



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA DE SONIDO Y ACÚSTICA

**DISEÑO DE UNA CADENA ELECTROACÚSTICA DE REFUERZO SONORO
BASADO EN SISTEMA LINE ARRAY PARA EL PATIO DE LAS CULTURAS
DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS**

Ramiro Fernando Morán Cruz

2010



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA DE SONIDO Y ACÚSTICA

**DISEÑO DE UNA CADENA ELECTROACÚSTICA DE REFUERZO SONORO
BASADO EN SISTEMA LINE ARRAY PARA EL PATIO DE LAS CULTURAS
DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS**

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

Profesor Guía
Juan Carlos Portugal

Autor:
Ramiro Fernando Morán Cruz

2010

Quito

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

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

Juan Carlos Portugal
Tecnólogo en Sonido
171049838-5

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

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

Ramiro Morán Cruz

171368835-4

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia y a los buenos amigos, por estar siempre conmigo.

DEDICATORIA

A mis padres.

RESUMEN

La presente tesis plantea una solución a nivel electro-acústico, para atenuar los efectos nocivos de la reverberación presente en el Patio de Las Culturas de la Universidad De Las Américas, que inciden en la inteligibilidad del mensaje.

En base a mediciones de T60 y Respuesta de Frecuencia y cálculo de %AICons se cuantificó de forma objetiva la problemática existente en el Patio de las Culturas.

Se realizó una comparación de la Respuesta de Frecuencia entre el caso real y el caso virtual, que determinó la efectividad del software de predicción *MAPP Online Pro*, de forma que, se lo aplicó para la simulación de un sistema virtual de refuerzo sonoro en el Patio de Las Culturas, lográndose una Respuesta de Frecuencia plana en todo el espectro de la voz humana, además de una cobertura uniforme del Nivel de Presión Sonora en todo el espacio donde se ubicaría el público.

Se concluyó que, el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas es un recinto poco idóneo desde el punto de vista acústico para llevar a cabo actividades como exposiciones y seminarios, por presentar un tiempo de reverberación muy por encima de la recomendación de diseño acústico, un porcentaje de pérdida de consonantes en el mensaje hablado del 100 por ciento a una distancia de 7 metros y un excedente de casi el cien por ciento a la recomendación de diseño de volumen.

Se determinó por ende, la necesidad de instalar un sistema de refuerzo sonoro, que focalice la energía exclusivamente en los sectores donde se apostará el público el mismo que aportará la absorción necesaria para minimizar las reflexiones que produce el recinto.

ABSTRACT

The present thesis establishes an electroacoustic level solution, in order to attenuate the noxious effects of the present reverberation in the Patio de las Culturas of the Universidad de las Américas which impact the intelligible of the message.

Based on mensurations of T60 and Frequency Answer and calculation of %AICons was quantified in an objective way the existent problem in the Patio de las Culturas.

A comparison was carried out about of the Frequency Answer among the real case and the virtual case that determined the effectiveness of the prediction software MAPP Online Pro, so that, it was applied in order to the simulation of a virtual system of sound reinforcement in the Patio de las Culturas, being achieved a plane Answer Frequency in the whole spectrum of the human voice, besides an uniform covering of the Level of Sound Pressure in all the space where the public would be located.

It concluded that, the Patio de las Culturas of the Universidad de las Américas is a not very suitable enclosure from the acoustic point of view to take to end activities like expositions and seminars, to present a time of reverberation above the acoustic recommendation design, a percentage of loss of consonants in the spoken message of 100 percent to a distance of 7 meters and a surplus of almost 100 percent to the recommendation of design of volume.

It was determined, the necessity to install a system of sound reinforcement that concentrate the energy exclusively in the sectors where the public would be located which will contribute the necessary absorption to minimize the reflections that it produces the enclosure.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN:	1
1 CAPITULO I: MARCO TEORICO	3
1.1 Conceptos	3
1.1.1 Absorción:	3
1.1.2 Coeficiente de Absorción:	4
1.1.3 Reverberación:	5
1.1.4 Tiempo de Reverberación:	5
1.1.5 Reflexión:	7
1.1.6 Difracción:	9
1.1.7 Reflexiones Útiles, Molestas y no Molestas	10
1.1.8 Curvas <i>Noise Criteria</i> :	12
1.1.9 % <i>ALCons</i> : (Calculo de la Inteligibilidad de la Palabra)	13
1.1.10 Campo de radiación de una fuente sonora:	16
1.2 <i>Line Array</i> :	18
1.2.1 Direccionalidad Vertical	18
1.2.2 Acoplamiento Eficaz	23
1.2.3 Problemática en altas frecuencias.	23
1.2.4 Campos de irradiación en un sistema <i>Line Array</i>	25
2 CAPITULO II: MEDICION Y EVALUACION	26
2.1 Medición.-	26
2.2 Obtención de Resultados	29
2.2.1 Tiempo de Reverberación	30
2.2.2 Respuesta de frecuencia	33
2.2.3 Ruido de Fondo	34
2.3 Evaluación de la Sala	35
2.3.1 Curvas <i>Noise Criteria</i> .	35
2.3.2 Tiempo de Reverberación:	37
2.3.3 Respuesta de Frecuencia:	40
2.3.4 % <i>ALCons</i> :	41

3	CAPITULO III: DISEÑO.....	44
3.1	Medición Real versus Caso Virtual:.....	44
3.1.1	Comparación de Fuentes	44
3.1.2	Simulación del Recinto	45
3.2	Equipo a Utilizar:	54
3.3	Localización:	55
3.4	Cubrimiento:.....	56
3.4.1	Vista Lateral (tiro)	56
3.4.2	Altura:	57
3.4.3	Vista Superior (ancho).....	58
3.5	Sistema:	58
3.5.1	Peso:	61
3.5.2	Potencia:.....	62
3.5.3	Cadena Electroacústica:.....	62
3.6	Sistema eléctrico:.....	63
3.7	Presupuesto:	65
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	66
4.1	Conclusiones:.....	66
4.2	Recomendaciones.....	67
5	ANEXOS:	71

INTRODUCCIÓN:

En varias ocasiones el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas ha sido utilizado como auditorio para diversos actos de orden cultural, los cuales se han visto en la necesidad de contar con un sistema de refuerzo sonoro que aporte al mejoramiento de la inteligibilidad de la palabra, dado que éste recinto, por su diseño y materiales utilizados no cumple con las recomendaciones acústicas para su utilización como espacio de concurrencia masiva.

El presente trabajo propone una ayuda a la problemática antes mencionada a nivel electro-acústico, la cual involucra la utilización de un sistema de refuerzo sonoro *Line Array* diseñado específicamente para el recinto en cuestión. Para ello se analizará la reverberación que presenta el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas, provocada por los materiales utilizados en su construcción, que interfieren en la comunicación de un mensaje hablado, además la poca efectividad de la instalación de un equipo convencional, que genera un frente de ondas disperso para el refuerzo sonoro en este recinto.

Un sistema *Line Array* es aquel que focaliza la energía acústica hacia el público para así atenuar las reflexiones y por consecuencia los efectos molestos que éstas tienen sobre el oyente al momento de sumar el sonido directo y el reflejado, mejorando así la calidad del mensaje.

El presente trabajo se realizó mediante la unión de los métodos inductivo y deductivo donde, el primero, ayudará a tener una idea más acertada de la problemática a resolver a través de la medición de RT60, respuesta de frecuencia y modelamiento en software de predicción acústica, mientras, el segundo será aplicado para encontrar justificaciones teóricas para la resolución de la problemática existente en el recinto.

Objetivo General

El objetivo del presente trabajo es, proponer el diseño de un sistema de refuerzo sonoro basado en tecnología *Line Array* diseñado específicamente para el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas.

Objetivos Específicos

Proponer la localización del sistema, de tal manera que contribuya a mejorar la inteligibilidad del habla dentro del recinto.

Atenuar los efectos molestos de las reflexiones en dicho recinto, focalizando la energía generada por el sistema hacia el público presente y de esta manera disminuir las reflexiones de la sala.

Proponer un presupuesto aproximado de implementación del proyecto.

1 CAPITULO I: MARCO TEORICO

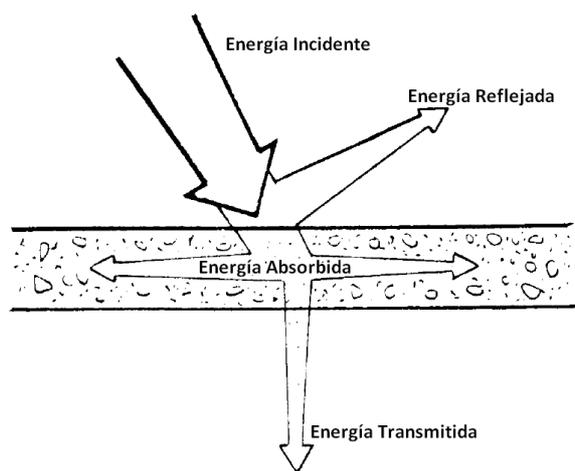
1.1 Conceptos

1.1.1 Absorción:

Se puede definir a la absorción desde el punto de vista acústico como la cantidad de energía que es atrapada por un material cualquiera, en presencia de un frente de ondas incidente sobre el mismo.

Introduciéndose más en el fenómeno físico se dirá que, si un frente de ondas choca contra una superficie cualquiera, la cantidad de energía incidente se va a transformar en reflexión hacia el medio de procedencia, irradiación hacia la parte posterior del material, transmisión de la energía a través del material (que algunos autores toman como parte de la absorción) y finalmente absorción de la energía acústica producida por la fricción de las moléculas de aire contra las del material sólido; así pues, dependiendo de las características del material sólido y las del frente de ondas incidente (frecuencia y ángulo de incidencia) se tendrá mayor o menor cantidad de absorción de energía.

Figura 1.1. Absorción, Reflexión y Transmisión



Fuente: **VARIOS**, Manual de aislamiento en la industria, 2003, p. 96

En base a lo expuesto anteriormente, se obtiene que los materiales porosos aportan una mayor cantidad de absorción en frecuencias altas, mientras que

para la absorción de frecuencias bajas se sugiere la utilización de paneles diseñados para este propósito donde se encuentra una cavidad de aire de un ancho definido por la frecuencia a absorber.

1.1.2 Coeficiente de Absorción:

De manera sencilla se define al coeficiente de absorción como el cociente (relación) entre la energía absorbida y la energía incidente sobre una superficie o material específico, donde su resultado es un valor adimensional que fluctúa entre 0 (para absorción nula) y 1 (para mayor cantidad de absorción). Este coeficiente no se puede considerar único para un material, ya que el mismo variará dependiendo del ángulo de incidencia, donde se considerará una media en relación a los diferentes ángulos, y también dependerá de la frecuencia que afecte al material donde un mismo material presentará distintos valores para cada una de las frecuencias a analizar.

En un recinto los coeficientes de cada material, multiplicados por el área (en m²) que cada material ocupa y este producto dividido por el área total de los materiales involucrados, proporciona el coeficiente de absorción media, el cual sirve para la predicción del comportamiento del recinto en una banda específica de frecuencia siempre y cuando el local mantenga cierta regularidad.

$$\alpha = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad \text{Fórmula (1.1.)}$$

Donde:

S₁, S₂, S₃ = Superficies del recinto

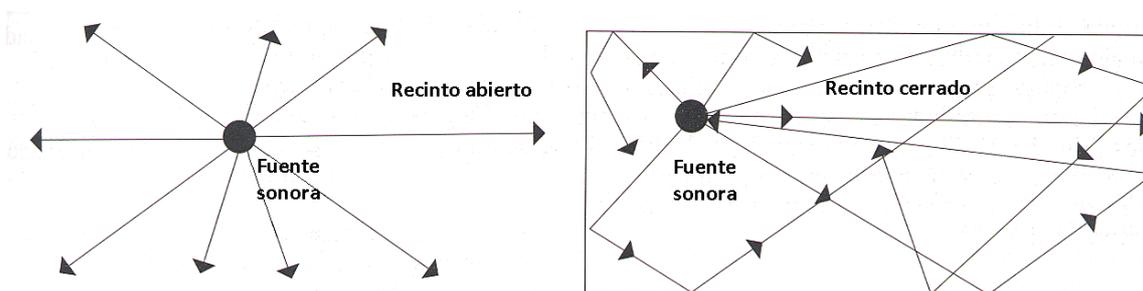
α₁, α₂, α₃ = Coeficientes de absorción de cada material

1.1.3 Reverberación:

La reverberación es un efecto que viene dado por la reflexión de las ondas en un recinto cerrado o semiabierto y se percibe como una prolongación del sonido original en el tiempo; las múltiples ondas reflejadas en los bordes del recinto que regresan hacia el oyente no deben tener un tiempo mayor a 50 milisegundos ya que un tiempo superior a éste se percibirá como un eco debido a la persistencia acústica del oído.

La reverberación es uno de los fenómenos que ayuda al ser humano a ubicarse en el espacio que lo rodea y le da la percepción de distancia y profundidad, este efecto en un local también contribuye al aumento del nivel sonoro y la sonoridad subjetiva de los sonidos en dicho espacio.

Figura 1.2: Reverberación



Fuente: **ESTELLÉS**, Ricardo, Acústica de recintos propagación del sonido en locales cerrados, 2006, 2

1.1.4 Tiempo de Reverberación:

El tiempo de reverberación o RT60 es el tiempo (medido en segundos) que demora un determinado sonido (independiente de su magnitud inicial) en decaer 60dB (millonésima parte de la intensidad original de nivel de presión

Aunque, muchos autores clásicos proponen al RT60 como un referente de la calidad que una sala tiene en el aspecto acústico, esto no es del todo cierto ya que el RT60 no brinda información sobre la calidad que las reflexiones tienen en el recinto.

Existen varios métodos de cálculo del RT60, a través del tiempo éstos han ido mejorando y tomando en cuenta la falta de uniformidad en los recintos, así, Sabine propone el siguiente cálculo:

$$T60 = \frac{V}{A} \qquad \text{Fórmula (1.2.)}$$

Donde:

V = Volumen de la sala

A = Absorción de la sala

También existen métodos más avanzados como el de Arau¹ que considera la absorción asimétrica en un recinto.

1.1.5 Reflexión:

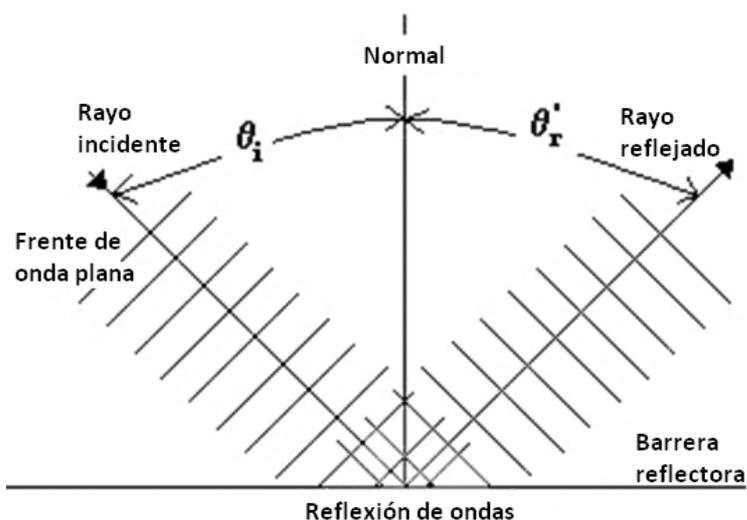
De manera general se define a la reflexión como el cambio de dirección de una onda que incide sobre una superficie de separación entre dos medios, haciendo que ésta regrese al medio original, variando o no sus propiedades dependiendo de las características de la onda y de la superficie separadora.

Así pues, se propone el caso de una onda acústica incidente sobre una superficie plana y lo suficientemente grande para reflejar dicha onda

¹ Arau Higini, ABC de la Acústica Arquitectónica

considerando su longitud de onda (distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos del mismo estado de vibración, en cualquier instante de tiempo); en este caso, existirá una reflexión de forma regular donde su ángulo de reflexión será igual al de incidencia y la cantidad de energía reflejada será similar a la que golpeó la superficie en cuestión, ya que siempre habrá una pérdida por absorción y transmisión.

Figura 1.4. Reflexión



Fuente: **ESTELLÉS**, Ricardo, Acústica física: acondicionamiento acústico, 2007

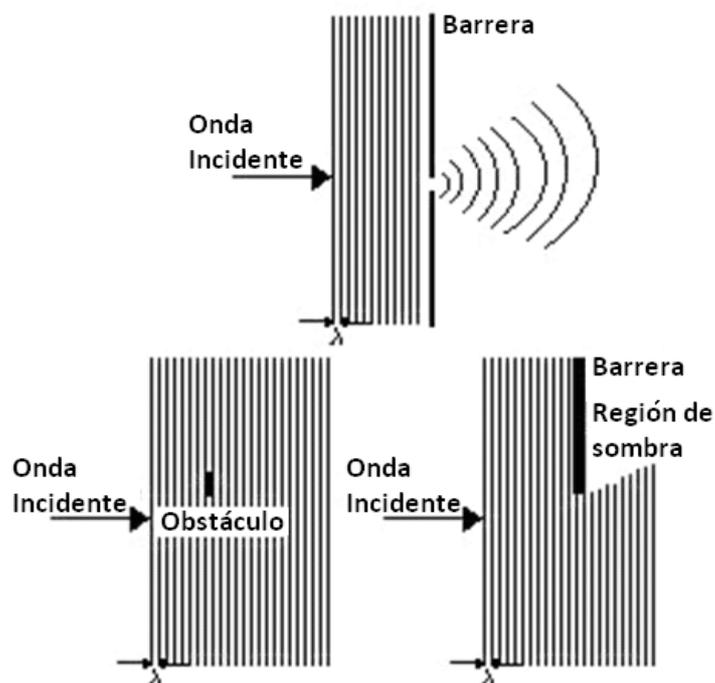
El comportamiento de las ondas acústicas no es igual ante un mismo obstáculo mientras decrecen en frecuencia, de esta manera, una alta frecuencia se comporta de manera similar a un haz de luz cuando incide sobre dicho obstáculo, y una frecuencia baja puede traspasar sin alterar sus propiedades o rodear fácilmente el mismo y convertirse en un nuevo foco emisor de la frecuencia incidente basado en el principio de *Huygens*².

² El principio de *Huygens* enuncia que todo punto en un frente de ondas primario puede considerarse como una fuente de ondas esféricas secundario que se propagan en todas direcciones con igual velocidad y frecuencia que el inicial

1.1.6 Difracción:

La difracción plantea que un frente de ondas puede rodear un obstáculo o propagarse a través de una pequeña abertura en una superficie que impida la propagación normal de dicho frente; de esta manera, la magnitud del efecto vendrá determinada por la longitud de onda del frente incidente y el tamaño del objeto o abertura. Así pues si el objeto o la abertura son grandes en relación al frente de ondas, el efecto de difracción es menor y las ondas se propagan como un frente lineal o rayos (frente de ondas plano), mientras que si el obstáculo o abertura tiene un tamaño comparable con la longitud de onda del frente incidente, el efecto es mayor y el frente se comporta como una nueva fuente (puntual) dispersando el sonido en todas direcciones.

Figura 1.5. Difracción



Fuente: **ESTELLÉS**, Ricardo, Acústica física: acondicionamiento acústico, 2007

1.1.7 Reflexiones Útiles, Molestas y no Molestas

De existir una fuente generadora de un frente de ondas, éstas a su vez generarán reflexiones que tendrán propiedades diferentes a las del sonido inicial, como por ejemplo, su trayectoria, tiempo e intensidad; a partir de estas variaciones sobre todo de las de tiempo e intensidad, se definen a las reflexiones que serán útiles o molestas en un recinto.

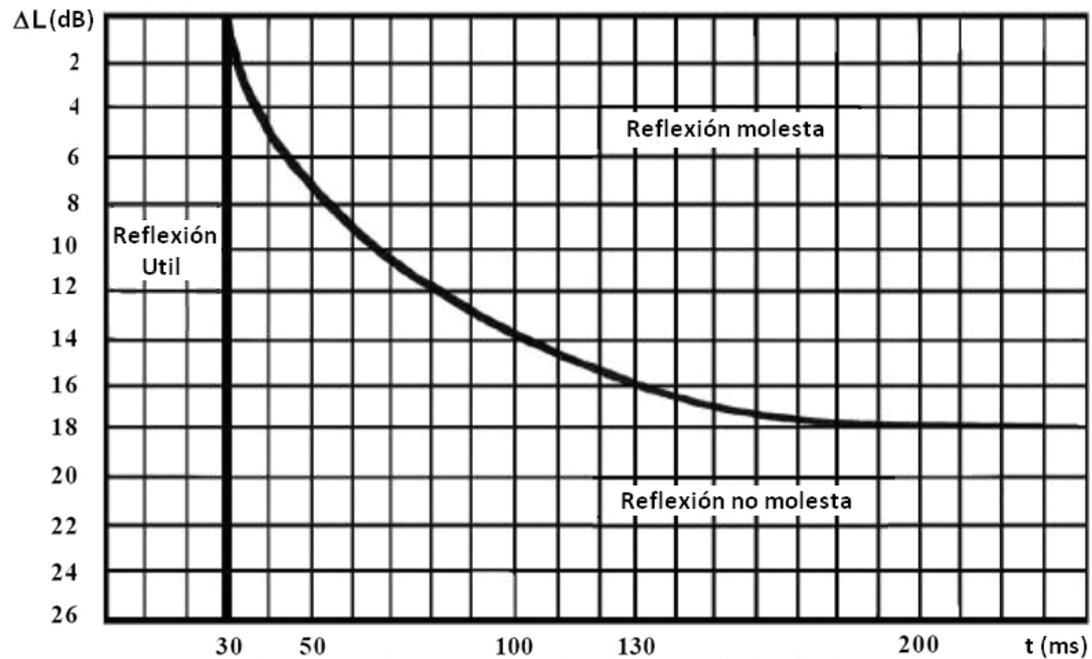
Así pues, si una reflexión tiene una variación de tiempo menor a los 30ms el oído humano la percibe como un solo sonido en conjunto con el sonido original, en este caso esta reflexión será de gran utilidad para reforzar el sonido directo de la fuente, y mientras mayor sea su nivel o dicho en otras palabras, menor sea la variación de su intensidad, mayor será la utilidad de dicha reflexión.

En el caso de tener una reflexión con un tiempo de retardo mayor a los 30ms con respecto al sonido original se pueden dar dos posibles casos:

El primero, si dicha reflexión posee un nivel mayor al representado por la línea curva en la figura 1.6, interferirá en la audición clara del mensaje y se la considerará como una reflexión molesta. El segundo, si la reflexión excede los 40ms de retardo en el tiempo con respecto a la señal original, ésta será detectada por el oído como un eco.

Cuando la intensidad de la reflexión es menor a la representada en la figura, el oído no alcanza a distinguir la reflexión, así ésta no interfiere en la audición clara del mensaje, por lo tanto se la conoce como reflexión no molesta.

Figura 1.6. Reflexiones Útiles, Molestas y No Molestas



Fuente: **SOMMERHOFF**, Jorge, Acústica de Locales, 2005, p. 44

Para determinar la variación del tiempo y de nivel existen las siguientes fórmulas:

$$\Delta t = \frac{r' - r}{c} \quad \text{Fórmula (1.3.)}$$

Donde:

r' = Distancia que recorre el sonido reflejado

r = Distancia que recorre el sonido directo

c = Velocidad del sonido (344 m/s)

$$\Delta L = 10 * \text{Log} \left(\frac{I}{I'} \right) \quad \text{Fórmula (1.4.)}$$

Donde:

I = Intensidad del sonido directo

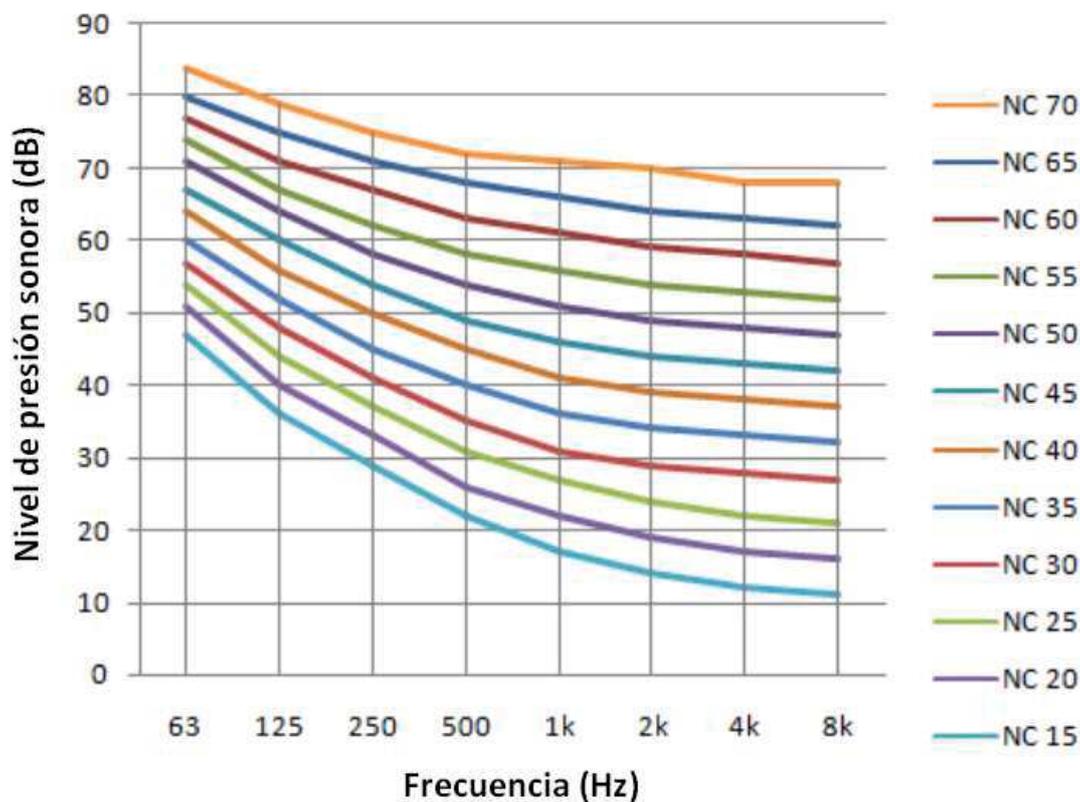
I' = Intensidad del sonido reflejado

1.1.8 Curvas *Noise Criteria*:

Las curvas *Noise Criteria* responden a la necesidad de una evaluación objetiva de ruido de fondo en un recinto cualquiera, obtenida en base a encuestas realizadas a oyentes donde se clasificó la sala desde muy silenciosa a muy ruidosa; se obtienen así 12 curvas desde la NC 15 a la NC 70, éstas poseen un umbral elevado en bajas frecuencias y menos elevado para las altas frecuencias en función a la respuesta natural del oído.

Estas curvas sirven de referencia en el diseño y acondicionamiento acústico de locales para saber el aislamiento requerido de un recinto, además de evaluar una sala en particular y saber si entra en la clasificación según la actividad a realizarse en ella.

Figura 1.7. Curvas Noise Criteria



Fuente: **RAIMANN**, Felipe, Las famosas curvas N.C., 2009, 1.

1.1.9 % *ALCons*: (Calculo de la Inteligibilidad de la Palabra)

Una gran parte del mensaje hablado está compuesto de consonantes y de ahí se puede determinar la gran importancia que la comprensión de éstas tienen en un mensaje.

A inicios de los años 70 se llevaron a cabo estudios en este campo por parte de V.M.A. Peutz³, los estudios contaron con una parte estadística donde se situaron a varios oyentes y se les pidió que interpretaran cierto número de logatomos (palabras formadas por consonante vocal consonante sin significado

³ V.M.A. Peutz "Articulation Loss of Consonants as a Criterion for Speech Transmission in a Room", Audio Engineering Society, Volumen 19 (Diciembre 1971)

alguno), una vez recogidos los datos, se los procesó y evaluó obteniendo así un porcentaje de acierto y error en los logatomos dictados; de esta manera el porcentaje erróneo es el *%ALCons* (*Articulation Loss of Consonants*), ya que este método necesita una evaluación estadística y personal humano para evaluar una sala, existió la necesidad de encontrar una relación matemática entre el *%ALCons* y varios parámetros de la sala como el tiempo de reverberación para generar una predicción de *%ALCons*.

Existen varios métodos de predicción del *%ALCons* y uno de los más sencillos viene dado por la siguiente fórmula y la figura 1.8:

$$L_d - L_r = 10 \log \left(\frac{QR}{r^2} \right) - 17 \text{ (en dB)} \quad \text{Fórmula (1.5.)}$$

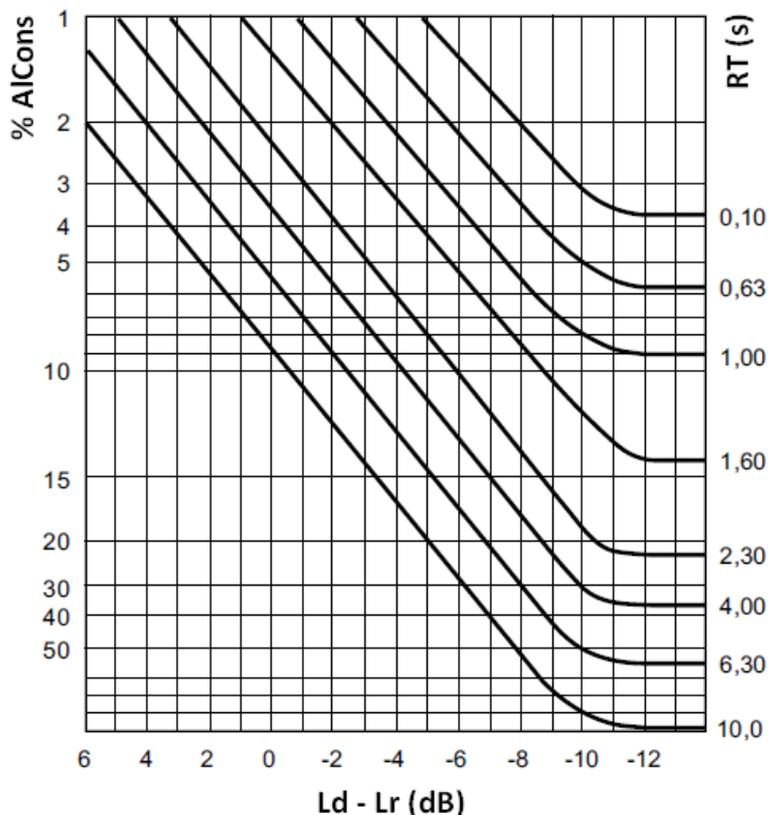
Donde:

Q = Factor de direccionalidad de la fuente sonora (Q = 2 voz humana)

R = Constante de la sala (en metros cuadrados)

r = Distancia del punto considerado a la fuente

Una vez obtenida la diferencia entre nivel directo y reverberante se deduce el valor de *%ALCons* de la siguiente gráfica:

Figura 1.8. Relación % *ALCons*

Fuente: **CARRIÓN**, Antoni, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos, Edicions UPC 1998, p. 67

Relacionando el RT60 obtenido en la sala en la banda de 2 KHz, con la diferencia de niveles obtenida anteriormente por fórmula, se obtiene como resultado un valor de %*ALCons* para la ubicación de un punto en la sala.

Existe una fórmula más simple que relaciona el volumen de la sala, el T60, la distancia de la fuente y su factor de direccionalidad y es la siguiente:

$$\%ALCons = \frac{200 D^2 RT60^2}{VQ} \quad \text{Fórmula (1.6.)}$$

Donde:

D = Distancia del receptor a la fuente (m)

RT60 = tiempo de reverberación medido en 1KHz

V = Volumen e la sala (m³)

Q = Factor de direccionalidad de la fuente

1.1.10 Campo de radiación de una fuente sonora:

Alrededor de una fuente sonora se pueden determinar varios campos donde ésta se desempeña de diferentes maneras y se presentarán varios efectos en relación a la interacción de la fuente y al recinto que contiene a la misma. De esta manera se define al campo cercano como el espacio inmediatamente anterior a la fuente, donde no se cumple o aplica la ley de inverso cuadrado (el Nivel de Presión Sonora decae 6dB al doblar la distancia de la fuente); el límite de este campo viene determinado por varios factores como la frecuencia que emana la fuente, sus dimensiones, y las fases de las superficies de irradiación cercanas.

Fuera del campo cercano se encuentra el campo lejano que se divide en 2 partes Campo Directo y Campo Reverberante.

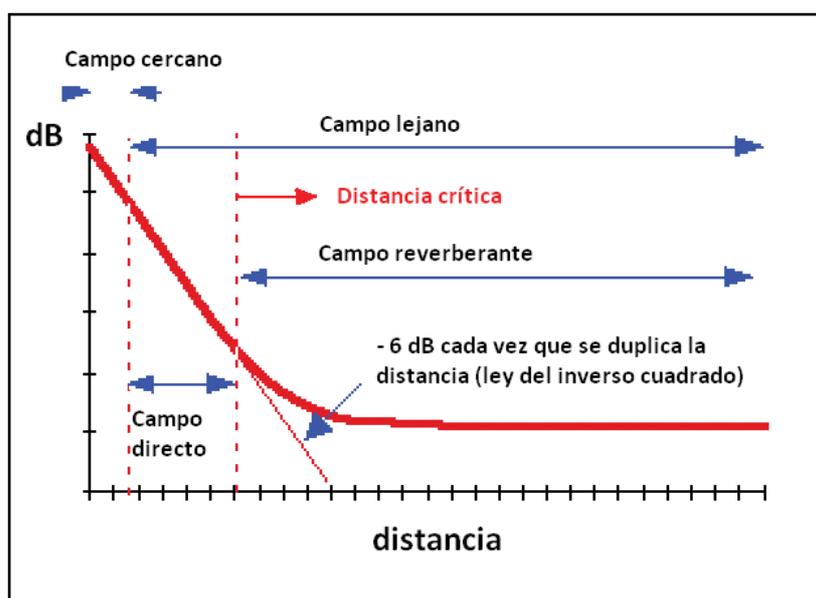
El Campo Directo es el espacio contiguo e inmediato al campo cercano, donde la intensidad del sonido directo emanado por la fuente es mucho mayor a la del sonido producido por las reflexiones existentes en el recinto, en este campo se cumple que, cada vez que se dobla la distancia a la fuente el Nivel de Presión Sonora decaerá 6 dB.

El Campo Reverberante es aquel que se encuentra después del campo directo y en éste la intensidad de las reflexiones es mayor que la intensidad generada

por la fuente, dada por la interacción de ésta con el recinto; la característica de este campo es que la presión es constante en todos los puntos.

Un caso especial de campo reverberante es el campo difuso, en el cual su característica principal son las reflexiones que viajan en diferentes direcciones manteniendo una densidad energética homogénea.

Figura 1.9. Campo de Radiación



Fuente: **SOMMERHOFF**, Jorge, Acústica de Locales, 2005, p. 98

1.1.10.1 Distancia Crítica:

En base a lo tratado anteriormente, la distancia crítica de un altavoz se sitúa donde las densidades energéticas del campo directo y reverberante son iguales; cabe recalcar que la distancia crítica se ve desplazada en el espacio al tratarse de un sistema *Line Array*, y viene de dada por la siguiente fórmula:

$$D = \frac{H^2 F}{2C}$$

Fórmula (1.7.)

Donde:

H = Altura del Arreglo

F = Frecuencia

C = Velocidad del sonido

1.2 Line Array:

Como su nombre lo dice “arreglo lineal” es la distribución de forma vertical de varias fuentes sonoras, el propósito de este arreglo lineal es que dichas fuentes se comporten como una sola; para conseguir esto se deben tomar en cuenta diversos factores como son la forma horizontal de las unidades, la distancia entre los altavoces, la frecuencia de corte y el tratamiento especial que tienen las frecuencias altas en este tipo de sistemas de sonorización, además de la diferencia en el comportamiento de estos equipos en los campos de irradiación.

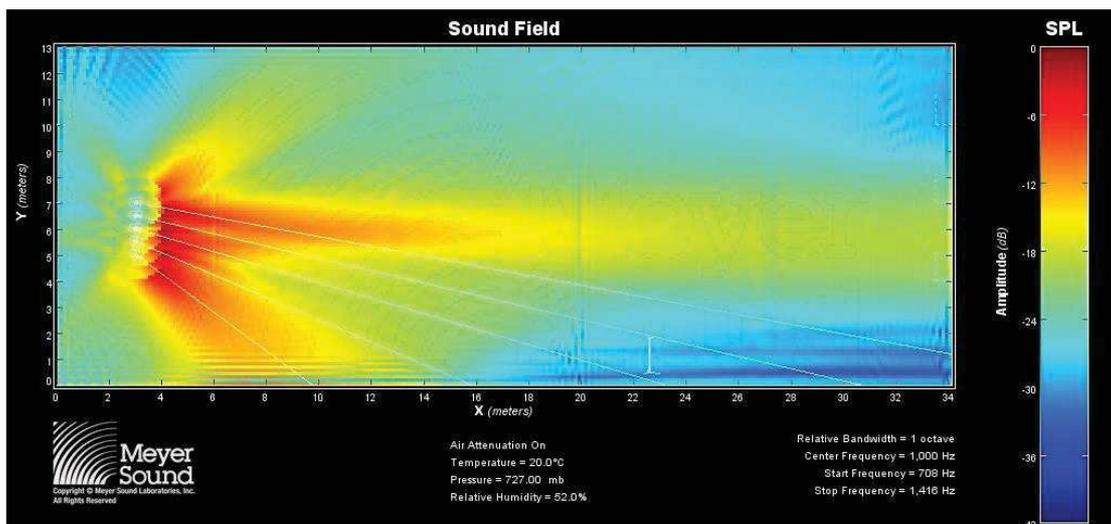
Este tipo de factores no son tomados en cuenta en los sistemas convencionales ya que los mismos son diseñados en base al concepto de una única fuente, sin considerar el acoplamiento de varias de las mismas

1.2.1 Direccionalidad Vertical

Una de las dos características más importantes de un arreglo lineal es el control en la direccionalidad vertical de las ondas emitidas por este sistema, haciendo que toda la energía se focalice hacia el público y no hacia un espacio improductivo como: techos en caso de recintos cerrados provocando reflexiones molestas, o se pierda en el caso de recintos abiertos.

Si se ubicaran varias fuentes convencionales de forma vertical y sin un control de direccionalidad vertical, se crearían varios lóbulos en la distribución, de tal forma que cada fuente actuaría independientemente interfiriendo con las otras y provocando cancelaciones en el lugar de la audiencia como lo muestra la figura.

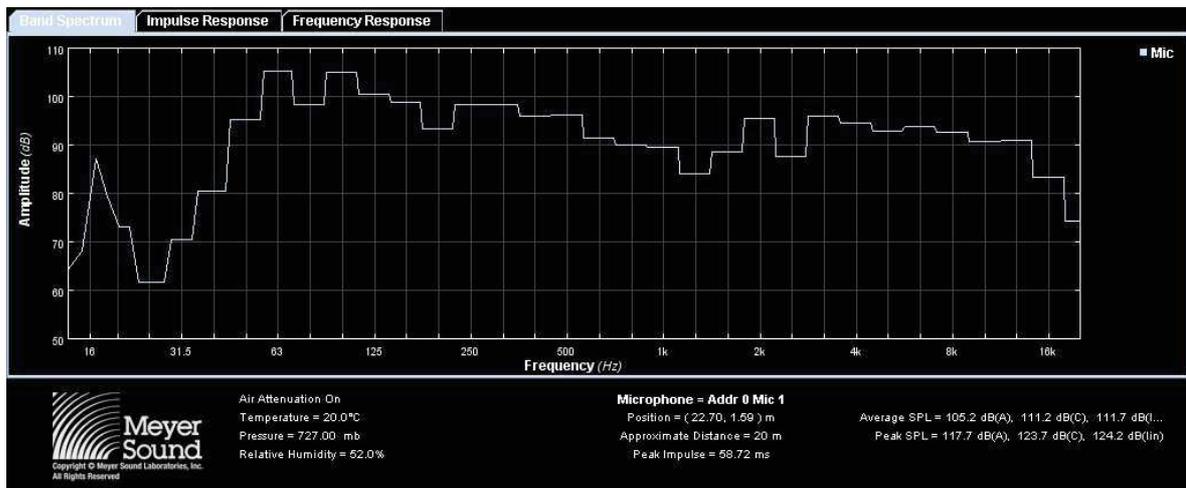
Figura 1.10. Cobertura Errónea



Fuente: Elaboración propia

Este tipo de cancelaciones se aprecian como la falta de algunos componentes en el espectro audible para ciertas regiones del auditorio y como exageraciones en el mismo espectro para otras partes del recinto, dependiendo de la ubicación del receptor a lo largo del mismo, y una respuesta de frecuencia poco uniforme como lo se muestra a continuación.

Figura 1.11. Respuesta de Frecuencia Cobertura Errónea

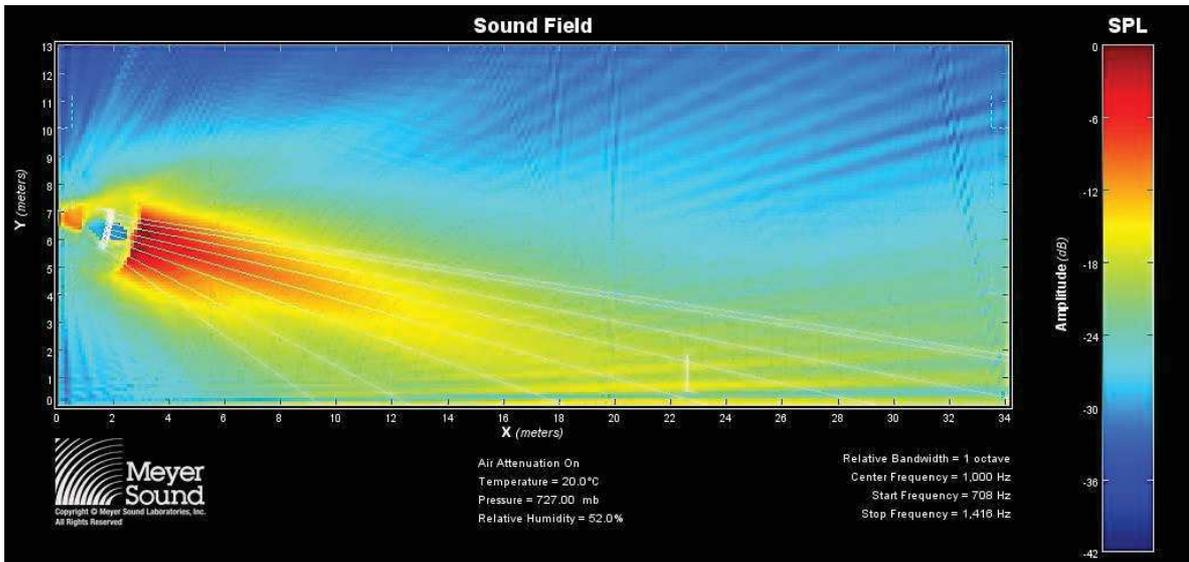


Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, lo que se busca en un arreglo lineal es entregar una cantidad de energía uniforme a todos los sectores donde se ubicará el público y una respuesta de frecuencia uniforme, lo que se logra con el acoplamiento eficaz de las fuentes y el control de direccionalidad, como indican las figuras 1.12 y 1.13:

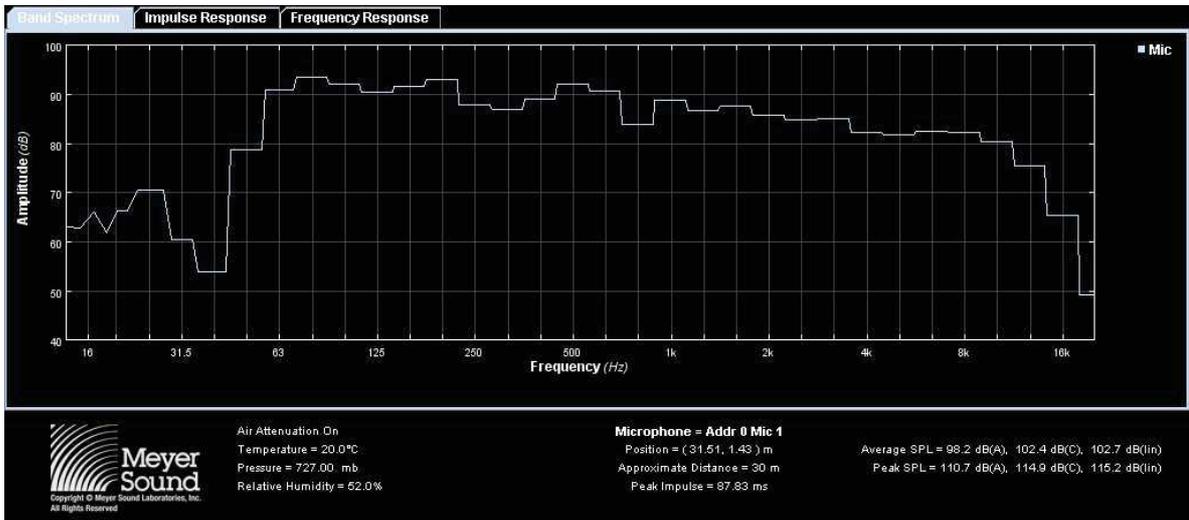
Una vez entendidos los efectos negativos de la falta de control vertical, solo falta buscar una solución para este gran problema, y ésta es estrechar la distancia entre las fuentes para conseguir que éstas actúen como una sola, evitando cancelaciones de fase, pero esto depende de la frecuencia que vaya a reproducir el sistema, así pues, se verá una gráfica comparativa (figura 1.14) de varias cajas a diferentes distancias entre sí generando una frecuencia de 125 Hz donde la distancia variará con respecto a su longitud de onda.

Figura 1.12. Cobertura Correcta



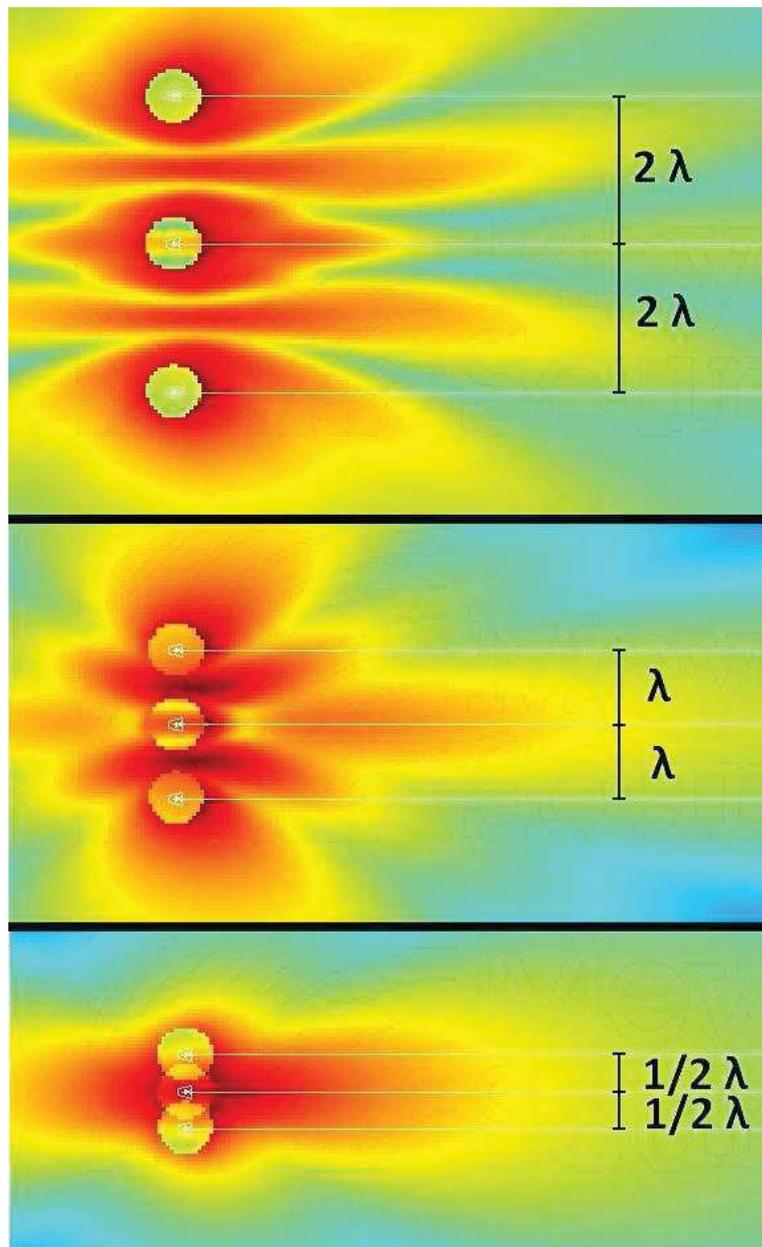
Fuente: Elaboración propia

Figura 1.13. Respuesta de Frecuencia Cobertura Correcta



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.14. Cercanía de Fuentes



Fuente: Elaboración propia

Estas figuras muestran que la cercanía entre las fuentes independientes hace que estas actúen como una sola.

1.2.2 Acoplamiento Eficaz

La segunda característica con que debe contar un arreglo lineal, es la suma eficaz de todas las unidades que conforman el sistema, funcionando como una sola fuente para conseguir una distribución uniforme de la presión en relación con la distancia.

Esta suma coherente se consigue generando por los altavoces un rango de frecuencias relativamente grandes en relación a la separación de las fuentes, medidas desde su axis, dicho de otra manera, los altavoces solo deben reproducir frecuencias cuya longitud de onda sea mayor que la distancia entre los altavoces.

La relación que debería aplicarse en este caso es que la distancia “d” entre las fuentes tiene que ser menor a la mitad de la longitud de onda de la frecuencia más alta a reproducir $\frac{1}{2} \lambda$ por el sistema, generando la siguiente ecuación:

$$D \leq \frac{1}{2} \lambda \qquad \text{Fórmula (1.8.)}$$

En base a lo anterior, queda en claro que la frecuencia de corte en un *Line Array* es muy importante, y que al variar la misma se afectaría la suma eficaz de las fuentes y por ende se daría paso a la presencia de lóbulos secundarios que generarían los efectos adversos explicados anteriormente.

1.2.3 Problemática en altas frecuencias.

En vista de que el acoplamiento eficaz de varias fuentes está en la cercanía de las mismas a una distancia menor a la mitad de la longitud de onda de la frecuencia más alta a reproducir, esto no sería posible físicamente en la reproducción de frecuencias altas, ya que la frecuencia más alta (percibida por

el oído) es 20000 Hz y su longitud de onda es de 1.7cm; esto significaría que el transductor debería tener un diámetro menor a 0.85cm y de potencia suficiente para un *Line Array*, lo cual simplemente no existe.

Los motores de compresión de las fuentes de alta frecuencia generan un frente de ondas circular, lo cual significa que éstas se expanden en el espacio de esta manera, y lo que un *Line Array* necesita es un control de direccionalidad para focalizar la energía y obtener un frente de ondas como el generado en la sección de medios.

La solución para esta problemática es la guía de ondas, la cual entregará una superficie de irradiación rectangular a partir de un motor de compresión circular; la base teórica de la guía de ondas es alargar el recorrido de las ondas generadas en el centro del motor circular para igualarlo al de la periferia, (Fig. 1.15) generando así un frente isofásico y vertical estrecho. De modo contrario el frente de ondas circular interferiría con otro de las mismas características de la caja adyacente formando cancelaciones.

Figura 1.15. Guía De Ondas



Fuente: **LA RODA**, Joan, *Line Arrays: cómo funcionan*, 2008.

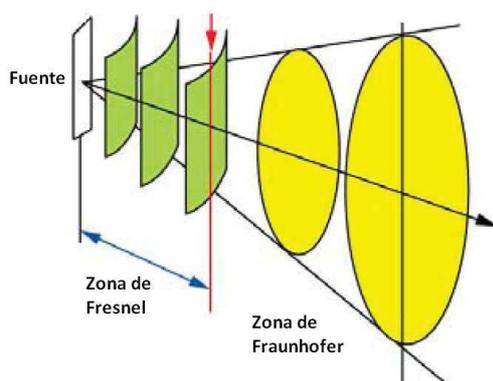
Así pues un *Line Array* debe cumplir con tres características básicas para su buen funcionamiento y éstas son:

- Proximidad máxima entre las fuentes.
- La frecuencia de corte superior debe cumplir con la ecuación $D \leq \frac{1}{2} \lambda$.
- La generación de alta frecuencia debe ser isofásica y con control de direccionalidad.

1.2.4 Campos de irradiación en un sistema *Line Array*

En un sistema *Line Array* la distancia crítica se ve desplazada más lejos de la fuente con relación a un sistema convencional, esto debido al tipo de construcción de las unidades que lo que buscan es focalizar la energía; cabe mencionar que en la región del campo cercano el *Line Array* no cumple con la ley del inverso cuadrado, sino que la pérdida por la duplicación de la distancia es de 3 dB⁴, ya que la dispersión que se da en este campo es controlada y es de forma cilíndrica; de manera inmediata se encuentra la zona de Fraunhofer o también conocida como campo lejano, donde la dispersión cumple con la ley del inverso cuadrado (dispersión esférica), comportándose como un sistema convencional.

Figura 1.16. Campos De Radiación *Line Array*



Fuente: **RODRIGUEZ**, Asencio, Comportamiento de un sistema de sonorización tipo "*Line Array*", 2006, p. 3

⁴ Conocida como la zona de Fresnel

2 CAPITULO II: MEDICION Y EVALUACION

2.1 Medición.-

La medición es el instrumento que permitirá cuantificar la problemática acústica que presenta actualmente el patio de las culturas de la Universidad De Las Américas, para lo cual se empleó el siguiente material:

- Computador portátil (emisor de señal)
 - *Adobe Audition 2.0*
- Computador de escritorio (grabación de señal)
 - Tarjeta de sonido YAMAHA
 - *Adobe Audition 2.0 (Aurora plug-in)*
- Consola Bheringer UB 2222FX
- Micrófono de medición DBX RTA-M
- Sonómetro SOLO 01DB
- Caja potenciada JBL EON G2
- Dos cables balanceados XLR
- Dos cables *insert*
- Pedestal de micrófono con *boom*

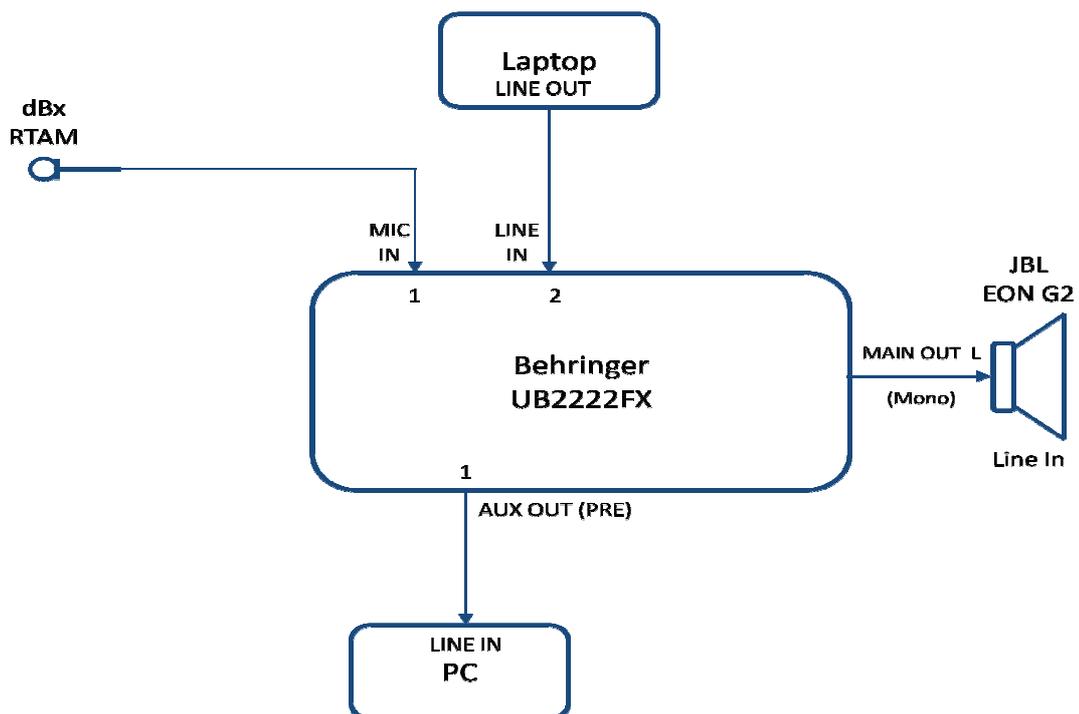
La caja potenciada que desde ahora en adelante será llamada Fuente, fue ubicada aproximadamente a la altura del eje horizontal del patio de las culturas en el extremo opuesto al ingreso del público, donde se estima estará ubicado el sistema *Line Array* y con una elevación del suelo de un metro con ochenta centímetros aproximadamente; el micrófono de medición se ubicó a un metro de distancia de la fuente y con una elevación similar a la del elemento antes descrito, coincidiendo con el eje del diafragma de la fuente.

Se ubicó el sonómetro previamente calibrado, paralelamente al micrófono y a la misma altura y dirección del mismo para medir la cantidad de nivel sonoro que recibe el micrófono y así calibrar el equipo.

Se generó en el programa del computador portátil un tono puro de 1000 Hz a 0 dB *Full Scale*; éste se envió por uno de los cables *insert* a una entrada no balanceada de la consola y ésta a su vez enviaba la señal a 0 dB por la salida principal a través de un cable balanceado a la entrada de la fuente; se incrementó el control de ganancia de dicha fuente, hasta que el sonómetro marque los 94 dB en ponderación Z. y a este nivel en otro canal de la consola, se calibró la entrada de señal del micrófono de medición a 0 dB, se envió la señal captada por una salida auxiliar de la mesa de mezcla a la entrada del computador destinado a la grabación de la señal, asegurando un nivel aceptable de la misma.

Para una mayor claridad de las conexiones entre los dispositivos se presenta el siguiente esquema:

Figura 2.1. Esquema de Medición



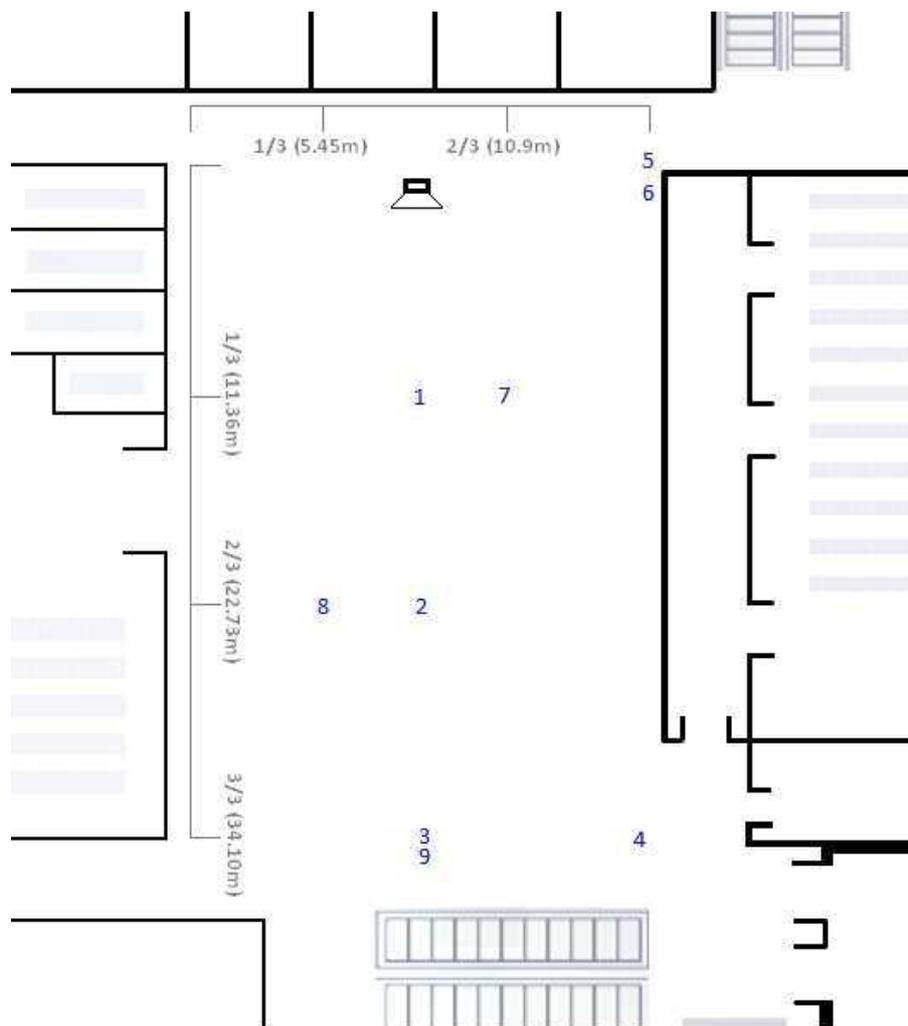
Fuente: Elaboración propia

Se pone a consideración las fotos de los elementos utilizados en el anexo número 4.

Una vez calibrada la fuente a 94 dB @ 1 m. y 1 KHz se generó a través de ésta un barrido de frecuencia de 20 Hz a 20 KHz., con un nivel de 0 dB *Full Scale.*, provisto por el programa *Aurora plug-in.* Este barrido fue receptado por el micrófono de medición por tres veces en cada uno de los puntos a medir.

Los puntos de medición fueron distribuidos en la sala de tal manera que abarquen el campo cercano, medio y lejano de radiación de una fuente y las áreas eventualmente problemáticas del recinto a medir. Estos puntos fueron ubicados a diferentes distancias en el eje de la fuente sobre el plano horizontal y en forma diagonal sobre el mismo. Para mejor comprensión, la siguiente figura:

Figura 2.2. Plano del Patio De Las Culturas Universidad De Las Américas



Fuente: Elaboración propia

2.2 Obtención de Resultados

Aurora plug-in es un software que se acopla a varios editores de audio como por ejemplo *Adobe Audition* para conocer los parámetros acústicos de una sala en particular, el modo de funcionamiento de dicho software es el siguiente:

Aurora plug-in genera un barrido de frecuencia de 20Hz a 20KHz el mismo tiene que ser reproducido en la sala a analizar por una fuente de preferencia omnidireccional y plana en su respuesta de frecuencia, dicho barrido tiene que ser captado por un micrófono de medición y grabado en archivo de audio digital con extensión *.wav*, esta grabación contiene la forma en que la sala responde a la excitación provista por el barrido, el software convoluciona la señal grabada y provee los parámetros acústicos de la sala

De forma general se dice que la convolución de esta señal transforma el contenido de frecuencia en un impulso, y de ahí *Aurora plug-in* genera los datos.

Una vez realizadas las mediciones (tres tomas por cada punto), en los 9 puntos estipulados, se obtuvo un archivo de audio por cada toma en cada punto, cada uno de éstos es analizado mediante convolución por el programa *Aurora plug-in*, el mismo que genera una tabla de parámetros acústicos en base al análisis de la grabación previa. Dentro de estos parámetros acústicos, se utilizaron los siguientes:

- RT 20
- RT 30
- Respuesta de frecuencia en bandas de octava.

Cabe mencionar que *Aurora plug-in* genera una tasa de correlación que indica la veracidad de los datos obtenidos; además, dichos datos en cada una de las tres mediciones de cada punto son similares en valor corroborando la credibilidad de los mismos.

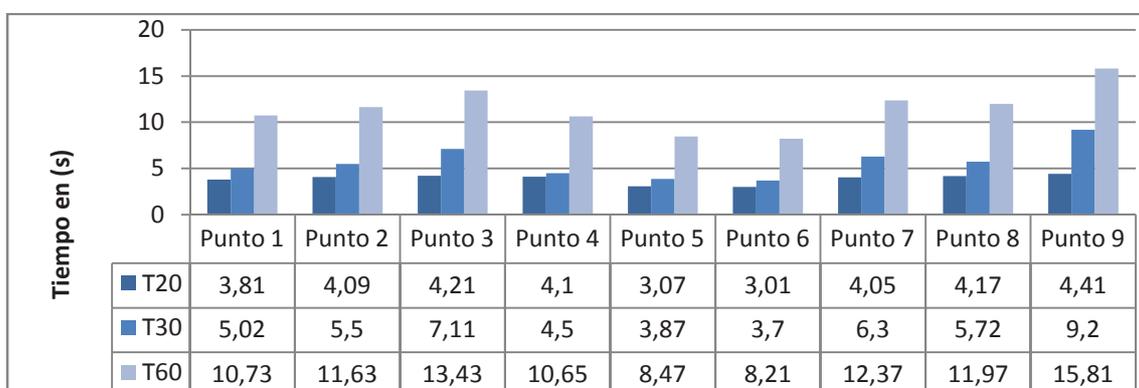
También hay que destacar que la ubicación de la fuente, del micrófono, sonómetro y toma de niveles, fue realizada en base a las recomendaciones de las normas de medición tradicionales⁵.

2.2.1 Tiempo de Reverberación

En vista de que el software *Aurora plug-in* entrega ya un valor único de RT20 y RT30 aparte de los valores por octava, se usaron éstos en un promedio lineal de las tres tomas, para así obtener un valor único por punto para cada uno de los parámetros mencionados anteriormente.

El T60 se obtuvo en base a una extrapolación y promedio de los datos de RT20 y RT30 debido al elevado ruido de fondo, obteniendo así la siguiente tabla:

Tabla 2.1. Tiempos de Reverberación



Fuente: Elaboración propia

Como se observa los tiempos de reverberación son extremadamente altos pero congruentes independientemente entre el RT20 y RT30; cabe recalcar que *Aurora plug-in* entrega en este punto una tasa de correlación en el análisis bastante alta (entre 0,9 y 1) lo que indica una alta precisión en los datos obtenidos por el software. Llama la atención la diferencia de niveles obtenidos

⁵ Normas de medición tradicionales: >1.20m del suelo, fuente calibrada 94dB@1m, sonómetro calibrado, especificados en la normativa de "LÍMITES PERMISIBLES DE RUIDO AMBIENTE PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES, Y PARA VIBRACIONES" Libro IV Anexo 5.

entre el punto 6 y 9, esto debido a la cercanía del micrófono de medición a la fuente y por ende el predominio del campo sonoro directo sobre el reverberante en el punto 6, sucediendo lo contrario en el punto 9, además de existir en éste la influencia de la reverberación aportada por los espacios acoplados, lo cual eleva el nivel de T60.

De esta manera se obtiene un RT60 promedio de 11.47 (segundos)

Para comprobar los datos obtenidos, se realizará un cálculo en base a las áreas y los materiales del recinto, el cual entregará un valor aproximado de T60.

2.2.1.1 Cálculo de T60

El procedimiento para realizar el cálculo es multiplicar todas las áreas de cierto material por su coeficiente de absorción (definido por tabla) para así obtener el área de absorción, y este procedimiento es aplicado a todos los materiales presentes de manera significativa en la sala.

Una vez obtenida la suma de todas las áreas de absorción se aplicará la siguiente fórmula:

$$RT = 0,161 \frac{V}{A_{tot}} \text{ (en segundos)} \quad \text{Fórmula (2.1.)}$$

Donde:

V = volumen del recinto (en m³)

A_{tot} = absorción total del recinto (definida seguidamente)

El siguiente cálculo fue realizado en la frecuencia de 1 KHz, con el fin de demostrar la fidelidad de los datos obtenidos en *Aurora plug-in*. *Aurora plug-in*, entrega los datos regidos a la norma, y aquellos serán usados en los cálculos posteriores.

Tabla 2.2. Cálculo de Área de Absorción

Área	Dim X	Dim Y	Coef. Abs.	Area Abs.
Pared de Vidrio Norte	34,1	13	0,03	13,30
Pared de Vidrio Sur	34,1	13	0,03	13,30
Balcón Este (vidrio)	16,3	13	0,03	6,36
Balcón Oeste				
(vidrio)	16,3	4,5	0,03	2,20
(madera de 1.6 cm)	16,3	8,5	0,09	12,47
Piso (parquet)	16,3	34,1	0,06	33,35
Techo (policarbonato)	16,3	34,1	0,03	16,67
Área de Absorción				97,65

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida el área de absorción se aplica la formula de RT.

$$RT = 0.161*(7300/97.65) \quad \text{Ecuación (2.1.)}$$

En base a esto, el RT en el Patio de las Culturas, es de 12.03 (segundos), bastante aproximado al resultado de *Aurora plug-in*, demostrando así la confiabilidad de la medición

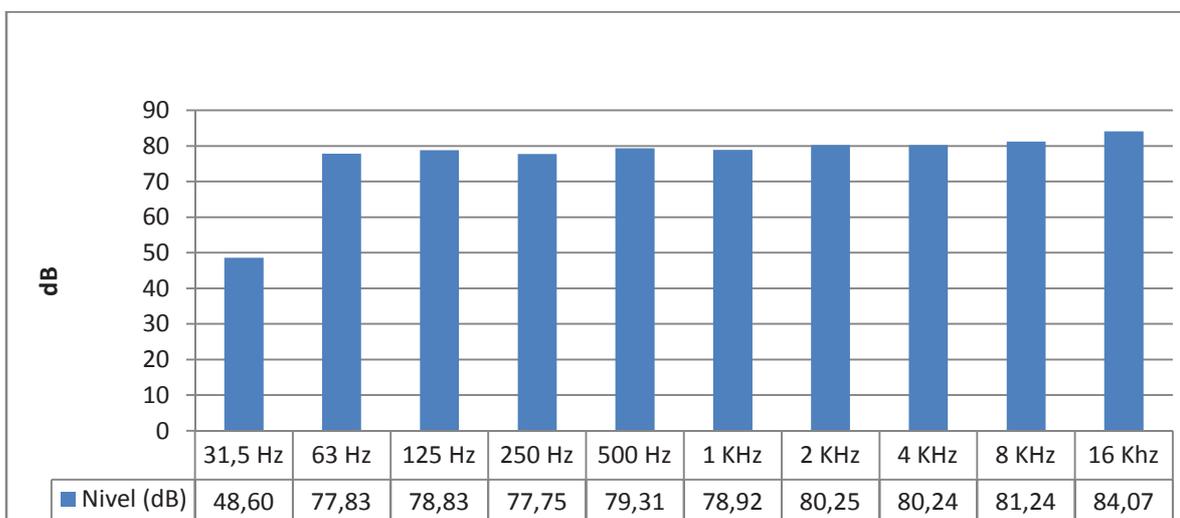
2.2.2 Respuesta de frecuencia

Debido a que los dB no son una magnitud lineal el promedio de estos niveles se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{NPS prom} = 10 \text{ Log} \left(\frac{1}{3} \left(10^{\frac{\text{NPS1}}{10}} + 10^{\frac{\text{NPS2}}{10}} + 10^{\frac{\text{NPS3}}{10}} \right) \right) \quad \text{Fórmula (2.2.)}$$

Siendo los Niveles de Presión Sonora 1, 2 y 3, los valores obtenidos en cada una de las tomas para cada una de las octavas entregadas por el análisis del software *Aurora plug-in*, una vez obtenido el promedio de estos valores se genera la siguiente tabla:

Tabla 2.3. Respuesta de Frecuencia



Fuente: Elaboración propia

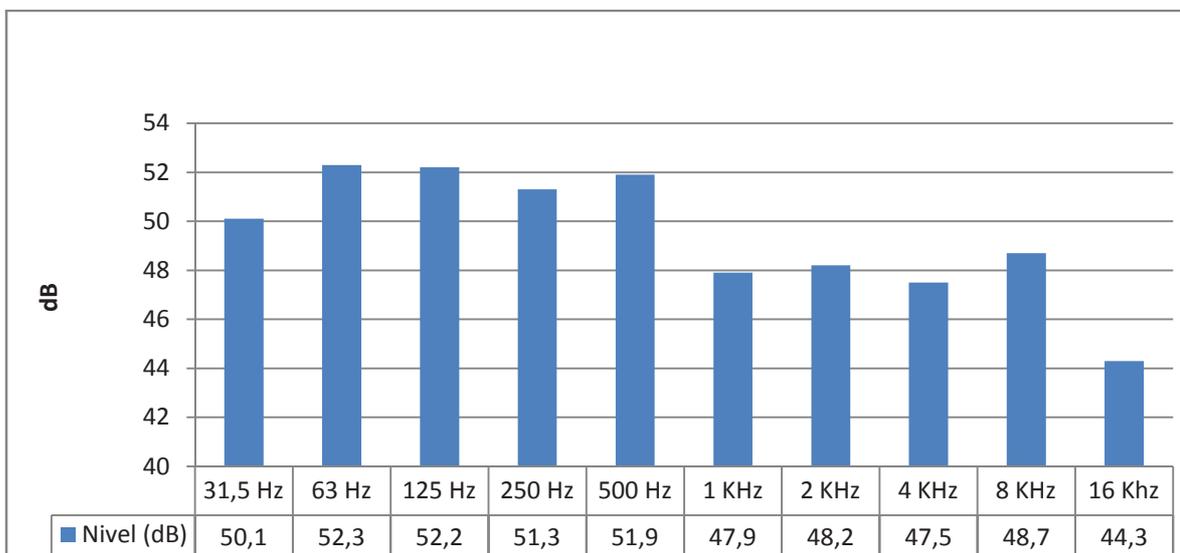
Donde se observa una relativa uniformidad en el comportamiento de la sala en todo el rango de la voz humana (500 Hz – 4 KHz)

La respuesta de frecuencia obtenida por cada uno de los puntos se pone a consideración en el anexo número 1

2.2.3 Ruido de Fondo

La medición de ruido de fondo se realizó a continuación de las mediciones anteriores, cumpliendo con la normativa que exige que se realice la medición del Nivel Sonoro Equivalente con un sonómetro integrador, en ponderación Z y *slow* por no menos de 10 minutos en la sala, además el sonómetro debe estar ubicado a no menos de un metro veinte centímetros del suelo, cumpliendo con estas exigencias el sonómetro integrador entregó los siguientes resultados:

Tabla 2.4. Ruido de Fondo



Fuente: Elaboración propia

En base a esta tabla se observa que los valores de ruido de fondo son elevados con respecto a la sugerencia que proponen las curvas *Noise Criteria*.

2.3 Evaluación de la Sala

2.3.1 Curvas *Noise Criteria*.

El Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas al estar destinado a eventos como seminarios exposiciones y actividades culturales entra en la catalogación de auditorio según las curvas *Noise Criteria* como se muestra a continuación:

Tabla 2.5. Recomendación de Valores *Noise Criteria*

Tipo de Recinto	Criterio recomendado	Nivel sonoro aprox (dBa)
Estudio de grabación	NC 10 - 20	18 - 28
Sala de concierto	NC 15 - 20	23 - 28
Estudio de televisión	NC 20 - 25	28 - 33
Salas de teatro	NC 20 - 25	28 - 33
Residencia privada	NC 25 - 30	33 - 38
Sala de conferencia y auditorio	NC 25 - 30	33 - 38
Aulas	NC 25 - 30	33 - 38
Oficinas directivas	NC 25 - 30	33 - 38
Oficinas privadas	NC 30 - 35	38 - 43
Iglesias	NC 30 - 35	38 - 43
Salas de cine	NC 30 - 35	38 - 43
Departamentos	NC 30 - 35	38 - 43
Tribunales	NC 35 - 40	43 - 48
Colegios de estructura abierta	NC 35 - 40	43 - 48
Bibliotecas	NC 35 - 40	43 - 48
Areas publicas	NC 35 - 40	43 - 48
Restaurantes	NC 40 - 45	48 - 53
Oficinas públicas grandes	NC 40 - 45	48 - 53

Fuente: **RAIMANN**, Felipe, Las famosas curvas N.C., 2009, 1

donde se sugiere un valor aproximado de NC 25 a NC30, el cual estipula los siguientes valores máximos de ruido de fondo:

Tabla 2.6. Valores por Octava de Curvas *Noise Criteria*

Curva / Frecuencia	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
NC 15	47	36	29	22	17	14	12	11
NC 20	51	40	33	26	22	19	17	16
NC 25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC 30	57	48	41	35	31	29	28	27
NC 35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC 40	64	56	50	45	41	39	38	37
NC 45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC 50	71	64	58	54	51	49	48	47
NC 55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC 60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC 65	80	75	71	68	66	64	63	62
NC 70	84	79	75	72	71	70	68	68

Fuente: **RAIMANN**, Felipe, Las famosas curvas N.C., 2009, 1

La medición de ruido de fondo realizada en el Patio de las Culturas de la Universidad de las Américas, muestra unos valores mucho más elevados que los sugeridos según las curvas *Noise Criteria* como se observa a continuación:

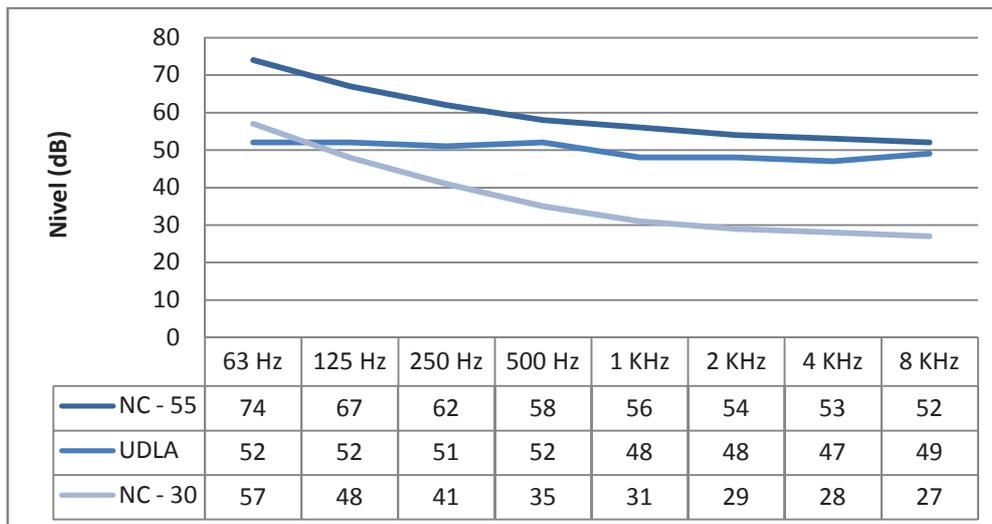
Tabla 2.7. Ruido de Fondo del Patio De Las Culturas de La Universidad de las Américas

Sala / Frecuencia	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
dB	52	52	51	52	48	48	47	49

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos anteriormente ubican al recinto en la curva *Noise Criteria* 55, un valor muy por encima de lo estipulado por el criterio de diseño acústico para un salón destinado a actividades similares a un auditorio, para mayor claridad se incluye la siguiente figura:

Figura 2.3. Comparación De Ruido De Fondo



Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Tiempo de Reverberación:

El tiempo de reverberación óptimo de un recinto va directamente ligado al volumen a los materiales utilizados en la construcción del mismo y a la actividad a desarrollarse.

2.3.2.1 Volumen:

Se debe tomar en cuenta que los espacios acoplados como pasillos, salas aledañas, y en general, todo volumen de aire que se conecte al volumen principal por medio de aberturas, incrementa el tiempo de reverberación de un recinto.

En cuanto a volúmenes hay diversos criterios de construcción desde el punto de vista acústico, pero de forma general se presentará una tabla de

recomendación de volumen dada en base al potencial número de personas presentes en el recinto.

Tabla 2.8. Recomendación de Volúmenes por Persona

Tipo de Auditorio	Volumen por persona		
	Min	Opt	Max
Sala de concierto	6,2	9,8	10,8
sala de ópera	4,5	5,7	7,4
Sala de cine	2,8	3,5	5,1
Sala de teatro, conferencia	2,3	3,1	4,3
Iglesia católica	5,7	8,5	12,5
Sinagoga	5,1	7,2	9,1
Auditorio multiuso	5,1	7,1	8,5

Fuente: **SOMMERHOFF**, Jorge, Acústica de Locales, 2005, p. 126

El volumen aproximado del Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas es de 7300 metros cúbicos solo en el bloque de masa de aire inscrita entre los balcones de las plantas y las paredes de las aulas adyacentes al patio, no se tomarán en cuenta los volúmenes de aire adyacentes como son corredores y aulas contiguas. Siguiendo las recomendaciones del cuadro anterior y tomando en cuenta que el estimado de personas asistentes a este recinto es de 550 (cada persona corresponde a un metro cuadrado en la acústica de locales, tomando en cuenta el área de la sala de 34 metros por 16.3 metros se obtiene este valor) se observa que el volumen del recinto excede en un 87% la recomendación acústica de diseño, ya que el volumen debería ser de alrededor de 3.905 metros cúbicos.

2.3.2.2 Materiales:

Otros de los factores ligados directamente al tiempo de reverberación es el tipo de material con que se encuentra revestido los límites del recinto, siendo el vidrio, la piedra y el concreto unos de los materiales que aportan menos

absorción acústica y por el contrario generan reflexiones con energía comparable al frente de ondas incidente.

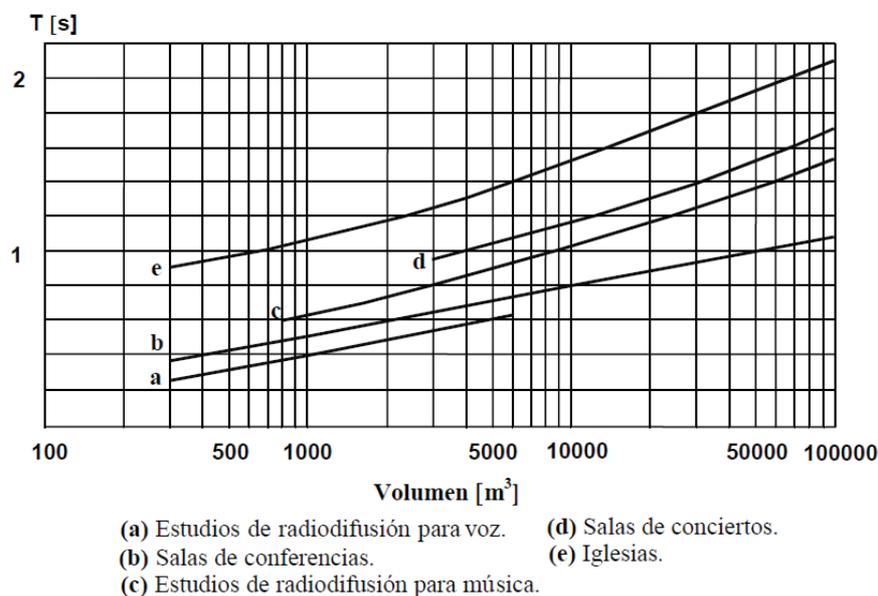
Las reflexiones son útiles para reforzar un mensaje hablado a través del espacio cuando éstas no exceden los 30 ms de retardo entre el sonido original y reflejado, pero pueden ser perjudiciales para el entendimiento del mensaje cuando éstas tienen un tiempo de retardo mayor a los 30 ms (parámetro ligado a las dimensiones de la sala) y con intensidad considerable, interfiriendo así con el mensaje original y empobreciendo su entendimiento.

2.3.2.3 Actividad a desarrollarse:

El concepto más importante a tomar en cuenta en la problemática que presenta el tiempo de reverberación en el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas, es la actividad para la que éste está destinado, siendo la realización de eventos de carácter cultural como seminarios, exposiciones, donde varios autores recomiendan valores no mayores a los 0.8 segundos de T60, y menores a los 1.2 segundos de T60 para actividades musicales, como se visualiza en la figura 2.4 que contempla el volumen de la sala y la actividad a realizarse.

En base a los parámetros expuestos anteriormente se determina la dificultad que representaría la realización de eventos de las características antes mencionadas, por la existencia de un T60 de 11.47 segundos, altamente elevado para el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas.

Figura 2.4. Tiempo de Reverberación Optimo en función del Volumen de una Sala



Fuente: **MIYARA**, Federico, Acústica Arquitectónica, 1999, p. 49

2.3.3 Respuesta de Frecuencia:

En los resultados de respuesta de frecuencia, se observa que el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas tiene un comportamiento constante en el rango del espectro de la voz humana, no presentando ninguna exaltación ni depresión significativa en las frecuencias determinantes de la voz.

Es importante resaltar que sí existe una tendencia de la sala a exaltar altas frecuencias a partir de los 8 KHz en todos los puntos medidos, lo cual podría significar algún aporte a la inteligibilidad del habla, mas no así en el caso de la actividad musical, donde la sala presentaría una coloración brillante y ésta debería ser tomada en cuenta al momento de organizar un evento de este tipo.

Cabe mencionar que este aumento está dado por las características de la fuente, ya que la misma no genera exactamente de forma constante el mismo nivel de presión sonora para todas las frecuencias, y al tratarse de un equipo

destinado por el fabricante para la reproducción musical, éste tiende a aplicar cierta coloración en su respuesta de frecuencia.

Por otro lado también se observa que, a medida que se aleja el micrófono de la fuente, la respuesta de frecuencia tiende a ser más plana en la mayoría del espectro audible, esto es debido a que en campo reverberante la dirección del flujo de sonido se comporta de forma aleatoria, provocando una uniformidad en el nivel de todas las frecuencias.

Por último también se advierte un crecimiento en el comportamiento de las bajas frecuencias desde los 31.5Hz hasta los 63Hz, esto es debido a que el altavoz no es capaz de reproducir este rango de frecuencias con la suficiente potencia.

2.3.4 %ALCons:

Debido a que %ALCons es un valor de gran importancia para estimar la inteligibilidad de la palabra, es necesario determinarlo para el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas, ya que éste dará a conocer el porcentaje de pérdida de las consonantes de un mensaje hablado en función de la distancia del receptor con respecto a la fuente tomados en consideración el volumen y el tipo de fuente; así pues se toma el caso hipotético de un orador en el extremo oriente del recinto en cuestión, y un oyente a diferentes distancias (1/3, 2/3 3/3) en el mencionado recinto, para lo cual se aplica la fórmula (1.3.) y posteriormente la tabla 1.8. para la predicción.

La constante de la sala R se obtiene mediante la relación de las áreas del recinto con su alfa promedio en 2KHz, de la siguiente manera:

$$R = (S * \bar{\alpha}) / (1 - \bar{\alpha})$$

Fórmula (2.3)

Donde:

$$\alpha = ((\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \alpha_3 \cdot S_3 + \alpha_4 \cdot S_4 + \alpha_5 \cdot S_5 + \alpha_6 \cdot S_6) / (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6))$$

Una vez aplicadas las fórmulas con los valores del recinto se obtiene:

$$\alpha = 0.036$$

$$R = 90.45$$

$$S = 2422.06 \text{ m}^2$$

Se introducen los valores en la fórmula de diferencia de niveles, se supone una distancia de 1/3 del recinto (11.36 m) y se logra una diferencia de niveles igual a - 15.5, la misma que se relacionará en la figura 1.8.; la pérdida de consonantes en el recinto a una distancia igual a 1/3 de su largo ya es mayor al 100%.

Si se aplica el procedimiento alternativo de cálculo de %ALCons dado por la siguiente fórmula (1.4.):

$$\%ALCons = \frac{200 D^2 RT60^2}{VQ}$$

Al ingresar como variantes:

D: distancia de la fuente igual a 1/3 del largo del recinto.

T: T60 obtenido en 1KHz (por definición).

V: volumen de la sala

Q: factor de direccionalidad de la voz humana (Igual a 2 por definición).

Se obtiene que el porcentaje de pérdida de consonantes en el recinto es de: 256.2%. Cabe recalcar que diversos autores proponen una pérdida no mayor al 15% para tener una buena inteligibilidad de la palabra.

Aplicando el procedimiento inverso en la fórmula anterior, se observa que, aproximadamente a los 7 metros de distancia de la fuente siendo ésta un orador con una voz promedio, el porcentaje de pérdida de consonantes ya es del 100%.

3 CAPITULO III: DISEÑO

3.1 Medición Real versus Caso Virtual:

Antes de diseñar la instalación de un equipo de amplificación, de dimensiones y costo considerables con un software provisto por la casa comercial, es necesario comprobar que las predicciones hechas por dicho software se asemejan a la realidad acústica que presenta el Patio de las Culturas; con esta finalidad se realizará una medición virtual simulando el ambiente, dimensiones, materiales, dispositivos y consideraciones tomadas en la medición real para comparar los datos obtenidos en ambas (virtual y real).

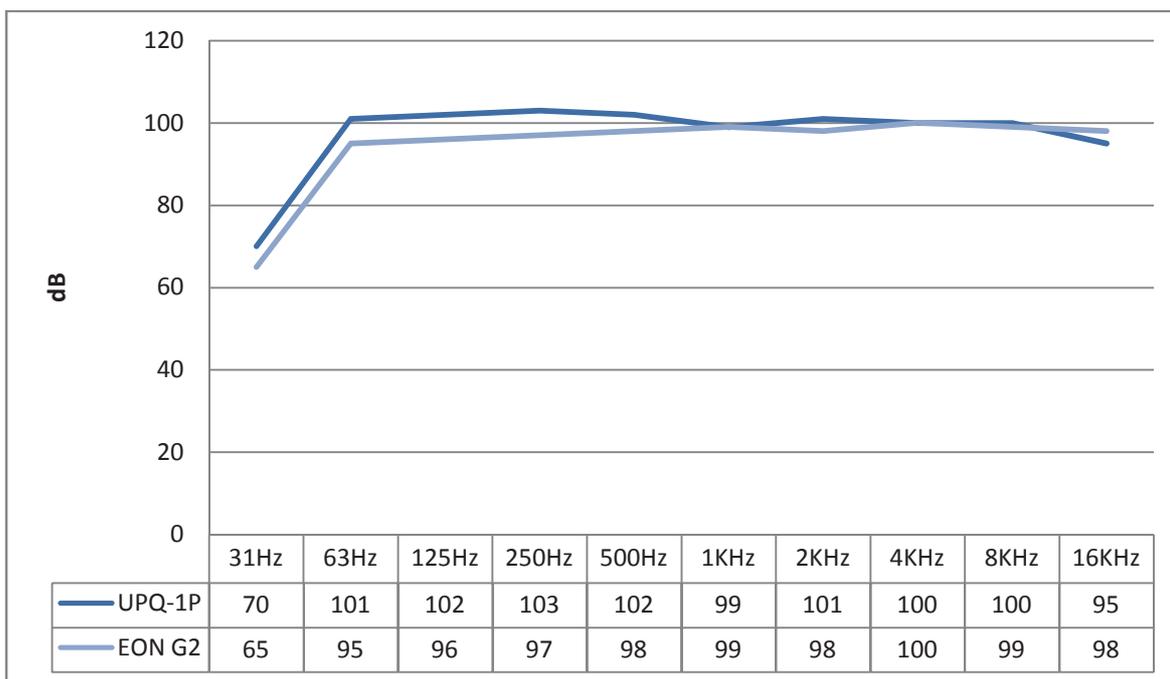
3.1.1 Comparación de Fuentes

En la medición realizada en el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas, se utilizó como fuente un altavoz comercial de la casa JBL serie EON G2, cuyas características son similares a las de la fuente virtual que se usará para la medición virtual (UPQ-1P de *Meyer Sound*), las razones por las cuales no se usó la misma fuente en ambas mediciones son:

- La falta de disponibilidad de una fuente UPQ-1P nueva, ya que al usar una de alquiler no garantiza el buen estado de la fuente y por ende la respuesta asegurada por el fabricante.
- La disponibilidad de un altavoz JBL EON G2 nuevo.

Como se mencionó anteriormente las fuentes en cuestión tienen características similares y esto crea la necesidad de hacer una comparación objetiva entre las respuestas de frecuencia de las mismas, las que pondremos en consideración en la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Comparación de Respuesta de Frecuencia



Fuente: Elaboración propia

De la cual se deduce la diferencia de niveles en la reproducción del rango de frecuencias entre 63Hz y 500Hz, la misma que está en el rango de los 6 dB, este valor se deberá tomar en cuenta al momento de comparar las respuestas de frecuencia obtenidas en la sala.

Además se deberá tomar en cuenta la diferencia de Nivel de Presión Sonora que existen entre las 2 fuentes que es de 11dB.

3.1.2 Simulación del Recinto

En el software *MAPP Online Pro*, provisto gratuitamente por *Meyer Sound*, se introdujeron los límites del volumen de aire, que son los límites del espacio destinado para las actividades culturales en el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas, excluyendo de esta manera los volúmenes

anexos del mismo, esto en base a un concepto importante en materia de acústica de locales que enuncia que el volumen principal es el influyente para los valores de T60, y que los volúmenes anexos son los afectados por el principal y no de manera inversa.

Es importante mencionar que si bien es cierto que *MAPP Online Pro* es una herramienta de predicción bastante aproximada, no se puede simular exactamente el recinto por varios factores como por ejemplo:

La limitada base de datos de materiales de los que está compuesto el contorno interior del recinto,

La predicción del *software* se realiza en 2 dimensiones, y

La imposibilidad de generar sólidos que interactúen acústicamente con la fuente en el medio del recinto.

A pesar de estos inconvenientes y al tratarse del Patio de las Culturas de La Universidad De Las Américas como un recinto prácticamente rectangular, se aproximarán ciertos factores para realizar una medición virtual de la siguiente manera:

Se introducen como dimensiones de la sala las del volumen de aire más significativo que viene dado por las dimensiones del área destinada para las actividades varias dentro del Patio de las Culturas. El vidrio que conforma las paredes del recinto se simulará escogiendo en el software la opción de material rígido; la piedra y el enlucido de los balcones se simularán con la opción de concreto sin pintar, el techo se simulará con la opción de baldosa acústica y el piso se simulará con la opción bloque de concreto sin pintar, opciones que tienen valores similares en absorción a los presentes en el recinto.

En la siguiente gráfica se observan los valores de las dimensiones y los materiales ingresados en el software:

Figura 3.1. Límites del Recinto, Vista Lateral

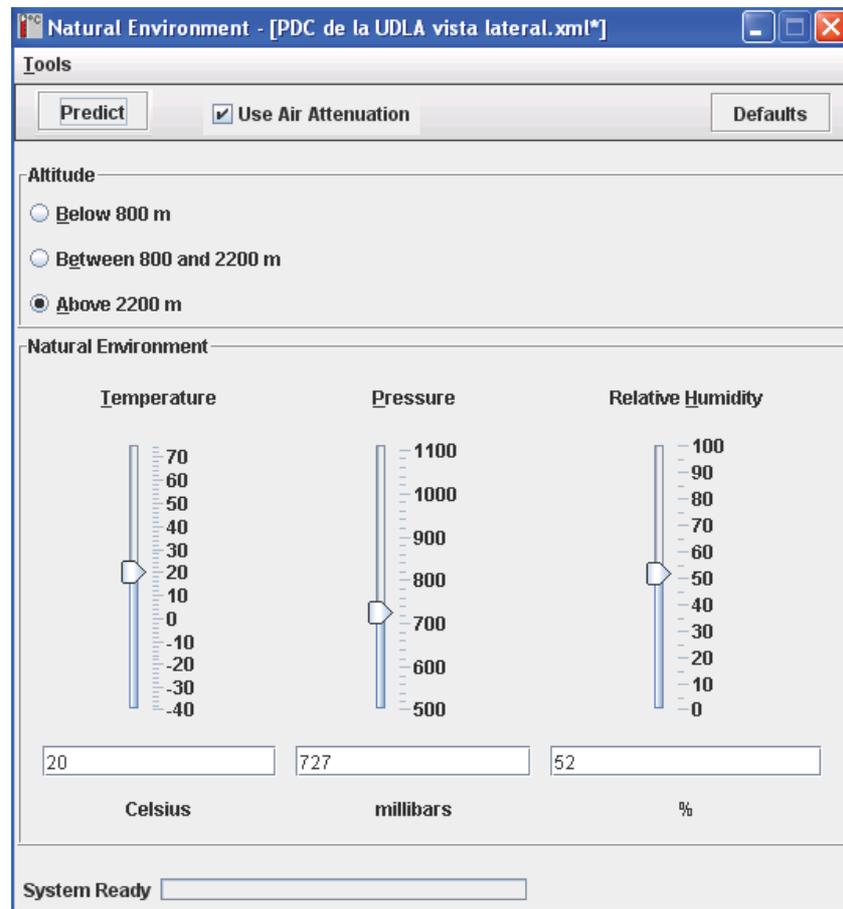
The screenshot shows the 'Prediction Plane' software window with the following configuration:

- Tools:** A 'Predict' button is visible.
- Minimum:** X: 0 meters, Y: 0 meters.
- Size:** X: 34.1 meters, Y: 13 meters.
- Surface 1:** Enabled, Material: Acoustic Tile On Rigid Surf KF.
- Surface 2:** Enabled, Material: Rigid.
- Surface 3:** Enabled, Material: Concrete Block Unpainted CH.
- Surface 4:** Enabled, Material: Rigid.
- System Ready:** A progress bar is shown at the bottom.

Fuente: Elaboración propia

Una vez introducidas las dimensiones y los límites del recinto en el programa, es necesario también incluir los valores de las condiciones ambientales promedio de la ciudad de Quito; altura por encima de los 2.200 mts. sobre el nivel del mar, una temperatura promedio de 20° centígrados, y una presión atmosférica de alrededor de los 727 milibares.

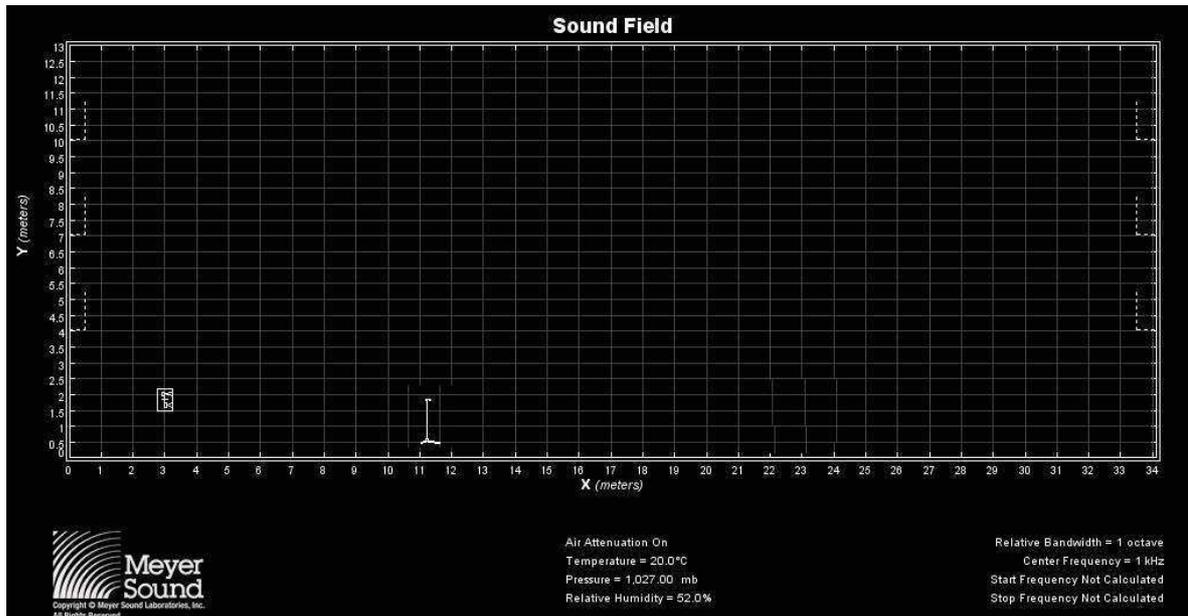
Figura 3.2. Condiciones Ambientales del Recinto



Fuente: Elaboración propia

Determinadas las condiciones ambientales, se colocará una fuente de tamaño, respuesta de frecuencia y ubicación similar a la de la medición real, además un micrófono de medición de similares características al usado en la medición real, de la siguiente manera:

Figura 3.3. Recinto Virtual, Vista Lateral



Fuente: Elaboración propia

Como *MAPP Online Pro* realiza la predicción solo en 2 dimensiones, es necesario generar una vista superior del recinto, para lo cual se siguen los mismos pasos del procedimiento anterior pero con las dimensiones en sentido horizontal, con las mismas condiciones climáticas y simulando de la manera más aproximada los materiales del contorno interior del Patio de Las Culturas, de la siguiente manera:

Figura 3.4. Límites del Recinto, Vista Superior

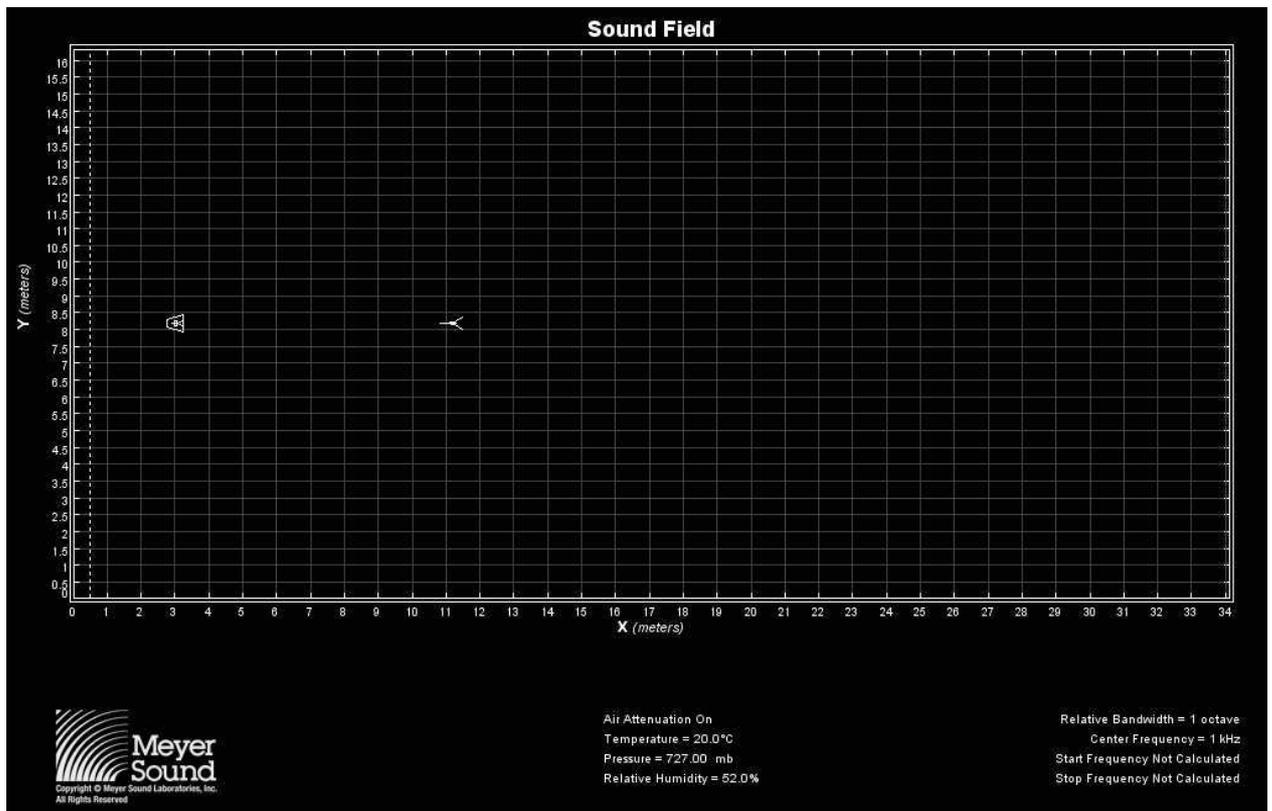
The screenshot shows the 'Prediction Plane' software window with the following configuration:

- Tools:** A 'Predict' button is visible.
- Minimum:** X: 0 meters, Y: 0 meters.
- Size:** X: 34.1 meters, Y: 16.3 meters.
- Surface 1:** Enabled, Rigid.
- Surface 2:** Enabled, PouredConcretePaintedLB.
- Surface 3:** Enabled, Rigid.
- Surface 4:** Enabled, PouredConcretePaintedLB.
- System Ready:** A status bar at the bottom.

Fuente: Elaboración propia

Se produce la siguiente figura:

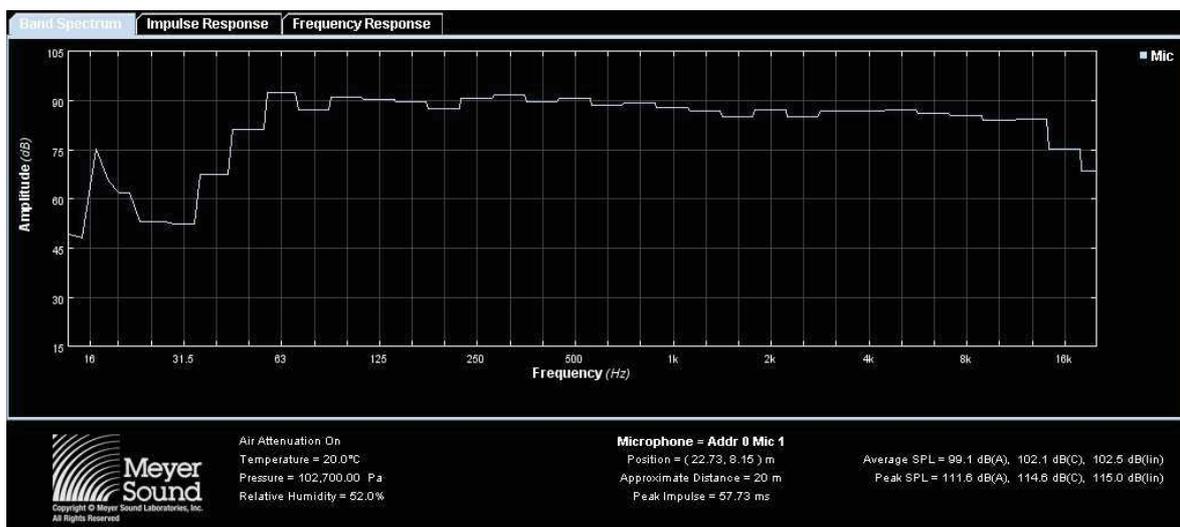
Figura 3.5. Recinto Virtual, Vista Superior



Fuente: Elaboración propia

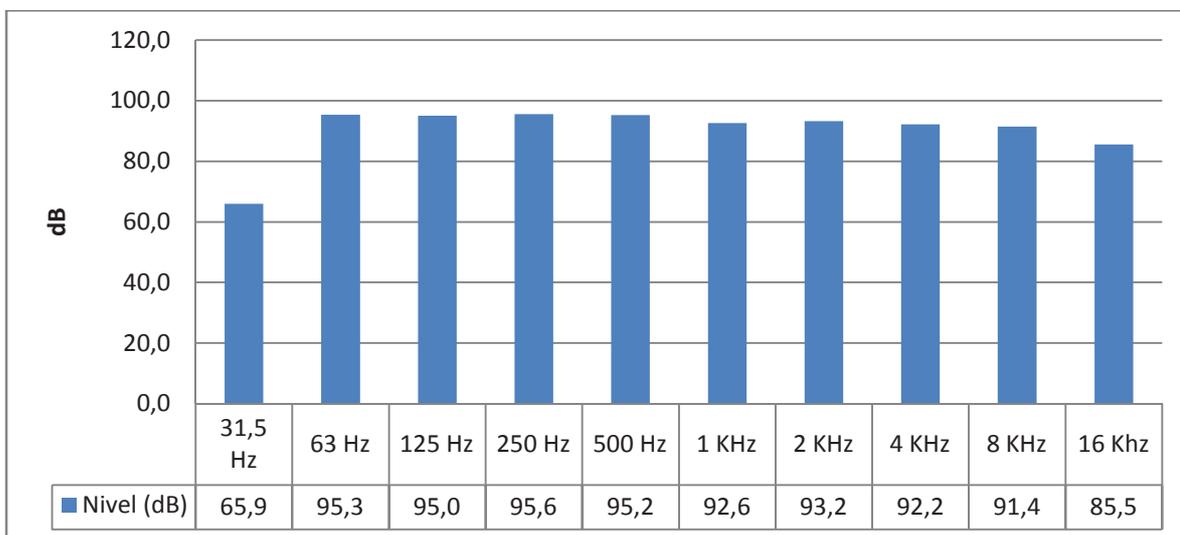
Una vez generado el recinto de forma virtual, se procedió a ubicar el micrófono de medición virtual en la posición en la que se lo colocó en cada uno de los puntos de la medición real, obteniendo así la siguiente predicción por parte del *software*:

Figura 3.6. Respuesta de Frecuencia Sala Virtual



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2. Respuesta de Frecuencia Virtual

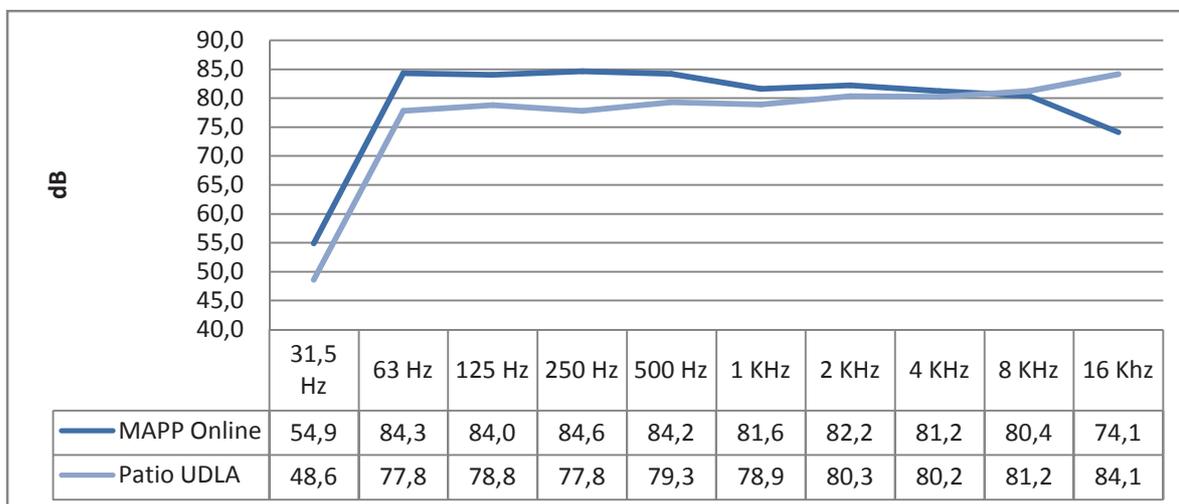


Fuente: Elaboración propia

Con los valores promediados de respuesta de frecuencia de cada uno de los puntos de medición virtual generados por *MAPP Online Pro*, se hará una comparación entre los mismos y los obtenidos en la medición real para así

determinar una igualdad entre los 2 casos, aplicando la compensación por diferencia de Nivel de Presión Sonora antes calculada entre las 2 fuentes.

Figura 3.7. Comparación de Respuestas de Frecuencia Virtual y Real



Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver, existe una diferencia considerable en la respuesta de frecuencia de la sala en el rango entre 63Hz y 500Hz, entre la medición real y virtual, la misma que también se encuentra en la comparación de las fuentes utilizadas y que responde al orden de los 6dB, lo cual es atribuible a la variación en la respuesta de frecuencia entre los altavoces, por lo cual se puede establecer una semejanza entre los niveles promedio de la respuesta de frecuencia de los puntos medidos y los simulados en *MAPP Online Pro*.

Si bien es cierto que los datos obtenidos no son exactamente iguales, pero aplicando los correctivos descritos anteriormente por diferencias entre las fuentes se obtiene una diferencia menor a los 2 dB entre la medición real y la virtual, lo que indica que *MAPP Online Pro* simula bien las condiciones acústicas del Patio De las Culturas de la Universidad De Las Américas, y esta herramienta servirá muy bien para la predicción de respuesta de frecuencia con un equipo grande como un *Line Array*. La diferencia en la respuesta de alta frecuencia de la sala entre las mediciones se pueden presentar por las leves

diferencias en las fuentes, los materiales utilizados, y el diseño del recinto entre el caso virtual y real.

Las respuestas de frecuencia producidas en cada uno de los puntos de medición virtual se ponen a consideración en el anexo número 3

Una vez demostrada la utilidad de un *Line Array* y la veracidad de los datos entregados por el software de predicción del fabricante, es necesario escoger un sistema adecuado a las necesidades.

3.2 Equipo a Utilizar:

Como se vio en la sección de evaluación de la sala, existen varios factores que hacen del Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas un recinto conflictivo desde el punto de vista acústico al momento de cumplir con su función de auditorio para seminarios y exposiciones, donde el T60 elevado provocado por volumen y los materiales utilizados, el altísimo porcentaje de pérdida de consonantes y el ruido de fondo, hacen que el mensaje hablado se vea afectado enormemente al momento de llegar al público asistente.

Debido a que el recinto en cuestión es altamente reverberante, no sería apropiada la utilización de un sistema convencional, ya que el mismo expande el nivel de presión sonora en un amplio ángulo de cubrimiento que lo que hace es esparcir la energía hacia sectores innecesarios de la sala generando reflexiones molestas y que interfieren con el mensaje al momento de llegar al oyente.

La solución para esta problemática es la focalización de la energía generada en un altavoz y dirigirla correctamente hacia el público, para de esta manera minimizar la cantidad de sonido en las áreas sin público, que generan reflexiones molestas hacia el resto del recinto, en base a este concepto la mejor opción es la utilización de un sistema de amplificación *Line Array*, cuya propiedad es justamente la focalización de la energía en un ángulo de

cubrimiento reducido, conduciendo toda la energía hacia el público, donde éste aportará la absorción necesaria al frente de ondas incidente para evitar que la energía se refleje hacia el resto del recinto provocando reflexiones perjudiciales para el mensaje hablado.

Tomando en cuenta las propiedades del Patio De Las Culturas de la Universidad De Las Américas y la actividad a realizarse en el mismo, se escogerá un equipo diseñado para locales medianos como teatros, salones de eventos e iglesias, para lo cual se consideraron las siguientes opciones:

1. MICA
2. M'elodie
3. M1D

Se decidió utilizar la serie M'elodie por varios factores:

Mejor respuesta de frecuencia generada en el programa de predicción *MAPP Online Pro* frente a los otros modelos.

Recomendación de la casa comercial en base a la actividad para la cual se destinará el equipo.

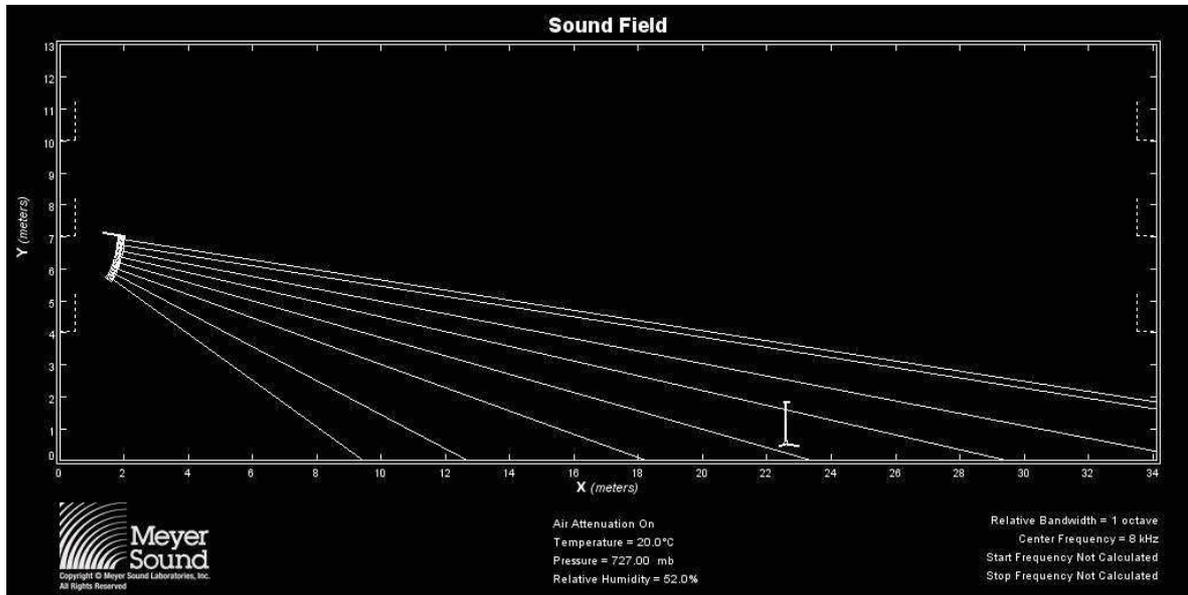
La polivalencia del equipo para utilizarse en otras configuraciones como *frontfill* (cubrimiento del sector cercano al escenario).

3.3 Localización:

Debido a la distribución del recinto y su forma rectangular, existen dos posibles posiciones de instalación del equipo de amplificación, pero tomando en cuenta el acceso al Patio de las Culturas se recomienda la ubicación en el extremo oriental del recinto; las dos torres de altavoces deben ir suspendidas en el aire dirigiendo su energía hacia el público y cubriendo efectivamente al mismo tanto en el eje horizontal como en el vertical.

Para mayor claridad se presenta a continuación una gráfica de la ubicación propuesta:

Figura 3.8. Ubicación Hipotética



Fuente: Elaboración propia

3.4 Cubrimiento:

3.4.1 Vista Lateral (tiro)

Una vez determinada la ubicación del *Line Array*, se procura que, todos los puntos donde se ubicará el público a lo largo del recinto, tengan la misma cantidad de energía acústica producida desde el equipo antes mencionado.

Se generará un soporte virtual para el equipo a una altura (eje y) y distancia (eje x) estimadas, que estarán sujetas a cambios a lo largo del proceso de modelamiento. Una vez generado el marco de soporte, se añadirán una por una las cajas direccionadas hacia el lado opuesto del escenario, así como de la colocación del equipo y apuntando a una altura aproximada de 1.60 m (altura promedio de un oyente). Realizada esta operación, se deja actuar el software

en la ventana de campo sonoro a 8KHz (frecuencia límite de la voz humana), para averiguar si dicha caja genera el suficiente Nivel de Presión Sonora en la distancia tope del recinto; caso contrario, se agregarán más cajas direccionadas hacia el mismo punto hasta alcanzar el objetivo.

De manera seguida se añaden más cajas, variando su ángulo de inclinación para cubrir el resto del recinto, hasta una cercanía considerable al escenario (4 metros). Cabe mencionar que la añadidura de las cajas debe procurar mantener un nivel de presión similar en los diferentes puntos donde se estima la presencia de público dentro del recinto, y una respuesta de frecuencia pareja en el espectro de la voz humana (aproximadamente entre 400Hz y 40000 Hz). Así se observará que el ángulo entre las cajas se irá incrementando conforme a la cercanía al escenario.

3.4.2 Altura:

Es importante tomar en cuenta que, con poca altura en el sistema *Line Array*, se tiene menor trayecto entre las cajas y el público, por ende se disminuiría la necesidad de implementar más cajas para generar un Nivel de Presión Sonora óptimo. De colocarse muy bajo el sistema *Line Array*, se generarían altos niveles de presión en las cercanías del escenario. Es en este punto donde se modificará la altura del sistema hasta lograr un Nivel de Presión Sonora similar en toda el área donde se ubicará el público dentro del recinto, pero sin olvidar corregir el ángulo de tiro de las primeras cajas que apuntan hacia el extremo opuesto del escenario, lo que modifica la dirección del resto de cajas, convirtiendo el modelamiento en un procedimiento de ajuste continuo hasta encontrar un balance adecuado entre los factores antes expuestos.

Cabe mencionar que no existe un método establecido para el diseño y configuración de parámetros para la instalación de un *Line Array*, y de hecho uno de los propósitos del software de predicción es ayudar al usuario a corregir todos los posibles inconvenientes antes de colocar el sistema.

Existen otros criterios de colocación y distribución de las cajas para procurar obtener la misma densidad energética, pero basados en el equipo con el que se cuenta, tratando optimizar el mismo y el costo que éste representa, claro está, dejando vacíos y zonas con ausencia de focalización de la energía.

3.4.3 Vista Superior (ancho)

Partiendo del concepto de cubrir efectivamente a todo el sector donde se ubicará el público, se transporta *MAPP Online Pro* hacia la vista superior para simular la ubicación de las 2 torres a cada lado del escenario, tomando en cuenta la altura horizontal (distancia en el eje x de la vista lateral), para ubicar el equipo a la misma altura destinada anteriormente; en esta sección se insertan dos cajas a cada lado del escenario a una distancia prudencial de las paredes para evitar cancelaciones por la interacción con las mismas, y lo suficientemente distantes entre ellas (cajas) para evitar el efecto antes mencionado pero esta vez por la interacción entre las fuentes, tratando de conseguir una respuesta de frecuencia pareja en los distintos puntos del recinto, modificando la distancia entre las cajas hasta lograr el objetivo, tal como se vio en la sección anterior.

3.5 Sistema:

En base a los criterios expuestos se obtuvo un sistema controlado por un procesador central y compuesto por 7 cajas en cada lado del escenario (14 en total), suspendidas a 7 metros de altura, 2 metros de distancia del límite del balcón oriental y 9.3 metros entre ellas (vista superior), como se vio en la sección de altura las últimas cajas tienen una cercanía considerable al público, por lo cual fue necesario disminuir su ganancia en 6 dB en el procesador, para obtener una densidad energética más pareja en las cercanías al escenario; La

posición del arreglo, los ángulos de las cajas y del soporte, se presentan a continuación en la siguiente figura:

Figura 3.9. Posición y Ángulos del Sistema

Reference Rig Point Position

X: meters

Y: meters

Rotation About Reference Rig Point

Angle: degrees

-180 -120 -60 0 60 120 180

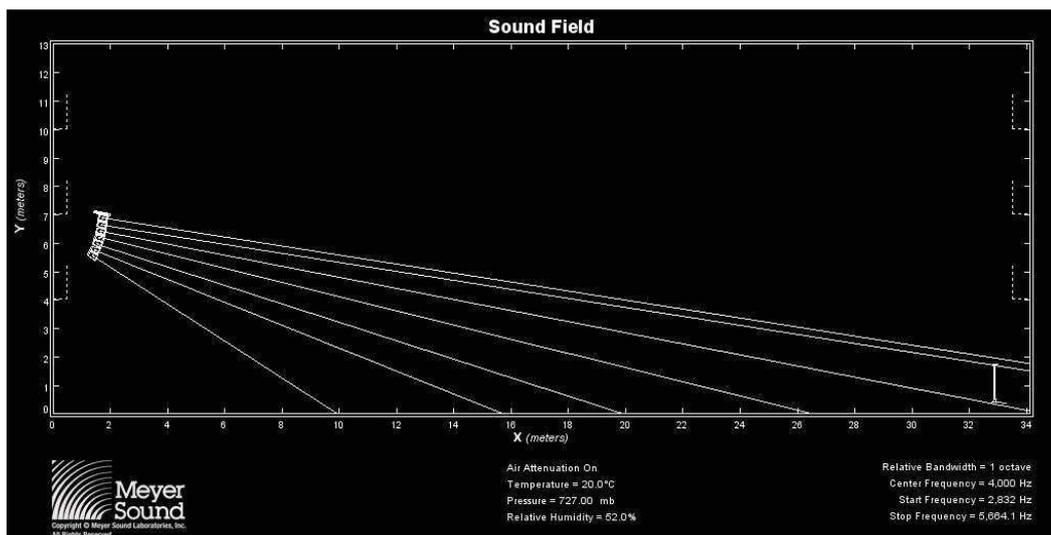
Loudspeaker System Elements

ID	MODEL	SPLAY	FROM	CTR LINE	SOLO	ADDR	CH	PROC LABEL
	MG-M'elodie forward							
1	M'elodie	0°	front	On	Off	10	1	Addr 10 Proc 1
2	M'elodie	0°	front	On	Off	10	1	Addr 10 Proc 1
3	M'elodie	-2°	front	On	Off	10	1	Addr 10 Proc 1
4	M'elodie	-3°	front	On	Off	10	1	Addr 10 Proc 1
5	M'elodie	-4°	front	On	Off	10	1	Addr 10 Proc 1
6	M'elodie	-4°	front	On	Off	10	2	Addr 10 Proc 2
7	M'elodie	-11°	front	On	Off	10	2	Addr 10 Proc 2

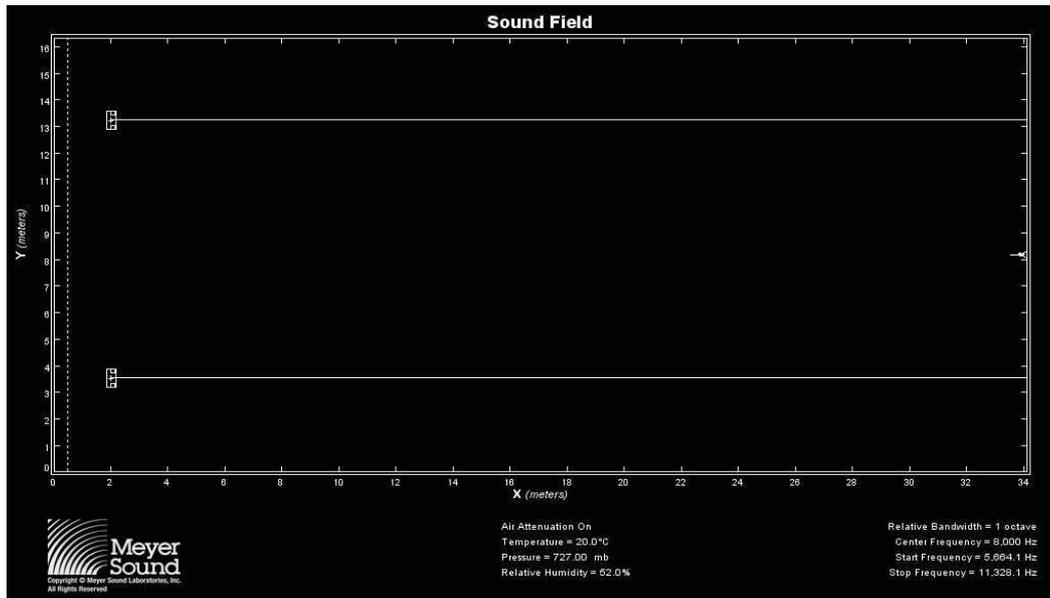
Fuente: Elaboración propia

En base a los datos obtenidos se generan las siguientes figuras de la posición virtual del equipo y la línea de eje de las fuentes en el recinto:

Figura 3.10. Ubicación *Line Array* en Vista Lateral



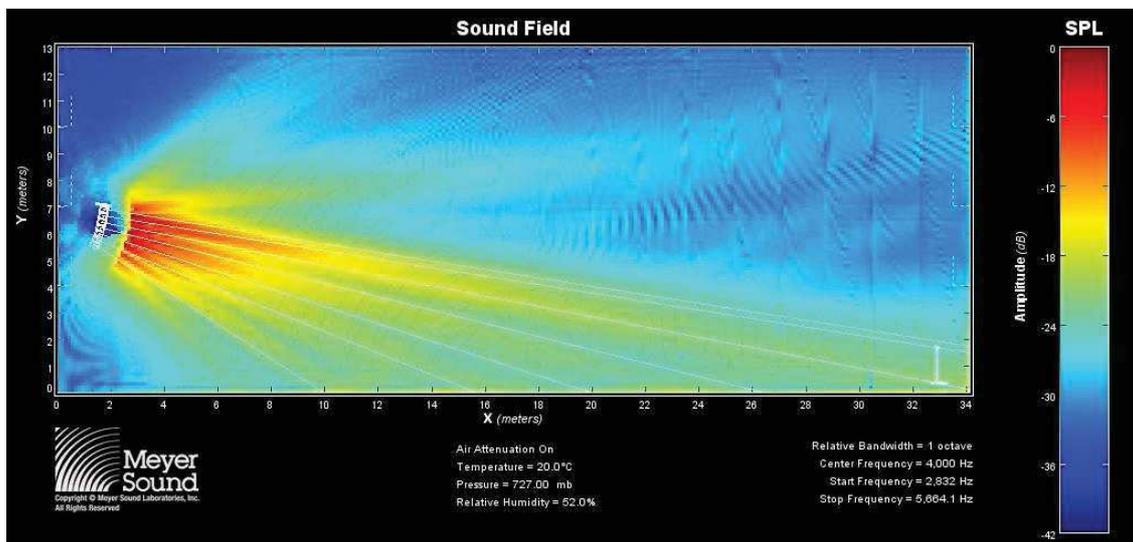
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11. Ubicación *Line Array* en Vista Superior

Fuente: Elaboración propia

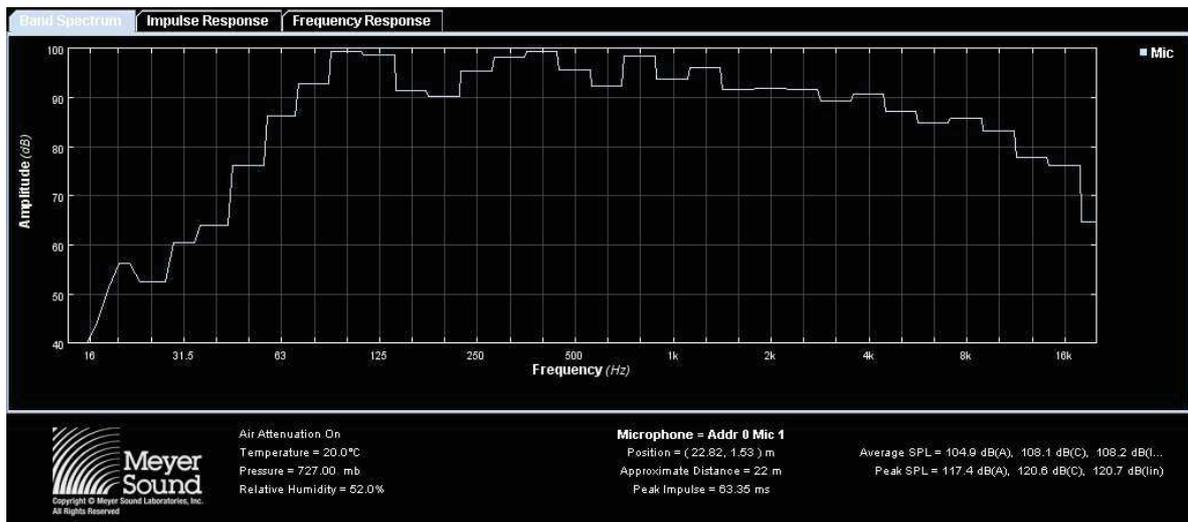
También se pone a consideración los gráficos de Nivel de Presión Sonora y los de respuesta de frecuencia del sistema planteado.

Figura 3.12. Nivel de Presión Sonora a 4 KHz.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13. Respuesta de Frecuencia a 22.7 m



Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Peso:

MAPP Online Pro entrega también una tabla de las dimensiones y peso del sistema por cada lado, la cual se presentará a continuación:

Figura 3.14. Dimensiones y Peso en Vista Lateral del Sistema

ARRAY HEIGHT	ARRAY DEPTH	CENTER OF GRAVITY	REAR RIGGING LOAD	FRONT RIGGING LOAD	TOTAL WEIGHT
1.76 m	0.82 m	under rigging	156.43 kg	56.76 kg	213.19 kg

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Potencia:

Cada una de las cajas destinadas para la conformación del sistema provee 780 *watts* (AES⁶), quiere decir que el sistema completo podrá generar un promedio de 10.920 *watts* de potencia acústica; si bien es cierto que la potencia es sobredimensionada para la cantidad de público que se estima en el recinto, no hay que olvidar dos aspectos importantes:

Primero: el modelamiento se llevó a cabo bajo el concepto de cubrimiento efectivo de la superficie para asegurar la inteligibilidad de la palabra y,

Segundo: tratar de vencer los efectos negativos de la excesiva reverberación que genera el recinto en base al cubrimiento efectivo de la superficie donde se espera presencia de público.

3.5.3 Cadena Electroacústica:

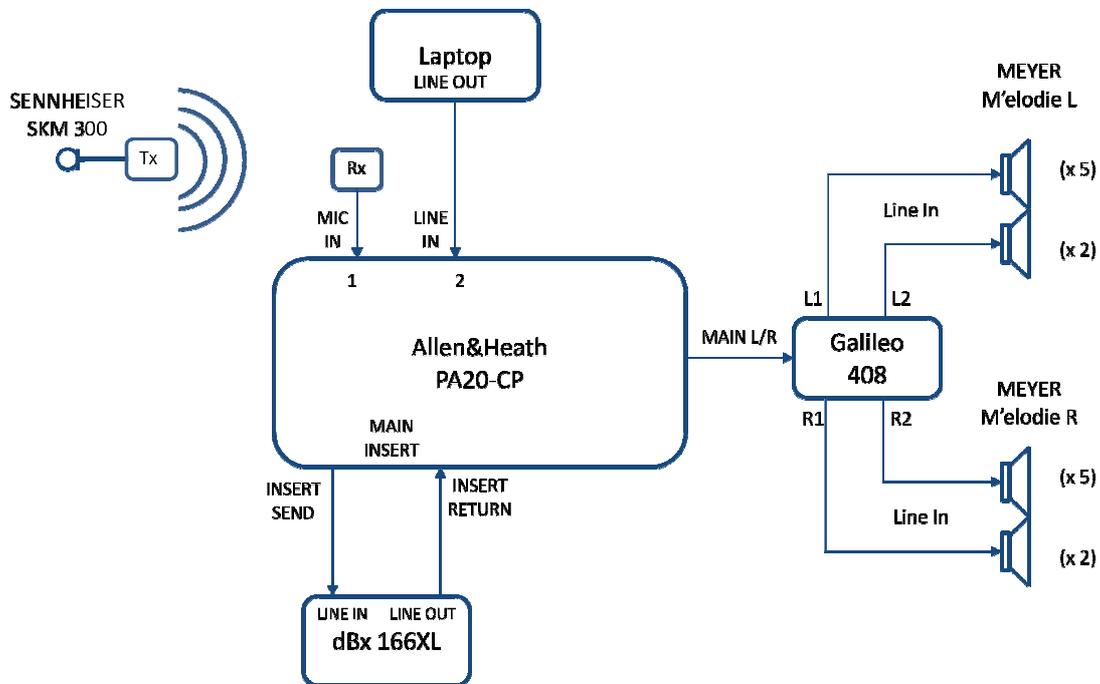
Una vez simulada la colocación del equipo, su respuesta y demás parámetros que son exclusivos del *Line Array*, es necesario proponer el resto de equipamiento necesario para que el sistema sea funcional, de esta manera se considerará de nuevo las actividades a realizarse en el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas, las cuales son exposiciones y presentaciones multimediales, en base a esto se recomienda:

- 4 micrófonos inalámbricos multifrecuencia
- 1 consola de 8 canales y al menos 2 envíos auxiliares
- 1 computador con lector de *cd/dvd*, tarjeta de audio y video acorde a las necesidades
- 1 proyector y pantalla acorde a las dimensiones del recinto

⁶ AES es un estándar de normalización

A continuación se propone el siguiente esquema de conexión del equipo antes mencionado

Figura 3.15. Esquema de Cadena Electroacústica



Fuente: Elaboración propia

3.6 Sistema eléctrico:

Una parte fundamental para el funcionamiento del equipo antes propuesto es el sistema eléctrico, el cual debe tener algunas consideraciones básicas para salvaguardar la integridad del equipo ante cualquier eventualidad que se pueda presentar en la red eléctrica.

Se propone entonces, el diseño de un distribuidor de energía eléctrica exclusivo para el uso de la cadena electroacústica antes expuesta, éste debe estar compuesto de dos fases, a las cuales se les agregará un voltímetro y un amperímetro de pinza para el monitoreo constante del voltaje y corriente en el sistema. Se destinará una de las fases para alimentar el lado izquierdo del

sistema y otra para el lado derecho y los procesadores, con la finalidad de equilibrar las cargas.

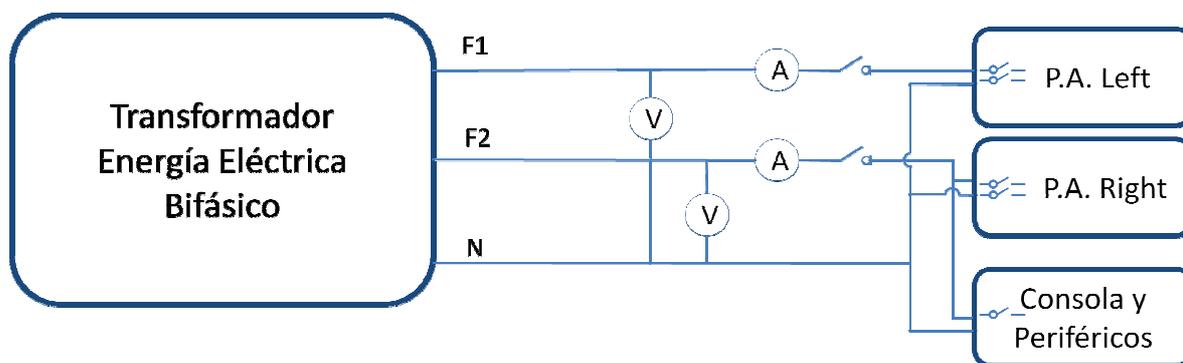
También se sugiere la utilización de *breakers* de 60 amperios en cada una de las fases, para evitar el daño en el equipo ante una sobrecarga, así como el uso de interruptores de encendido para cada cuatro cajas del sistema (para evitar sobrecarga de encendido) y otro para la consola, procesadores y periféricos.

Otra de las eventuales ventajas del uso de interruptores es la del parcial empleo del equipo, en el supuesto caso donde no se requiera sonorizar toda la planta del Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas, de esta manera se encenderán solo las últimas tres cajas inferiores del arreglo, para tener una cobertura de la mitad del recinto aproximadamente.

Se sugiere el uso de cable A.W.G. N° 8 de múltiples filamentos para la elaboración de la acometida que alimentará el distribuidor.

Para mayor claridad se presenta el siguiente esquema:

Figura (3.16.) Esquema de Distribuidor de Energía



Fuente: Elaboración propia

3.7 Presupuesto:

A continuación se presenta un presupuesto estimado del costo de los elementos involucrados en el diseño de la cadena electroacústica; dichos elementos se cotizaron directamente con el distribuidor existente en el país y en varios portales de internet para obtener el precio más bajo.

Cotizados en el país (SONOTEC):

	Unidad	Total
• Caja <i>M'elodie</i> de Meyer Sound	6.715,80	94.021,20
• Procesador Galileo 408	5.846,40	5.846,40

Cotizados en portales de internet (www.musiciansfriend.com):

	Unidad	Total
• Consola <i>Allen & Heath</i> PA20-CP	1.299,00	1.299,00
• Compresor <i>DBX</i> 166XL	259,95	259,95
• Micrófono <i>SENNHEISER</i> SKM 300-865 G3	499,95	1999,80

Para los elementos cotizados en el exterior se deberán sumar los impuestos de importación al país que incrementan en un 42% el valor de la cotización.

Para los elementos cotizados en el país, se deberá sumar el Impuesto al Valor Agregado (I.V.A.) que corresponde al 12%.

El presupuesto referencial total es de: 116.905,14 dólares.

La proforma entregada por SONOTEC y las páginas web con las cotizaciones del exterior se las pondrá a consideración en anexo número 5.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

4.1 Conclusiones:

En base a la medición realizada en el Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas, se concluye que dicho patio presenta un tiempo de reverberación de 11.46 segundos; lo cual responde a una relación de 573 por ciento por encima de la recomendación de diseño acústico que es de 2 segundos.

Debido al excesivo tiempo de reverberación el porcentaje de pérdida de consonantes en el mensaje hablado es del 100% a los 7 metros de distancia de la fuente, en base al cálculo propuesto en el marco teórico.

El volumen excede en un 87% a la recomendación de diseño, en relación al número de personas para las cuales está diseñado el Patio de las Culturas,

Se determinó que los materiales usados en la construcción no aportan en la absorción del sonido y por el contrario crean más reflexiones molestas en el momento de un evento acústico.

Todos estos elementos influyen negativamente en la inteligibilidad de un mensaje ya sea hablado o musical al momento de ser percibido por el oyente.

La comparación entre la medición real y el caso virtual indica que *MAPP Online Pro* simula bien las condiciones acústicas del recinto en cuestión, por la relativa semejanza entre los resultados de la comparación cuya desviación no es mayor a los 2 dB, lo cual asegura la efectividad al momento de la implementación del proyecto propuesto.

El proceso de diseño de una cadena electroacústica de refuerzo sonoro debe tomar en cuenta las condiciones acústicas de un recinto, con la finalidad de que dicha cadena sea un aporte a la calidad del mensaje emitido y no solo para elevar el nivel de sonoridad, es en base a este concepto que el diseño del

sistema propuesto no estuvo ligado exclusivamente a la potencia, sino mas bien a la cobertura efectiva del recinto

El proceso de modelamiento en *software* no está predeterminado, por el contrario, es un proceso de ajuste continuo de los elementos involucrados en el modelamiento para conseguir una densidad energética uniforme en todas las áreas donde se estima la presencia de público.

Un elevado nivel de potencia en un espacio cerrado y de pobres propiedades acústicas, no compensa dichas falencias, ya que lo único que se consigue es aumentar el nivel de sonoridad y por ende las reflexiones que afectan la inteligibilidad del mensaje.

La propuesta de la presente tesis realizada con la finalidad de atenuar los efectos negativos de la reverberación en el Patio de Las Culturas de la Universidad De Las Américas, cumplirá con los objetivos planteados ya que se demostró la efectividad del equipo *Line Array* a instalarse a través del *software* de predicción acústica de *Meyer Sound*.

4.2 Recomendaciones

El Patio de las Culturas de la Universidad De Las Américas requiere de un tratamiento acústico para solventar toda la problemática existente en este ámbito, ya que la instalación del equipo de refuerzo sonoro propuesto únicamente focaliza la energía en los sectores donde se ubica el público, mas no elimina las reflexiones del recinto.

Se recomienda el acondicionamiento acústico del Patio de las Culturas de la Universidad de Las Américas, con la finalidad de reducir las falencias que presenta éste en materia de acústica de locales.

BIBLIOGRAFÍA

Libro:

MIYARA, FEDERICO, Acústica y sistemas de sonido, UNR, 2004, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 57.

CARRIÓN, ANTONI, Diseño Acústico de espacios arquitectónicos, Edicions UPC, 1998, 33, 42, 43, 46, 49, 50, 51, 61, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 138, 139, 144, 224, 242.

Documento de Internet:

BIDONDO, ALEJANDRO, Acústica arquitectónica: el tiempo de reverberación, <http://www.ingenieriadesonido.com/upload/Acustica%20Arquitectura%20-%20El%20Tiempo%20de%20Reverberacion.pdf>, 13/01/2003, 06/10/2009, 1,2,3.

BIDONDO, ALEJANDRO, Acústica Arquitectónica: Campos Sonoros. el tiempo de reverberación, <http://www.ingenieriadesonido.com/upload/Acustica%20II.pdf>, 03/08/2004, 06/10/2009, 1, 2, 3, 4.

VARIOS, Manual de aislamiento en la industria, <http://www.isover.net/asesoria/manuales/industria/Acustico1.pdf>, 03/09/2003, 09/10/2009, 96, 99, 100, 101.

MIYARA, Federico, Control de ruido, <http://www.ingenieroambiental.com/4023/control%20de%20ruido,federico%20miyara.pdf>, 27/12/2003 (1999), 09/10/2009, 20, 231, 232, 233, 240, 244, 246, 248, 249.

JOHNSON, Ainslie, Tiempo de reverberación,

<http://alejandrajaen.wordpress.com/2008/01/05/tiempo-de-reverberacion/>, SN, 06/10/2009

CASADEVALL, David, Tiempo de reverberación,

http://acusticaweb.com/index.php?option=com_content&task=view&id=98&Itemid=79, 30/07/2007, 06/10/2009, 1.

CASTAÑEDA, Jaime, Medición del coeficiente de absorción del sonido,

<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/162112101-106.pdf>, 08/2004, 06/10/2009, 101, 102, 103, 104, 105, 106.

GARCÍA, Jesús, Formas de absorción del sonido,

http://www.otorrinoweb.com/_izquie/temas/84.1acustica/9_formas.htm, 6/03/2009, 06/10/2009, 1.

CÁDIZ, Rodrigo, Reverberación,

<http://rodrigocadiz.com/imc/html/Reverberacion.html>, 05/06/2008, 06/10/2009, 1.

RAIMANN, Felipe, Las famosas curvas N.C.,

<http://www.ceasonido.cl/2009/07/las-famosas-curvas-nc/>, 29/07/2009, 11/11/2009, 1.

CUEVAS, Juan, Todo sobre el *Line Array*,

<http://www.ispmusica.com/articulo.asp?id=580>, 21/02/2006, 04/12/2009, 1.

BALLESTERO, Manuel, *Line Array*,

<http://www.ispmusica.com/articulo.asp?id=96>, SN, 04/12/2009, 1.

ARANGO, María, *Line Array* teoría,

http://www.tecnoprofile.com/fichas_educ/sonid/Fson037.pdf, 29/06/2006, 04/12/2009, 1 – 4.

ARANGO, María, Ficha de sonido N° 40/ continuación *Line Array*,

http://www.tecnoprofile.com/fichas_educ/sonid/Fson040.pdf, 18/09/2006, 04/12/2009, 1 - 4.

LA RODA, Joan, *Line Arrays: cómo funcionan*, http://new-mission.com.ar/descargas/line_arrays.pdf, 02/04/2008, 04/12/2009, 1 – 14.

BERSTEIN, Claudio, Acerca de ciertos conceptos básicos, <http://fors.doctorproaudio.com/messages/16364.html>, 21/09/2004, 04/12/2009, 1.

RODRIGUEZ, Asencio, Comportamiento de un sistema de sonorización tipo “*Line Array*”, <http://www.sea-acustica.es/Gandia06/ELE001.pdf>, 30/08/2006, 04/12/2009, 1 – 6.

GONZALES, Antoni, predicción de la inteligibilidad en recintos cerrados, <http://www.sea-acustica.es/publicaciones/4371gv002.pdf>, 05/07/2001, 23/12/2009, 1 – 4

MAPP, Peter, Battling reverb, http://svconline.com/mag/avinstall_battling_reverb/, 01/03/2003, 23/12/2009, 1.

CUEVAS, Juan, Sistemas de sonorización, <http://www.ispmusica.com/articulo.asp?id=532>, SN, 24/12/2009, 1.

Otros:

ESTELLÉS, Ricardo, Acústica de recintos propagación del sonido en locales cerrados, 2006, 2, 6, 7, 8, 10, 11, 16, 24

ESTELLÉS, Ricardo, Acústica física: acondicionamiento acústico, 2007, 3, 6

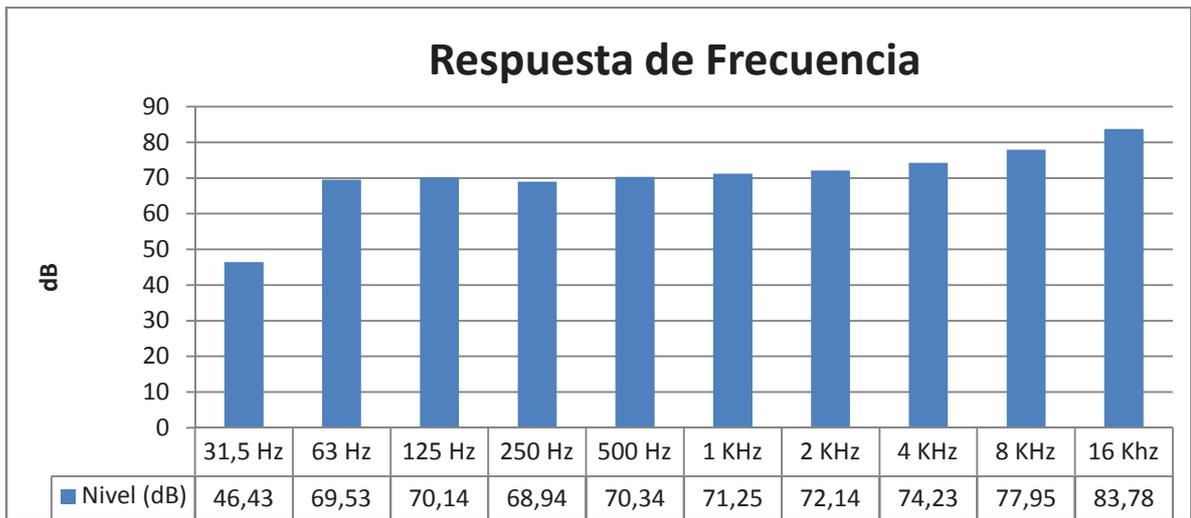
SOMMERHOFF, Jorge, Acústica de locales, 05/04/2005, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 26, 28, 44, 45, 98, 105, 106, 113, 118, 126.

ARAU, Higini, ABC de la Acústica Arquitectónica, Ceac, 1999. 35,36,37.

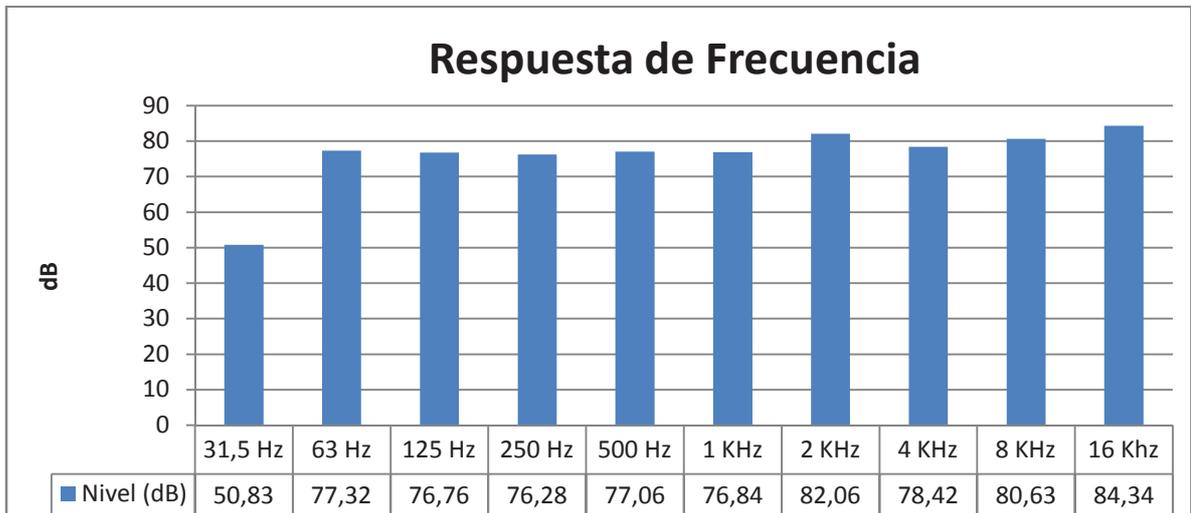
5 ANEXOS:

5.1 Anexo 1: Respuesta de Frecuencia *Aurora plug-in*

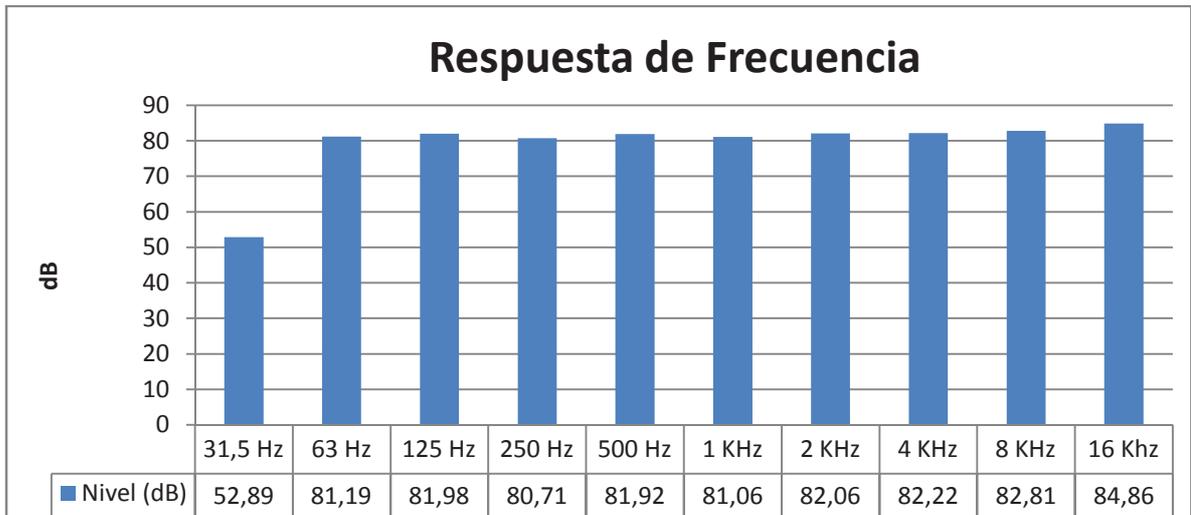
Punto 1



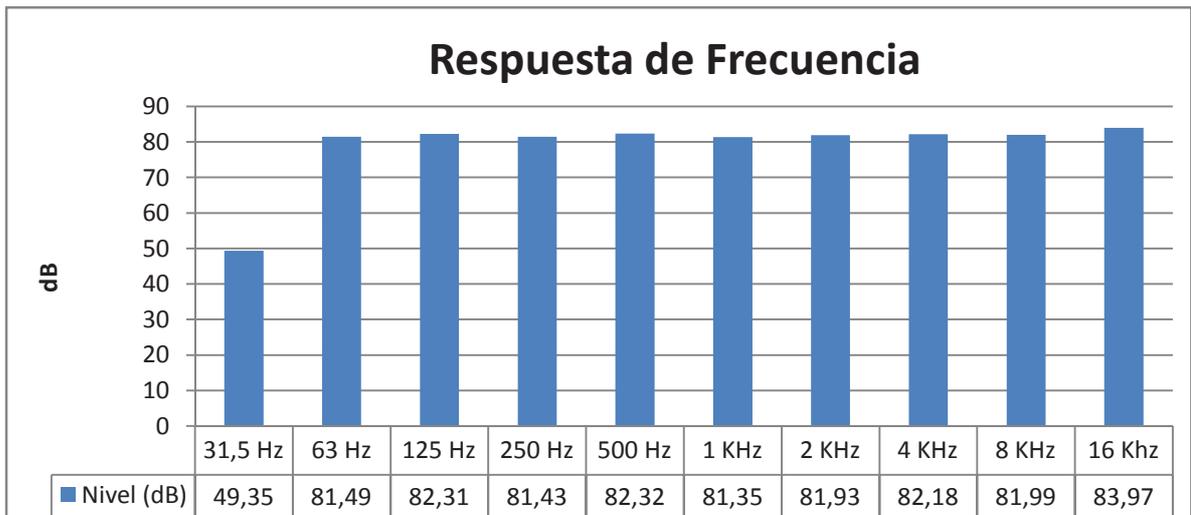
Punto 2



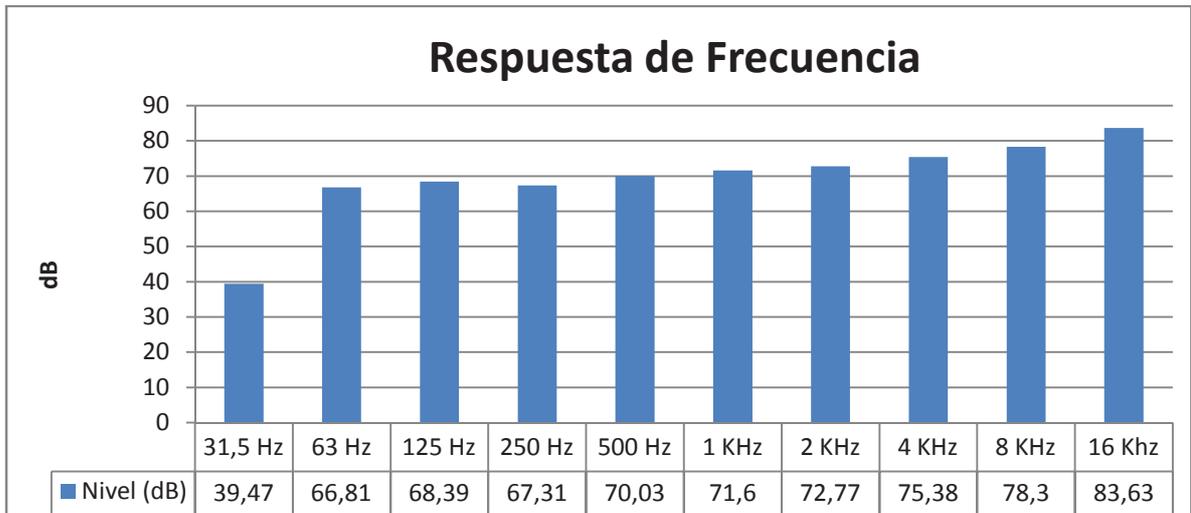
Punto 3



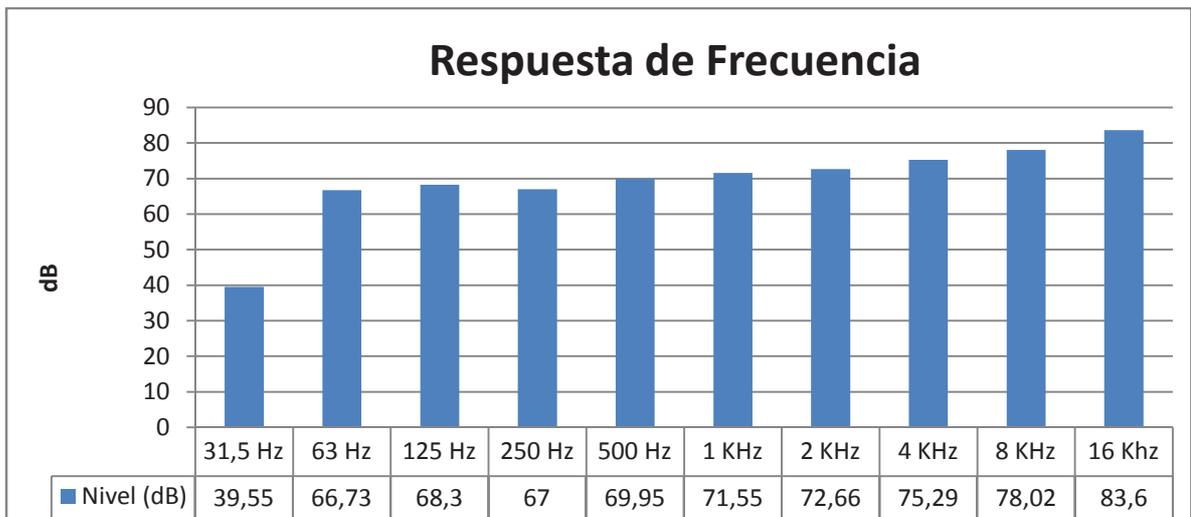
Punto 4



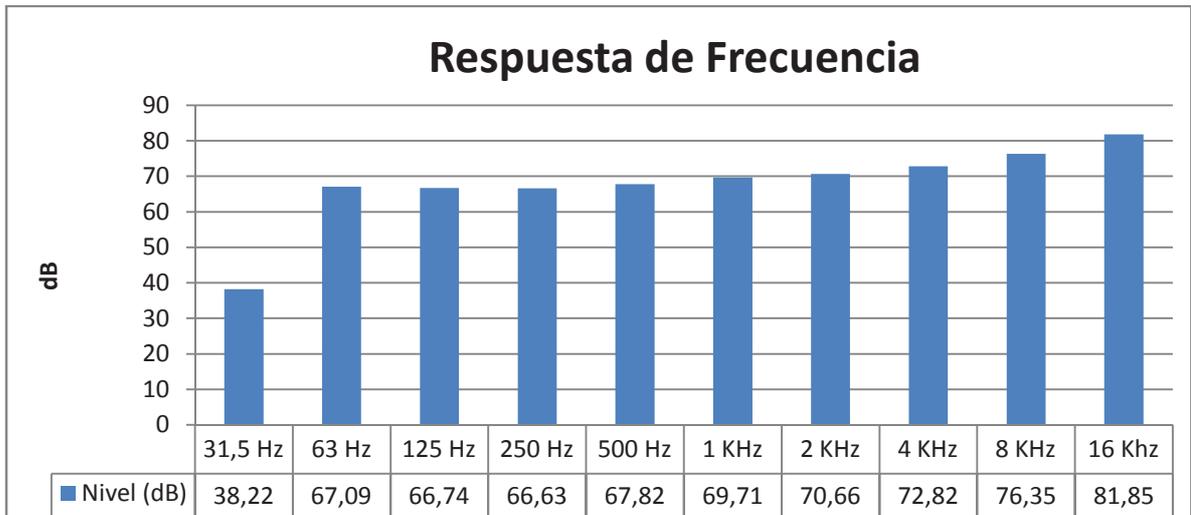
Punto 5



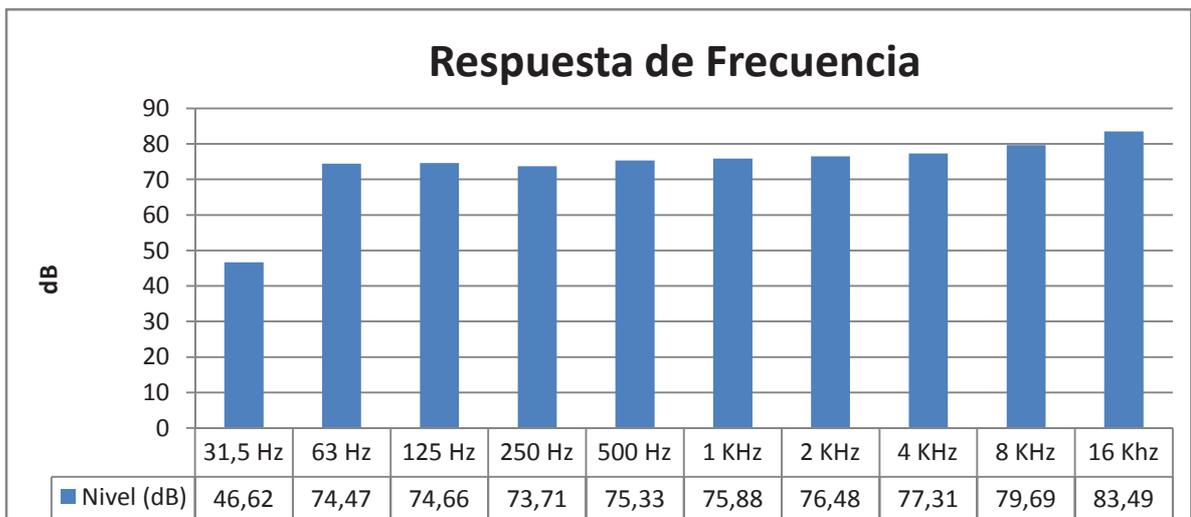
Punto 6



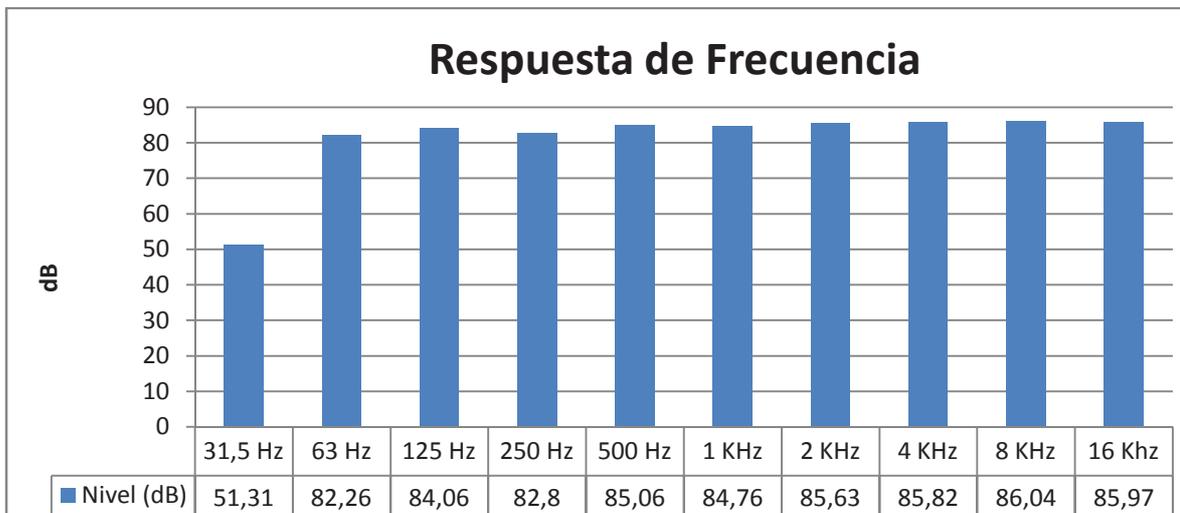
Punto 7



Punto 8



Punto 9

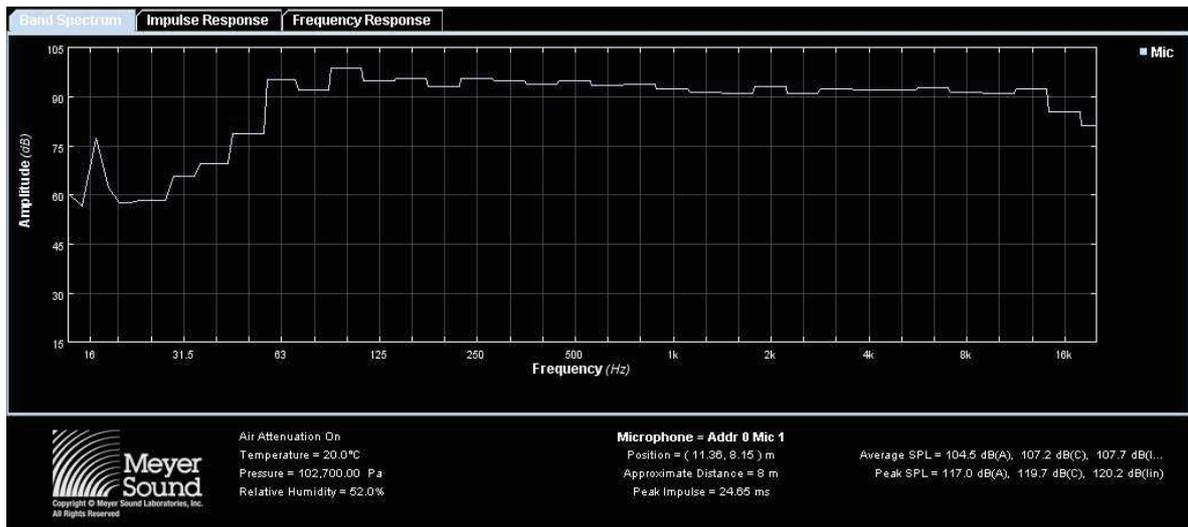


5.2 Anexo 2: Tiempos de reverberación

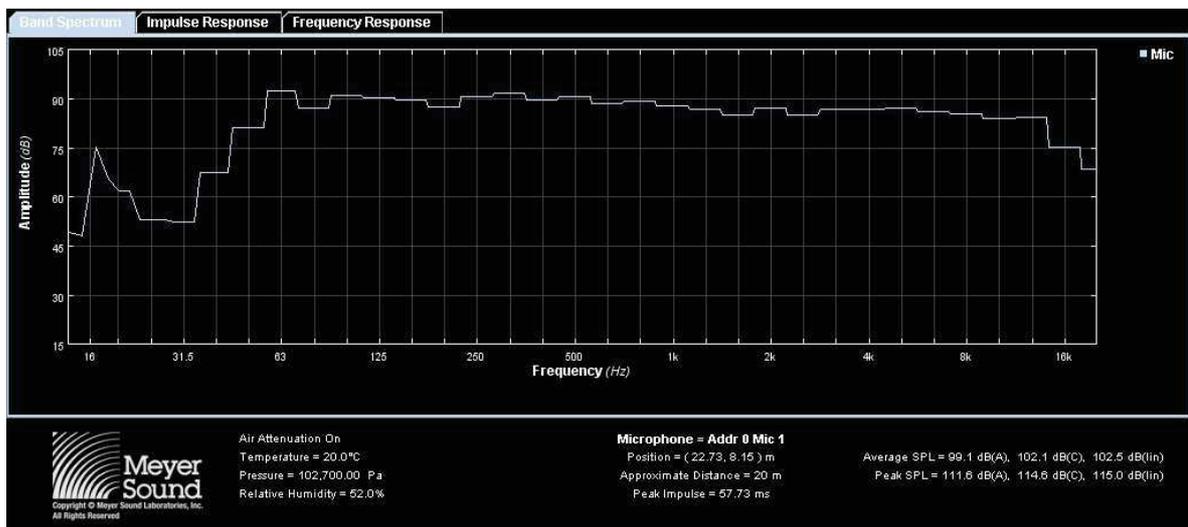
	T20	T30	T60
Punto 1	3,81	5,02	10,73
Punto 2	4,09	5,5	11,63
Punto 3	4,21	7,11	13,43
Punto 4	4,1	4,5	10,65
Punto 5	3,07	3,87	8,47
Punto 6	3,01	3,7	8,21
Punto 7	4,05	6,3	12,37
Punto 8	4,17	5,72	11,97
Punto 9	4,41	9,2	15,81

5.3 Anexo 3: Respuesta de frecuencia *MAPP Online Pro*

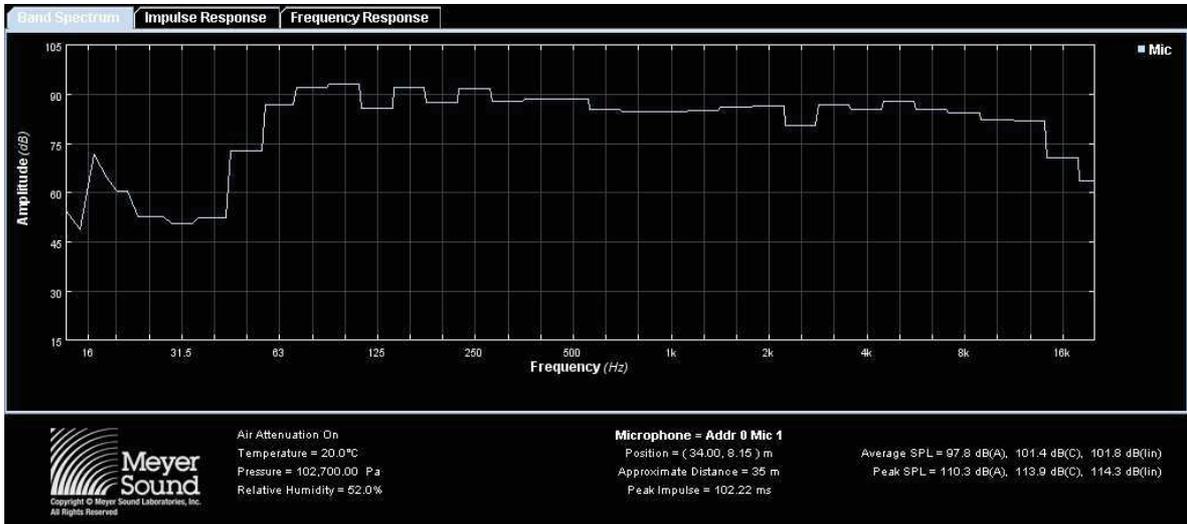
Punto 1



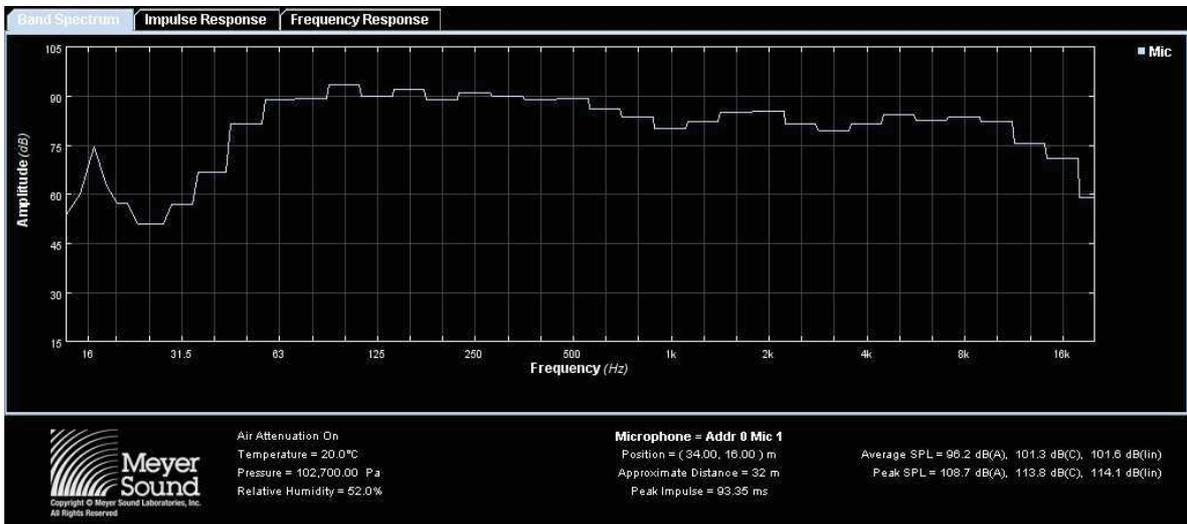
Punto 2



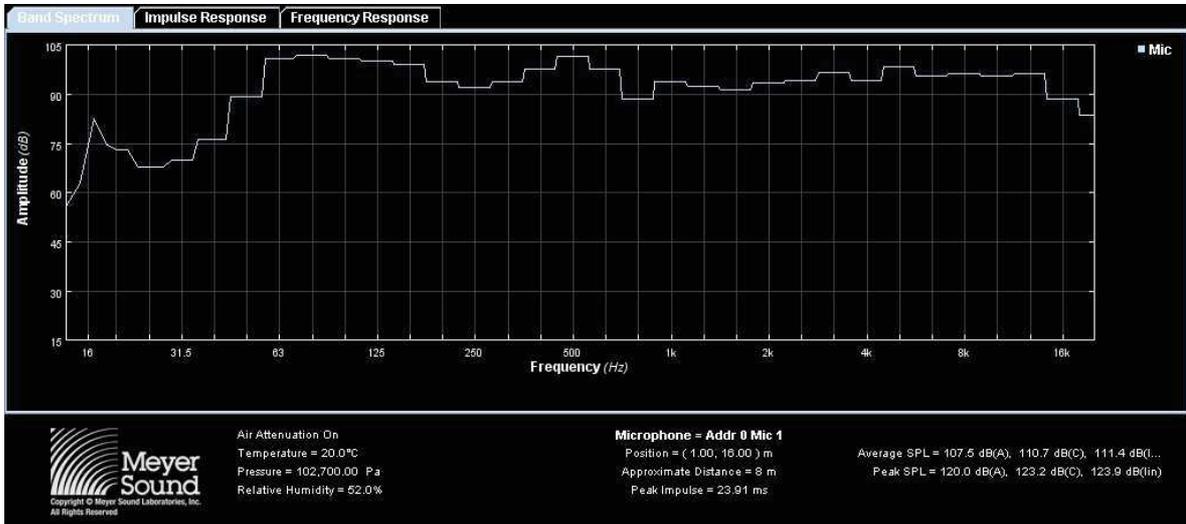
Punto 3



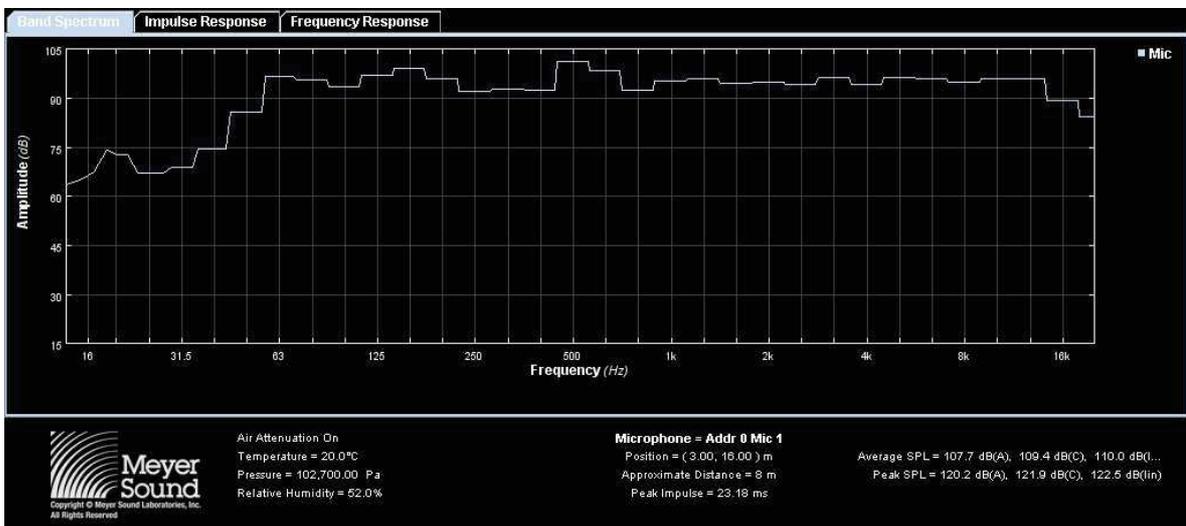
Punto 4



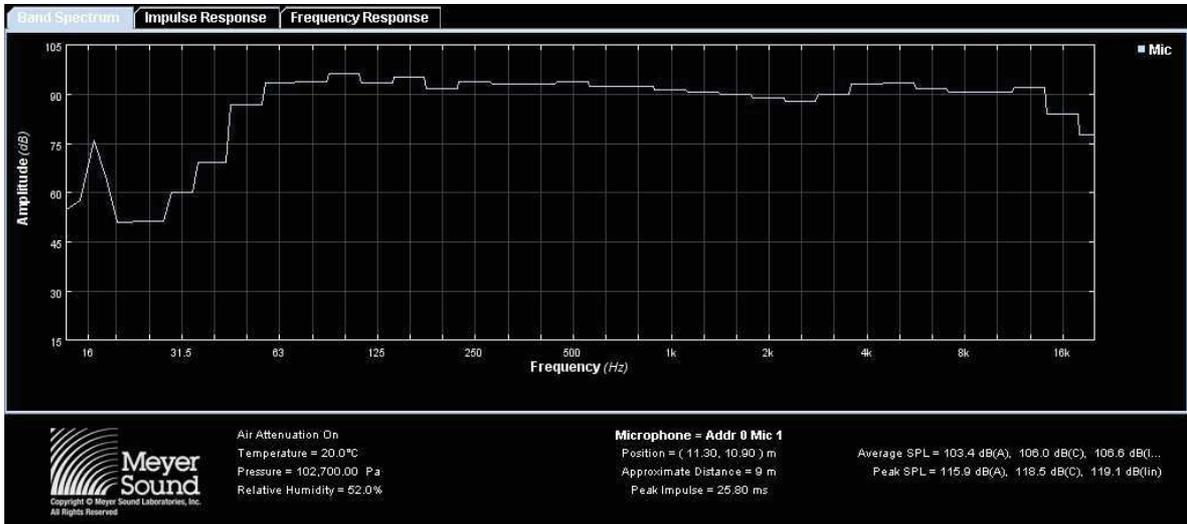
Punto 5



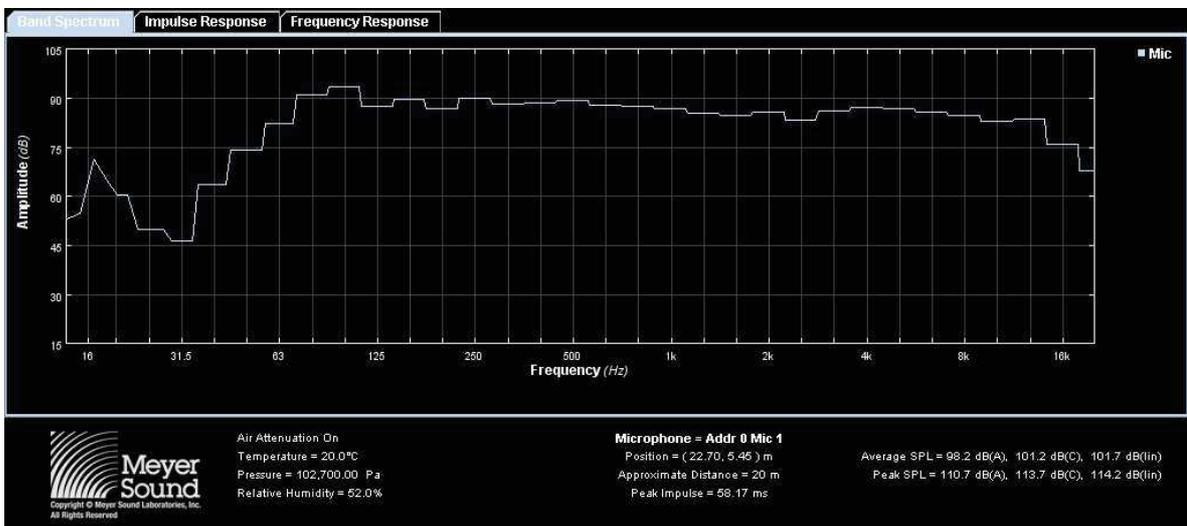
Punto 6



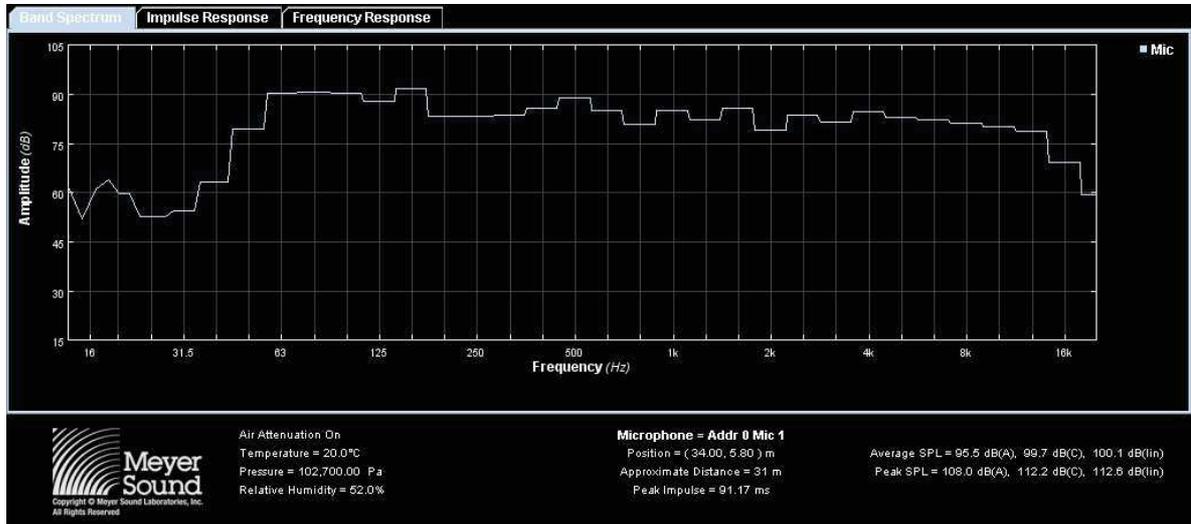
Punto 7



Punto 8



Punto 9



Medición ruido de fondo





Punto 3



Punto 4



Punto 9



5.5 Anexo 5: Proformas

Sonotec

SONO·TEC**COTIZACION N° 10032080**

ATENCION: Ramiro Morán
UDLA

Mail: ramiromoransonido@yahoo.com

Tel: 096105567

LUGAR Y FECHA: Quito, 11 de Marzo 2.010

PROYECTO:

ATENDIENDO A SU REQUERIMIENTO, COTIZAMOS LO SIGUIENTE:

IMAGEN	CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	14	PARLANTE AUTOAMPLIFICADO MEYER SOUND MELODIE DE TRES VIAS, RESPUESTA DE FRECUANCIA DE 75 Hz -17 Hz, CAPAZ DE REPRODUCIR 131 Db SPL max. a 1m, CON 100° HORIZONTALES DE COBERTURA CONTROLADA. ALTO 23.3 cm, ANCHO 73,90 cm, FONDO 32,40 cm, Peso 30,90 Kg.	6.715,80	94.021,20
	1	CONTROLADOR DIGITAL MEYER SOUND GALILEO 408 PARA SISTEMAS DE AUDIO. 4 ENTRADAS Y 8 SALIDAS. CONTIENE ECUALIZADORES Y DELAYS.	5.846,40	5.846,40
	14	PARLANTE AUTOAMPLIFICADO MEYER SOUND M1D, RESPUESTA DE FRECUANCIA DE 75 Hz -15 Hz, CAPAZ DE REPRODUCIR 125 Db SPL max. a 1m, CON 100° HORIZONTALES DE COBERTURA CONTROLADA. ALTO 181mm, ANCHO 585 mm, FONDO 216 mm, Peso 14,08 Kg.	3.154,95	44.169,30

- * LOS PRECIOS DE ESTA COTIZACION NO INCLUYEN IVA.
- * COTIZACIÓN VÁLIDA POR 8 DÍAS
- * TIEMPO DE ENTREGA: 35 DIAS
- * FORMA DE PAGO: ANTICIPO 80% SALDO CONTRA ENTREGA

ATENTAMENTE,

ING. SANTIAGO VALLEJO V.
SONOTEC S.C.C.

F:
APROBACIÓN
CLIENTE

Páginas Web

- <http://pro-audio.musiciansfriend.com/product/Allen-Heath-PA-20CP-Powered-Mixer?sku=634043>
- <http://pro-audio.musiciansfriend.com/product/dbx-166XL-Dual-Compressor-Limiter?sku=183548>
- <http://pro-audio.musiciansfriend.com/product/Sennheiser-SKM-300865-G3-Wireless-Trans-Only?sku=620172>