

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**TEMA:  
ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE SONORIZACIÓN PARA EL  
NUEVO TEATRO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE  
QUITO - CAMPUS SUR**

**AUTOR:  
HOLGER COLÓN MERA CARRILLO**

**DIRECTOR:  
JOSÉ LUIS AGUAYO MORALES**

**Quito, marzo del 2015**

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL  
TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos y, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, marzo de 2015

-----  
Holger Colón Mera Carrillo  
CC: 1719596403

## **DEDICATORIA**

Primero de todo doy gracias a Dios por abrir caminos durante mi vida hasta el presente, a mi madre Fanny Carrillo por su lucha y entrega en todo momento siendo la luz y ejemplo a seguir llenando de valores a mi vida. Al Mons. Néstor Montesdeoca por sus consejos valiosos y a Natalia Encalada, mi novia, por su acompañamiento incondicional en todo este tiempo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Politécnica Salesiana por haberme brindado las facilidades para el desarrollo de este trabajo.

A mi tutor, el Ing. José Luis Aguayo por compartir su conocimiento durante la carrera universitaria al igual que el presente proyecto.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	2
<b>ESTUDIO DEL PROBLEMA</b> .....	2
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivo General .....	3
1.4 Objetivo Específico .....	3
1.5 Alcance .....	4
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	5
<b>PROCESO DE ESTUDIO PARA UNA SONORIZACIÓN</b> .....	5
2.1 Conceptos de la sonorización en vivo .....	5
2.1.1 El Sonido .....	5
2.1.1.1 Frecuencia (f) .....	6
2.1.1.2 Velocidad (c) .....	6
2.1.1.3 Longitud de Onda ( $\lambda$ ) .....	6
2.1.1.4 Período (T) .....	7
2.1.1.5 Amplitud (A) .....	7
2.1.1.6 Ecuación de la Onda.....	8
2.1.2 El Decibelio (dB).....	8
2.1.2.1 $dB_{SPL}$ .....	8
2.1.2.2 Ley del inverso del cuadrado.....	10
2.2 Fenómenos que ocurren en una sonorización en vivo.....	11
2.2.1 Reflexión .....	12
2.2.2 Refracción .....	12
2.2.3 Difracción.....	13
2.2.4 Absorción .....	14
2.2.5 Eco.....	15
2.2.6 Reverberación.....	15
2.3 Consideraciones acústicas en recintos abiertos o al aire libre.....	16
2.4 Consideraciones acústicas en recintos cerrados o salas .....	16

2.4.1 Aislamiento acústico .....	16
2.4.2 Tratamiento acústico .....	16
2.5 Consideraciones y cálculos de un refuerzo sonoro para un teatro.....	17
2.5.1 El Tiempo de Reverberación .....	17
2.5.2 Sonoridad.....	17
2.5.3 Irregularidades de un teatro .....	17
2.5.3.1 Coloración de la voz y falsa ubicación de la fuente sonora .....	17
2.5.3.2 Eco y focalización del sonido.....	18
2.5.3.2.1 Focalización del sonido .....	18
2.5.3.2.2 Eco flotante.....	18
2.5.3.3 Reflexión en una pared posterior.....	19
2.5.3.4 Reflexión por techo y pared en ángulo de 90° .....	19
2.5.3.5 Relación por volumen, número de asientos y tiempo de reverberación media .....	20
2.5.3.6 Generación de las primeras reflexiones.....	20
2.5.3.7 Parte superior de una sala .....	21
2.5.3.8 Parte lateral de una sala .....	21
2.5.3.9 Distancia recomendada.....	22
2.5.3.10 Eliminar la coloración de voz o falsa localización de una fuente sonora.....	22
2.5.3.11 Eliminar o prevenir ecos.....	22
2.5.3.12 Focalización del sonido .....	22
2.6 Conexionado y adaptación de los altavoces .....	23
2.6.2 Adaptación de impedancia .....	23
2.6.3 Cálculo de altavoces .....	25
2.7 Software de análisis JBL CBT .....	27
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>29</b>
<b>DESARROLLO DE LA SONORIZACIÓN DEL NUEVO TEATRO DE LA POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CAMPUS SUR.....</b>	<b>29</b>
3.1 Compilación de datos del recinto .....	29
3.2 Cálculo matemático aplicado para el refuerzo sonoro .....	31
3.2.1 Normativa Acústica.....	31

3.2.2 Tiempo de reverberación.....	32
3.2.3 Claridad de la voz ( $C_{50}$ ).....	34
3.2.3.1 Cálculo de la claridad de voz ( $C_{50}$ ) .....	36
3.2.4 Definición (D) .....	37
3.3 Software JBL CBT aplicado al estudio .....	38
3.3.2 Dimensiones aplicadas al programa JBL CBT para el nuevo Teatro.....	41
3.3.3 Selección de altavoces JBL CBT .....	41
3.3.4 Nivel de presión sonora de los micrófonos .....	42
3.3.5 Distancia entre altavoces para el recinto del nuevo teatro .....	44
3.3.6 Programa alternativo para el refuerzo sonoro .....	44
3.3.6.1 EASE Focus V2.....	44
3.3.6.1.1 Arreglo lineal (Line Array) .....	44
3.3.6.1.2 Ventajas de un arreglo lineal .....	45
3.3.6.1.3 Tipos básicos de arreglos de cajas acústicas .....	46
3.3.6.1.3.1 Arreglos estrechos de punto de origen .....	46
3.3.6.1.3.2 Arreglos amplios de punto de origen .....	46
3.3.6.1.3.3 Arreglos en paralelo .....	46
3.3.6.1.3.4 Arreglos de fuego cruzado .....	46
3.3.6.1.3.5 Arreglos separados de punto de origen .....	46
3.3.6.1.3.6 Arreglos separados en paralelo.....	47
3.3.6.1.3.7 Arreglos separados de punto de destino .....	47
3.3.6.2 Sonorización con EASE Focus V2.....	47
3.4 Consideraciones y características técnicas de los equipos .....	50
3.4.1 Características del altavoz CBT 70J-1 (arreglo lineal).....	50
3.4.2 Características del amplificador Crown XTI4002.....	52
3.4.3 Características de la consola Yamaha MG24/14FX.....	52
3.4.4 Características de micrófonos inalámbricos Shure.....	53
3.4.4.1 Característica del micrófono alámbrico Shure .....	54
3.4.5 Característica de la medusa audio máster.....	54
3.4.6 Longitudes máximas para cables.....	55
3.4.7 Diagrama de conexión a un amplificador y central de control.....	56

3.4.8 Características técnicas de los equipos de la serie Aero.....	56
3.4.9 Resumen de la propuesta de diseño.....	58
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>60</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS TÉCNICOS.....</b>	<b>60</b>
4.1 Técnico.....	60
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS.....</b>	<b>64</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Oscilación a 1 y 10 [Hz] respectivamente. ....	6
<i>Figura 2.</i> Relación entre longitud de onda ( $\lambda$ ) y frecuencia en el aire (f).....	7
<i>Figura 3.</i> Niveles de referencia acústica. ....	9
<i>Figura 4.</i> La ley del cuadrado inverso acústico. ....	10
<i>Figura 5.</i> Caída de la intensidad del sonido.....	11
<i>Figura 6.</i> Señal incidente y reflejada sobre una superficie difusa y regular respectivamente.....	12
<i>Figura 7.</i> Refracción comportamiento de una onda en diferente medio.....	13
<i>Figura 8.</i> Difracción de una onda. ....	13
<i>Figura 9.</i> Focalización del sonido en recinto cóncavo. ....	18
<i>Figura 10.</i> Eco flotante entre dos superficies. ....	18
<i>Figura 11.</i> Eco en el escenario a causa de una pared reflectante posterior. ....	19
<i>Figura 12.</i> Eco por reflexión de esquina a 90°. ....	19
<i>Figura 13.</i> Valores de RTmid recomendado en relación al volumen. ....	20
<i>Figura 14.</i> Reflectores de madera lisa para generar primeras reflexiones sobre las diferentes zonas de público. ....	21
<i>Figura 15.</i> Vista superior de las reflexiones en las paredes laterales. ....	21
<i>Figura 16.</i> Conexión de altavoces en serie. ....	23
<i>Figura 17.</i> Conexión de altavoces en paralelo.....	24
<i>Figura 18.</i> Sonorización de áreas por pilares.....	26
<i>Figura 19.</i> Cálculo del número de parlantes. ....	26
<i>Figura 20.</i> Presentación del programa CBT Calculator.....	28
<i>Figura 21.</i> Entrada principal al nuevo teatro de la U.P.S. Sede Quito - Campus Sur. ....	29
<i>Figura 22.</i> Imagen frontal del interior del nuevo teatro de la U.P.S. desde la entrada hacia el escenario. ....	30
<i>Figura 23.</i> Vista lateral derecha del nuevo teatro de la U.P.S. ....	30
<i>Figura 24.</i> Vista lateral izquierda del nuevo teatro de la U.P.S. ....	31
<i>Figura 25.</i> Plano, puntos de cálculo de la claridad de voz en el nuevo teatro de la U.P.S. ....	35
<i>Figura 26.</i> Aislamiento acústico de paredes. ....	39

<i>Figura 27.</i> Aislamiento Acústico del techo. ....	40
<i>Figura 28.</i> Difusor acústico. ....	40
<i>Figura 29.</i> Vista interna final de un acondicionamiento. ....	41
<i>Figura 30.</i> Selección de altavoces. ....	42
<i>Figura 31.</i> Respuesta gráfica del nivel de presión sonora con pérdidas y sin pérdidas. ....	42
<i>Figura 32.</i> Ecualización y tabla de resumen del nivel de presión sonora.....	43
<i>Figura 33.</i> Vista lateral del recinto en el programa. ....	43
<i>Figura 34.</i> Arreglo lineal .....	45
<i>Figura 35.</i> Ventana de presentación del programa EASE V2. ....	47
<i>Figura 36.</i> Dimensiones de las cajas aéreas del recinto a aplicar. ....	48
<i>Figura 37.</i> Mapeo del escenario desde una vista superior eje (x,y) respectivamente.....	48
<i>Figura 38.</i> Mapeo del escenario desde una vista lateral eje (z). ....	49
<i>Figura 39.</i> Niveles del escenario y audiencia respectivamente .....	49
<i>Figura 40.</i> Ingreso de información en los distintos planos.....	50
<i>Figura 41.</i> CBT 70J-1.....	51
<i>Figura 42.</i> Crown XTI4002.....	52
<i>Figura 43.</i> Consola Yamaha vista frontal y posterior respectivamente.....	53
<i>Figura 44.</i> BLX288E-PG58.....	53
<i>Figura 45.</i> Beta 87. ....	54
<i>Figura 46.</i> Medusa.....	54
<i>Figura 47.</i> Acoplamiento directo a un grupo de altavoces CBT 70J-1. ....	56
<i>Figura 48.</i> CA-215A.....	57
<i>Figura 49.</i> CA-28A.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de absorción.....	14
Tabla 2. Límites de distancias máximas para inteligibilidad .....	22
Tabla 3. Diseño de instalación de megafonía.....	25
Tabla 4. Niveles máximos permitidos de ruidos para fuentes fijas.....	31
Tabla 5. Resultante de coeficientes de absorción para las distintas superficies.....	33
Tabla 6. Sistema lineal del CBT 70J-1.....	50
Tabla 7. Sistema de amplificación .....	52
Tabla 8. Consola de 24 canales Yamaha.....	52
Tabla 9. Micrófono inalámbrico .....	53
Tabla 10. Micrófono alámbrico.....	54
Tabla 11. Medusa de 16 x 4 .....	54
Tabla 12. Longitud del cable para una calidad máxima.....	55
Tabla 13. Longitud máxima de cable a -3[dB] .....	55
Tabla 14. Datos técnicos CA-215A .....	56
Tabla 15. Datos técnicos CA-28A .....	57
Tabla 16. Costo de equipos .....	61

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Planos del nuevo teatro.....	67
Anexo 2. Arreglos lineales.....	69

## **RESUMEN**

Hacer un diseño adecuado para la sonorización de un teatro es importante porque permite resguardar la salud auditiva, de acuerdo a los niveles nivel de presión sonora (S.P.L.) mínimos y máximos permitidos.

En este proyecto, en primer lugar, se obtuvieron las dimensiones del teatro a partir de los planos, como base para desarrollar la parte analítica. Luego, se consiguieron valores adecuados de tiempo de reverberación guardando una claridad de voz que supera al nivel mínimo sugerido y finalizando con el tipo de conexión de altavoces que permita lograr la impedancia necesaria y una mejor distribución de potencia.

La aplicación de una herramienta informática permite verificar la sonorización del teatro y obtener por ecualización un nivel homogéneo de presión sonora en el recinto. Además, una segunda alternativa de software para sonorización permite el uso de equipos disponibles en el mercado para determinar si son los apropiados para el teatro.

Los resultados de la simulación del proyecto mostraron que, el tiempo de reverberación fue de 0.23 segundos, la claridad de voz medida en cinco puntos distintos del teatro fue de: 13.8 [dB] como mínimo y que los cuatro altavoces CBT 70J-1 considerados para la sonorización, conectados llegan a una potencia de 1600[W] por canal.

## **ABSTRACT**

An appropriate sound design for a theater is important because it allows protect hearing harm, according to the sound pressure level (SPL) minimum and maximum allowed.

First in this project, the measures of the theater were taken from the architectural plans, like the line base for developing the mathematical analysis. Then, the reverberation time values were considered by keeping voice clarity that exceeds the minimum level suggested and finally, the type of speaker connection was chosen to get the required impedance besides the better distribution of sound power.

The sound design and the homogeneous sound pressure level, balanced by sound equalization, were verified by software. In addition to, a second alternative of software, that it uses available commercial equipment, it allowed to get the better devices for the theater.

The simulation of the project gave the following results: the reverberation time was 0.23 seconds, the voice clarity measured in five different points theater was 13.8 [dB], minimum; and that four speakers CBT 70J-1, connected by shunt, reach a sound power of 1600 [W] per channel.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene por finalidad analizar y diseñar el sistema de sonorización del nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito - Campus Sur buscando un sonido adecuado teniendo en cuenta la salud auditiva del individuo a raíz de la carencia de la misma cuando se hace una sonorización improvisada.

Para iniciar este proyecto se requiere diagnosticar el perfil del recinto para su posterior análisis; con toda esa información obtenida del lugar se procede a desarrollar el diseño por medio de cálculos matemáticos junto con una herramienta informática, permitiendo así evaluar resultados de forma analítica como por simulación llegando a la solución y la conclusión de este trabajo.

Por tanto, este estudio presentará información clara y fácil de manejar en la parte matemática al igual que el uso de la herramienta informática con una configuración predeterminada que posee y que es para saber qué tipo de equipos se utilizarán en un sitio, en este caso saber cual usar para el nuevo teatro de la Universidad, que más adelante se detallará.

Para terminar, este proyecto queda como un estudio para una posterior implementación de los equipos en el caso que la entidad educativa decida hacerlo por cuenta propia y también como material de consulta.

# **CAPÍTULO 1**

## **ESTUDIO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Antecedentes**

Cuando se hace una sonorización empírica se evidencia una mala distribución de la potencia del sistema de amplificación ocasionando inconvenientes en la comprensión del mensaje enviado por el relator cuando el oyente se encuentra en las últimas filas de un teatro.

Ese problema se percibe en el auditorio “Padre José Carollo” donde se han realizado conferencias y en su mayoría resulta ininteligible a parte que la infraestructura no es la adecuada presentándose ciertos comportamientos o fenómenos acústicos adversos en el sitio.

A todo esto el nuevo teatro de la universidad Politécnica Salesiana Sede Quito - Campus Sur ofrece la oportunidad de un desarrollo adecuado de un estudio de sonorización sin embargo no se ha realizado un estudio formal al respecto.

### **1.2 Justificación**

El sonorizar un recinto implica un diseño que esté enfocado en la salud auditiva de las personas que asistan a cualquier tipo de evento que en éste se desarrolle ya que una sonorización improvisada lleva al individuo a una disminución de su capacidad receptora del sonido.

Es de vital importancia el preservar la salud auditiva razón por la cual el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito presentó una ordenanza la N° 146 del 20 de mayo de 2005 que tiene por objetivo: “Establecer los valores máximos permitidos de ruido y los métodos de determinación cuantitativa. Además provee de valores para la evaluación de vibración en edificaciones”. (Echanique, 2005, pág. 9)

Este proyecto busca solucionar la necesidad que se presenta ante la carencia de información relacionada a la sonorización del nuevo teatro. Adicionalmente se contribuirá con nuevos conocimientos dentro la Ingeniería Electrónica generando un material de consulta para los estudiantes de la carrera relacionando la acústica y la electrónica, como por ejemplo la parte de la amplificación y sus características que sin el buen desarrollo no se obtendría un sonido adecuado para la sonorización.

Con todo esto se podrá aplicar el conocimiento en electrónica junto con el de la ingeniería del sonido, con el fin de proveer una adecuada sonorización, haciendo uso de parámetros indicados en textos de ingenierías en conjunción con la normativa del municipio descrito con anterioridad, para los diferentes eventos que la institución decida hacerlo.

### **1.3 Objetivo General**

Analizar y diseñar un sistema de sonorización para el nuevo Teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur.

### **1.4 Objetivo Específico**

- Diagnosticar el perfil electroacústico del recinto del nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito - Campus Sur.
- Analizar los datos obtenidos en base a la determinación del perfil del recinto por medio de un modelo electroacústico teórico.
- Diseñar un sistema de refuerzo sonoro para el nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito - Campus Sur.

- Evaluar el diseño del sistema sonoro para el teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito - Campus Sur; a través de un software.

### **1.5 Alcance**

El proyecto de estudio de sonorización en el teatro tiene por finalidad beneficiar a la comunidad de la Universitaria Politécnica Salesiana Sede Quito - Campus Sur como ajena a la misma en diferentes actividades culturales así como también en conferencias.

Además este estudio también será de fuente de consulta para los estudiantes y personas en general con interés o relacionado a la acústica y la electrónica por medio de conceptos básicos como la práctica.

## CAPÍTULO 2

### PROCESO DE ESTUDIO PARA UNA SONORIZACIÓN

#### 2.1 Conceptos de la sonorización en vivo

Es necesario comprender ciertos fenómenos y conceptos importantes para sonorizar un recinto permitiendo de esta manera lograr un sonido adecuado.

##### 2.1.1 El Sonido

El sonido es “El fenómeno producido por ondas sonoras longitudinales generadas por el movimiento vibratorio de un cuerpo, que se propagan por un medio elástico y que son captadas por un receptor (oído humano)” (Feo, 2009, pág. 15). Además la velocidad en la que se propaga el sonido es de 345m/s en condición de 1 atmósfera de presión a una temperatura de 22 °C, aunque este valor puede variar dependiendo de las condiciones atmosféricas como la temperatura, humedad y la presión (Isbert, 1998; Feo, 2009).

El ser humano puede captar o percibir sonidos que van en el rango de los 20Hz hasta los 20KHz; cuando supera este rango se lo conoce como onda ultrasónica y si está por debajo del rango se llama infrasonicas (Neuroreille, 2013; Feo, 2009).

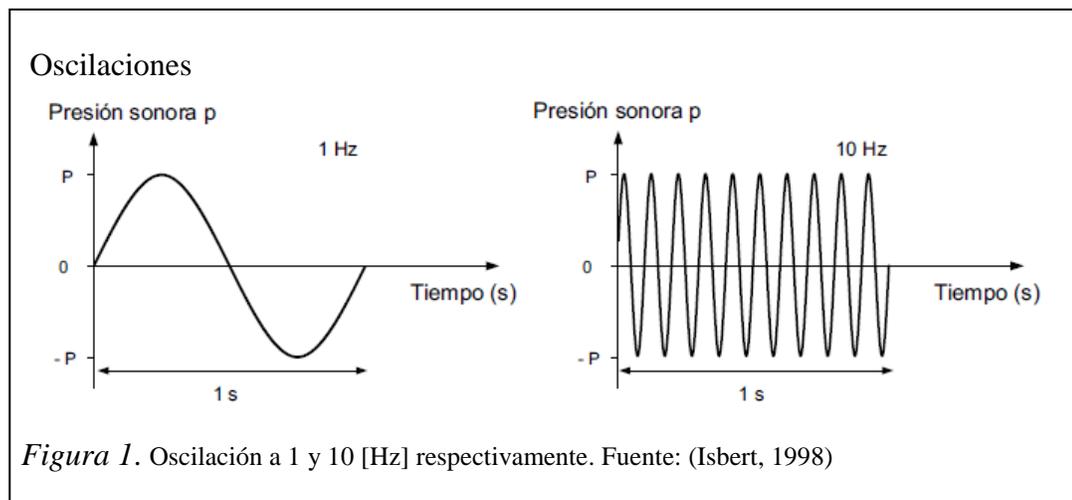
Un sonido varía en función del tiempo, y está determinado por los siguientes parámetros físicos (Feo, 2009):

- Frecuencia (f)
- Velocidad (v)
- Longitud de onda ( $\lambda$ )
- Período (T)
- Amplitud (A)
- Ecuación de la Onda

### 2.1.1.1 Frecuencia (f)

En el contexto de sonorización es “El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora  $p$  del sonido y se mide en hertzios [Hz] o ciclos por segundo [c/s]” (Isbert, 1998).

En la siguiente figura se indica ejemplos de oscilaciones a frecuencias de 1[Hz] y 10[Hz]:



### 2.1.1.2 Velocidad (c)

Es la velocidad a la cual se propagará una onda acústica en un medio elástico, que dependerá de sus características y se mide en [m/s]. En el caso del aire al hablar de características se referirá a las condiciones atmosféricas como la temperatura, humedad y presión (Arjona, 2007; Feo, 2009).

### 2.1.1.3 Longitud de Onda ( $\lambda$ )

Indica que “Corresponde a la distancia que recorre el sonido para realizar una vibración completa” se representa con la letra lambda ( $\lambda$ ) y se mide en metros (Arjona, 2007). Como un aspecto a tener en cuenta es que se compara un objeto con respecto a la longitud de onda, así si es afectado dando como resultado atenuaciones, un sonido grave puede atravesar un objeto como la pared ya que es mayor su longitud de onda [en el orden de los metros] mientras que los que están en el orden de los centímetros [cm] serán los agudos (Miyara, 2006).

La velocidad de propagación del sonido permite calcular la longitud de onda a partir de la siguiente fórmula (Arjona, 2007):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Donde:

$c$ : La velocidad del sonido en el medio que se propaga (Feo, 2009; Isbert 1998).

$\lambda$ : Longitud de onda en el medio que se propaga (Feo, 2009; Isbert 1998).

$f$ : Frecuencia en el medio que se propaga (Feo, 2009)

En la figura 2, se presenta la relación de la longitud de onda como esta puede variar dependiendo de la frecuencia a la que se escuche, teniendo al aire es el medio de propagación:

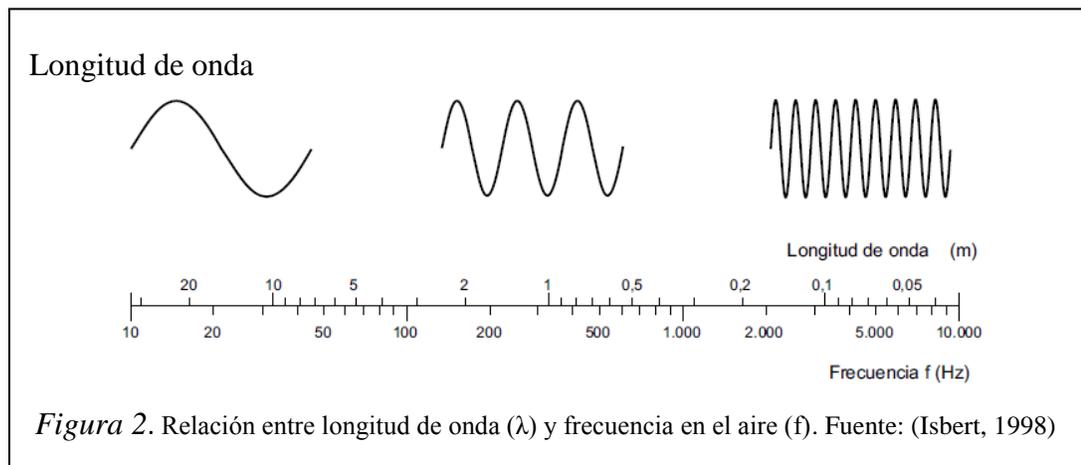


Figura 2. Relación entre longitud de onda ( $\lambda$ ) y frecuencia en el aire ( $f$ ). Fuente: (Isbert, 1998)

#### 2.1.1.4 Período (T)

Corresponde a un tiempo que se demora en completar un ciclo la onda sonora, su unidad es el segundo [s] (Feo, 2009).

#### 2.1.1.5 Amplitud (A)

“La amplitud o intensidad determina la escala del sonido (potencia); por consiguiente, dependiendo de la intensidad de la vibración, el oído humano puede percibir sonidos fuertes o débiles” (Arjona, 2007).

### 2.1.1.6 Ecuación de la Onda

Es una onda plana que está determinada a un plano del espacio y se propaga en dirección de “x” que se lo representa de la siguiente manera (Nave M. O., 2014):

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (2)$$

En el cual  $c$  corresponde a la velocidad de fase<sup>1</sup> de la onda y es una variable que cambia al paso de la misma (Nave M. O., 2014)

### 2.1.2 El Decibelio (dB)

El decibelio es una unidad empleada en la acústica al igual que en las telecomunicaciones que expresaría la relación entre dos potencias sean estas en la acústica o eléctricas (ucol.mx, 2014), el decibelio como medida adimensional, símbolo [dB], es la décima parte del belio y es en honor al científico Alexander Graham Bell (García, 2014).

#### 2.1.2.1 dB<sub>SPL</sub>

En el oído humano el umbral de audición es en 0[dB] o que es igual a 20[μP] (20x10<sup>-6</sup> *Pascals*) y el umbral de dolor para el oído es a 120[dB] o equivalente a 20[Pa] (Arjona, 2007); a esto se lo conoce como LP o SLP (Sound Level Pressure) que por sus siglas es Nivel de presión Sonora, de una onda acústica (Feo, 2009).

A partir de la siguiente fórmula que expresa el nivel de presión sonora (SPL) permite conocer la relación que existe en los diferentes sonidos expresados en [dB] y [Pa] que presenta la siguiente figura (Arjona, 2007):

$$SPL = 20 * \log \frac{p}{20\mu Pa} [dB] \quad (3)$$

Donde:

20μPa el equivalente a 0[dB] que corresponde al nivel de audición del oído humano.

---

<sup>1</sup> Velocidad de fase de un punto en la onda a una altura constante con un movimiento sea a la izquierda o derecha en el eje de las “x” (Nave M. O., 2014).

### Niveles de presión sonora

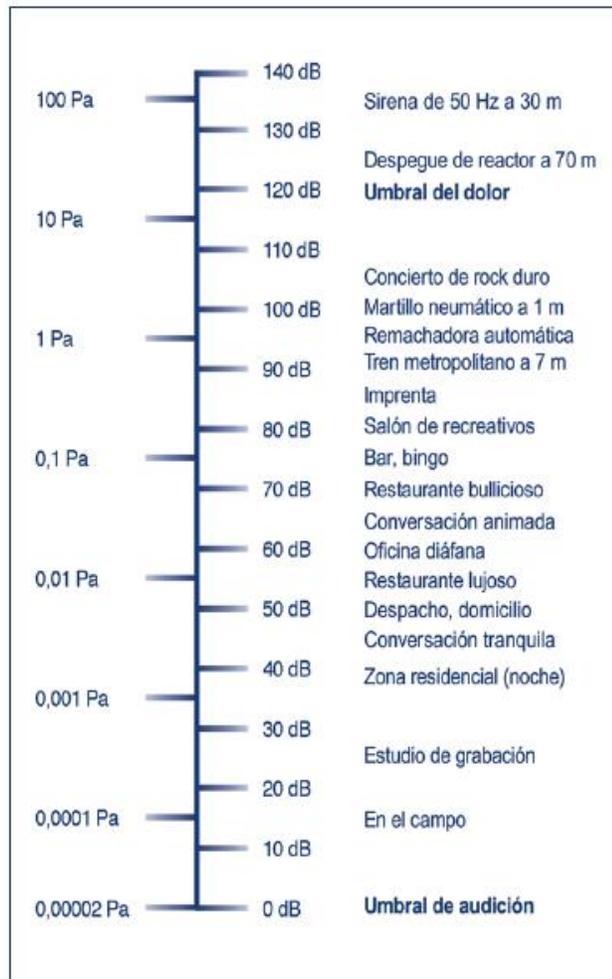


Figura 3. Niveles de referencia acústica. Fuente: (Arjona, 2007)

Por tanto, la presión sonora constituye una forma de expresar la magnitud de un campo sonoro, teniendo por unidad el Pascal [Pa] o el *Newton/metro*<sup>2</sup> [*N/m*<sup>2</sup>] (Isbert, 1998).

La propagación de una onda sonora a través de un medio homogéneo, el aire, hace de forma esférica, por lo que la superficie de la onda será esférica ( $S = 4\pi r^2$ ), y se obtiene que (Catedu, 2014):

$$I = \frac{P}{A} \quad (4)$$

Reemplazando

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (5)$$

Siendo:

I = Intensidad sonora [ $W/m^2$ ]

P = Presión sonora [ $W$ ]

A = Superficie de propagación de una onda [ $m^2$ ]

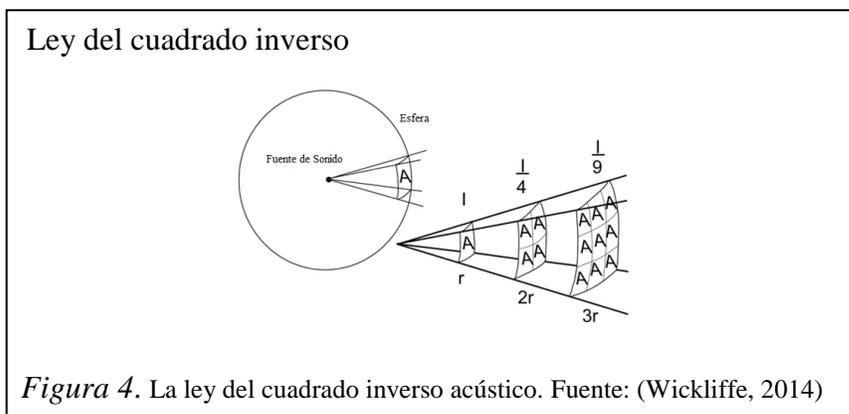
La intensidad sonora como se expresó anteriormente se lo mide en [ $dB_{SPL}$ ] y se calcula con la siguiente expresión donde se toma el siguiente valor como base para el cálculo que es el umbral de la audición ( $10^{-12}W/m^2$ ) =  $I_0$  (Catedu, 2014):

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

La intensidad sonora disminuye a partir de que un individuo se aleja de la fuente sonora en relación al inverso cuadrado de la distancia ( $1/r^2$ ) (Catedu, 2014).

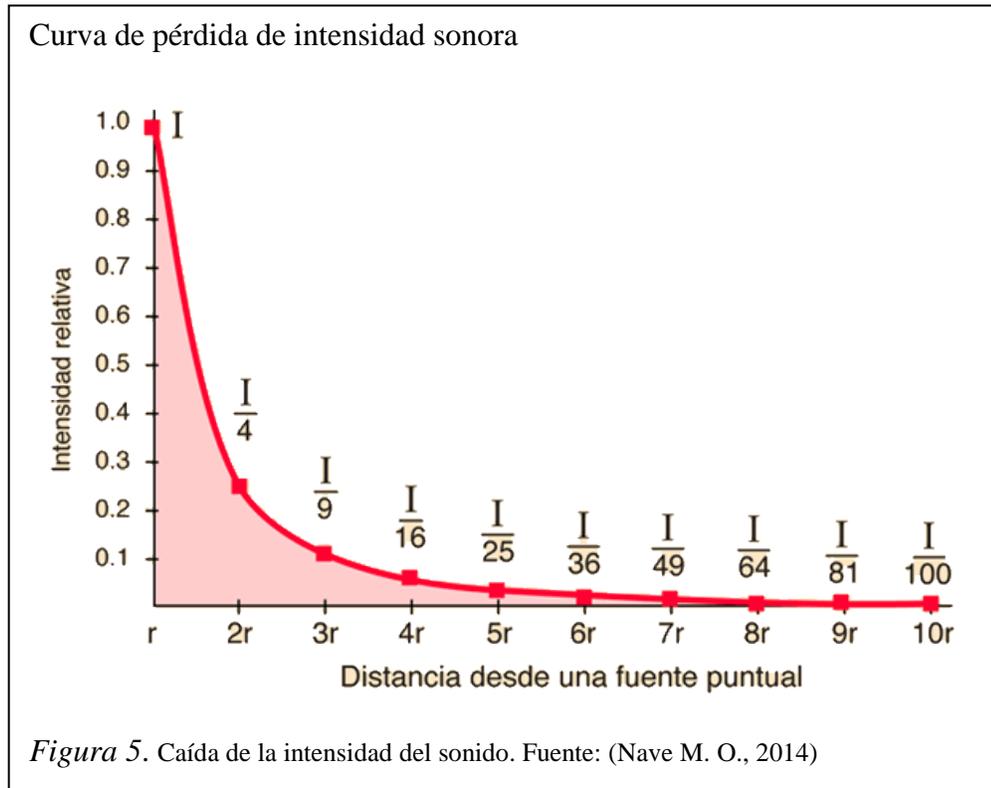
### 2.1.2.2 Ley del inverso del cuadrado

La intensidad de un sonido a partir de una fuente puntual puede verse afectado drásticamente por la ley del inverso cuadrado, siempre y cuando no se presenten reflexiones o reverberaciones en un espacio. La gráfica siguiente muestra el comportamiento de un sonido a ciertas distancias (Nave M. O., 2014):



La energía cuando se propaga (forma esférica) en el aire y recorre el doble de su distancia pierde su intensidad sobre un área cuatro veces mayor (Nave M. O., 2014).

La figura 5, muestra la curva de pérdida del nivel de intensidad sonora a causa de la distancia que puede presentarse (Nave M. O., 2014):



## 2.2 Fenómenos que ocurren en una sonorización en vivo

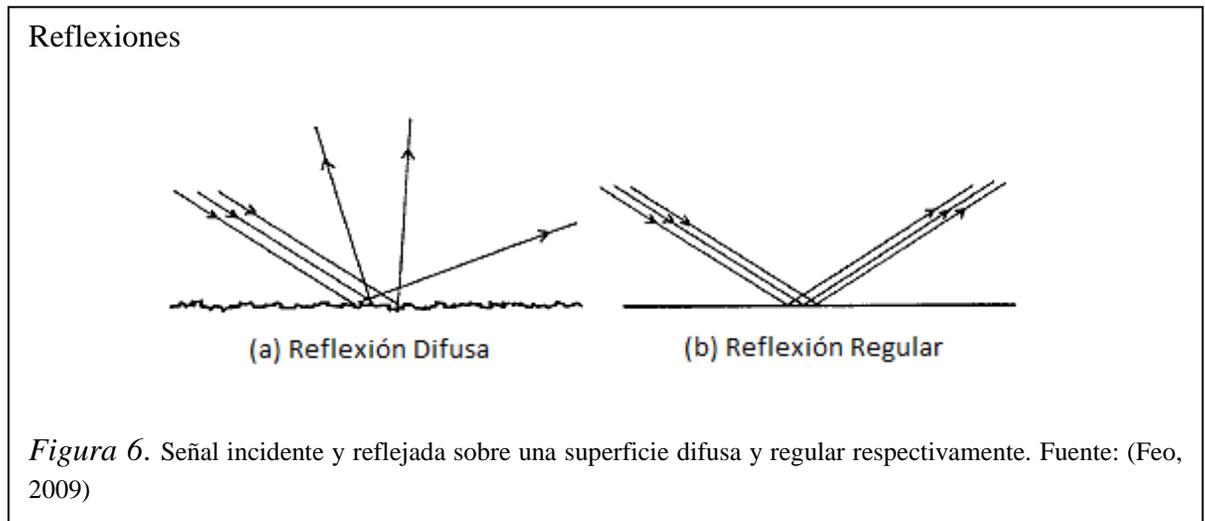
El configurar un sistema de sonorización en directo se debe tomar en cuenta ciertos factores que pueden influenciar un recinto, que si bien pueden perjudicar la propagación del sonido con un adecuado desarrollo se puede contrarrestar o aprovechar como beneficio; previo a tomar una decisión sobre los equipos a implementar hay que observar si la implementación será en un espacio cerrado o al aire libre, el número de personas que asistirán, la temperatura, la humedad, etc. Los fenómenos que se presentan y más destacados son los siguientes (Feo, 2009):

- Reflexión.
- Refracción.

- Difracción.
- Absorción.
- Eco.
- Reverberación.

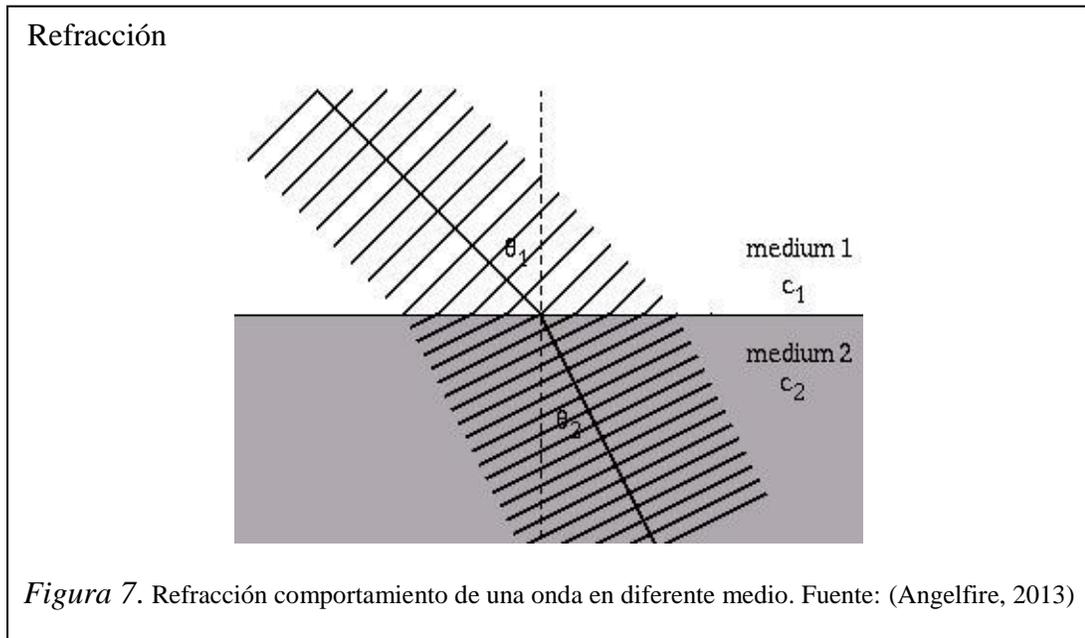
### 2.2.1 Reflexión

La reflexión de una onda de sonido cumple la ley de que el ángulo de la onda incidente sobre una superficie es igual al ángulo de una onda reflejada, este tipo de comportamiento también se presenta en la luz. Por tanto, este fenómeno se da cuando la longitud de onda es menor que un objeto, ahora si una superficie es rugosa que presenta irregularidad dará como resultado una reflexión difusa (Nave, 2014; Feo, 2009).



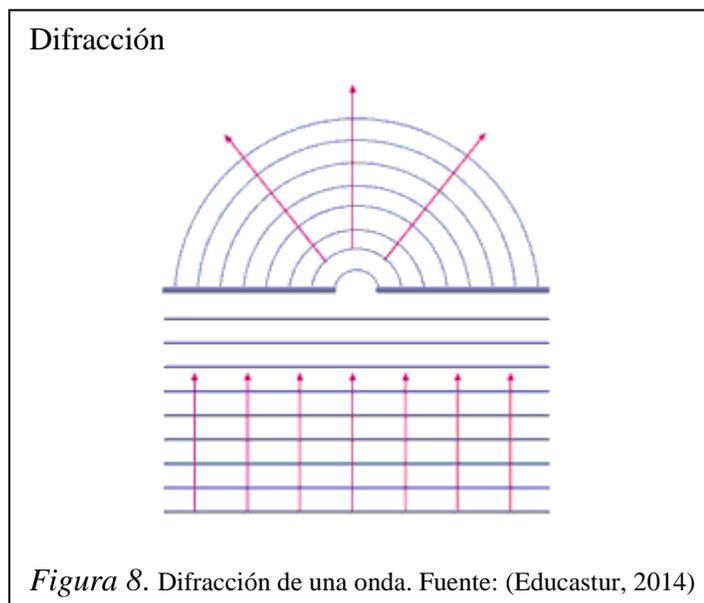
### 2.2.2 Refracción

Es cuando una onda atraviesa un objeto o medio cambiando la dirección y velocidad de propagación, el ángulo de la onda incidente y reflejada no es la misma como ocurría en reflexión (Feo, 2009).



### 2.2.3 Difracción

Es una onda que se propaga en el ambiente la cual sufre una curvatura; cuando la difracción es pronunciada con una longitud de onda es mayor o larga eso implica que se tenga una clara apreciación de frecuencias bajas alrededor de los objetos que las frecuencias altas (Nave M. O., 2014).



## 2.2.4 Absorción

Es una onda que incide sobre un cuerpo donde será absorbida en mayor o menor grado dependiendo del material del cual esté compuesta. El factor de absorción depende del valor de la frecuencia que tenga la onda, para que sea absorbida de forma completa dependerá mucho del tamaño del objeto o caso contrario se reflejará y hasta atravesará dicho cuerpo (Feo, 2009).

Tabla 1.  
*Coefficiente de absorción.*

Especificaciones	Coeficiente de absorción $\alpha$ a la frecuencia [Hz]					
	Material					
	125	250	500	1000	2000	4000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso (Durlock) 12mm a 10cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,50	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
Alfombra de goma a 0,5cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Alfombra de lana 1,2 Kg/m <sup>2</sup>	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 Kg/m <sup>2</sup>	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m <sup>2</sup>	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m <sup>2</sup> fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,90
Espuma de poliuretano (Fonac) 75mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14Kg/m <sup>3</sup> ) 25mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14Kg/m <sup>3</sup> ) 50mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35Kg/m <sup>3</sup> ) 25mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35Kg/m <sup>3</sup> ) 50mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00

Especificaciones						
Material	Coeficiente de absorción $\alpha$ a la frecuencia [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Panel cielorraso Spanacustic (Manville) 19mm	-	0,80	0,71	0,86	0,68	-
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4mm	-	0,72	0,61	0,68	0,79	-
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4mm	-	0,70	0,61	0,70	0,78	-
Panel cielorraso Profil (Manville) 4mm	-	0,72	0,62	0,69	0,78	-
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) 5/8"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWI) 5/8"	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77
Asiento de madera (0,8 m <sup>2</sup> /asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Asiento tapizado grueso (0,8 m <sup>2</sup> /asiento)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Personas en asiento de madera (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,34	0,39	0,44	0,54	0,56	0,56
Personas en asiento tapizado (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,53	0,51	0,51	0,56	0,56	0,59
Personas de pie (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,25	0,44	0,59	0,56	0,62	0,50

Nota: (Miyara, 2006)

Elaborado por: Holger Mera

### 2.2.5 Eco

El Eco es un sonido directo y reflejado con una diferencia de tiempo mayor dando lugar a que se perciba repeticiones, el oído humano puede percibir una diferencia cuando implica sonidos musicales de 0,1[s] y de la palabra a 0,07[s]. Para que dé lugar a que el eco exista en un recinto debe haber una separación mayor a 17[m] de la fuente sonora en sonidos musicales y de 11,34[m] para lo que es palabra o también conocido como sonidos secos (Feo, 2009).

### 2.2.6 Reverberación

Es un fenómeno que se produce por la reflexión de una onda en una pared de un recinto cerrado o semi-cerrado provocando que el sonido se alargue en el tiempo. Existe una característica que define la reverberación es el tiempo de reverberación que corresponde al tiempo que le lleva un sonido en transcurrir hasta que quede reducida a la millonésima parte del valor inicial, representado en lo siguiente (Feo, 2009):

$$TR = \frac{0,161 \cdot V}{A \cdot \bar{\alpha}_S} \text{ [s]} \quad (7)$$

$$TR = \frac{0,161*V}{A_{tot}} [s] \quad (8)$$

Donde:

V= Volumen de la sala [ $m^3$ ].

$A_{tot}$ = Absorción total [Sabin]<sup>2</sup>.

### **2.3 Consideraciones acústicas en recintos abiertos o al aire libre**

Sonorizar en espacio abierto hay ciertos aspectos que se deben tomar en cuenta y que no son controlables, se refiere a las condiciones climatológicas que pueden ser por humedad, la temperatura, el viento y el ruido del ambiente, ya que si no se controla puede resultar en una mala calidad de sonido (Feo, 2009).

### **2.4 Consideraciones acústicas en recintos cerrados o salas**

En un recinto cerrado el comportamiento es distinto a uno al aire libre porque ya no existen los distintos factores del ambiente que no se pueden controlar; en un espacio cerrado como se menciona existe un límite con una fuente sonora que se propaga y sus reflexiones. Para conocer las características de un recinto se debe saber la estructura que la componen con el fin de implementar de un aislamiento acústico y el tratamiento que se le debe dar para lograr un resultado adecuado (Feo, 2009).

#### **2.4.1 Aislamiento acústico**

El aislamiento acústico previene que fuentes externas de sonido lleguen al interior de un lugar al igual que evitar el sonido de un recinto llegue al exterior u otro espacio cerrado (Vasco, 2003).

#### **2.4.2 Tratamiento acústico**

El tratamiento acústico de un recinto depende de su función que este tendrá, una vez determinado se procede con una distribución igualitaria del sonido como el rango de frecuencias (Feo, 2009).

---

<sup>2</sup> El Sabin es el producto del área y el coeficiente de absorción en donde este último es la división de la energía absorbida y la energía incidente.

## 2.5 Consideraciones y cálculos de un refuerzo sonoro para un teatro

El propósito es cumplir con ciertos requerimientos necesarios para desarrollar una sonorización en un recinto de manera adecuada sin perder la inteligibilidad de la palabra o la comprensión por parte del receptor que es el público (Isbert, 1998).

### 2.5.1 El Tiempo de Reverberación

En el apartado 2.2.4, se describió como la reflexión y el tiempo que tarda en reducirse a la millonésima parte del valor inicial, pero al momento de determinar el valor como tal para un teatro con volúmenes que comprendan entre (100 y 1000)  $m^3$  con una sala ocupada dentro de un rango de frecuencias de 500Hz y 1KHz la resultante del promedio debe estar entre  $0,2 \leq RT_{mid} \leq 1,2$  [s] (Isbert, 1998).

Donde:

$$RT_{mid} = \frac{RT(500Hz) + RT(1KHz)}{2} \quad (9)$$

### 2.5.2 Sonoridad

“La sonoridad S (“Speech Sound Level”) es indicativa del grado de amplificación que produce un recinto sobre el mensaje oral emitido” (Isbert, 1998).

Para ello se han establecido valores que preferentemente deben estar dentro de dichos márgenes que son:

$$4 \leq S_{mid} \leq 8 \text{ dB, para una orientación frontal del actor.}$$

$$1 \leq S_{mid} \leq 6 \text{ dB, para una orientación lateral del actor.}$$

### 2.5.3 Irregularidades de un teatro

#### 2.5.3.1 Coloración de la voz y falsa ubicación de la fuente sonora

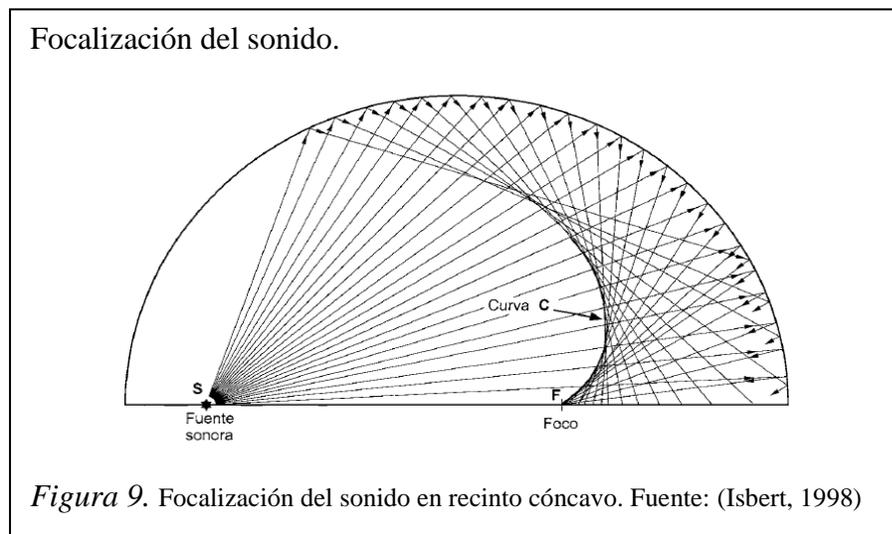
Es evitar que la voz del protagonista tienda a sufrir un realce o atenuación debido al techo falso o paneles laterales reflectantes y grandes a causa de la suma de una fuente directa de sonido y las primeras reflexiones, aparte de ello se crea una confusión de la ubicación real de la fuente sonora por las anomalías mencionadas anteriormente (Isbert, 1998).

### 2.5.3.2 Eco y focalización del sonido

Al diseñar un teatro se deben evitar el eco mencionado en el apartado 2.2.4, focalización del sonido y eco flotante donde resultaría perjudicial tanto al protagonista como espectadores (Isbert, 1998).

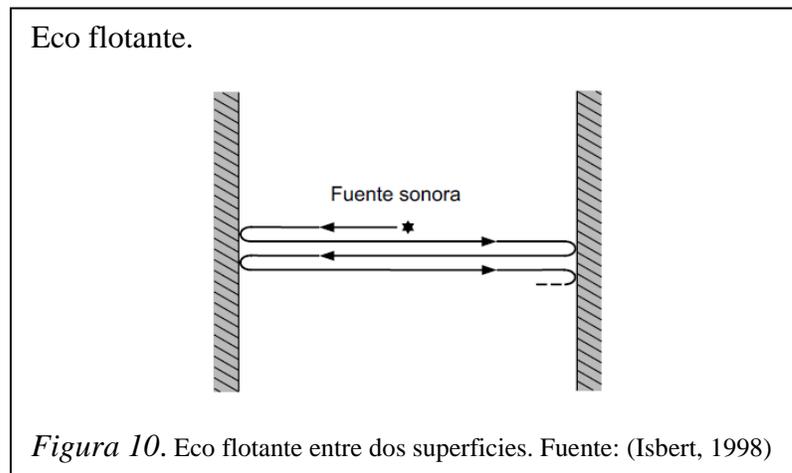
#### 2.5.3.2.1 Focalización del sonido

La focalización del sonido se da en recintos con geometría cóncavas donde la propagación del mismo hace que se concentre en un punto resultando tener un nivel más fuerte (Isbert, 1998).



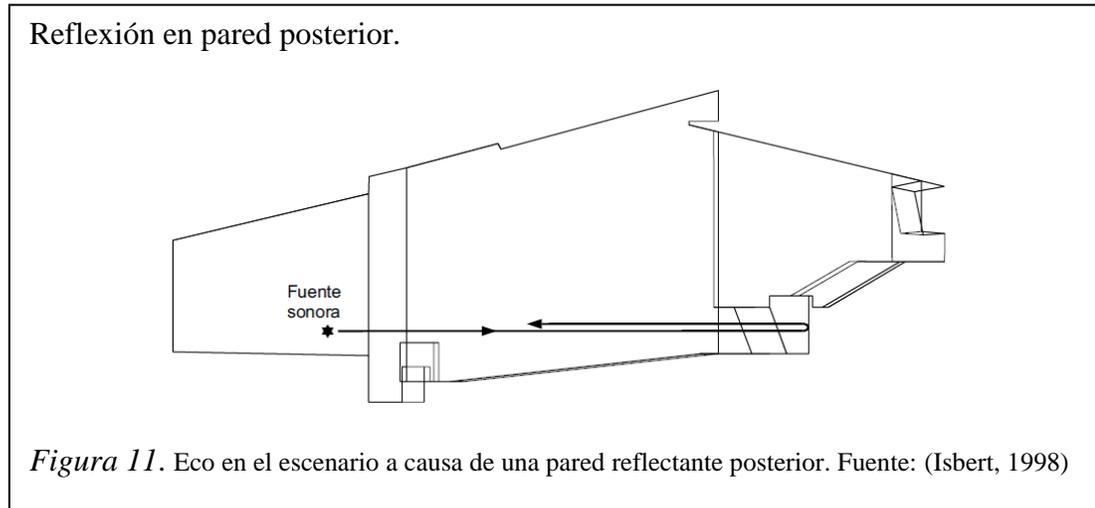
#### 2.5.3.2.2 Eco flotante

Es la repetición múltiple del sonido en un determinado tiempo dentro de dos superficies paralelas, lisas y reflectantes (Casadevall, 2007).



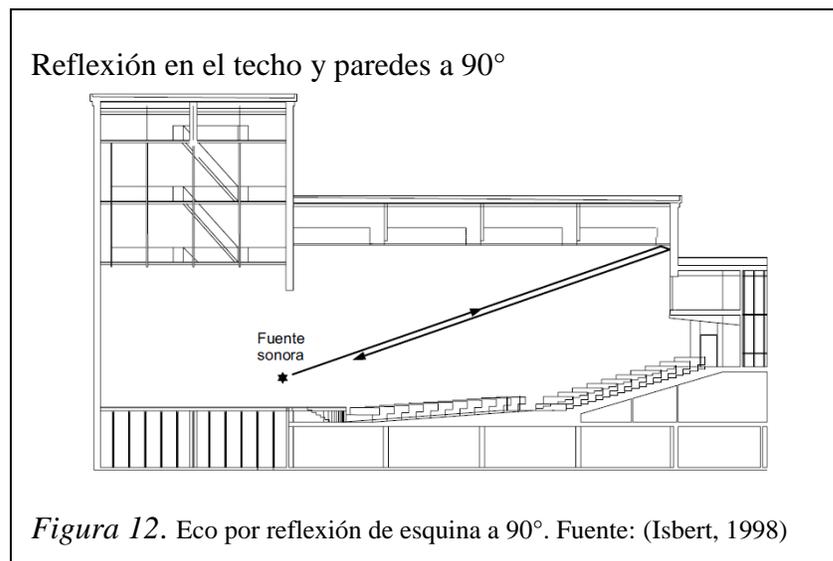
### 2.5.3.3 Reflexión en una pared posterior

El resultado es la aparición de un eco cuando supera la distancia de 8,5 [m] y un retardo superior a 50 [ms] pero exactamente para que aparezca este inconveniente la fuente de sonido debe estar a la misma altura con la pared que causa el inconveniente (Isbert, 1998).



### 2.5.3.4 Reflexión por techo y pared en ángulo de 90°

Es la aparición de un eco cuando el techo como la pared forman un ángulo de 90° y el sonido que regresa tenga igual dirección que el incidente, siempre que supere una distancia de 8,5 [m], a este fenómeno se conoce como reflexión de esquina (Isbert, 1998).

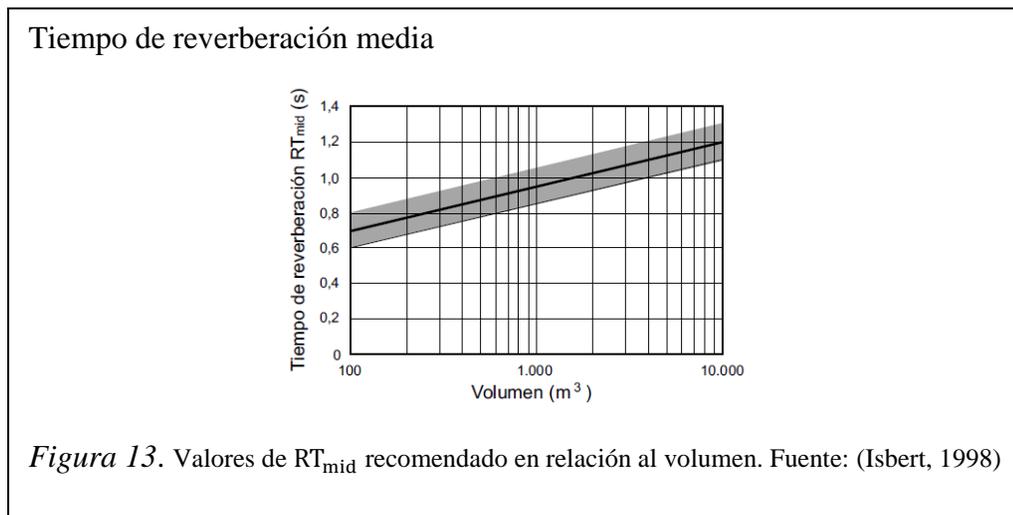


### 2.5.3.5 Relación por volumen, número de asientos y tiempo de reverberación media

El volumen por asiento en un teatro debe comprender de 4 a 6  $m^3$  por asiento para ello la relación aproximada es:

$$4 \leq \frac{V}{N} \leq 6 \quad (10)$$

Cuando se determina el número de asientos se puede hallar el valor del volumen del recinto requerido, también se obtendrá el tiempo de reverberación media  $RT_{mid}$  (500 Hz – 1 KHz) valor que se recomienda para una sala ocupada, en la siguiente figura, se puede obtener el tiempo de reverberación media (Isbert, 1998).



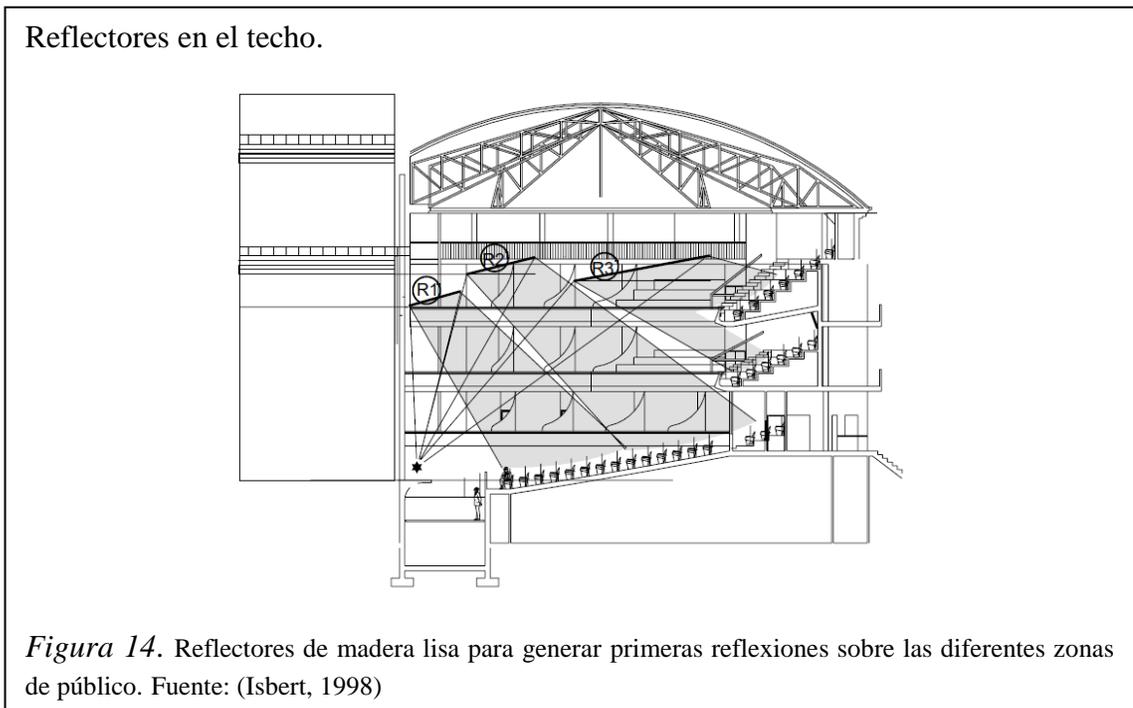
Para una teatro con 1500 asientos el volumen adecuado está entre 6000 a 9000  $m^3$  con un tiempo de reverberación media que comprende de 1,1 a 1,2 [s] y uno de capacidad media que comprende de 500 localidades está entre 2000 a 3000  $m^3$  con un tiempo de reverberación a 1[s]; estos valores se dan cuando el recinto está ocupado (Isbert, 1998).

### 2.5.3.6 Generación de las primeras reflexiones

No solo el hallar un valor de tiempo de reverberancia media, evitar el eco o focalizaciones del sonido, también hay que distribuir de forma adecuada aquellas primeras reflexiones mediante el diseño de superficies con una adecuada orientación al público (Isbert, 1998).

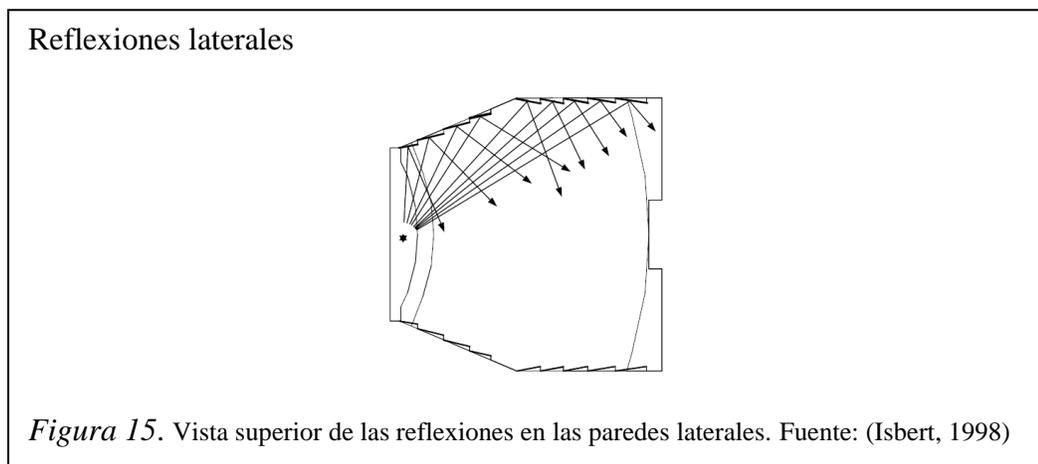
### 2.5.3.7 Parte superior de una sala

La ubicación de estos paneles están en la parte superior del recinto a modo de techo falso o suspendidos, en la figura 14 se aprecian las ubicaciones de forma adecuada a la zona del público (Isbert, 1998).



### 2.5.3.8 Parte lateral de una sala

Otro tipo de primeras reflexiones a parte de las obtenidas del techo también se las puede conseguir en las paredes laterales de una sala logrando una adecuada distribución, la aparición de reflexiones se vuelve imprescindible si el objetivo del sitio es multifuncional que además de teatro sea auditorio (Isbert, 1998).



### 2.5.3.9 Distancia recomendada

Es la distancia máxima aproximada donde se conseguirá inteligibilidad de la palabra entre el espectador y protagonista dentro de un recinto en diferentes ángulos como 0°, 90° y 150° según Barrón.

Tabla 2.

*Límites de distancias máximas para inteligibilidad*

Especificaciones		
Ángulo Actor-Espectador =0°	Ángulo Actor-Espectador =0°	Ángulo Actor-Espectador =0°
20,00 [m]	13,00 [m]	8,90 [m]
28,30 [m]	18,40 [m]	12,80 [m]
34,60 [m]	22,60 [m]	15,50 [m]
40,00 [m]	26,10 [m]	17,90 [m]
44,70 [m]	29,20 [m]	20,00 [m]

Nota: (Isbert, 1998)

Elaborado por: Holger Mera

### 2.5.3.10 Eliminar la coloración de voz o falsa localización de una fuente sonora

Para evitar cualquier tipo de coloración de voz como la falsa localización del sonido no se debe diseñar superficies de gran dimensión tanto en el techo como en paredes, en el caso que no se pueda evitar este tipo de diseño es recomendable una cierta convexidad con un radio de curvatura no menor a 5 [m]; si llega a ser menor el radio podría perder la función de generar primeras reflexiones y se convertiría en un difusor de sonido.

### 2.5.3.11 Eliminar o prevenir ecos

Es necesario para cancelar el eco colocar materiales absorbentes sobre aquellas superficies que resulten conflictivas pero conviene no usar gran cantidad de estos en un recinto ya que podrían disminuir el tiempo de reverberación como la sonoridad; para tener una idea el tratamiento del sitio no debe sobrepasar al 10% de la superficie total.

### 2.5.3.12 Focalización del sonido

La focalización del sonido se da por alguna de las paredes de la sala, para cancelar el efecto se recomienda usar materiales absorbentes como se había mencionado en el apartado 2.5.3.11 y si en el caso el problema se da en el techo se recomienda usar techo falso para absorber y anular la excesiva reflexión del sonido.

## 2.6 Conexión y adaptación de los altavoces

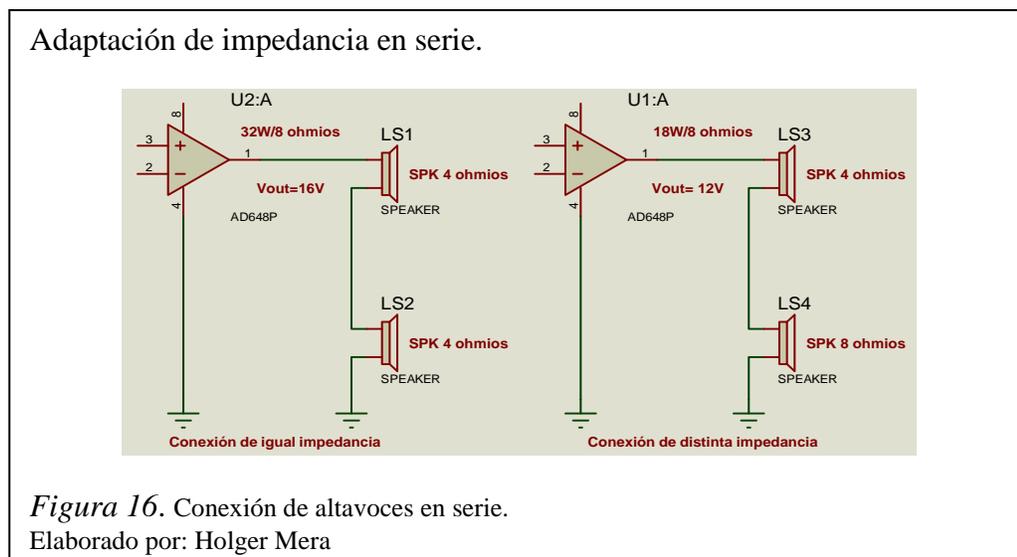
El conexionado de un altavoz debe cumplir ciertas características que permita un adecuado funcionamiento tanto para el sistema de amplificación como los altavoces; el parlante debe tener una impedancia, la cual se la mide en ohmios, semejante a las especificaciones del amplificador debido a que si supera el valor al recomendado no se alcanzará la máxima potencia y si es menor la impedancia el sistema de amplificación puede sobrecalentarse en la etapa de salida (Arjona, 2007).

### 2.6.1 El parlante

Es un transductor electroacústico que transforma la señal eléctrica en sonido y estos se dividen de acuerdo a la frecuencia que se desee reproducir, como las frecuencias bajas el altavoz se lo cataloga como woofer, las frecuencias medias como mid-range y para las frecuencias altas tweeter (Alegsa, 2014).

### 2.6.2 Adaptación de impedancia

La conexión de varios altavoces fijos hay que realizar una configuración con la finalidad de obtener una impedancia equivalente a la del amplificador de audio, para desarrollar esta configuración se siguen las reglas básicas de electrónica de la parte resistiva pero se debe tener cuenta que un parlante no es totalmente resistivo ya que posee una parte inductiva. Los tipos de configuraciones de un parlante puede ser en serie, paralelo y serie-paralelo (Arjona, 2007), la figura 16 muestra el conexionado de altavoces en serie y en la figura 17 en paralelo.



## Adaptación de impedancia en paralelo.

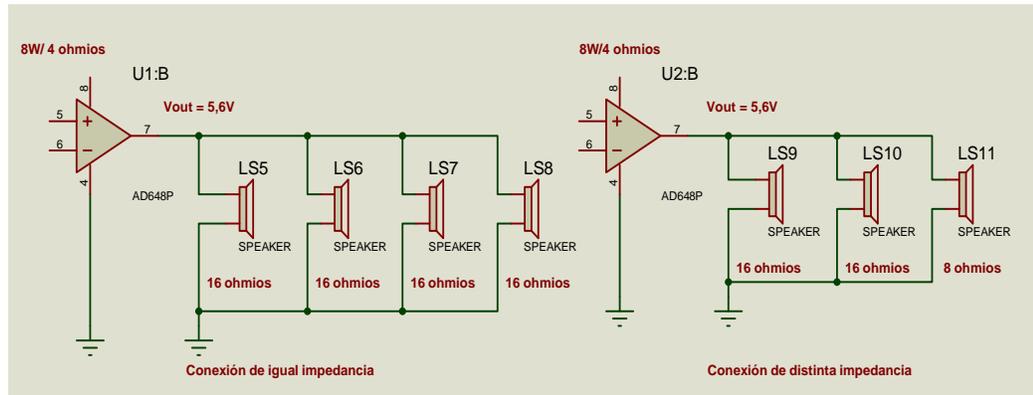


Figura 17. Conexión de altavoces en paralelo  
Elaborado por: Holger Mera

El cálculo para conexión serie y paralelo de la figura 16 y 17 se deben trabajar con dos fórmulas básicas que a partir de la aplicación individual o de ambas permiten hallar los valores y son las siguientes:

$$V = R \cdot I \quad (9)$$

$$P = V \cdot I \quad (10)$$

Conexión en serie de la figura 16 de igual impedancia.

Datos:

$$P=32[W]; R=8[\Omega]; V_{out}=16[V]$$

$$R_T = R_1 + R_2 \quad (11)$$

$$P_T = (I_{out})^2 \cdot R_T \quad (12)$$

$$R_T = (4 + 4)[\Omega] = 8[\Omega]$$

$$P_T = 32[W]$$

Conexión en paralelo de la figura 17 de distinta impedancia.

Datos

$$P=8[W]; R=4[\Omega]; V_{out}=5,6[V]$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad R_T = 4[\Omega] \quad (13)$$

$$P_1 = P_2 = \frac{(V_{out})^2}{R_1} = 1,96[W] \quad (14)$$

$$P_3 = \frac{(V_{out})^2}{R_3} = \frac{31,36}{8} = 3,92[W] \quad (15)$$

### 2.6.3 Cálculo de altavoces

La forma adecuada de hallar el número de altavoces para un recinto con una distribución equitativa de la potencia de un amplificador de audio se lo hace a partir de dos criterios. El criterio 1 es en base a la norma NTE.IAM<sup>3</sup> que en la siguiente tabla muestra un extracto de los datos para instalar altavoces según el número de parlantes y la distancia entre ellos (Arjona, 2007).

Tabla 3.

*Diseño de instalación de megafonía.*

Especificaciones						
Altura del local [m]	Calidad I		Calidad II		Calidad III	
	L [m]	S [m <sup>2</sup> ]	L [m]	S [m <sup>2</sup> ]	L [m]	S [m <sup>2</sup> ]
2,50	5,50	30,00	3,50	12,00	2,50	6,00
3,00	9,00	81,00	5,00	25,00	3,50	12,00
3,50	12,00	144,00	7,00	49,00	5,00	25,00
4,00	15,00	225,00	9,00	81,00	6,00	42,00

Nota: (Arjona, 2007)

Elaborado por: Holger Mera

El criterio 2 presenta el cálculo del número de altavoces a partir del ángulo de cobertura de un parlante con respecto a la posición del oyente y la distancia entre ellas, en el caso que no sea factible la instalación en el techo también se puede hacer en paredes o pilares enfocado hacia las personas de un recinto (Arjona, 2007; Ocaña 2012).

<sup>3</sup> Tiene por objetivo instalar sistemas de megafonía y sonorización de uso general con una altura no mayor a 4[m], superficie no reflectante, edificio y vivienda (NTE-IAM, 1977).

Bocina sobre pilares.

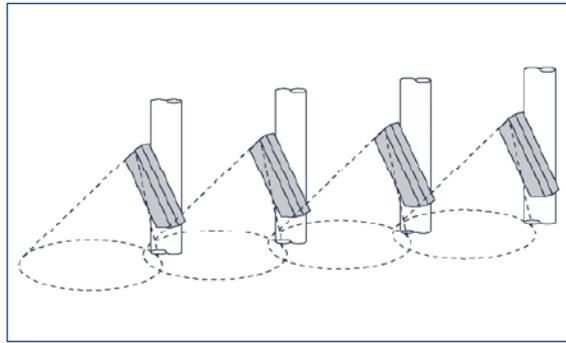


Figura 18. Sonorización de áreas por pilares. Fuente: (Arjona, 2007)

Bocinas en el techo.

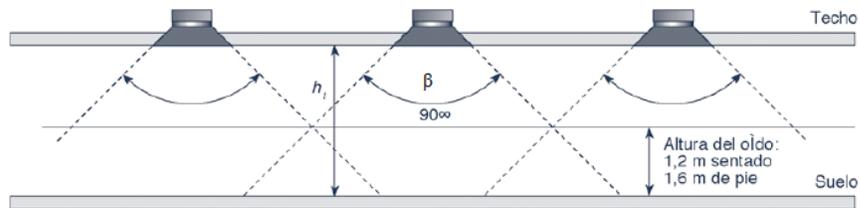


Figura 19. Cálculo del número de parlantes. Fuente: (Arjona, 2007)

$$N = \frac{S}{4[(h_t - h_0) \tan(\beta/2)]^2} \quad (16)$$

$$h = h_t - 1,5 \quad (17)$$

$$2h = 2(h_t - 1,5) \quad (18)$$

Donde:

$N$  = Número de altavoces.

$S$  = Superficie del local  $m^2$ .

$h_t$  = Altura desde el suelo al techo  $m$ .

$h_0$  = Altura desde el suelo hasta el oído  $m$ .

$\beta$  = Ángulo de cobertura del altavoz (grados °).

$h$  = Distancia entre la pared y el altavoz  $m$ .

$2h$  = Distancia entre altavoz y altavoz  $m$ .

En la ecuación (17) el valor de 1,5 corresponde a la “altura media del oído humano adulto” (Ocaña, 2012).

## **2.7 Software de análisis JBL CBT**

Es un programa de simulación para ingeniería en el campo del audio profesional que se basa en altavoces predeterminados en configuración de arreglo lineal (JBL Harman, 2013).

El sistema permite hacer estudios de espacio grande como pequeños con la selección de tres altavoces virtuales, también un mapeo de respuesta del nivel de presión sonora al instalar 6 micrófonos máximos; además incluye un sistema de ecualización que a través de esa aplicación se puede hacer cambios adecuados para sonorizar acorde al interés. El tipo de altavoces que presenta CBT Calculator tiene la opción de determinar si el uso es para discurso o para música y este tipo de parlantes existe en el mercado de JBL. A partir de la sección 3.3.2 se entrará en detalle del estudio la sonorización del nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur Sede Quito (JBL Harman, 2013).

# CBT Calculator

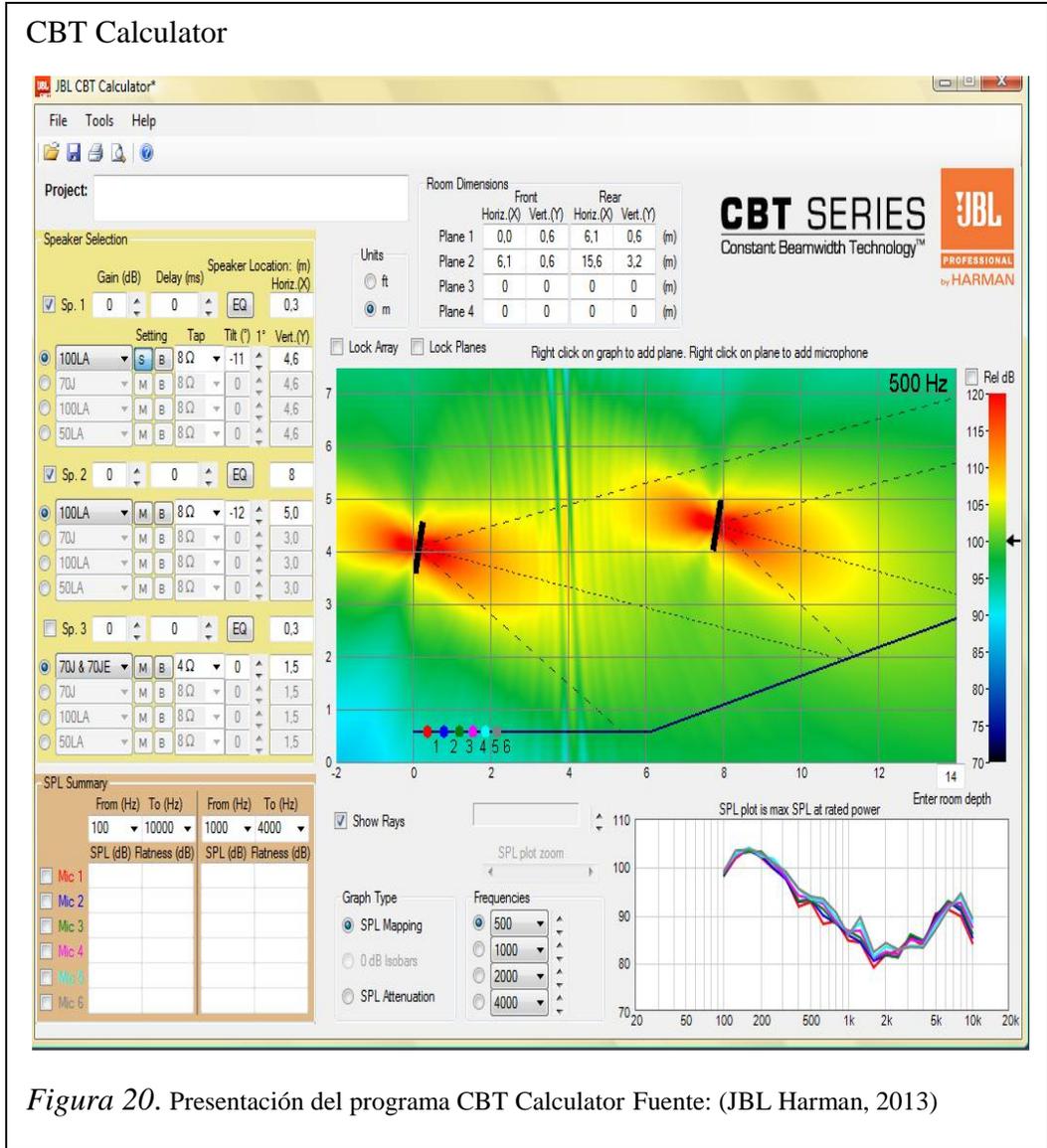


Figura 20. Presentación del programa CBT Calculator Fuente: (JBL Harman, 2013)

## CAPÍTULO 3

### DESARROLLO DE LA SONORIZACIÓN DEL NUEVO TEATRO DE LA POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CAMPUS SUR

#### 3.1 Compilación de datos del recinto

El nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito – Campus Sur será un espacio para el desarrollo de actividades culturales como danza y conferencias como se indica en el apartado 1.5 (Alcance) (Ulloa, 2014).

El teatro tiene un área aproximada de  $249 m^2$  y un volumen de  $1307 m^3$ , sin el escenario, dos accesos principales, dos salidas de emergencia, además de 281 localidades, dicho recinto está constituido por paredes de 20 [cm] de espesor en todos sus lados y que colinda con el bloque A, un escenario y un cuarto de control para equipos de video, audio e iluminación (Bohórquez, 2014; Ochoa, 2013). A continuación se presentan imágenes del nuevo Teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito - Campus Sur y también se adjuntan los planos del teatro que se encuentran en el anexo 1.

Vista externa del teatro.



*Figura 21.* Entrada principal al nuevo teatro de la U.P.S. Sede Quito - Campus Sur.  
Elaborado por: Holger Mera

La figura 22, corresponde al escenario que colinda con los camerinos ubicados en la parte posterior.

Escenario del teatro.



*Figura 22.* Imagen frontal del interior del nuevo teatro de la U.P.S. desde la entrada hacia el escenario.

Elaborado por: Holger Mera

La figura 23, es la parte lateral derecha del teatro que tiene una puerta de emergencia que lleva al Bloque “G”.

Vista lateral del teatro.



*Figura 23.* Vista lateral derecha del nuevo teatro de la U.P.S.

Elaborado por: Holger Mera

La figura 24, con vista lateral izquierda tiene otra puerta de emergencia que está cerca a la parte posterior de la biblioteca del Bloque “A” y las áreas verdes.



### 3.2 Cálculo matemático aplicado para el refuerzo sonoro

#### 3.2.1 Normativa Acústica

El Ecuador no posee un desarrollo amplio y detallado sobre el tratamiento de los niveles de ruido para edificaciones de fuentes fijas pero si una información general con la cual se pueden estimar los valores para el aislamiento acústico. La Alcaldía del Distrito Metropolitano de Quito por medio de la Ordenanza Metropolitana N° 146 de la emisión de ruido de fuentes fijas, presenta una tabla de valores máximos permitidos (Echanique, 2005).

Tabla 4.

*Niveles máximos permitidos de ruidos para fuentes fijas.*

Especificaciones	Nivel de presión Sonora Equivalente NPS eq. [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona Equipamientos y protección	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial Múltiple	55	45
Zona Industrial	60	50
Zona Industrial 2	65	55
Zona Industrial 3 y 4	70	60

Nota: (Echanique, Ecuador Ambiental, 2005)

Elaborado por: Holger Mera

El nivel normal de ruido para un teatro lleno está en 40 [dB] en cambio para un teatro vacío comprende un valor 30 [dB] (Soto, 2012).

### **3.2.2 Tiempo de reverberación**

En el apartado (2.2.4) presenta una fórmula que permitirá hallar el tiempo de reverberación media. Dicha ecuación requiere de ciertos datos como el volumen del recinto que se expresó en el apartado (3.1). El coeficiente de absorción de cada material a implementar viene dado en una tabla de valores y las superficies a partir de los planos. Para obtener el valor se desarrollará una tabla que componen los materiales del recinto con sus diferentes coeficientes de absorción (Cando & Utreras, 2007).

Tabla 5.  
Resultante de coeficientes de absorción para las distintas superficies.

TEATRO	Tipo de Superficie del Teatro	Área en m <sup>2</sup>	Coeficiente de absorción $\alpha$ a la frecuencia [Hz]			
			500		1000	
			$\alpha$	$S*\alpha$	$\alpha$	$S*\alpha$
<i>Piso</i>	Alfombra de lana 1,2Kg/m <sup>2</sup>	249	0,11	27,39	0,3	74,7
	Personas en asiento tapizado (0,8m <sup>2</sup> /persona)	224,8	0,51	114,648	0,56	125,888
<i>Techo</i>	Panel cielorraso Spanacustic (Manville) 19mm	249	0,71	176,79	0,86	214,14
	Lana de vidrio (panel 35Kg/m <sup>3</sup> ) 25mm	249	0,8	199,2	0,9	224,1
<i>Escenario</i>	Parquet	11	0,07	0,77	0,06	0,66
	Cortina 475g/m <sup>2</sup> fruncida al 50%	51,23	0,49	25,1027	0,75	38,4225
<i>Paredes laterales</i>	Madera aglomerada en panel	87,18	0,5	43,59	0,55	47,949
	Lana de vidrio (panel 35Kg/m <sup>3</sup> ) 25mm	139,76	0,8	111,808	0,9	125,784
	Yeso sobre metal desplegado	168,66	0,04	6,7464	0,06	10,1196
<i>Puertas de acceso y de emergencia</i>	Puerta	15,12	0,06	0,9072	0,08	1,2096
<b>Resultante de sumatoria</b>		<b>1444,75</b>		<b>706,9523</b>		<b>862,9727</b>
				<b>0,489325</b>		<b>0,59731628</b>

Nota: (Cando & Utreras, 2007)  
Elaborado por: Holger Mera

A partir de los resultados del producto de la superficie con los diferentes coeficientes de absorción de la tabla 5, se encontrará el promedio necesario para determinar el tiempo de reverberancia media.

$$\bar{\alpha}_S = \frac{\Sigma(S*\alpha)}{2} \quad (19)$$

$$\bar{\alpha}_S = \frac{0,489325+0,59731628}{2}$$

Reemplazando  $\bar{\alpha}_S = 0,54$

Con la ecuación (7) se obtendrá el tiempo de reverberancia:

$$TR = \frac{0,161 * V}{A * \bar{\alpha}_S}$$

$$TR = \frac{0,161*1307}{1444,75*0,54} \quad \text{Reemplazando}$$

$$TR = 0,23 [s]$$

### 3.2.3 Claridad de la voz ( $C_{50}$ )

Es la relación de una energía sonora que percibe un oyente dentro de los primeros 50 [ms] donde la resultante debe ser mayor a los 2 [dB] y mientras supere el valor indicará que mejor será la inteligibilidad (Isbert, 1998). La variación de la inteligibilidad de voz depende mucho del tiempo de reverberación (TR) a menor sea la resultante del TR mayor es la claridad de voz y viceversa (García P. ).

La siguiente ecuación permitirá obtener el valor de  $C_{50}$  (Ahnert & Schmidt, 2014):

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{\gamma s^* \left( \frac{r_H}{r_X} \right)^2 + 1 - e^{-\frac{0,69}{T}}}{e^{-\frac{0,69}{T}}} \right\} \quad [\text{dB}] \quad (20)$$

$$r_H = 0,057 * \sqrt{\frac{V}{T}} \quad [m] \quad (21)$$

Donde:

$r_X$ = Distancia de la fuente de sonido y el oyente en [m].

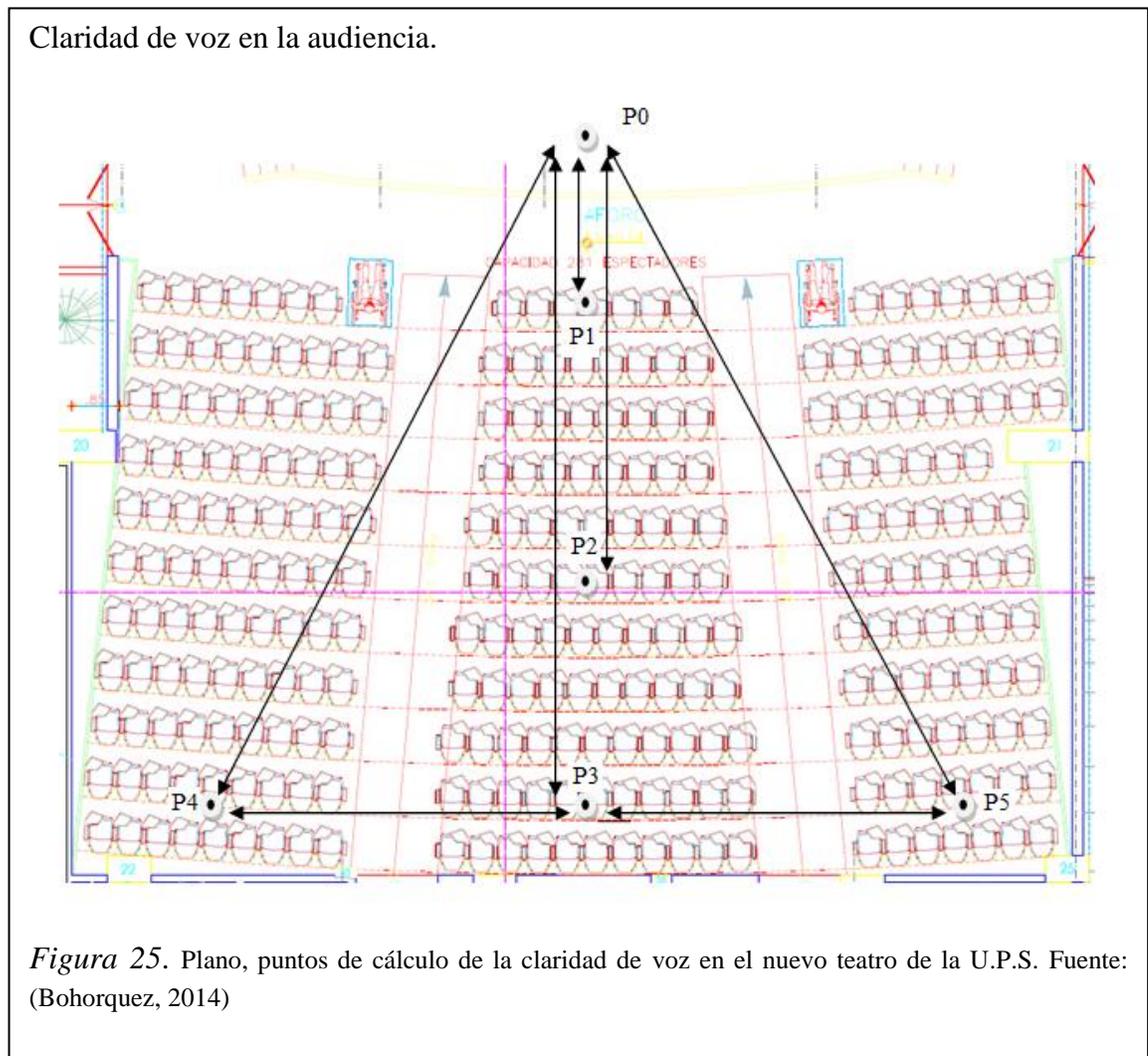
$r_H$  = Distancia del campo difuso en un área o zona amplia [m].

$\gamma_s \approx 3$ ; Índice de directividad del hablante (Ahnert & Schmidt, 2014).

V = Volumen del recinto [ $m^3$ ].

T = Tiempo de reverberación en [s].

Para hallar el valor de la claridad de voz es necesario establecer puntos de prueba dentro del recinto a partir de la posición del hablante que sería el escenario del nuevo teatro; la siguiente figura muestra los valores de los puntos:



Donde:

$|P0| = 0$  [m] corresponde a la posición del hablante.

$|P0 - P1| = 2$  [m]

$|P0 - P2| = 6,36$  [m]

$|P0 - P3| = 12,72$  [m]

$|P0 - P4| = |P0 - P5| = 15,169$  [m]

$|P3 - P4| = |P3 - P5| = 8,265$  [m]

### 3.2.3.1 Cálculo de la claridad de voz ( $C_{50}$ )

Con el valor hallado en la ecuación (21) se reemplazará en (20) para obtener las resultantes de claridad de voz en los diferentes puntos.

$$r_H = 0,057 * \sqrt{\frac{V}{T}} [m]$$

$$r_H = 0,057 * \sqrt{\frac{1307}{0,23}} [m]$$

$$r_H = 4,296 [m]$$

- Cálculo de  $C_{50}$  en  $|P0 - P1|$  :

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{\gamma * \left(\frac{r_H}{r_X}\right)^2 + 1 - e^{-\frac{0,69}{T}}}{e^{-\frac{0,69}{T}}} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{3 * \left(\frac{4,296}{2}\right)^2 + 1 - e^{-\frac{0,69}{0,23}}}{e^{-\frac{0,69}{0,23}}} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{13,841 + 1 - e^{-3}}{e^{-3}} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{14,841 - 0,0497}{0,0497} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 10 * \log_{10}\{297,61\}[\text{dB}]$$

$$C_{50} = 24,7 \quad [\text{dB}]$$

- Cálculo de  $C_{50}$  en  $|P0 - P2|$  :

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{3 * \left( \frac{4,296}{6,36} \right)^2 + 1 - e^{-\frac{0,69}{0,23}}}{e^{-\frac{0,69}{0,23}}} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{1,3687 + 1 - 0,0497}{0,0497} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 16,7 \quad [\text{dB}]$$

- Cálculo de  $C_{50}$  en  $|P0 - P3|$  :

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{3 * \left( \frac{4,296}{12,72} \right)^2 + 1 - e^{-\frac{0,69}{0,23}}}{e^{-\frac{0,69}{0,23}}} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{0,3421 + 1 - 0,0497}{0,0497} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 14,2 \quad [\text{dB}]$$

- Cálculo de  $C_{50}$  en  $|P0 - P4| = |P0 - P5|$  :

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{3 * \left( \frac{4,296}{15,169} \right)^2 + 1 - e^{-\frac{0,69}{0,23}}}{e^{-\frac{0,69}{0,23}}} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 10 * \log_{10} \left\{ \frac{0,3421 + 1 - 0,0497}{0,0497} \right\} [\text{dB}]$$

$$C_{50} = 13,8 \quad [\text{dB}]$$

### 3.2.4 Definición (D)

“Es la relación entre la energía que llega al oyente dentro de los primeros 50 [ms] desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo y las primeras reflexiones) y la energía total recibida por el mismo” (Isbert, 1998). La siguiente fórmula permitirá hallar la definición en base a los resultados obtenidos de la claridad de voz:

$$D = \frac{1}{1+10^{-\frac{C_{50}}{10}}} \quad (22)$$

- Cálculo de  $D$  en  $|P0 - P1|$  :

$$D = \frac{1}{1+10^{-\frac{C_{50}}{10}}} = \frac{1}{1+10^{-\frac{24,7}{10}}}$$

$$D = 0,99$$

- Cálculo de  $D$  en  $|P0 - P2|$  :

$$D = \frac{1}{1+10^{-\frac{C_{50}}{10}}} = \frac{1}{1+10^{-\frac{16,7}{10}}}$$

$$D = 0,97$$

- Cálculo de  $D$  en  $|P0 - P3|$  :

$$D = \frac{1}{1+10^{-\frac{C_{50}}{10}}} = \frac{1}{1+10^{-\frac{14,2}{10}}}$$

$$D = 0,96$$

- Cálculo de  $D$  en  $|P0 - P4| = |P0 - P5|$  :

$$D = \frac{1}{1+10^{-\frac{C_{50}}{10}}} = \frac{1}{1+10^{-\frac{13,8}{10}}}$$

$$D = 0,95$$

Por tanto, dicho valor en una sala ocupada  $D > 0,50$  y mientras mayor sea el valor, la inteligibilidad del mensaje oral será mejor (Isbert, 1998).

### 3.3 Software JBL CBT aplicado al estudio

En esta sección implicará el uso de un programa que permitirá apreciar la propagación del sonido dentro de un recinto a partir de un acondicionamiento que por lo general es de multiuso consiguiendo un equilibrio adecuado (Parra, 2008). Previo a ello se describirá el acondicionamiento acústico como paso para la implementación de los equipos por medio del programa.

### 3.3.1 Acondicionamiento Acústico

El acondicionamiento acústico como objetivo es que sea menor el nivel de reflexión para prevenir el fenómeno del eco y más aun la ininteligibilidad de la palabra, para ello es necesario hacer un acondicionamiento acústico con materiales absorbentes para mitigar cualquier tipo de problema, para ello se indicó en la sección (3.2.2) cuales se usarán. Cada uno de estos materiales generalmente son de condición porosa o fibrosa que básicamente pueden ser de lana de vidrio, espuma de resina, entre otros (Vidal, 2012).

Cuando una onda viaja por el aire y choca con una superficie ocurren dos comportamientos que es la reflexión y la otra la absorción. Esta porción de onda absorbida por un material poroso pondrá en movimiento partículas de aire en el espacio hueco, con esta interacción será quien cause que la energía sonora se transforme en calor debido a las capas sólidas del material y a mayor número de veces atraviere estos materiales mayor será la atenuación (Vidal, 2012).

En el nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur primero se armaría el aislamiento en base a tabiques, lana de vidrio y paneles para las paredes y techo, a continuación se presenta una imagen a modo de ejemplo que contempla la mejoría para el paso siguiente que sería el acondicionamiento en dicho recinto (Parra, 2008).



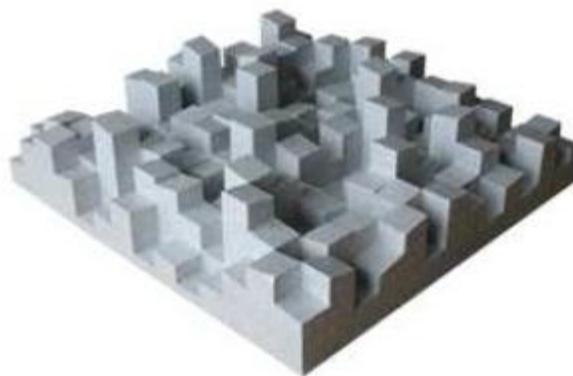
Lana de vidrio sobre superficies.



*Figura 27.* Aislamiento Acústico del techo. Fuente: (Parra, 2008)

Una parte prioritaria al momento del acondicionamiento es lograr la uniformidad de la propagación del sonido por todo el recinto, de ahí la importancia de colocar difusores acústicos que básicamente son superficies geométricas irregulares (Ocaña, 2012).

Difusores.



*Figura 28.* Difusor acústico. Fuente: (Parra, 2008)

Una vez que se ha aislado y acondicionado el recinto podrá quedar de la siguiente manera como la figura 29, con relación al diseño quedará al criterio de la persona.



El acondicionamiento en un recinto evitará el paralelismo acústico que ocurre cuando una onda se propaga continuamente de un punto a otro de la sala es decir: del techo al suelo o entre las paredes (Gago, 2014).

### **3.3.2 Dimensiones aplicadas al programa JBL CBT para el nuevo Teatro**

El programa permite un fácil manejo donde el primer paso será determinar las unidades con las que se trabajará: sea en pies o metros, que en este caso se lo hace en metros, con la finalidad de estructurar las dimensiones del recinto; además el software permite trabajar hasta con cinco planos (JBL Harman, 2013).

### **3.3.3 Selección de altavoces JBL CBT**

JBL CBT calculator permite aplicar una simulación con equipos reales que hay en el mercado, con esa garantía permitirá seleccionar hasta tres altavoces en combinación con sus diferentes modelos dentro de la simulación de un recinto. Para el estudio del nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito Campus Sur se estableció el uso de dos altavoces que son adecuados y permite una propagación homogénea del sonido; el modelo usado es 70J & 70JE que se da un visto para seleccionar, también una

ganancia de 0,5 [dB] en ambos y una distancia aproximada entre parlantes de 5 [m] con ángulo de inclinación de  $-40^\circ$  a cada uno. El detalle de los parámetros establecidos se encuentran en la siguiente figura y además las características técnicas de los parlantes se detallan en sección 3.4 (JBL Harman, 2013).

Elección de diferentes altavoces.

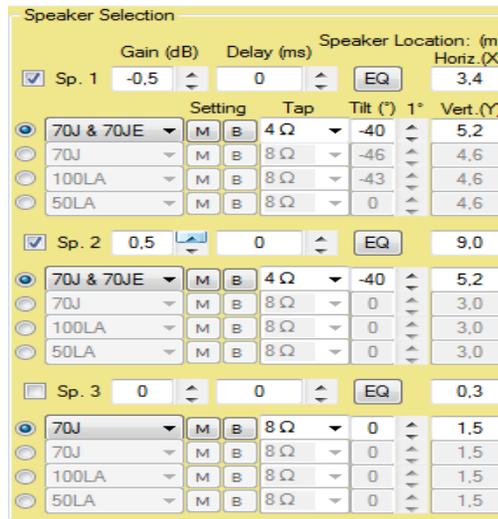


Figura 30. Selección de altavoces. Fuente: (JBL Harman, 2013)

### 3.3.4 Nivel de presión sonora de los micrófonos

El programa presenta una gráfica a partir de la ubicación de seis micrófonos (el máximo que permite el software) indicando la respuesta de frecuencia en magnitud de cada uno para determinar sus pérdidas. Dentro de los planos se ubicarán de forma conveniente en diferentes lugares (JBL Harman, 2013).

Niveles de respuesta.

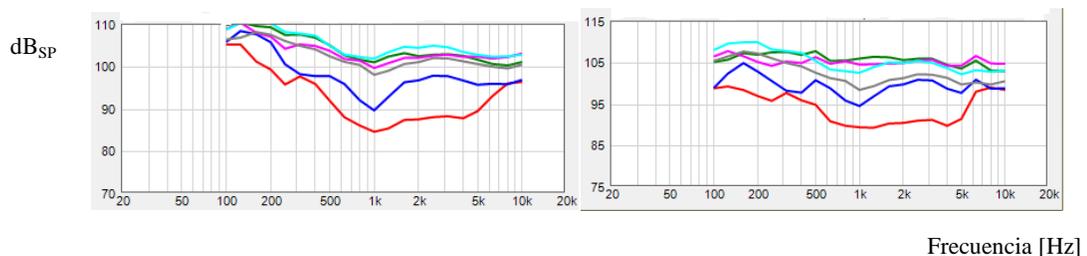


Figura 31. Respuesta gráfica del nivel de presión sonora con pérdidas y sin pérdidas. Fuente: (JBL Harman, 2013)

## Ecuador de CBT calculator

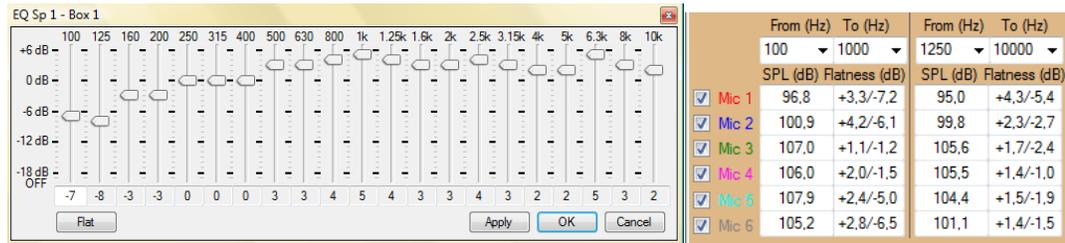


Figura 32. Ecuación y tabla de resumen del nivel de presión sonora Fuente: (JBL Harman, 2013)

La figura 31, es la resultante de la ubicación de los micrófonos en diferentes puntos, algunas muestran caídas a cierta frecuencia en donde la solución a este problema es dar una ganancia por medio de la ecualización con la finalidad de evitar la pérdida. En la figura 32 muestra la escala ecualización adecuada y la tabla de resumen del nivel de presión sonora en los diferentes puntos (JBL Harman, 2013).

Seleccionado los parámetros para sonorizar el recinto se tendrá una propagación homogénea del sonido en el teatro como lo presenta la figura 33 en cuatro cuadros a diferentes frecuencias de (500, 2500, 4000 y 8000) Hz respectivamente al igual que la ubicación de los seis micrófonos en el plano (JBL Harman, 2013).

### Propagación del sonido.

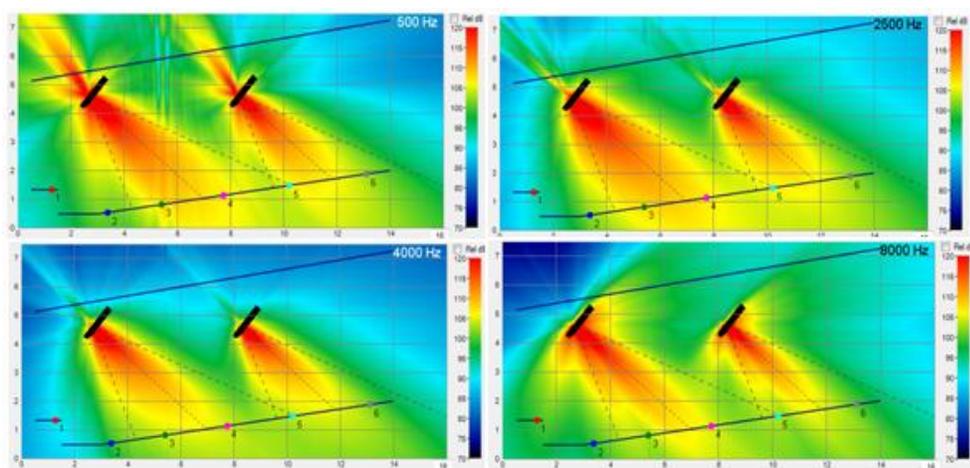


Figura 33. Vista lateral del recinto en el programa. Fuente: (JBL Harman, 2013)

### 3.3.5 Distancia entre altavoces para el recinto del nuevo teatro

El programa JBL CBT presenta el uso de dos altavoces debido a que trabaja en 2D pero, en el diseño real serán cuatro, equidistantes dentro del recinto. Para determinar la distancia que tendrá entre altavoces se aplicará la fórmula (18) de la sección 2.6.3 (Arjona, 2007).

$$2h = 2(h_t - 1,5)$$

- Siendo  $h_t$  la distancia entre el suelo y el techo.

$$2h = 2(4,36 - 1,5)$$

$$2h = 2(2,86)$$

$$2h = 5,72 [m]$$

### 3.3.6 Programa alternativo para el refuerzo sonoro

El programa EASE Focus 2 es otra alternativa como uso para refuerzo sonoro desarrollo por la empresa D.A.S. Audio dedicada al sector de la acústica profesional permitiendo la descarga de forma gratuita y legal (D.A.S., 2014).

#### 3.3.6.1 EASE Focus V2

Este programa es de simulación acústica de manera tridimensional con el aplicativo de arreglo lineal a partir de ingresar los datos geométricos del recinto permitiendo observar en el plano horizontal y vertical sus coberturas con información más exacta (D.A.S\_EASEv2, 2014).

##### 3.3.6.1.1 Arreglo lineal (Line Array)

“Se definido el arreglo lineal como un agrupamiento de fuentes de fuentes sonoras separadas por una distancia concreta con la intención de que el conjunto de fuentes se comporte como única fuente con características directivas especiales” (Feo, 2009).

Altavoces.



*Figura 34.* Arreglo lineal Fuente: (GUIL, 2014)

#### **3.3.6.1.2 Ventajas de un arreglo lineal**

Un arreglo lineal tiene por propósito la reproducción más fiel posible de un sonido original al igual que proporcionar un alto nivel de presión sonora para todo el público presente, por tanto, en estos últimos años se está dando una importante evolución de este tipo de altavoces ofreciendo las siguientes ventajas (Feo, 2009):

- “Menor pérdida de presión sonora al aumentar la distancia, lo que permite utilizar hasta 16 veces menos potencia que en sistemas tradicionales para obtener los mismos o mejores resultados” (Feo, 2009).
- “Mejor cobertura de uniformidad en la zona de audiencia debido a las características directivas consiguiendo que todo el sistema se comporte como única fuente de sonido” (Feo, 2009).
- “Reducción importante del tiempo de montaje del sistema completo” (Feo, 2009).
- “Niveles superiores de SPL con un número menor de cajas” (Feo, 2009).

### **3.3.6.1.3 Tipos básicos de arreglos de cajas acústicas**

Un arreglo es cuando interactúan dos o más cajas acústicas a una proximidad con otra obteniendo siete tipos de arreglos que se describirá a continuación, las figuras de los tipos de arreglos se detallan en el anexo 2 (Feo, 2009):

- Arreglos estrechos de punto de origen.
- Arreglos amplios de punto de origen.
- Arreglos en paralelo.
- Arreglos de fuego cruzado.
- Arreglos separados de punto de origen.
- Arreglos separados en paralelo.
- Arreglos separados de punto de destino.

#### **3.3.6.1.3.1 Arreglos estrechos de punto de origen**

Es la conformación de dos cajas acústicas una cercana a la otra pero no en paralelo es decir de configuración de arco (Feo, 2009).

#### **3.3.6.1.3.2 Arreglos amplios de punto de origen**

Es la conformación de dos cajas acústicas en forma de un arco sin encontrarse juntas la una de la otra (Feo, 2009).

#### **3.3.6.1.3.3 Arreglos en paralelo**

Es la unión de dos o más cajas acústicas que están en paralelo al plano frontal de dichas cajas (Feo, 2009).

#### **3.3.6.1.3.4 Arreglos de fuego cruzado**

Es cuando dos cajas acústicas se sitúan de manera que los patrones de radiación se cruzan, pero tiene un problema que es la interferencia por el cual no es un arreglo recomendable (Feo, 2009).

#### **3.3.6.1.3.5 Arreglos separados de punto de origen**

Corresponde a una separación bastante amplia entre cada caja desde el punto de origen siendo otro tipo de arreglo para sistemas de relleno (Feo, 2009).

### 3.3.6.1.3.6 Arreglos separados en paralelo

Son aplicados para sistemas de cobertura de relleno, este trabaja mejor si la cobertura de profundidad es pequeña permitiendo una distribución homogénea de nivel suave sobre un área mayor (Feo, 2009).

### 3.3.6.1.3.7 Arreglos separados de punto de destino

“Disposición de cajas acústicas separadas una distancia notable y cuyos patrones apuntan de forma que se cruzan en un determinado punto de destino” (Feo, 2009).

### 3.3.6.2 Sonorización con EASE Focus V2

El programa posee una gran variedad de equipos aéreos que permite una combinación para lograr una adecuada sonorización del recinto, el detalle de los equipos se ampliará en la sección 3.4, al ingresar las medidas del lugar como las dimensiones del escenario y la audiencia se obtendrá las diferentes respuestas de mapeo en tres dimensiones, en las siguientes gráficas presentan las respuestas del recinto del nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur como una herramienta alterna para este estudio (Damiano, 2012).

La figura 35, es la presentación del programa EASE Focus V2 como herramienta alterna en programas de sonorización y la figura 36, como parte de los complementos del programa muestra el arreglo lineal con las dimensiones facilitando saber si son los indicados o no para un recinto.

EASE focus V2.

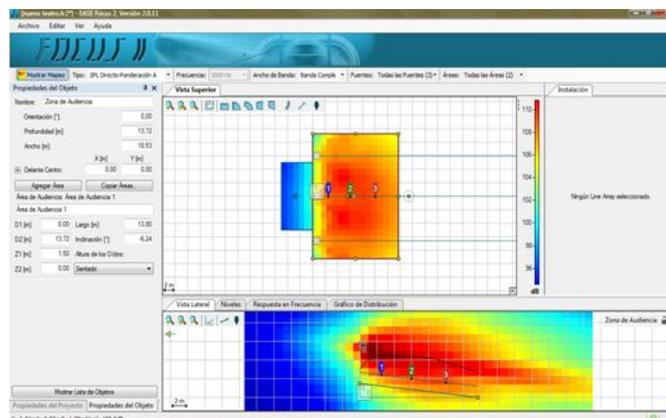


Figura 35. Ventana de presentación del programa EASE V2. Fuente: (D.A.S\_EASEv2, 2014)

### Arreglo lineal

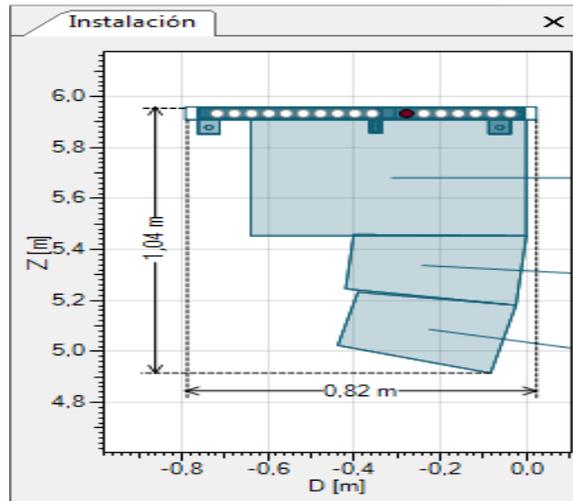


Figura 36. Dimensiones de las cajas aéreas del recinto a aplicar. Fuente: (Damiano, 2012)

La figura 37, muestra el nivel de presión sonora (SPL) en un recinto en base a las tonalidades e indicados en la barra de valores en la parte derecha para cuantificarlos y la figura 38, al igual que la 37 presenta el (SPL) visto desde el eje (z).

### Planos de simulación.

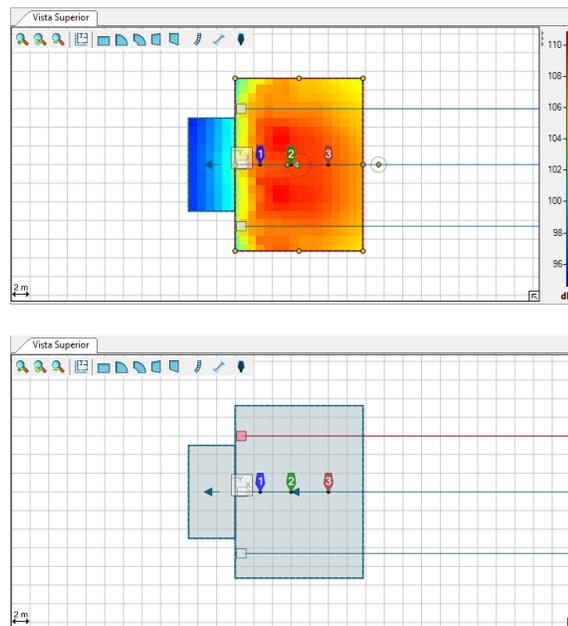


Figura 37. Mapeo del escenario desde una vista superior eje (x,y) respectivamente. Fuente: (Damiano, 2012)

## Simulación.

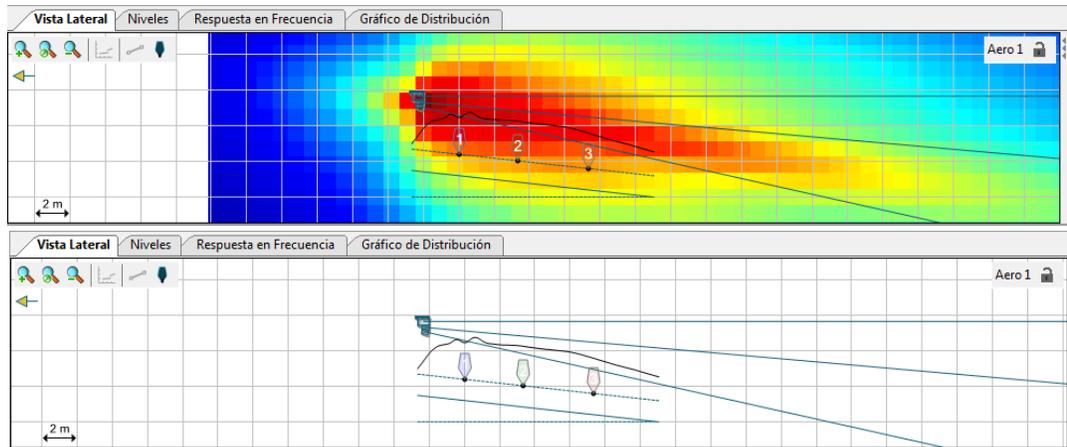


Figura 38. Mapeo del escenario desde una vista lateral eje (z). Fuente: (Damiano, 2012)

La figura 39, el nivel de presión sonora con atenuaciones y ganancias en relación a la distancia tanto en el escenario como la parte de la audición.

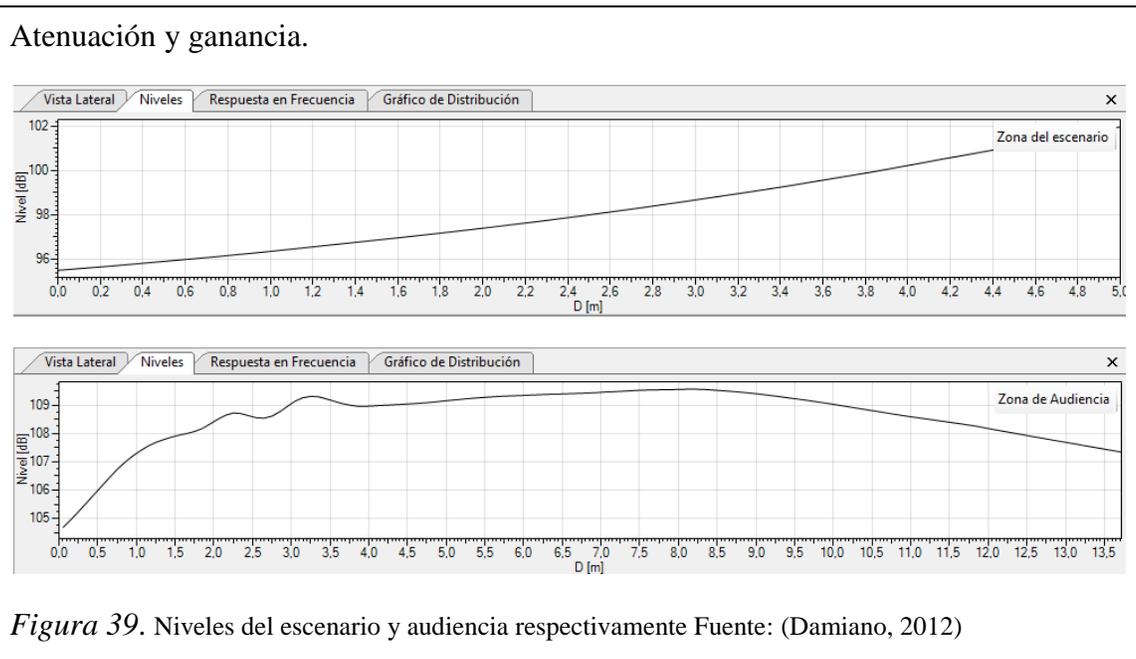


Figura 39. Niveles del escenario y audiencia respectivamente Fuente: (Damiano, 2012)

La figura 40, corresponde a la ventana de ingreso de valores de las dimensiones de un recinto para el escenario como la parte de la audiencia.

**Dimensiones del recinto.**

Propiedades del Objeto				Propiedades del Objeto			
Nombre:		Zona de Audiencia		Nombre:		Zona del escenario	
Orientación [°]:		0,00		Orientación [°]:		0,00	
Profundidad [m]:		13,72		Profundidad [m]:		5,00	
Ancho [m]:		18,53		Ancho [m]:		10,00	
		X [m]	Y [m]			X [m]	Y [m]
⊕ Delante Centro:		0,00 0,00		⊕ Delante Centro:		-5,00 0,00	
Agregar Área		Copiar Áreas...		Agregar Área		Copiar Áreas...	
Área de Audiencia: Área de Audiencia 1				Área de Audiencia: Área del escenario			
Área de Audiencia 1				Área del escenario			
D1 [m]:	0,00	Largo [m]:	13,80	D1 [m]:	0,00	Largo [m]:	5,00
D2 [m]:	13,72	Inclinación [°]:	-6,24	D2 [m]:	5,00	Inclinación [°]:	0,00
Z1 [m]:	1,50	Altura de los Oídos:		Z1 [m]:	0,00	Altura de los Oídos:	
Z2 [m]:	0,00	Sentado		Z2 [m]:	0,00	Personalizado	

*Figura 40.* Ingreso de información en los distintos planos. Fuente: (Damiano, 2012)

### 3.4 Consideraciones y características técnicas de los equipos

En la implementación de equipos a partir de los altavoces tomados en la simulación habrá que considerar la elección del sistema de amplificación, consola de sonido, el tipo de configuración entre altavoces para lograr la impedancia adecuada en la salida del sistema de amplificación de ser necesario y las pérdidas en el cable que se puede dar al interconectar los altavoces con la amplificación (CEDE, 2012). La primera parte comenzará con los parlantes de JBL después por los equipos de control y por último con los de D.A.S. Audio.

#### 3.4.1 Características del altavoz CBT 70J-1 (arreglo lineal)

Tabla 6.

*Sistema lineal del CBT 70J-1*

Especificaciones	
<b>Componentes</b>	Ocho (8) bocinas de baja frecuencia de 5 pulgadas dieciséis (16) bocinas de alta frecuencia de 1 pulgada
<b>Rango de frecuencia</b>	45 [Hz] - 20 [KHz]

Especificaciones	
<b>Coverage</b>	Vertical (Selector via interruptor)
	Modo angosto: 25° (2 [KHz] - 16 [KHz]) ( $\pm 10^\circ$ )
	Modo amplio: 45° (300 [Hz] - 16 [KHz]) ( $\pm 10^\circ$ )
	Horizontal a 150° (500 [Hz] - 18 [KHz], $\pm 20^\circ$ )
<b>Sensibilidad (@1m)</b>	Angosto: (palabra) 98 dB @ 2,83V, 95 dB 2,0V (150 Hz - 8 KHz)
	(música) 94 dB @ 2,83V, 91 dB @ 2,0V (80 Hz - 18 KHz)
	Amplio: (palabra) 97 dB @ 2,83V, 94 dB @ 2,0V (100 Hz - 8 KHz)
	(música) 93 dB @ 2,83V, 90 dB @ 2,0V (70 Hz - 18 KHz)
<b>Nivel de presión sonora máximo</b>	Angosto: (palabra) 125 dB (131 pico)
	(música) 121 dB (127 pico)
	Amplio: (palabra) 124 dB (130)
	(música) 120 dB (126 pico)
<b>Impedancia Nominal</b>	4 ohmios
<b>Potencia</b>	1000 [W] (4000 [W] pico), 2 horas
	700 [W] (2800 [W] pico), 100 horas
<b>Transductor de baja frecuencia (bocina)</b>	Ocho bocinas de 5 pulgadas de magnetismo dual de composición de neodimio con una protección salina y ultra violeta.
<b>Transductor de alta frecuencia (bocina)</b>	Dieciseis bocinas de 1 pulgada de magnetismo dual de composición de neodimio con una protección salina y ultra violeta.
<b>Gabinete</b>	Fibra de vidrio reforzada.
<b>Dimensiones (alto x ancho x profundidad)</b>	(54,8 x 6,7 x 9,3) pulgadas
	(137 x 16,75 x 23,25) [cm]
<b>Peso Neto</b>	20,4 [Kg] (45 lb)

Nota: (JBL Harman, 2013)  
Elaborado por: Holger Mera



### 3.4.2 Características del amplificador Crown XTI4002

Tabla 7.

*Sistema de amplificación.*

Especificaciones	
<b>Potencia</b>	(2x1600, 2x1200, 2x650)W @ (2,4,8) $\Omega$
<b>Delay</b>	50[ms]
<b>Entradas</b>	Conectores XLR
<b>Salidas</b>	2 x Speakon
	2 x Borne
<b>Rack</b>	Formato 2U

Nota: (ProSonido, 2014)

Elaborado por: Holger Mera



### 3.4.3 Características de la consola Yamaha MG24/14FX

Tabla 8.

*Consola de 24 canales Yamaha.*

Especificaciones	
<b>Respuesta en frecuencia</b>	20 [Hz] - 20 [KHz]
<b>Distorsión armónica total (THD)</b>	Menos del 0,1%
<b>Canales de entrada</b>	Mic: 16+1 (entrada A1 - 16 de talk back: XLR)
	Línea: 16(entrada 1 - 16: TRS)
	Estéreo: 2 (Canales 17, 18, 19, 20: TRS) Canal 17, 19: L (Mono) 2 (canal 21, 22, 23, 24: TRS/RCA)
<b>Tipo de conexión estéreo</b>	L, R, TRS
<b>Peso</b>	46,29 lb
<b>Dimensiones (alto x ancho x profundidad)</b>	(5,90 x 33,54 x 21,25) [cm]

Nota: (ProSonido, 2014)

Elaborado por: Holger Mera

Consola sugerida.



Figura 43. Consola Yamaha vista frontal y posterior respectivamente. Fuente: (ProSonido, 2014)

### 3.4.4 Características de micrófonos inalámbricos Shure

Tabla 9.

*Micrófono inalámbrico.*

Especificaciones	
<b>Sistema inalámbrico</b>	2 micrófonos de mano
<b>Receptor</b>	Inalámbrico analógico dual que permite hasta 12 canales
<b>Batería</b>	14 horas de uso continuo
<b>Alcance</b>	100 [m] de rango operativo en línea recta
<b>Entorno</b>	Industria musical, aplicaciones en directo

Nota: (AudioVisual, 2014)

Elaborado por: Holger Mera

Micrófonos Shure.



Figura 44. BLX288E-PG58. Fuente: (AudioVisual, 2014)

### 3.4.4.1 Característica del micrófono alámbrico Shure

Tabla 10.

*Micrófono alámbrico.*

Especificaciones	
<b>Modelo</b>	BETA 87
	Micrófono supercardioide de condensador electret
<b>Respuesta de frecuencia</b>	50 [Hz] - 18 [KHz]
<b>Entorno</b>	Industria musical, aplicaciones en directo

Nota: (ProSonido, 2014)

Elaborador por: Holger Mera

Micrófono alámbrico.



*Figura 45.* Beta 87. Fuente: (ProSonido, 2014)

### 3.4.5 Característica de la medusa audio máster

Tabla 11.

*Medusa de 16 x 4*

Especificaciones	
<b>Longitud de conexión</b>	30 [m]
<b>Tipo de cable</b>	Balaceado
<b>Tipo de conectores</b>	16 entradas XLR
	4 retornos XLR
<b>Chasis</b>	Caja metálica de alta calidad
<b>Escenario</b>	Nivel profesional de eventos o grabaciones

Nota: (ProSonido, 2014)

Elaborado por: Holger Mera

Medusa.



*Figura 46.* Medusa. Fuente: (ProSonido, 2014)

### 3.4.6 Longitudes máximas para cables

La potencia suministrada por un amplificador de audio dentro de un recinto debe ser la adecuada con la finalidad de no presentar atenuaciones considerables en ciertos puntos críticos del lugar: si la pérdida es de 1 [dB] se la catalogará como aceptable y con una pérdida máxima de 3 [dB] aún sería razonable, respectivamente, en el cable (Feo, 2009).

Tabla 12.

*Longitud del cable para una calidad máxima.*

Especificaciones						
Sección del cable (mm <sup>2</sup> )	Número del cable (AWG)	Resistencia del cable para 100m [Ω]	Longitud máxima del cable [m]			
			2 [Ω]	4 [Ω]	8 [Ω]	16 [Ω]
13,3	6	0,25	24	57	122	253
6,63	8	0,49	12	28	61	126
5,26	10	0,62	10	23	48	100
3,31	12	0,99	6	14	30	63
2,08	14	1,57	4	9	19	40
1,31	16	2,49	2	6	12	25
0,82	18	3,98	2	4	8	16
0,52	20	6,28	1	2	5	10
0,33	22	9,89	1	1	3	6

Nota: (Feo, 2009)

Elaborado por: Holger Mera

Tabla 13.

*Longitud máxima de cable a -3[dB.]*

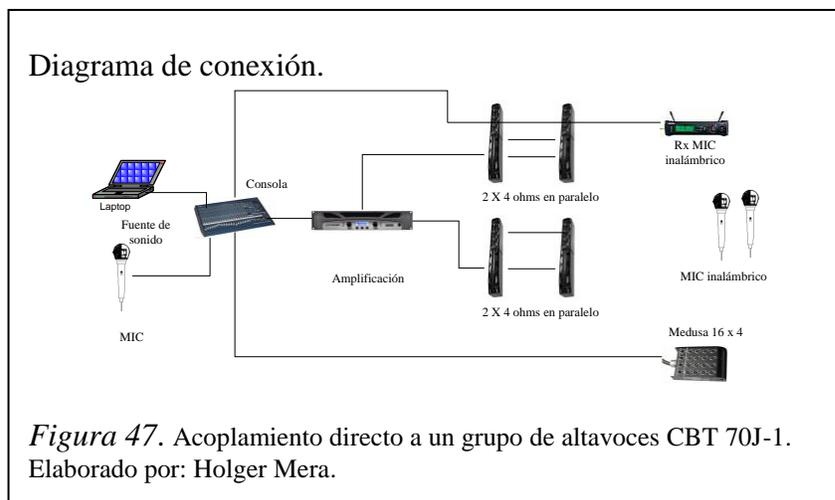
Especificaciones						
Sección del cable (mm <sup>2</sup> )	Número del cable (AWG)	Resistencia del cable para 100m [Ω]	Longitud máxima del cable [m]			
			2 [Ω]	4 [Ω]	8 [Ω]	16 [Ω]
13,3	6	0,25	399	807	1622	3252
6,63	8	0,49	199	402	808	1621
5,26	10	0,62	158	319	641	1286
3,31	12	0,99	99	201	404	809
2,08	14	1,57	62	126	254	509
1,31	16	2,49	39	79	160	320
0,82	18	3,98	25	50	100	200
0,52	20	6,28	16	32	63	127
0,33	22	9,89	10	20	40	81

Nota: (Feo, 2009)

Elaborado por: Holger Mera

### 3.4.7 Diagrama de conexión a un amplificador y central de control

Este tipo de conexión presenta un fácil desarrollo pero se encuentra limitado a hacerlo a un único lugar que en este caso estaría adecuado al nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur, donde la señal de sonido va al equipo de control para luego ser amplificada y reflejado a los altavoces (CEDE, 2012). La siguiente gráfica presenta el diagrama de conexión de los equipos.



### 3.4.8 Características técnicas de los equipos de la serie Aero

El presentar la segunda alternativa de programa para sonorización que fue a partir de la sección 3.3.6.2 se aplica para altavoces de arreglo lineal y que lleva un sistema de amplificación incorporado contrario a los de JBL CBT. Los equipos utilizados son la serie CA-215A y CA-28A en tres columnas y que se detallará en las siguientes tablas:

#### 3.4.8.1 Detalle de los equipos Aero CA-215A y CA-28A

Tabla 14.

*Datos técnicos CA-215A.*

Especificaciones	
Potencia nominal amplificador LF	1000 W
Respuesta en frecuencia (-10 dB)	35 Hz - 160 Hz
SPL nominal de pico máximo a 1 m	135 dB
Material del recinto	Contrachapado de abedul
Color/Acabado	Negro/Pintura

Especificaciones	
Conectores	Input: Female XLR
	Loop thru: Male XLR
	Filtered output: Make XLR
	AC Input: PowerCON NAC3
Tensión nominal	115 V, 50 Hz/60 Hz
	230 V, 50 Hz/60 Hz
Consumo (1/3 Potencia @ 230V)	1,8 A
Dimensiones (Al x An x P)	45,2 x 88,2 x 74,6 cm
	17,8 x 34,7 x 29,4 in
Peso	64,5 kg (142,2 lb)

Nota: (D.A.S\_Catálogos, 2014)  
Elaborado por: Holger Mera



Tabla 15.  
Datos técnicos CA-28A

Especificaciones	
Potencia nominal amplificador LF	350 W
Potencia nominal amplificador MF	100 W
Respuesta en frecuencia	80 Hz - 18 KHz
SPL nominal de pico máximo a 1 m	134 dB
Cobertura horizontal (-6 dB)	110° Nominal
Cobertura vertical	Depende del ángulo de inclinación

Especificaciones	
Material del recinto	Contrachapado de abedul
Color/Acabado	Negro/Pintura
Conectores	Input: Female XLR
	Loop thru: Male XLR
	AC Input: PowerCON NAC3
	AC Output: PowerCON NAC3
Tensión nominal	115 V, 50 Hz/60 Hz
	230 V, 50 Hz/60 Hz
Consumo (1/3 Potencia @ 230V)	0,75 A
Dimensiones (Al x An x P)	26,5 x 88,2 x 40 cm
	10,4 x 34,7 x 15,8 in
Peso	36,5 kg (80,5 lb)

Nota: (D.A.S\_Catálogos, 2014)  
 Elaborado por: Holger Mera

Altavoz para el arreglo lineal.



Figura 49. CA-28A. Fuente: (D.A.S\_Catálogos, 2014)

### 3.4.9 Resumen de la propuesta de diseño

Para conseguir un nivel de presión sonora (SPL) adecuado en base a la escala de referencia acústica para el recinto que esté en el rango de 80 a 90 [dB] se necesitan cuatro altavoces JBL 70J-1 que son de arreglo lineal y con un SPL máximo de 120[dB], este tipo de altavoz estarán en conexión paralela con el propósito de ganar potencia y sea distribuida en cada uno de los altavoces.

También la implementación de un amplificador de dos canales de marca Crown XTI 4002, la conexión entre el amplificador y los cuatro altavoces se hará por medio de un cable de audio AWG#8 de 20[m] aproximadamente para cada canal. A esto se realizará la compra de un ecualizador de 24 canales de marca Yamaha modelo MG24/12FX para el trabajo adecuado de ecualización provenientes de distintas fuentes sea dentro del cuarto de control como del escenario.

Desde la parte del escenario se usará dos micrófonos inalámbricos de marca Shure, modelo BLX288E-PG58 con alcance de 100 [m] y un uso continuo de 14 horas de batería con la finalidad de brindar un libre desplazamiento al orador como al cantante por el escenario. También se incluirá una medusa de 16x4, es decir 16 entradas y 4 retornos, que tiene por función la conexión de diferentes instrumentos musicales y a la vez cuatro altavoces activos como monitores.

Por último, se levantará un segundo aislamiento acústico como refuerzo aplicando lana de vidrio en paredes y techo, parquet al escenario, alfombra de lana en las localidades, 140 butacas metálicas pares, paneles cielorraso en paredes y techo, cortina fruncida de escenario y difusores acústicos.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE RESULTADOS TÉCNICOS

#### 4.1 Técnico

El primer paso fue hallar la reverberancia obteniendo un valor de 0,23 segundos siendo óptimo para el estudio, otro punto importante es la claridad de voz en donde hay un valor mínimo de 2 [dB] que en este caso al realizar los cálculos presentaron valores que superaron como (13,80 – 14,2 – 16,70 y 24,70) [dB] en distintos puntos dentro del nuevo teatro dando lugar a que la inteligibilidad en el sitio sea óptima; la implementación de los altavoces JBL 70J-1 en conexión paralelo se obtiene una impedancia de 2 ohmios totales por canal distribuyendo la potencia a 800[W] a cada parlante siendo los idóneos porque poseen una mayor cobertura. En el software de simulación indica la adecuada distancia entre cada altavoz es decir, en el plano horizontal el primer par de parlantes estarán a 3,4[m] y los dos últimos pares a 9[m] como presenta la figura 33 con respecto al origen; en relación a la altura será de 5,2[m] y 5,72[m] entre ellas con un ángulo de depresión a 40°.

Uno de los problemas que se presentó fue la respuesta de frecuencias en distintos rangos donde las bajas frecuencias superaban en el recinto con respecto a las medias y altas que estas últimas indicaban una caída considerable, pero por medio de la ecualización se redujo las frecuencias bajas como por ejemplo en 125[Hz] fue de -2[dB] y se incrementó las altas de 1[KHz] y 6,3[KHz] en +5[dB] respectivamente, logrando así una distribución adecuada al recinto. Para obtener esos valores y corregir se utilizaron micrófonos donde el primero se ubicó en el escenario dando un nivel de presión sonora de 96,8[dB] y los cinco restantes ubicados en el área de los espectadores estaban en un rango de (100,9 y 107,9) [dB] en el intervalo de 100 y 1000 Hercios, para el último rango entre 1250 y 10000 Hercios el micrófono 1 ubicado en el escenario dio 95[dB] y los restantes ubicados en los espectadores se obtuvo una mínima de (99,8 a 105,6) [dB] dichos datos están en la figura 32; por lo tanto los valores obtenidos del micrófono uno ubicados en el escenario son menores con respecto al área de espectadores indicando

que gran parte de la propagación del sonido se concentra allí y garantizando la inteligibilidad en el recinto.

## 4.2 Económico

En la tabla 16, se presentará el costo total de los equipos indicando la cantidad, su descripción y el subtotal de cada una de ellas.

Tabla 16.  
*Costo de equipos.*

Cantidad	Ítem	Costo	Subtotal
1	Amplificador Crown XTI4002	\$ 1.600,48	\$ 1.600,48
4	Altavoces JBL 70J-1	\$ 1.038,00	\$ 4.152,00
1	Consola Yamaha MG24/14FX	\$ 1.400,00	\$ 1.400,00
2	Micrófono inalámbrico Shure BLX288E-PG58	\$ 237,64	\$ 475,28
1	Micrófono alámbrico Shure Beta 87	\$ 368,48	\$ 368,48
1	Medusa de 16x4 – 30[m]	\$ 372,51	\$ 372,51
40	Cable para parlante en metros	\$ 1,10	\$ 44,00
17,64	Parquet en metros cuadrados	\$ 30,00	\$ 529,20
3,42	Alfombra de lana 72,90[m <sup>2</sup> ]	\$ 3.990,00	\$ 13.645,80
140	Butaca doble metálica	\$ 300,00	\$ 42.000,00
367,06	Lana de vidrio en metros cuadrados 35Kg/m <sup>3</sup>	\$ 5,50	\$ 2.018,83
27	Difusor acústico 25Kg/m <sup>3</sup> - 0,5m <sup>2</sup>	\$ 7,50	\$ 202,50
61,32	Telón de teatro rose brand en m <sup>2</sup>	\$ 21,74	\$ 1.333,10
254	Panel Cielorraso en metros cuadrados de 19mm	\$ 6,00	\$ 1.524,00
<b>TOTAL</b>			\$ 69.666,18

Elaborado por: Holger Mera

Al tratarse de un estudio en el nuevo teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito – Campus Sur, no requiere de un estudio del valor actual neto (V.A.N.) al igual que la tasa interna de retorno (T.I.R.).

## CONCLUSIONES

- El sistema de sonorización del teatro para presentaciones teatrales o de discursos trabajará a 50[dB] manteniendo el nivel de presión sonora de 45 a 55 [dB] basado en la ordenanza Municipal N° 146.
- El valor de presión sonora máximo de 108[dB] que garantizó la no intervención del sonido a los espacios colindantes al recinto y que son críticos, como: la biblioteca, los auditorios y las aulas de clases del bloque “A” de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur; además, el tiempo de reverberancia está dentro de los parámetros, con un valor de 0,23 segundos y con ello se garantiza la claridad de voz y finalmente, la inteligibilidad de la palabra en toda el área del nuevo teatro se estableció en: 13,80[dB] mínimo hasta 24,70[dB] máximo, superando los 2[dB] mínimos requeridos como indica la teoría.
- El diseño del recinto consideró colocar un segundo aislamiento ya que al nuevo teatro le rodean áreas de estudios, por lo que, se consideró usar lana de vidrio con un espesor de 35 Kg/m<sup>3</sup> en las paredes laterales, paredes posteriores y el techo detrás de paneles desplegados. También deben colocarse difusores acústicos de 25 Kg/m<sup>3</sup> en las paredes posteriores con la finalidad de evitar excesivas reflexiones y que generarían ininteligibilidad acústica.
- La evaluación del sistema del refuerzo sonoro por medio de programas de predicción acústica permitió obtener valores importantes como el nivel de presión sonora a través de distintos puntos del nuevo teatro del Campus Sur que van entre 100[dB] y 108[dB] adecuados para garantizar un apropiado refuerzo sonoro.
- Una de las debilidades de los sistemas de sonorización son las caídas de potencia en las frecuencias que están en el rango entre 1[KHz] a 10[KHz] dando lugar a la ininteligibilidad de la palabra. Se corrigió este problema dando ganancias de hasta 6[dB] por medio de la ecualización, dentro del rango indicado.

## **RECOMENDACIONES**

- Para un estudio posterior se debe considerar un factor muy importante: la salud auditiva, con la finalidad de no generar en una degradación progresiva de la audición en los espectadores.
- Para futuros trabajos en la acústica es importante que aparte de hacer un estudio por medio de programas también se lo haga con equipos adecuados en la acústica como un sonómetro y fuente omnidireccional el cual permita ver la respuesta del recinto a diferentes frecuencias que frente a los cálculos de un programa permitirá evaluar las diferencias entre esos valores y así aplicar un acondicionamiento óptimo al recinto.

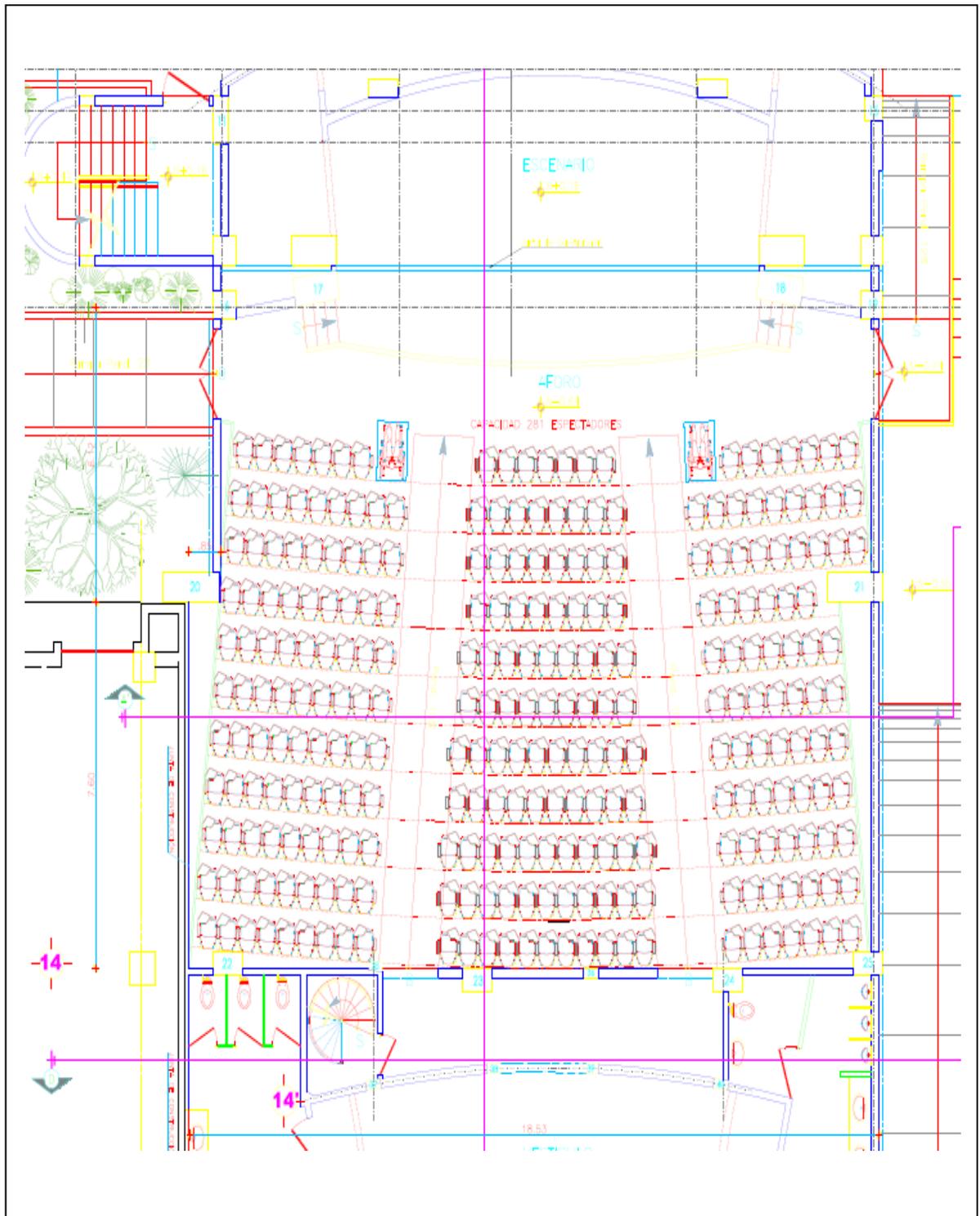
## LISTA DE REFERENCIAS

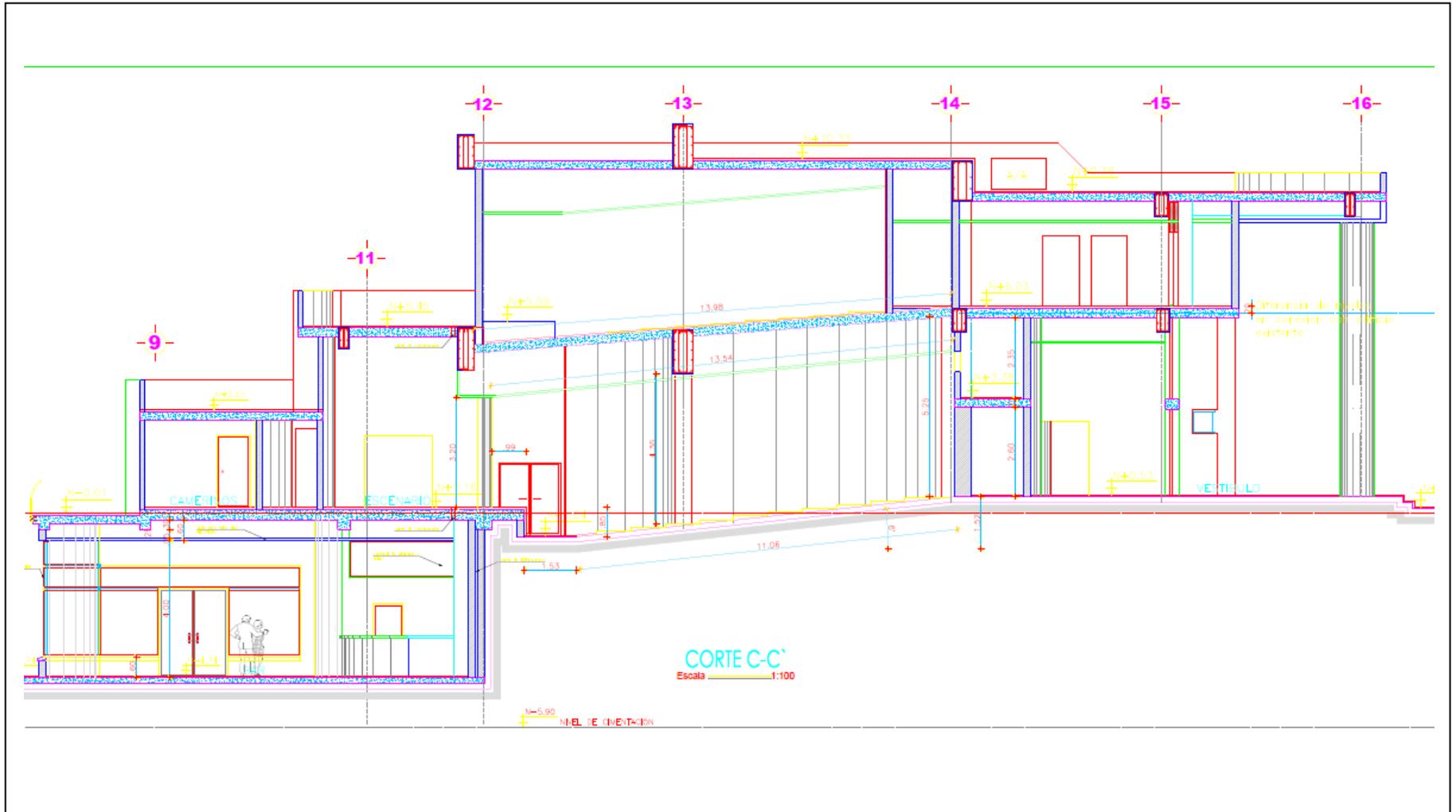
- Ahnert, D. W., & Schmidt, D. W. (2014). *EASERA*. Obtenido de <http://renkusheinz-sound.ru/easera/EASERAAppendixUSPV.pdf>
- Alegsa, L. (2014). *ALEGSA*. Obtenido de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/parlante.php>
- Angelfire. (2013). *Refracción*. Obtenido de <http://www.angelfire.com/empire/seigfrid/Refraccion.html>
- Arjona, M. (2007). *Instalaciones Singulares en viviendas y edificios*. McGraw-Hill/Interamericana de España. Obtenido de <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448160703.pdf>
- AudioVisual. (2014). *Audio Visual Professional*. Obtenido de <http://www.audiovisualpro.net/shure-blx288-pg58->
- Bohorquez, I. C. (17 de 09 de 2014). Constitución del Teatro. (H. Mera, Entrevistador)
- Cando, C., & Utreras, E. (02 de 2007). Planificación y diseño de sonorización del Instituto Geográfico Militar. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Casadevall, D. (8 de 10 de 2007). *Acusticaweb*. Obtenido de <http://www.acusticaweb.com/teoria-acustica/blog/teoracca/eco-flutter.html>
- Catedu. (17 de 06 de 2014). *Catedu*. Obtenido de [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3212/html/31\\_intensidad\\_sonora.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3212/html/31_intensidad_sonora.html)
- CEDE. (2012). *Centro de Documentación de Estudios y Oposición*. Obtenido de [https://www.serina.es/empresas/cede\\_muestra/302/TEMA%20MUESTRA.pdf](https://www.serina.es/empresas/cede_muestra/302/TEMA%20MUESTRA.pdf)
- D.A.S.. (29 de 12 de 2014). *D.A.S. Audio*. Obtenido de <http://www.dasaudio.com/empresa/d-a-s-hoy/>
- D.A.S\_Descatálogos. (2014). *D.A.S. Audio Descatálogos*. Obtenido de [http://www.dasaudio.com/cp/aero-series-sistemas-productos\\_descat/](http://www.dasaudio.com/cp/aero-series-sistemas-productos_descat/)
- D.A.S\_EASEv2. (29 de 12 de 2014). *D.A.S Audio*. Obtenido de <http://www.dasaudio.com/n/datos-d-a-s-ease-focus-v2/>
- Damiano, J. (10 de 05 de 2012). *D.A.S Audio/Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=G5nAO1AZe-k>
- Echanique, D. P. (20 de Mayo de 2005). *Ecuador Ambiental*. Obtenido de [http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas\\_tecnicas.pdf](http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas_tecnicas.pdf)

- Educastur. (2014). *Rflexión, Refracción y Difracción*. Obtenido de [http://web.educastur.princast.es/ies/rosarioa/web/departamentos/fisica/teorias\\_fisicas/Optica\\_Ondas/Reflex\\_Refrac\\_Difrac.htm](http://web.educastur.princast.es/ies/rosarioa/web/departamentos/fisica/teorias_fisicas/Optica_Ondas/Reflex_Refrac_Difrac.htm)
- Feo, D. L. (2009). *Ingeniería del Sonido*. Madrid: Starbook.
- Gago, S. G. (16 de 12 de 2014). *Manual para Radialistas Analfatécnicos*. Obtenido de <http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=28>
- García, P. (s.f.). *e-Reding, Trabajos y Proyectos fin de estudios de la E.T.S.I. Universidad de Sevilla*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4393/fichero/Capitulo+2%252FCapitulo+2.pdf>
- García, R. (01 de 06 de 2014). *como-insonorizar.com*. Obtenido de [como-insonorizar.com: http://www.como-insonorizar.com/p/que-es-un-decibelio.html](http://www.como-insonorizar.com/p/que-es-un-decibelio.html)
- GUIL. (2014). *GUIL Technology & Innovation*. Obtenido de <http://www.guil.es/productos/producto.php?submenu=7&categoria=138&id=674>
- Isbert, A. C. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Catalunya: Edicions UPC.
- JBL Harman, P. (2013). *JBLPRO*. Obtenido de <http://www.jblpro.com/www/product-support/installed/cbt-calculator>
- Miyara, I. F. (2006). *Acustica y Sistemas De Sonido*. Rosario: UNR Editora (Universidad Nacional de Rosario).
- Nave, M. O. (2014). *HyperPhysics*. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/waves/waveq.html>
- Nave, M. O. (2014). *Sonido, Ley del inverso cuadro*. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/acoustic/invsqs.html#c1>
- Neuroreille. (2013). *Viaje al mundo de la audición*. Obtenido de [Viaje al mundo de la audición: http://www.cochlea.org/es/sonidos/las-frecuencias-percibidas-por-los-seres-humanos-y-por-algunas-especies-animales](http://www.cochlea.org/es/sonidos/las-frecuencias-percibidas-por-los-seres-humanos-y-por-algunas-especies-animales)
- NTE-IAM. (1977). *Webaero*. Obtenido de [http://www.webaero.net/ingenieria/especificaciones\\_y\\_normas/NTE/Instalaciones/Audiovisuales/n-te-iam.pdf](http://www.webaero.net/ingenieria/especificaciones_y_normas/NTE/Instalaciones/Audiovisuales/n-te-iam.pdf)

- Ocaña, D. R. (4 de 2 de 2012). *Slideshare*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/Jodanica83/sonorizacin-de-un-local-trabajo>
- Parra, R. M. (02 de 01 de 2008). *Ingenieros Acústicos*. Obtenido de <http://www.ingenierosacusticos.com/ingenieros-acusticos-manual-sobre-acustica-de-salas.pdf>
- Pimpmyturntables. (2014). *Pimpmyturntables*. Obtenido de <http://www.pimpmyturntables.com/amplifiers/233-crown-xti-4002.html>
- ProSonido. (2014). *ProSonido*. Obtenido de <http://www.prosonidostore.com/>
- Salgado, A. (15 de 09 de 2011). *Sonido Bolivia*. Obtenido de <http://sonidobolivia.mforos.com/2009501/10259353-no-sabes-como-poner-tus-cajas-en-un-salon-aqui-algo-que-deberias-saber/>
- Soto, M. (01 de 08 de 2012). *Materiales aislantes acústicos para muros*. Loja, Loja, Ecuador.
- ucol.mx. (31 de 05 de 2014). *Definición de Decibel*. Obtenido de Definición de Decibel: <http://docente.ucol.mx/al058284/decibeles.htm>
- Ulloa, F. (23 de 04 de 2014). *Propósito del Nuevo Teatro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur*. (H. Mera, Entrevistador)
- Vasco, U. d. (28 de 09 de 2003). *Curso de Acústica*. Obtenido de <http://www.ehu.es/acustica/espanol/ruido/aiaces/aiaces.html>
- Vidal, J. J. (02 de 09 de 2012). <http://www.arauacustica.com/>. Obtenido de [http://www.arauacustica.com/files/publicaciones\\_relacionados/pdf\\_esp\\_287.pdf](http://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_287.pdf)
- Wickliffe, P. (30 de Marzo de 2014). *ASK AUDIO*. Obtenido de <http://www.askaudiomag.com/articles/creating-a-3d-mix-with-two-speakers/es>

## Anexo 1. Planos del nuevo teatro





## Anexo 2. Arreglos lineales

