = \mathbf{25.05 \text{ m}^2 \text{ Sabine por techo}}$

En total tenemos una absorción que es igual a la sumatoria de las absorciones de cada superficie:

- $54.63 + 22.48 + 25.05 = \mathbf{102.16 \text{ m}^2 \text{ Sabine por todas las superficies @ 500 Hz.}}$

$$T_{60} = 0.161 \times \frac{V (m^3)}{A (m^2 \text{ Sabine})} = 0.161 \times \frac{208.75 (m^3)}{102.16 (m^2)}$$

$$T_{60} = 0.329 \text{ seg.}$$

Este valor de  $T_{60}$  se asemeja mucho al  $T_m$  calculado anteriormente, por lo que aseguramos tener un  $T_m$  (valor nominal entre 250 – 2k Hz) de 0.3 segundos en la sala, con restricciones de acuerdo a la figura 3.2

Todo el diseño está compuesto por fórmulas y simulaciones, basadas en las recomendaciones internacionales de sonido multicanal, que representan con gran proximidad lo que se podría medir en recinto, si la sala fuera construida.

## 4 CAPITULO IV

### 4.1 Conclusiones

- El monitoreo Surround trata de aprovechar al máximo el uso de los altavoces posteriores y del subwoofer para brindar al usuario la mejor experiencia virtual de entretenimiento posible, tomando en cuenta que no es su propósito, recrear un ambiente acústico virtual de 360°, sino recrear sonido envolvente que nos inmersa en un ambiente determinado. Se puede aplicar tanto a producciones audiovisuales como cine y videojuegos, como a la producción musical. El formato de sonido multicanal estándar es el 5.1 aunque últimamente está siendo relegado por el formato 7.1.
- Para brindar la misma experiencia sonora que el ingeniero de mezcla creo para el usuario, hay que basarse en 3 características fundamentales de formatos multicanal como, la correcta codificación (discreta o matriz) por parte del productor, la correcta decodificación del material por parte del usuario final y el ambiente de reproducción en el que se encuentren.
- El método discreto es el preferido para entregar sonido multicanal. Las mezclas finales siempre deben ser probadas en un sistema domestico con Bass Management, además de ser probadas en una típica configuración Downmix (Lo/Ro – Lt/Rt) para asegurar compatibilidad universal. El flujo de señal Bus-Canal debe estar ordenado 1=L, 2=R, 3=C, 4=LFE, 5=Ls, 6=Rs.
- Es absolutamente crítico que la señal proveniente de los 5 altavoces principales, llegue en fase a la posición de mezcla (sweet spot), además de que el sistema este calibrado en términos de EQ y NPS.

- El subwoofer tiene la específica función de reproducir frecuencias bajas de entre 20Hz hasta 120Hz como máximo, es por esto que se deduce que la frecuencia de muestreo del canal LFE es de 240Hz para sistemas muestreados a 48kHz y proporcionalmente menor para sistemas en 44.1kHz.
- Los métodos en los que se usa ruido rosa de banda completa usan filtro de ponderación A, curva que reduce bastante los componentes de baja y alta frecuencia, mientras que el método que usa ruido rosa de banda limitada usan filtro de ponderación C, el cual tiene una curva mas plana que se aproxima a iguales niveles de sonoridad en NPS más elevados comparado a la curva A, por lo que la curva C es más utilizada en la industria cinematográfica.
- Al realizar las mediciones sonoras, es importante no solo medir el nivel de 85 dB de ruido rosa de banda completa en cada altavoz, sino también usar un RTA para medir el nivel de 71 dB en cada banda de 1/3 de octava.
- Las mezclas finales de sonido multicanal para imagen aprovechan de un rango dinámico grande por lo que no se acostumbra a masterizar estos formatos, para conservar la dinámica de la mezcla.
- El diseño de recintos para sistemas multicanal no está limitado a formas paralelepípedas, siempre y cuando se mantenga una simetría con respecto al centro acústico del sistema. Acomodar una anterior sala estéreo para implementar un sistema multicanal no suele ser recomendado debido a que no siempre se tendrá el espacio y la simetría que estos sistemas requieren en un ambiente de reproducción.

- Los formatos multicanal están reemplazando poco a poco al formato estéreo debido a su capacidad de complementar más fielmente un ambiente sonoro determinado y brindar una experiencia virtual mas cercana a la realidad, especialmente en audio para imagen, aunque la música multicanal está teniendo cada vez más acogida. Un ejemplo de esto es el sistema 22.2 patentado en Japón.
- Es importante no solo construir un ambiente de reproducción ideal, sino también tener experiencia como usuario final, para crear mezclas que tomen en cuenta como se reproducirá el material en sistemas domésticos, donde las circunstancias técnicas y acústicas serán muy variables.

## 4.2 Recomendaciones

- Diseñar una sala que cumpla con los requerimientos de un sistema multicanal, y no al contrario, de acoplar un sistema multicanal que se ajuste a las limitaciones de una sala.
- En lo posible implementar equipamiento que este aprobado por THX y siempre seguir las recomendaciones de THX ya que son los líderes de la industria en producción audiovisual profesional.
- Tratar de cumplir con los requerimientos y especificaciones THX para poder recibir un certificado de aprobación THX a futuro, por ejemplo la sala pm3 de THX, mencionada en los anexos.
- Visitar la página <http://frank.mtsu.edu/~smpete/> y hacer clic en “Links” para conocer más sobre la historia del sonido para cine.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Holman, Tomlinson, "5.1 Surround: Up and Running", Editorial Focal Press, Segunda Edición, USA, 2008.
- [2] Rumsey, Francis, "Spatial Audio", Editorial Focal Press, Primera Edición, USA, 2001.
- [3] Toole, Floyd, "Sound Reproduction: The Acoustics And Psychoacoustics Of Loudspeakers And Rooms", Editorial Focal Press, Primera Edición, USA., 2008.
- [4] Newell, Philip, "Recording Studio Design", Editorial Focal Press, Segunda Edición, USA, 2008.
- [5] Ballou, Glen M; "The Handbook for Sound Engineers: The new audio cyclopedia", Editorial Macmillan Inc, Primera Edición, USA, 1988, capítulos del 2 al 7, 26 y 29.
- [6] Everest, Alton, "Master Handbook of Acoustics", Editorial Mc Graw Hill, Quinta Edición, USA, 2009.
- [7] Carrión Isbert, Antoni, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos", Editorial UPC, Primera Edición, España, 1998.
- [8] Angell, Dale, "Pro Tools 8 for Film and Video", Editorial Focal Press, Primera Edición, USA-UK, 2009.
- [9] Nakahara, Masataka, "Yamaha Multichannel Monitoring Tutorial Booklet", Segunda Edición, SONA & Yamaha Corporations, 2005.
- [10] Audio Engineering Society (AES), ITU-R BS.1116-1, "Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems", 1997.

- [11] Audio Engineering Society (AES), ITU-R BS.775-1 "Recommendation for Multichannel Stereophonic Sound System With and Without Accompanying Picture"
- [12] The Recording Academy's Producers & Engineers Wing, "Recommendations for Surround Sound Production", Primera Edición, 2004.
- [13] Dolby, "5.1-Channel Production Guidelines",  
<http://www.dolby.com/uploadedFiles/zz-Shared Assets/English PDFs/Professional/L.mn.0002.5.1guide.pdf> ,  
2000, 30-04-2011.
- [14] THX, "THX Approved Manufacturers",  
<http://www.thx.com/professional/sound-engineer/approved-equipment-lists/> , 2011, 21-03-2011.
- [15] Fig. , "Las Famosas Curvas NC",  
[http://elrincondelaudioylaacustica.blogspot.com/2010/04/las-famosas-curvas-nc\\_19.html](http://elrincondelaudioylaacustica.blogspot.com/2010/04/las-famosas-curvas-nc_19.html)
- [16] "Fantasound 4 Channel Film", <http://www.cinephoto.co.uk/1835f20e0.jpg>
- [17] "Cinerama", [http://www.amps.net/newsletters/issue11/11\\_cinerama.gif](http://www.amps.net/newsletters/issue11/11_cinerama.gif)
- [18] Ando, Akio - NHK Japón, "Home Reproduction of 22.2 Multichannel Sound"

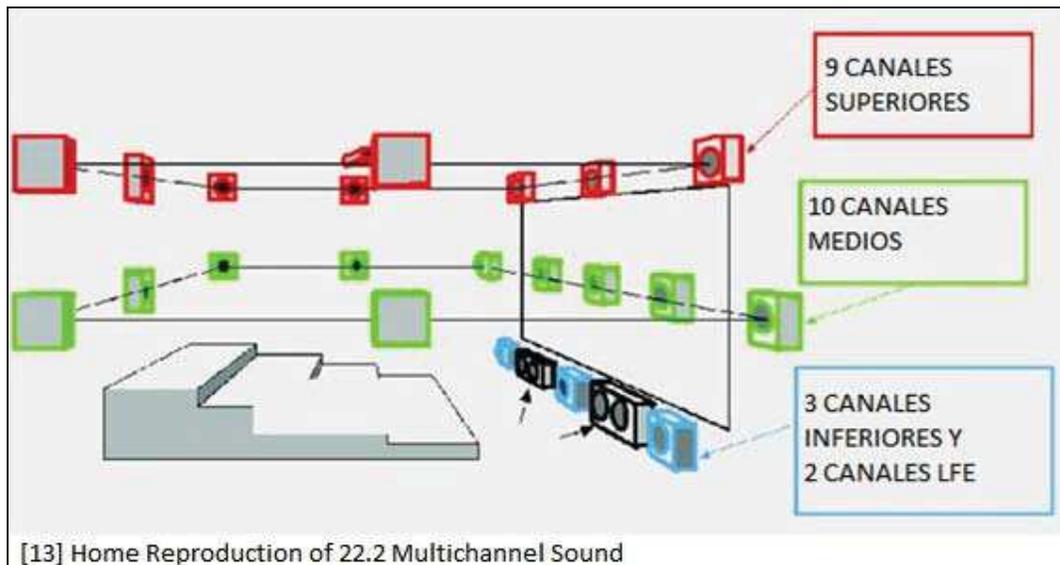
# ANEXOS

## ANEXO 1: Formato Multicanal 22.2

La demostración de este sistema, desarrollado por *NHK Japan*, constituye una experiencia inigualable en cuanto a calidad, nitidez, transparencia y realismo, muy por encima de cualquier otro formato. La misma está a cargo del Ing. Kimio Hamasaki.

Este sistema es compatible con los formatos multicanal actuales, como el 5.1. pero busca recrear una sensación sonora tridimensional, para recrear un espacio acústico virtual de 360°.

Figura C



## **ANEXO 2: Estudios pm3 certificados por THX**

Los estudios THX certificados y las salas pm3 están diseñadas para ofrecer estándares de calidad superiores a nivel profesional en todo el mundo.

### ***Especificaciones de estudios THX y salas pm3:***

- Entorno visual y auditivo
- Rendimiento acústico
- Aislamiento estructural
- Tiempo de reverberación
- Dimensiones específicas
- Esquema de color y luz ambiental para un mejor monitoreo de video
- Estaciones de trabajo: Diseño y Equipos
- Posición del Altavoz
- Posición del monitor de video
- Posiciones preferenciales de monitoreo (sweet spot)
- Puntos de ubicación
- Angulo de enfoque del altavoz
- Equipos de Audio y Video
- Altavoces delanteros y altavoces surround
- Subwoofer
- Amplificadores de potencia
- Sistema Bass Management para monitoreo multicanal (sólo se aplica a estudios THX certificados o salas pm3 )
- Ecualizadores y delay digital multicanal
- Monitoreo de video
- Calibración de audio y video
- Equipos específicos y señales (tonos) de calibración
- Requerimientos de rendimiento

### **Qué proyectos son ideales para estudios THX y salas pm3 ?**

Los estudios THX certificados y las salas pm3 están diseñados para la creación de imagen y sonido de altos estándares para la presentación de diferentes materiales audiovisuales de medios de comunicación y difusión.

***Mezcla de audio & monitoreo multicanal***

- Creación y mezcla de bandas sonoras para video juegos
- Pre-mezcla y diseño de sonido para películas
- Remixes de bandas sonoras en Blue-Ray y DVD
- Control de calidad de audio para Blue-Ray y DVD
- Master Control Room para medios de difusión
- Música 5.1 y 7.1 - reproducción en alta resolución de DVD-A y SACD (Film Scoring)

***Visualización de video***

- Estaciones de trabajo para videojuegos y salas de presentación calibradas.
- Transferencia de Film a video y edición de video para Blue-Ray y DVD.
- Control de calidad de video para Blue-Ray y DVD
- Producción de video para medios de difusión