



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**“AISLAMIENTO, ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICOS Y DISEÑO ELECTRO-
ACÚSTICO DE LA SALA DE USO MÚLTIPLE, DE LA ASOCIACIÓN DE
LOJANOS RESIDENTES EN QUITO.”**

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

Profesor Guía:

Ing. Luis Alberto Bravo Moncayo

Autor:

Cristian Rolando Valladares Abad

2012

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el/la 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.”

Luis Alberto Bravo Moncayo
Ingeniero en Sonido y Acústica
1711710606

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”

Cristian Rolando Valladares Abad
1103694517

AGRADECIMIENTOS

A Luis Bravo, Christiam Garzón,
Yolanda Carreño,
Gustavo Navas y Valeria Villarreal
por su constante guía y su gran
predisposición de ayuda.

A todos los docentes, compañeros
y amigos, de los cuales, siempre
he aprendido algo, y cuya
presencia ha marcado
bendiciones en mi vida.

A mi familia, por su constante
apoyo y fuerza para continuar con
el camino recorrido.

DEDICATORIA

A mis padres Rolando y María Augusta, por su incansable lucha y renovada motivación.

A mis hermanos Franciné y Pablito, por todo su apoyo y paciencia.

A mi sobrina Mía, quien ha llenado de luz nuestros corazones, y sobre todo a Dios, fé y luz de cada día

RESUMEN

La Casa de Loja es un complejo social ubicado en el norte de la ciudad de Quito en el sector de El Condado, el cual constituye el sitio de reunión más importante en la capital para los lojanos residentes en Quito, descendientes y gente de la comunidad interesada en conocer más sobre las costumbres, tradiciones, comida, arte y cultura de la provincia de Loja.

Esta sede consta de una hectárea de terreno, que contempla: una iglesia, una sala de uso múltiple, oficinas, canchas, parqueadero para 220 vehículos y un dispensario médico, donde se atiende a las comunidad a bajos precios como aporte social que ofrece la asociación a su comunidad.

El salón de uso múltiple, cuenta en su mayoría con superficies reflectantes, y un alto ruido de tráfico de transporte pesado en la zona, lo que ocasiona un grave problema de inteligibilidad de la palabra en su interior, razón por la cual se plantea realizar el siguiente trabajo de aislamiento, acondicionamiento y diseño de la cadena electroacústica de la sala de uso múltiple, ya que las actividades que la asociación realiza año a año, requieren de un espacio confortable acústicamente, libre de ruido de tráfico y con un sistema electro acústico acorde a las necesidades que hoy en día la tecnología ofrece.

Es por esto que los objetivos de este trabajo están planteados en bajar el T60 de la sala a valores entre 0,8 a 1,2 segundos, aumentar el aislamiento para cumplir con una pérdida por transmisión que nos permita estar por debajo de la curva NC 20 y finalizar este trabajo con la instalación de un sistema electro acústico que proporcione una cobertura homogénea en la sala y un nivel de presión sonora con variaciones que estén en el rango de ± 3 dB en la áreas de audiencia.

Para obtener un estudio con el menor porcentaje de error, se realizarán cálculos matemáticos mediante fórmulas establecidas, las cuales se compararán mediante modelos computacionales tanto del estado físico del recinto como de su comportamiento acústico.

ABSTRACT

La casa de Loja is a social complex located at the north side of Quito city, in the area of El Condado, which is the most important meeting place in the capital for Loja residents in Quito, descendants and community people interested on learning more about the customs, traditions, food, art and culture of the province of Loja.

This site consists of a hectare of land, which includes: a church, a multipurpose room, offices, courts, parking for 220 vehicles and a medical clinic, which serves the community as a social contribution with low prices.

The multipurpose room, has mostly reflective surfaces, and high traffic noise from heavy traffic in the area, causing a serious speech intelligibility inside, which is why plans to carry out the following isolation work, conditioning and electro acoustic chain design of multi-purpose room, since the activities that the association made every year, require an acoustically comfortable space, free of traffic noise and with an electro acoustic system to the needs of today's up to date technology.

That is why the objectives of this work are outlined in the T60 down the hall to between 0.8 to 1.2 seconds, increasing insulation to comply with a transmission loss that allows us to be below the curve NC 20 and conclude this study with the installation of electro-acoustic system that provides uniform coverage in the room and a sound pressure level variations that are in the range of ± 3 dB in the audience areas.

For a study with the lowest percentage of error, performance of mathematical calculations using established formulas, will be compared with computer models of both the physical condition of the premises as their acoustic behavior.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO DE ACÚSTICA	
ARQUITECTÓNICA.....	5
1.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	5
1.1.1 Ruido de fondo.....	5
1.1.1.1 Curvas NC (Noise Criteria).....	6
1.1.2 Partición simple.....	7
1.1.2.1 Ley de Masa.....	8
1.1.2.2 Rigidez y efecto de coincidencia.....	8
1.1.3 Partición doble.....	9
1.1.3.1 Tamaño de la cámara y frecuencia de resonancia (Masa-Aire-Masa).....	9
1.1.3.2 Acoplamiento mecánico.....	10
1.1.4 Descriptores para aislamiento acústico.....	10
1.1.5 Paredes.....	14
1.1.6 Puertas.....	14
1.1.7 Ventanas.....	14
1.1.8 Piso.....	15
1.2 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.....	15
1.2.1 Absorción.....	17
1.2.2 Reflexión.....	18
1.2.3 Tiempo de reverberación T60.....	18
1.2.3.1 Calculo del tiempo de reverberación.....	20
1.2.4 Inteligibilidad.....	21
1.2.5 Claridad de la voz (C50).....	24
1.2.6 Music average (C80).....	25
CAPÍTULO II.....	26

2. ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	26
2.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR.....	26
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL RECINTO.....	27
2.3 EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL RECINTO.....	31
2.3.1 Parámetros a evaluar.....	32
2.3.2 Metodología de medición.....	32
2.3.2.1 Mediciones de ruido de fondo.....	32
2.3.2.2 Mediciones de T60.....	32
2.3.2.3 Mediciones de Modos Normales de Vibración.....	33
2.3.2.4 Mediciones de aislamiento de particiones.....	33
2.3.3 Equipos utilizados en la medición.....	33
2.3.4 Resultados de la medición.....	34
2.3.5 Análisis de resultados.....	38
CAPÍTULO III.....	39
3. PROPUESTA DE AISLAMIENTO, ACONDICIONAMIENTO Y SISTEMA ELECTROACÚSTICO.....	39
3.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	39
3.1.1 Tratamiento de ventanas.....	39
3.1.2 Tratamiento puertas.....	42
3.1.3 Tratamiento de paredes.....	45
3.1.4 Tratamiento del techo.....	46
3.1.5 Pérdida por transmisión compuesta (TL compuesto)...	46
3.2 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.....	47
3.2.1 Materiales y coeficientes de absorción.....	48
3.2.2 Tratamiento de paredes.....	49
3.2.3 Tratamiento del suelo.....	50
3.2.4 Tratamiento del techo.....	50
3.2.5 Tratamiento de ventanas.....	51
3.2.6 Propuesta de acondicionamiento Sala Vacía.....	52

3.2.7 Propuesta de acondicionamiento Sala Ocupada.....	53
3.2.8 Resonadores.....	54
3.3 SISTEMA ELECTRO-ACÚSTICO.....	55
3.3.1 Modelamiento de cobertura de altavoces mediante software de predicción.....	59
3.3.2 Configuración del sistema de altavoces.....	60
3.3.3 Ubicación del sistema de altavoces.....	62
3.3.4 Controladores y equipo periférico.....	63
CAPITULO IV.....	64
4. MODELAMIENTO.....	64
4.1 SOFTWARE EASE 4.3.....	64
4.2 MODELAMIENTO DEL RECINTO MEDIANTE SOFTWARE EASE 4.3.....	65
4.3 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS.....	66
4.3.1 T60.....	66
4.3.2 Claridad de la voz (C50).....	69
4.3.3 Music average (C80).....	71
4.3.4 Inteligibilidad de la palabra (RASTI).....	73
4.3.5 Pérdida de articulación (% ALCons).....	74
4.3.6 Nivel de presión sonora.....	75
CAPÍTULO V.....	78
5. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO.....	78
5.1 DISEÑO, INGENIERÍA E IMPLEMENTACIÓN.....	78
5.2 PRESUPUESTO DE AISLAMIENTO ACÚSTICO ..	78
5.2.1 Materiales.....	78
5.2.2 Mano de obra.....	79
5.3 PRESUPUESTO DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.....	79
5.3.1 Materiales.....	79

5.3.2 Mano de obra.....	80
5.4 PRESUPUESTO DE SISTEMA ELECTRO-ACÚSTICO.....	80
5.5 PRESUPUESTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN.	81
CAPÍTULO VI.....	82
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
6.1 CONCLUSIONES.....	82
6.2 RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS.....	84
ANEXOS.....	85

INTRODUCCIÓN

La Casa de Loja, es un recinto ubicado al norte de la ciudad, en el sector del Condado, cuya finalidad principal es la de mantener y difundir las costumbres de la provincia, así como brindar apoyo social a la comunidad y a los más de 120.000 lojanos y descendientes radicados en la capital.

Con el gran aporte de empresas y socios, y una vez terminados los trabajos de relleno del terreno, La Casa de Loja, empezó su construcción en el año de 1998, y en la cual dentro de su planificación inicial, contemplaba espacios deportivos, para recreación y principalmente una concha acústica, para todos los eventos y actos culturales, idea que fue cambiando por la necesidad de tener un espacio cerrado de uso múltiple, para todas las diferentes actividades que la asociación realiza año a año y las cuales van desde reuniones, conferencias, fiestas, conciertos, pintura, poesía, entre otros; por lo que la idea de una concha acústica no sería factible para la inversión que la asociación buscaba realizar.

En la actualidad, la Casa de Loja, consta de una hectárea de terreno, con una infraestructura que contempla: una iglesia, parqueadero para 220 vehículos, un salón de uso múltiple, oficinas, un dispensario médico y áreas verdes.

El salón de uso múltiple, con un área de 600 metros cuadrados, contiene un escenario fijo, recinto que se encuentra al momento totalmente terminado y en el cuál se realizan todo tipo de eventos.

La problemática de este recinto, es que al ser construido por varias administraciones y criterios, no cuenta con ningún tipo de estudio acústico, por lo que las excesivas reflexiones y paralelismo entre superficies, molestan y fatigan el oído de las personas dentro del recinto cuando se instalan sistemas electro-acústicos, problema que se agrava en horas del día por el alto ruido de tráfico existente en la zona.

Con el aislamiento, acondicionamiento y diseño de un sistema electro-acústico adecuado, se pretende conseguir un recinto confortable acústicamente, el cuál pueda servir para realizar cualquier actividad social, educativa y cultural a cualquier hora del día.

ANTECEDENTES

Dentro de la historia del diseño y acondicionamiento acústico se encuentra que los escritos más antiguos datan del año 25 a.C, y se deben al ingeniero militar Marco Vitrubio Polio, en la época del emperador Julio César.

En estos escritos se describen en particular diseños de vasijas de bronce afinadas que pretendían actuar como resonadores, aunque estos solo conseguían re-direccionar las ondas incidentes hacia otra lado del recinto.

Luego con la construcción de iglesias cristianas con bóvedas altas, se dió a relucir el gran problema acústico que presentaban, ya que el predicador era quien perdía inteligibilidad de la palabra al ocurrir que el sonido se opacara en dichas bóvedas, motivo por el cual se colocaba un tornavoz sobre el púlpito que evitaba este fenómeno, obteniendo resultados notables.

De aquí, hasta el siglo XIX el diseño y acondicionamiento acústico se basaba netamente en supersticiones y la práctica de imitar disposiciones de recintos que sin haberlos construido para el propósito esperado sonaban bien, es decir contaban con pocas reflexiones en su interior.

A finales del siglo XIX el físico americano Wallace Clement Sabine deduce que la poca inteligibilidad de la palabra dentro de un recinto cerrado se debe a la cantidad de reflexiones que se producen, por lo que fue llamado a asesorar la construcción del nuevo Boston Symphony Hall, donde tras investigación, desarrolló una fórmula para calcular el tiempo de reverberación de un recinto cerrado y la aplicó a dicho Hall, que al momento de ser inaugurado no presentó

el mismo tiempo que Sabine había calculado teóricamente, pero que años después los estudios científicos dieron la razón y la consideraron como una de las salas de concierto mejor diseñadas acústicamente en el mundo.

Después de Sabine, los estudios de Eyring y Millington aportaron con nuevas formulaciones, sin obtener mejores resultados.

Desde este punto en adelante los tratados sobre las propiedades acústicas de los teatros, incluyendo temas como la interferencia, los ecos y la reverberación; supone el comienzo de la acústica arquitectónica, de ahí que la bibliografía, mayor experiencia e información necesaria para realizar un trabajo de acondicionamiento y diseño es fácilmente obtenible de países pioneros en la rama como son: Estados Unidos, Japón y España a nivel mundial y en el caso de América del Sur destacándose Argentina, Chile, México y Perú.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar el aislamiento, acondicionamiento y cadena electro-acústica de la sala de uso múltiple de La Casa de Loja, ubicada en el Condado, sector norte de la ciudad de Quito.

Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones acústicas iniciales como son: reflexiones entre superficies, modos normales de vibración, paralelismo de superficies, transmisión de ruido y T-60; para elaborar una propuesta de diseño y acondicionamiento acústico.
- Diseñar un aislamiento acústico que permita a la sala estar bajo la curva NC 20

- Acondicionar las características acústicas de la sala para que la inteligibilidad esté entre un rango bueno y excelente.
- Evaluar el diseño planteado a través de un modelo computacional.
- Obtener un T60 entre 0,8 y 1,2 segundos dentro de la sala.
- Implementar un sistema electro-acústico acorde al acondicionamiento propuesto, el cual provea una cobertura homogénea y total del recinto.

JUSTIFICACIÓN

Con el desarrollo del tema de tesis se espera conseguir un grado aceptable de confort acústico dentro de la sala, reducir el grado de reflexiones producidas dentro de esta y lograr el aislamiento óptimo para que el ruido de fondo no afecte a las actividades que se desarrollan dentro del recinto. Con esto se espera aumentar el número y nivel de actividades realizadas dentro del recinto y que el público asistente pueda entender mensajes claros y disfrutar de actividades artísticas que son el objetivo de difusión de la asociación.

HIPÓTESIS

- Con el acondicionamiento adecuado de la sala de uso múltiple de la Casa de Loja, se logrará obtener tiempos de reverberación entre 0,8 y 1,2 segundos.
- El aislamiento del recinto se encontrará por debajo de la curva NC 20.
- El sistema electro-acústico presentará una cobertura homogénea en toda el área de audiencia con una variación de ± 3 dB.
- La capacidad de presión sonora de los altavoces será de un mínimo de 90 dB en el punto más alejado de audiencia

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO DE ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA

La acústica arquitectónica es una rama de la acústica, enfocada al control de ondas vibratorias en la materia en recintos cerrados, los cuales implican el uso de teoría y diseño en aislamiento y acondicionamiento acústico.

1.1. Aislamiento Acústico

El campo de acción del aislamiento acústico se enfoca en dos problemas básicos: la transmisión de vibraciones por medio del aire y la transmisión de vibraciones por medio de estructuras, es por esto que esta rama se encarga de la prevención, eliminación y atenuación, de dichas vibraciones para evitar molestias auditivas y de vibración mecánica.

1.1.1. Ruido de fondo

Al momento de realizar una medición acústica dentro de un recinto, existen varias fuentes tanto internas como externas al lugar que influyen en el resultado final, es por esto que el objetivo del aislamiento acústico, es el de disminuir todo el ruido que afecte al lugar para mantenernos dentro de los índices de curvas de evaluación de ruido de fondo permitido y establecido para diferentes tipos de recintos.

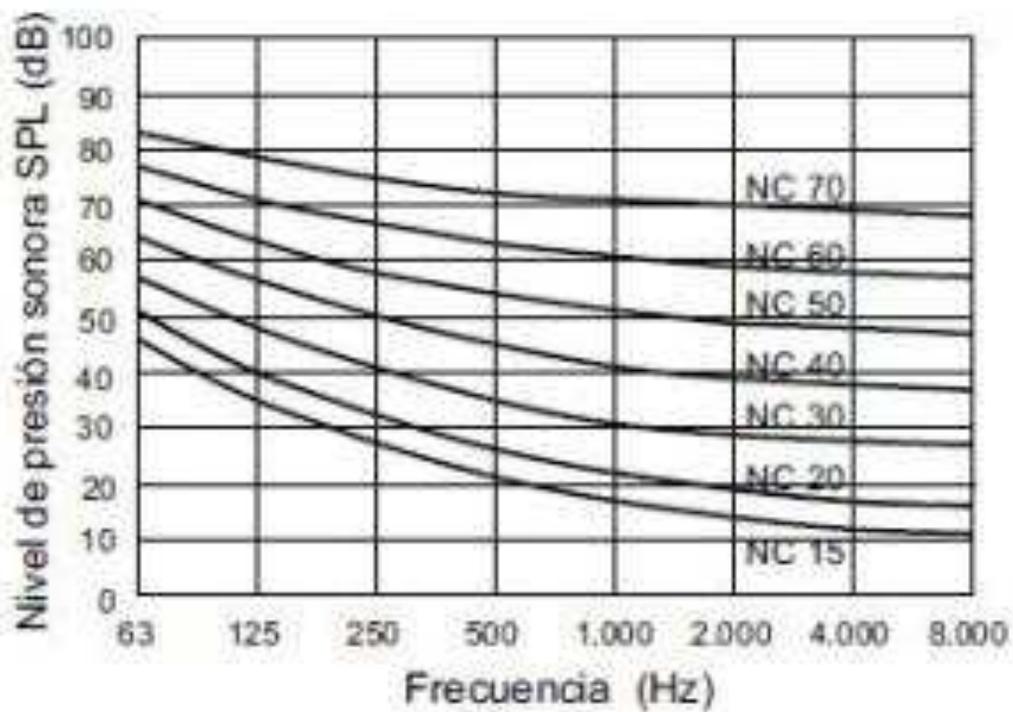
Existen varios índices para evaluar los niveles de ruido de fondo en cada tipo de recinto, entre los principales se encuentran: curvas NC, curvas NRC, curvas PNC, entre otros; este caso en particular vamos a evaluar el recinto bajo los índices de curvas NC.

1.1.1.1 Curvas NC (Noise Criteria)

Este es uno de los índices más utilizados en la evaluación de ruido de fondo en el interior de recintos. Estas curvas están descritas en función logarítmica con el fin de asemejar la forma en la que el oído responde a ciertas bandas de frecuencia, y así evaluar estadísticamente por frecuencia ruidos que producen el mismo daño.

Las curvas a continuación descritas, muestran los niveles de ruido en función de la frecuencia por banda de octava.

Fig. 1 Curvas NC “NOISE CRITERIA”



Fuente: Carrión Antoni. (1998). Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona. Edicions UPC.

A continuación, una tabla de curvas NC recomendadas según tipo de recinto:

Fig. 2 Curvas NC recomendadas y niveles de ruido de fondo equivalentes en (dBA)

TIPOS DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA	EQUIVALENCIA EN dBA
Estudios de grabación	15	28
Salas de conciertos y teatros	15-25	28-38
Hoteles (habitaciones individuales)	20-30	33-42
Salas de conferencias / Aulas	20-30	33-42
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35	42-46
Hoteles (vestíbulos y pasillos)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de ordenadores	35-45	46-55
Cafeterías	40-45	50-55
Polideportivos	40-50	50-60
Talleres (maquinaria ligera)	45-55	55-65
Talleres (maquinaria pesada)	50-65	60-75

Fuente: Carrión Antoni. (1998). Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona. Edicions UPC.

En este caso práctico, se usará la curva NC correspondiente a SALAS DE CONFERENCIA/ AULAS 20-30 para evaluar la Casa de Loja, por la razón que la inteligibilidad en el mensaje hablado y la palabra, es el objetivo fundamental del aislamiento y acondicionamiento de esta sala.

1.1.2 Partición simple

“Se define como una superficie cuyas 2 caras externas están rígidamente conectadas, de tal manera, que se mueven como una sola estructura” [3], por ejemplo: sólidos de cemento, hormigón, ladrillo, madera, concreto, cristales, puertas y paneles.

1.1.2.1 Ley de Masa

Es una expresión que establece una relación entre la densidad superficial y la frecuencia incidente a través de un elemento, dicha expresión puede usarse para predecir la pérdida de transmisión de una superficie, cuando esta contenga un solo tipo de material. “Clases de Aislamiento acústico, Profesora Yolanda Carreño, 2010”.

$$TL = 20 \log(\rho_s \cdot f) - 48 \text{ [dB]}$$

Dónde:

ρ_s = densidad superficial

f = frecuencia

Como resultado de la ley de masa:

- Cada vez que se duplica la densidad superficial, la pérdida por transmisión aumenta 6 dB para una frecuencia fija.
- Cada vez que la frecuencia sube una octava, la pérdida por transmisión aumenta 6 dB para una densidad superficial constante.

1.1.2.2 Rigidez y efecto de coincidencia

A parte de la relación entre la densidad superficial y la frecuencia, siempre existirá para toda partición, un rango de frecuencias en el que la pérdida por transmisión estén controlados por la rigidez y el amortiguamiento del muro, siendo este efecto más pronunciado para una frecuencia en particular llamada frecuencia crítica (F_c), donde ocurre que el λ del frente incidente de una onda coincide con el λ de las ondas de flexión del muro, lo que nos da por resultado que esta entre en resonancia.

A consecuencia de este fenómeno, se registran los valores más altos de pérdida por transmisión, a causa del efecto de coincidencia, en frecuencias inmediatamente inferiores a la F_c y hasta al menos una octava sobre ella.

Como resultado, el comportamiento de una partición simple se puede dividir en tres regiones claramente marcadas:

1. Bajo la frecuencia de resonancia más baja, solo la rigidez controla el movimiento del muro, la masa y el amortiguamiento no son importantes en esta región.
2. En la frecuencia de resonancia F_c , esta región es controlada por la masa de la partición y en menor grado por la rigidez.
3. Región controlada por el efecto de coincidencia, que se extiende una octava sobre F_c , en esta región el movimiento está controlado por el amortiguamiento intrínseco del panel.
4. Sobre una octava de la frecuencia de resonancia, esta región es controlada por la masa.

1.1.3 Partición doble

Son aquellas superficies compuestas de 2 sólidos rígidos, los cuales se encuentran separados uno del otro sin que estén estrictamente conectados. El espacio existente entre una superficie y la otra puede estar relleno o no.

Las particiones dobles surgen ante la necesidad de obtener un mayor aislamiento sin variar las características del muro.

1.1.3.1 Tamaño de la cámara y frecuencia de resonancia (Masa-Aire-Masa)

En las particiones dobles, entre mayor sea el espacio entre las dos particiones de un muro, mayor es la pérdida por transmisión. Sin embargo, para cierta frecuencia, el aire dentro de la cámara actúa como un resorte transfiriendo energía desde una partición a otra.

En este caso, la frecuencia de resonancia para particiones dobles se denomina frecuencia masa-aire-masa (f_{mam})

De la misma forma que en una partición simple, el efecto de mayor pérdida por transmisión se denomina masa-aire-masa, debido a que la frecuencia depende de la masa de las 2 particiones y el tamaño de la cámara, así, mientras mayor sea la masa de las dos particiones o mayor sea la profundidad de la cámara menor será la frecuencia donde este efecto toma lugar.

La forma de maximizar la pérdida por transmisión en paredes dobles se logra cuando el diseño apunte a una f_{mam} lo más baja posible, ya que dicha pérdida se hace evidente una octava sobre la f_{mam} .

1.1.3.2 Acoplamiento mecánico

Para un muro doble, la cámara de aire ideal es aquella que no contiene conexiones rígidas entre las superficies, de esta forma se evita que el sonido se transmita directamente como ocurre con la vibración de materiales sólidos.

En la práctica es muy difícil lograr el desacoplamiento mecánico ideal, pero si las uniones mecánicas son lo suficientemente flexibles, la transmisión a través de la estructura estará atenuada.

1.1.4 Descriptores para aislamiento acústico

En la actualidad existen una extensa variedad de indicadores y descriptores para evaluar aislamiento acústico dentro de una partición, entre los cuales tenemos:

- NR-REDUCCIÓN DE RUIDO
- NNR-REDUCCIÓN NORMALIZADA DE RUIDO

- PR-CATEGORIZACIÓN DE PRIVACIDAD
- NIC-CLASE DE AISLAMIENTO DE RUIDO
- NNIC-CLASE DE AISLAMIENTO DE RUIDO NORMALIZADO
- IIC-CLASE DE AISLAMIENTO DE IMPACTO
- Dn- DIFERENCIA NORMALIZADA DE NPS
- Rw-INDICE PONDERADO DE REDUCCIÓN SONORA
- NPS DE IMPACTO NORMALIZADO

Y entre los más importantes y utilizados:

- TL-PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN

A este indicador lo definimos como la relación logarítmica entre la energía incidente y la energía transmitida a través de la partición, en dB. “Clases de Aislamiento acústico, Profesora Yolanda Carreño, 2010”.

$$TL = 10 \log \left(\frac{I_I}{I_T} \right) [\text{dB}]$$

I_I =intensidad de energía incidente [$\text{W}_{\text{AC}}/\text{m}^2$]

I_T =intensidad de energía transmitida [$\text{W}_{\text{AC}}/\text{m}^2$]

$$\tau = \frac{I_T}{I_I} \quad \text{Coeficiente de transmisión}$$

Luego: $TL = 10 \log (\tau^{-1}) [\text{dB}]$

- STC - CLASE DE TRANSMISIÓN SONORA (SOUND TRANSMISSION CLASS)

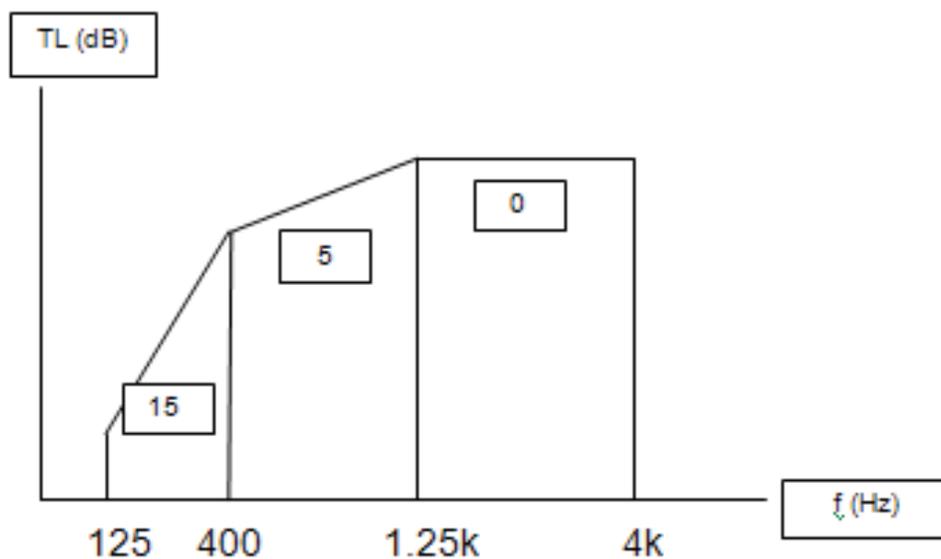
Uno de los más importantes y descriptor de valor único, es efectivo para cuantificar características de aislamiento de cualquier tipo de partición, y hoy en día constituye uno de los descriptores más importantes para cuantificar

aislamiento contra cualquier tipo de ruido. Este descriptor se obtiene con la norma ASTM-E413. " Clases de Aislamiento acústico, Profesora Yolanda Carreño, 2010"

PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LA STC SEGÚN LA NORMA ASTM-E413:

1. Medir por banda de tercio de 8va desde 125Hz a 4kHz, el TL de la partición.
2. Comparar los TL's medidos con la siguiente familia de curvas, caracterizadas por:

Fig. 3 Curvas de referencia para determinar STC



Fuente : Elaborado por autor

- El primer segmento es una recta que sube hasta aumentar 15 dB, que va desde 125 Hz a 400 Hz.
- El segundo tramo es otra recta que aumenta hasta 5 dB y que va desde 400 Hz a 1.25KHz.

- El último tramo va desde 1.25 kHz a 4 kHz y es una recta con 0 dB pendiente 0 dB. “Clases de Aislamiento acústico, Profesora Yolanda Carreño, 2010”
3. Para determinar la STC de la partición, debe existir una diferencia máxima menor a 8 dB, entre el TL medido y el TL de la curva de referencia para cualquier banda de tercio de 8va, y que sumando todas las diferencias individuales, estas sean menor a 32 dB.

En el caso de que la partición, existan puertas, ventanas u otros elementos, esta pasa a ser una partición compuesta y el cálculo de la STC se realizará de la siguiente manera:

- Usando el coeficiente de transmisión de la i-ésima componente de la partición, encontramos el TL de cada partición

$$\tau_i = 10^{-\frac{TL_i}{10}}$$

- Si S es la superficie total de la partición, el coeficiente de transmisión efectivo será:

$$\tau_{\text{iff}} = \frac{1}{S} \sum \tau_i S_i$$

- Por banda de tercio de 8va se calcula el TL efectivo:

$$TL_{\text{iff}} = 10 \log \left(\frac{1}{\tau_{\text{iff}}} \right) [\text{dB}]$$

- Al final se calcula la STC considerando las TL_{iff} por banda de

Este descriptor toma el nombre de FSTC (Field Sound TX Class), cuando se evalúan particiones ya existentes, es decir se hacen medidas de campo.

1.1.5 Paredes

Tomando en cuenta el costo beneficio, la forma más efectiva de aumentar el aislamiento en paredes, es por medio de masas comparativamente pequeñas. Esto se realiza con el uso de materiales porosos instalados en capas múltiples, con la finalidad principal de eliminar resonancias.

Se puede aumentar la pérdida por transmisión entre las uniones mecánicas de las particiones, con:

- Particiones de gipsu y tirantes
- Superficies de gipsu en paredes de bloques de hormigón
- Paredes dobles de mampostería

1.1.6 Puertas

En el caso del aislamiento acústico de una puerta, es muy importante tomar en consideración como está sellado el marco de la misma y las juntas del perímetro.

El aumentar el peso de la puerta, nos permite aumentar la pérdida por transmisión, así como el uso de puertas dobles con cámara de aire.

1.1.7 Ventanas

“El aislamiento acústico que aporta el cristal único aumenta al hacerlo el grosor del cristal. La curva por pérdida de transmisión con respecto a la frecuencia se ajusta de forma razonable a la ley de masa para frecuencias medias, pero a frecuencias altas la atenuación por efecto de coincidencia limita las prestaciones”. “Cyril M Harris.. Manual de medidas acústicas y control de ruido 3ra edición volumen II., Mac Graw Hill”

Existen otras alternativas cuando se requiere mayor pérdida por transmisión y estas son:

- Cristal laminado
- Cristal doble
- Cristal triple

1.1.8 Piso

Los pisos y suelo siguen la misma teoría de aislamiento de paredes, un piso de hormigón contiene suficiente densidad superficial para aportar un buen aislamiento de vibraciones transmitidas a través del aire, pero en el suelo en particular se tomará en cuenta aislamiento contra ruido de impacto ya que es este último el que provoca mayor perturbación. La flexibilidad en las capas de la superficie del suelo es el principal factor para aumentar la pérdida por transmisión de ruido de impacto.

1.2 Acondicionamiento Acústico

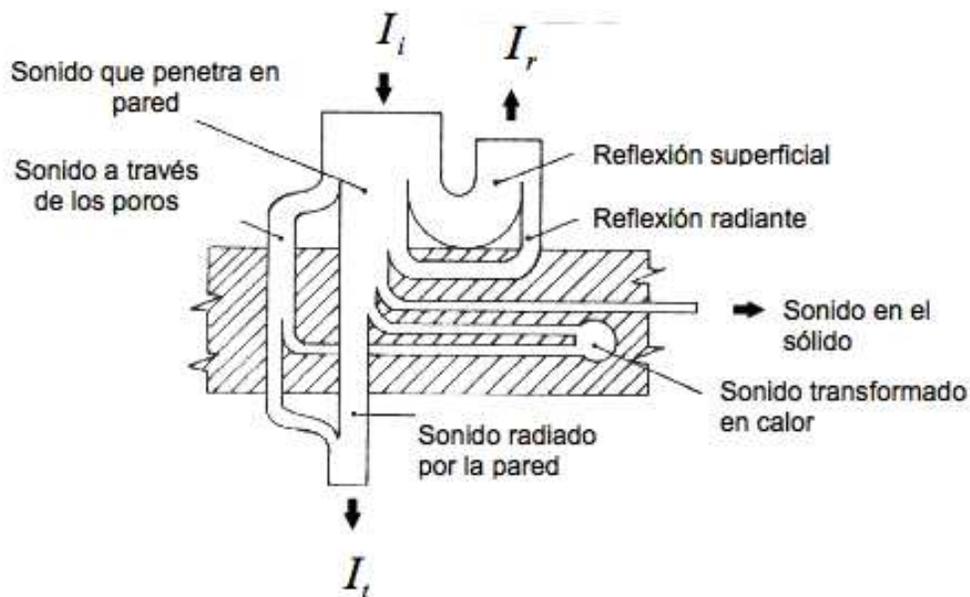
El acondicionamiento acústico de un recinto tiene como finalidad, que el sonido proveniente de una fuente sea uniforme en todo el recinto, que exista un balance espectral de frecuencias y sobre todo lograr inteligibilidad de la palabra y confort acústico dentro del lugar.

Cuando una onda sonora choca contra una superficie cuyas dimensiones son mayores a su longitud de onda, puede ocurrir lo siguiente con dicha energía:

- Parte de la energía se refleja
- Parte de la energía se absorbe
- Parte de la energía se transmite hacia la otra cara de la superficie
- Parte de la energía se transmite y viaja por la estructura

- Parte de la energía se queda retenida en superficies cuando son muy porosas
-

Fig. 4 Flujo de energía sonora incidente sobre una superficie



I_i = intensidad de sonido incidente

I_r = intensidad de sonido reflejado

I_t = intensidad de sonido transmitido

Fuente: Jorge Sommerhoff.(2005),p.5.Acústica de locales.

Para esto, se describirá a continuación los principales métodos y fórmulas para lograr o eliminar absorción, reflexión difusión; así como algunos descriptores de T60 e Inteligibilidad.

1.2.1 Absorción

El coeficiente de absorción está dado por la siguiente relación:

“Jorge Sommerhoff.(2005),p.6.Acústica de locales.”

$$\alpha = \frac{I_a}{I_i}$$

I_a = Intensidad de sonido absorbido

I_i = Intensidad de sonido incidente

Teóricamente los valores del coeficiente de absorción están entre 0 y 1

Ahora, la absorción de una superficie se encuentra expresada por:

“Jorge Sommerhoff.(2005),p.8.Acústica de locales.”

$$A = S \cdot \alpha$$

Donde:

S= Area de la superficie

α = coeficiente de absorción

donde **S** representa el área de la superficie. Las unidades de medida de la absorción son **m² Sabine**.

El promedio de todos los coeficientes de absorción dentro de un recinto se denomina **COEFICIENTE DE ABSORCIÓN MEDIO**, y se lo define así:

“Jorge Sommerhoff.(2005),p.8.Acústica de locales.”

$$\bar{\alpha} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_N}{S}$$

En la actualidad, existen tablas que nos dan el coeficiente de absorción de algunos materiales y superficies por bandas de frecuencia, pero existen algunas consideraciones que tomar ya que dicho coeficiente depende de algunos aspectos como son:

- La frecuencia
- Ángulo de incidencia del sonido
- Montaje del material

1.2.2 Reflexión

El coeficiente de reflexión, está expresado por la siguiente relación:

“Jorge Sommerhoff.(2005),p.6.Acústica de locales.”

$$\sigma = \frac{I_r}{I_i}$$

Dónde:

I_r = Intensidad de sonido reflejado

I_i = Intensidad de sonido incidente

Al igual que en el coeficiente de absorción, los valores del coeficiente de reflexión están entre 0 y 1.

Existe una relación entre el coeficiente de absorción y el coeficiente de reflexión “Jorge Sommerhoff.(2005),p.6.Acústica de locales.”

$$\alpha + \sigma = 1$$

1.2.3 Tiempo de reverberación T60

Se denomina T60 o tiempo de reverberación para una frecuencia específica, al tiempo que transcurre desde que una fuente emisora es apagada hasta que el nivel de presión sonora decae 60dB en comparación a su valor inicial.

El tiempo de reverberación al ser dependiente de la frecuencia, presenta una relación inversamente proporcional a esta, ya que disminuye a medida que la frecuencia aumenta, debido a la facilidad de absorción que presentan las frecuencias altas.

Por lo general, para un recinto dado, se presenta un solo valor de tiempo de reverberación, y esto se hace en base al RT_{mid} , que se calcula en base a las frecuencias de 500 y 1.000 Hz.. “Antoni Carrión.(1998),p.401.Diseño acústico de espacios arquitectónicos.Barcelona.Ediciones UPC”

$$RT_{mid} = \frac{RT(500 \text{ Hz}) + RT(1 \text{ kHz})}{2} [s]$$

A continuación se expondrán tiempos de reverberación promedio RT_{mid} , para diferentes recintos, tomando en cuenta que estos se encuentren ocupados:

Fig. 5 Márgenes de valores recomendados de RT_{mid} en función de tipo de sala (recintos ocupados).

TIPO DE SALA	RT_{mid} , SALA OCUPADA (EN S)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de ópera	1,2 – 1,5
Sala de conciertos (música de cámara)	1,3 – 1,7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Iglesia/catedral (órgano y canto coral)	2,0 – 3,0
Locutorio de radio	0,2 – 0,4

Fuente: Antoni Carrión.(1998),p.64.Diseño acústico de espacios arquitectónicos.Barcelona.Ediciones UPC

En el caso práctico del acondicionamiento de la Casa de Loja, se ha escogido un tiempo de reverberación entre 0,8 y 1,2 con sala ocupada, ya que la actividad principal del lugar corresponde a salas de conferencias, seguido de una actividad secundaria de conciertos que contemplan el uso de sistemas electro-acústicos.

1.2.3.1 Cálculo del tiempo de reverberación

Para el cálculo del tiempo de reverberación se usará la fórmula de Sabine, por ser una referencia a nivel mundial, y la cual se establece de la siguiente manera:

“Antoni Carrión.(1998),p.64.Diseño acústico de espacios arquitectónicos.Barcelona.Ediciones UPC”

$$RT = 0,161 \frac{V}{A_{total} + 4mV} [s]$$

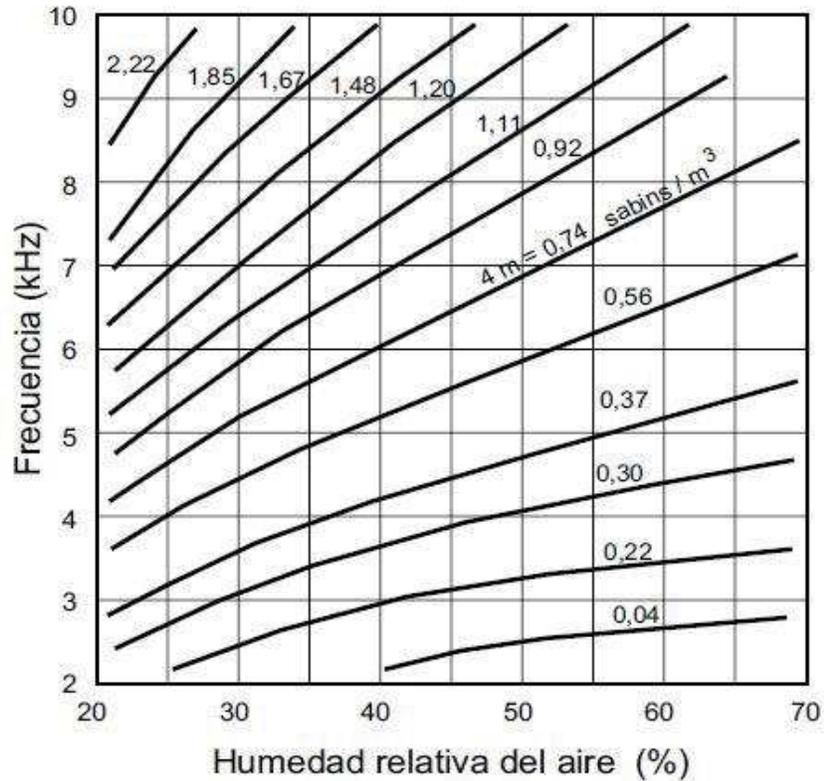
Donde:

V = volumen del recinto en m^3

A_{total} = Absorción total del recinto

m = constante de atenuación de sonido en el aire (en m^{-1})

Fig. 6 Gráficas para la determinación del producto 4m (para una presión atmosférica estática de 10^5 Pa y una temperatura de 20°C)



Fuente: Antoni Carrión.(1998),p.402.Diseño acústico de espacios arquitectónicos.Barcelona.Ediciones UPC

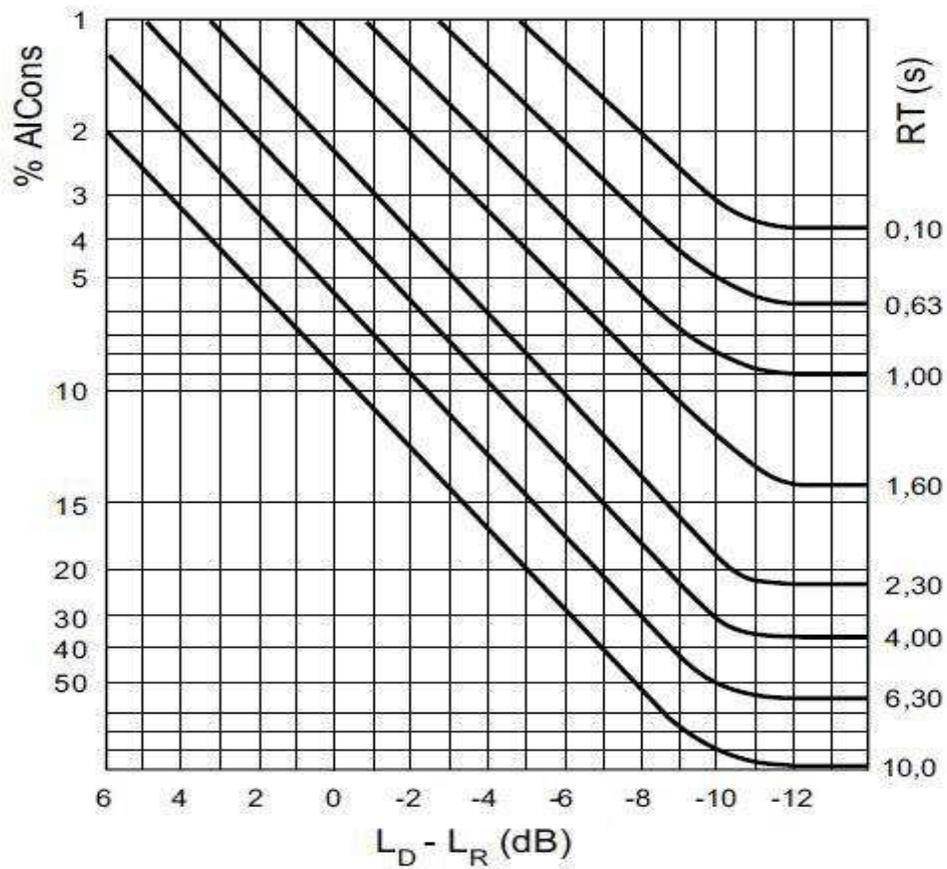
1.2.4 Inteligibilidad

El grado de inteligibilidad de la palabra en un mensaje oral, depende explícitamente de la correcta percepción de sus consonantes, pero también existen algunos factores externos que contribuyen a empeoran la comprensión, entre los que podemos mencionar : ecos, ruido de fondo e incluso tiempos de reverberación muy altos. Para evaluar la inteligibilidad podemos usar varios parámetros conocidos como son el %ALcons, STI y el RASTI.

Tomando en cuenta las investigaciones del holandés V.M.A Peutz, se usará el %ALCons para determinar el grado de inteligibilidad de un recinto, el cual se

basa en los valores del tiempo de reverberación y la diferencia entre los niveles de presión sonora de campo directo L_D y campo reverberante L_R en el punto a evaluarse

Fig 7 Obtención del ALCons a partir de RT y de $L_D - L_R$



Fuente: Antoni Carrión.(1998),p.67.Diseño acústico de espacios arquitectónicos.Barcelona.Ediciones UPC

Para el cálculo del $L_D - L_R$ se usará la siguiente fórmula:

$$L_D - L_R = 10 \log \left(\frac{QR}{r^2} \right) - 17 \text{ (en dB)}$$

Dónde:

Q = factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada (Q=2 en el caso de la voz humana, considerando la dirección frontal del orador)

R = constante de la sala considerada en m^2 .

r = distancia del punto considerado a la fuente sonora.

Dónde:

$$R = \frac{S_{tot} - \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

S_{tot} = Superficie total del recinto en m^2

$\bar{\alpha}$ = coeficiente de absorción medio del recinto.

Al existir una buena correlación entre los parámetros de %ALCons, STI y RASTI, y al ser este último medio en recintos por su rapidez y facilidad de cálculo, a continuación se detalla una tabla de valoración subjetiva del grado de inteligibilidad, con la cuál se establecerán los rangos permitidos y recomendados:

Fig 8 Relación entre %ALCons, STI, RASTI y la valoración subjetiva del grado de inteligibilidad

%ALCONS	STI / RASTI	VALORACIÓN SUBJETIVA
1,4% - 0%	0,88 - 1	Excelente
4,8% - 1,6%	0,66 - 0,86	Buena
11,4% - 5,3%	0,50 - 0,64	Aceptable
24,2% - 12%	0,36 - 0,49	Pobre
46,5% - 27%	0,24 - 0,34	Mala

Fuente: Antoni Carrión.(1998),p.183.Diseño acústico de espacios arquitectónicos.Barcelona.Ediciones UPC

1.2.5 Claridad de la voz (C50)

Se define como claridad de la voz, a la energía que recibe un oyente dentro de un tiempo de 50 ms desde que el sonido directo ya ha arribado, en comparación a lo que se recibe después de los 50 ms, calculados entre los 125Hz y los 4kHz. Dicha relación logarítmica se representa de la siguiente manera:

$$C50 = \frac{\text{Energía hasta 50 ms}}{\text{Energía a partir de 50 ms}} \text{ dB}$$

Para el cálculo del C50 como media aritmética en la bandas de octava de 500Hz, 1kHz, 2kHz y 4kHz, se utilizan los valores ponderados correspondientes: 0,15, 0,25, 0,35 y 0,25.

$$C50 = 0,15 * C50 \text{ en } 500 \text{ Hz} + 0,25 * C50 \text{ en } 1\text{kHz} + 0,35 * C50 \text{ en } 2\text{kHz} + 0,25 * C50 \text{ en } 4\text{kHz}.$$

Entre mayor sea el valor de C50 mayor claridad de la palabra habrá, un valor mayor a 2 dB es recomendable.

1.2.6 Music average (C80)

Este parámetro está definido como promedio musical, y a diferencia de la claridad de la voz, es la relación de la energía que recibe un oyente dentro de un tiempo de 80 ms desde que el sonido directo ya ha arribado, en comparación a lo que se recibe después de los 80 ms, calculados entre los 125Hz y los 4kHz. Dicha relación logarítmica se representa de la siguiente manera:

$$C80 = \frac{\text{Energía hasta 50 ms}}{\text{Energía a partir de 50 ms}} \text{ dB}$$

CAPITULO II

2. ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR.

Fig. 9 Ubicación Casa de Loja



Fuente: Ubicación satélite Google Earth

La Casa de Loja, es un recinto ubicado al norte de la ciudad de Quito, en el sector del Condado, en las avenidas San Francisco de Rumiurcu y Av. Antonio José de Sucre, cuya finalidad principal es la de mantener y difundir las costumbres de la provincia, así como brindar apoyo social a la comunidad y a los más de 120.000 lojanos y descendientes radicados en la capital.

En el período de la alcaldía de Jamil Mahuad (1992 - 1998), y siendo él lojano , se realizó la donación de una hectárea de terreno a la asociación lojana 18 de Noviembre, la cual tuvo un gran aporte de empresas y socios, para realizar los trabajos de relleno del terreno y dar inicio a su construcción en el año de 1998.

La Casa de Loja, dentro de su planificación inicial, contemplaba espacios deportivos para recreación y principalmente una concha acústica para todos los eventos y actos culturales, idea que fue cambiando por la necesidad de tener un espacio cerrado de uso múltiple, para todas las diferentes actividades que la asociación realiza año a año.

En la actualidad, la Casa de Loja, dentro de su hectárea de terreno cuenta con una infraestructura que contempla: una iglesia, parqueadero para 220 vehículos, un salón de uso múltiple, oficinas, un dispensario médico, canchas y áreas verdes.

El salón de uso múltiple, con un área aproximada de 600 metros cuadrados, contiene un escenario fijo, recinto que se encuentra al momento totalmente terminado y en el cuál se realizan todo tipo de eventos.

La problemática de este recinto, es que al ser construido por varias administraciones y criterios, no cuenta con ningún tipo de estudio acústico, por lo que las excesivas reflexiones molestan y fatigan el oído de las personas dentro del recinto, cuando se instalan sistemas electro-acústicos, problema que se agrava en horas del día por el alto ruido de tráfico existente en la zona.

2.2 CARACTERISTICAS DEL RECINTO

El salón de uso múltiple de la Casa de Loja cuenta con un área de 547,32 metros cuadrados y una capacidad promedio de 400 personas ubicadas en mesas y sillas.

La característica actual y motivo de estudio del recinto, es la cantidad de materiales reflectantes con la que ha sido construida y la cantidad de reflexiones que existen dentro de la misma.

A continuación estos son los materiales que se usaron en la construcción y en los acabados del lugar:

Fig. 3.2 Tabla de materiales y superficies existentes Casa de Loja

<u>PARTICIÓN</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>SUPERFICIE</u>
PISO	BALDOSA	539,62 m ²
PARED	BLOQUE ENLUCIDO PINTADO	213,21 m ²
TECHO	GIPSU	539,62 m ²
VENTANAS	VIDRIO 4 mm	37 m ²
PISO ESCENARIO	TABLONCILLO DE MADERA	31,55 m ²
PUERTAS	MADERA	31,43 m ²
PARED ESCENARIO	FIBRA DE VIDRIO CON TELA	32,33 m ²

Fuente: Elaborado por autor

Este es uno de los grandes problemas del lugar, aunque no sea el principal, otra de las falencias de la sala es la falta de aislamiento, al encontrarse en una calle principal muy transitada por transporte público y transporte pesado.

Analizando las juntas entre paredes, ventanas, puertas, marcos y columnas, podemos darnos cuenta del grave problema que representa para el confort e inteligibilidad dentro de la sala, como se ve en el siguiente ejemplo:

Fig. 10. Problema de juntas marcos ventanas Casa de Loja



Fuente: Elaborado por autor

Fig. 11. Problema de juntas marcos puertas Casa de Loja

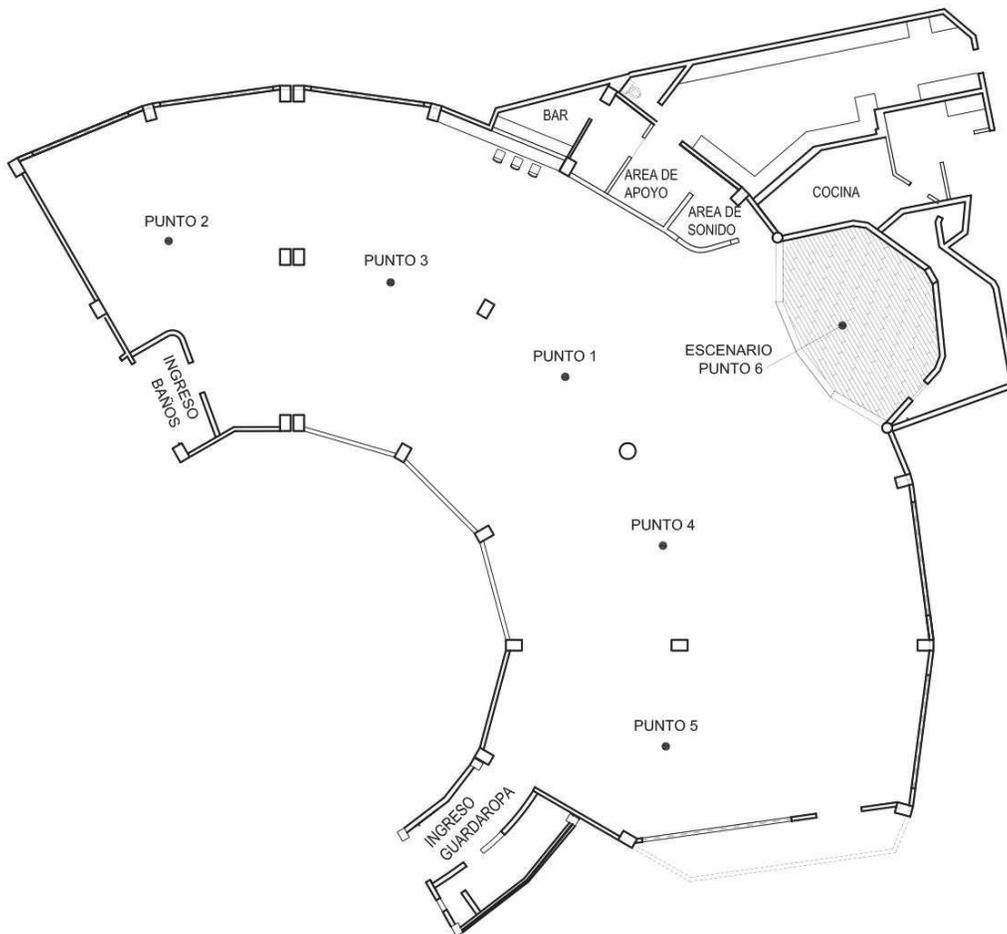


Fuente: Elaborado por autor

2.3 EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL RECINTO

Para conseguir los objetivos propuestos en el presente aislamiento y acondicionamiento, es necesario saber cómo se comporta la sala y que factores afectan a esta, es por eso que a continuación se evaluarán 6 puntos diferentes dentro del lugar, los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

Fig. 12. Puntos de medición Casa de Loja



Fuente: Elaborado por autor

2.3.1 Parámetros a evaluar

Los siguientes, son los parámetros mínimos aceptados para conocer el estado y respuesta propia de la sala, así como el grado de afectación de factores de ruidos externos hacia el interior.

- RUIDO DE FONDO
- TIEMPO DE REVERBERACIÓN
- MODOS NORMALES DE VIBRACIÓN
- AISLAMIENTO DE PARTICIONES

2.3.2 Metodología de medición

2.3.2.1 Mediciones de ruido de fondo

La medición de ruido de fondo, se obtuvo siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Revisión del recinto, puertas y ventanas totalmente cerradas
2. Calibración del Sonómetro a 93,9 dB
3. Medición de ruido de fondo fluctuante por 10 minutos en Punto 1, centro del recinto.
4. Obtención de datos del sonómetro

2.3.2.2 Mediciones de T60

Las mediciones de T60 se realizaron en los 6 puntos establecidos previamente, mediante el uso del software Spectra Plus 5.0, según la norma ISO 3382 y usando el método de interrupción de ruido.

Los valores del T60 se obtuvieron mediante el T30 por el alto valor de ruido de fondo obtenido (49,9 dB), y para precautelar la salud auditiva de las personas

presentes en la medición al aumentar solo 30dB sobre el ruido de fondo y no los 60 dB que establece el procedimiento de T60.

Con estos valores y usando solo las frecuencias de 500 y 1.000 Hz como lo establece la fórmula de Rayleigh, se calculará el RTmid, para obtener un solo valor promedio de T60 de la sala en general.

2.3.2.3 Mediciones de Modos Normales de Vibración

Mediante barrido de frecuencias de 50 Hz a 20.000Hz reproducido por una fuente por el tiempo de 5 minutos, se representa un espectro de frecuencias del resultado final en los 4 puntos de medición de la sala.

2.3.2.4 Mediciones de aislamiento de particiones

Con la ayuda de una fuente controlada reproduciendo ruido rosa por 1 minuto se realizan dos mediciones con la finalidad de obtener el TL de una partición en particular. La primera medición se realiza antes de la partición para obtener el NPS de la partición emisora y la segunda se realiza en la partición receptora para saber cuánto disminuyó.

En el caso de la medición del muro exterior, se procedió a usar 2 sonómetros, uno ubicado en la parte de la calle y otro al interior del recinto cerca del muro.

2.3.3 Equipos utilizados en la medición

Para las mediciones acústicas del recinto se utilizaron los siguientes equipos:

1. Computadora DELL INSPIRON con Windows XP
2. Tarjeta de sonido M-AUDIO FAST TRACK ULTRA
3. Micrófono de medición BEHRINGER ECM 8000
4. Sonómetro SOLO (calibrado a 93.9 dB)

5. Sonómetro SOUND PRO (calibrado a 114 dB)
6. Software de medición SPECTRA PLUS 5.0
7. Parlante EAW EP3 3 vías activo
8. Pedestales
9. Cables
10. Flexómetro

2.3.4 Resultados de la medición

Leq DE RUIDO DE FONDO: 49,9 dB

Fig. 3.6 Resultados medición ruido de fondo Casa de Loja

f (Hz)	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
dB	43	50,03	49,3	47	47,1	42,5	41	40,4	44,73	46

Fuente: Elaborado por autor

TIEMPO DE REVERBERACIÓN:

Fig. 3.7 Resultados medición T60 Casa de Loja

f (Hz)	80	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
PUNTO 1	5,62	4,54	3,54	3,63	4,11	3,79	2,87	1,69	0,66
PUNTO 2	4,69	5,15	3,9	4,08	3,93	3,62	2,84	1,67	1,92
PUNTO 3	3,69	3,38	3,69	3,78	4,1	3,53	2,89	1,68	0,75
PUNTO 4	3,78	2,58	3,66	3,43	3,96	3,54	2,85	1,75	0,65
PUNTO 5	3,30	3,43	3,27	3,37	3,72	3,56	2,65	1,52	0,65
PUNTO 6	2,80	3,73	3,59	3,17	3,66	3,55	2,5	1,42	0,61
T60 (s)	3,98	3,80	3,61	3,58	3,91	3,60	2,77	1,62	0,87

Fuente: Elaborado por autor

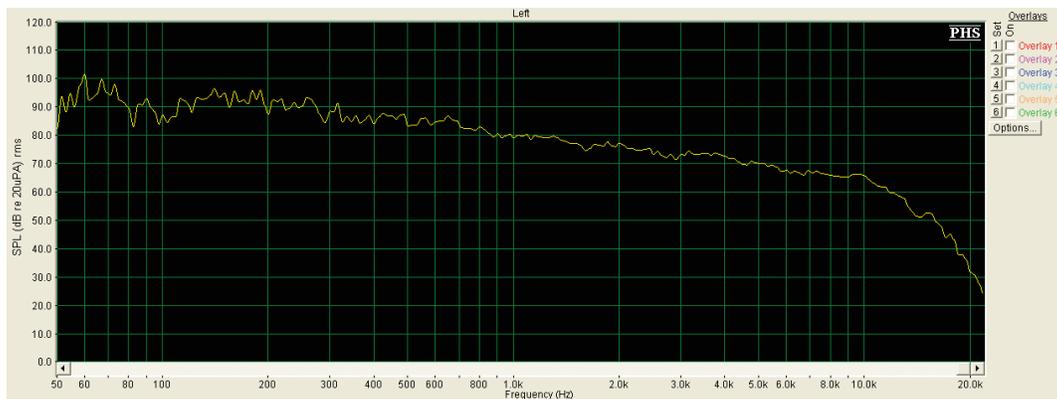
$$RT_{mid} = \frac{RT(500\text{ Hz}) + RT(1.000\text{ Hz})}{2} \text{ (seg)}$$

RT mid = 3.75 segundos

MODOS NORMALES DE VIBRACIÓN (1/24 de octava – 5 min)

PUNTO 1

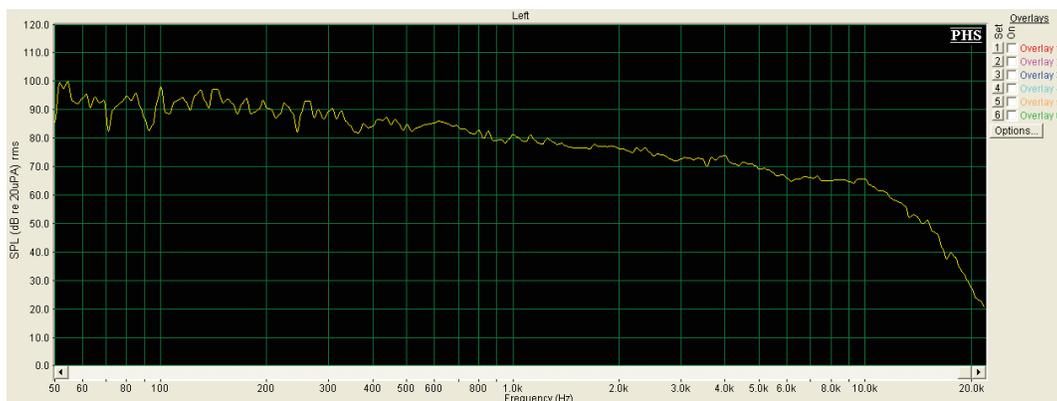
Fig. 13. Resultado medición MNV punto 1 Casa de Loja



Fuente: Elaborado por autor

PUNTO 2

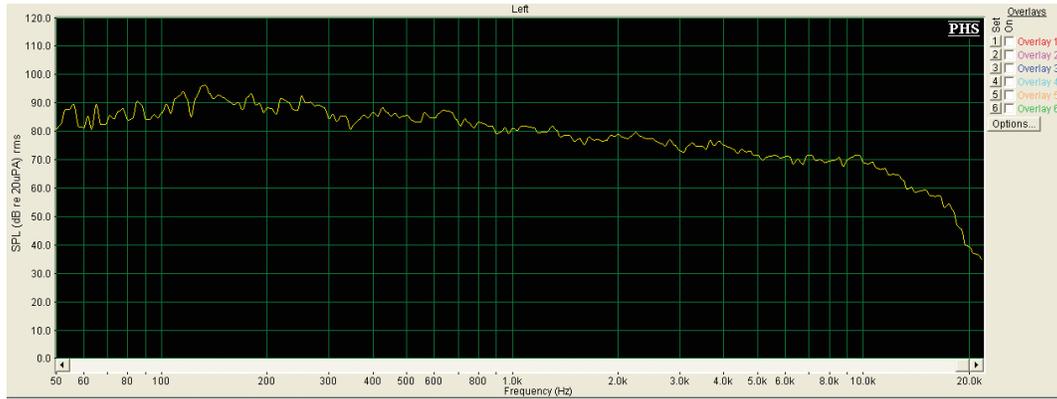
Fig. 14. Resultado medición MNV punto 2 Casa de Loja



Fuente: Elaborado por autor

PUNTO 5

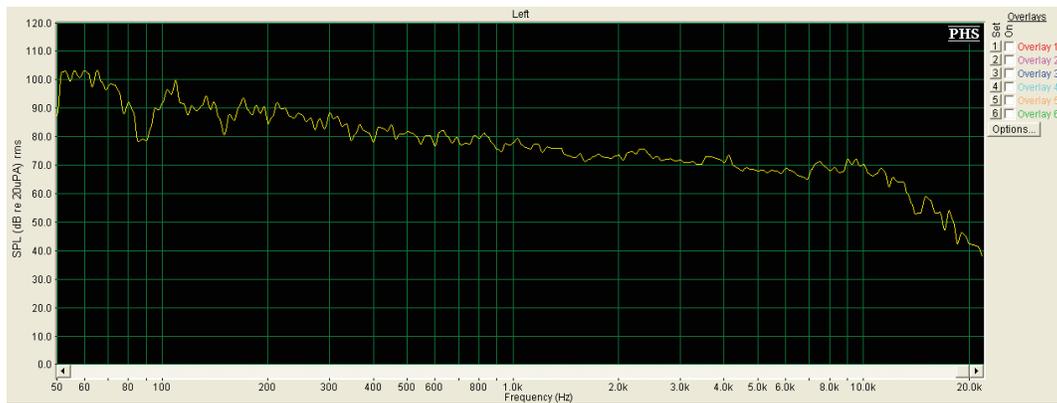
Fig. 15. Resultado medición MNV punto 5 Casa de Loja



Fuente: Elaborado por autor

PUNTO 6

Fig. 16. Resultado medición MNV punto 5 Casa de Loja



Fuente: Elaborado por autor

Fig. 17 Resultado medición NPS Casa de Loja

PARTICIÓN	Leq	dB									
		31,5	63	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
PUERTA INGRESO PRINCIPAL ABIERTA	97,47	67,04	85,91	91,71	92,45	89,11	84,78	82,15	82,66	83,39	82,63
PUERTA INGRESO PRINCIPAL CERRADA	83,98	61,86	68,36	82,18	77,35	72,17	67,15	67,24	67,16	63,52	59,18
PUERTA INGRESO SALÓN USO MÚLTIPLE ABIERTA	85,63	57,43	75,96	81,53	80,83	77,3	72,62	68,95	66,05	60,92	50,37
PUERTA INGRESO SALÓN USO MÚLTIPLE CERRADA	77,4	56,65	71,16	74,18	71,63	67	62,02	56,03	51,83	42,11	31,96
MIXTA PARED - VENTANA AFUERA	94,12	66,82	79,88	86,73	87,19	86,06	82,57	82,27	82,96	82,92	84,06
MIXTA PARED - VENTANA ADENTRO	69,56	56,5	64,59	65,5	62,39	59,88	55,33	51,43	49,99	45,18	43,41
MIXTA PARED - VENTANAS ABIERTAS	76,97	57,56	68,71	68,61	71,96	72,29	65,96	62,04	61,98	58,68	55,64
MURO EXTERIOR CALLE	75,7	61,2	66,9	72,03	69,1	66,83	66,3	62,3	62,3	59,3	55,9
MURO EXTERIOR INTERIOR	79	72,7	72,1	69,7	65,5	63,8	61,1	59	56,2	49,9	38,8

Fuente: Elaborado por autor

2.3.5 Análisis de resultados

Según los datos obtenidos se puede evaluar inicialmente, que la sala de uso múltiple no cumple con ninguno de los objetivos propuestos inicialmente.

El ruido de fondo está muy por encima de la tabla de ponderación de curvas NC 20.

El T60 de la sala tiene un RTmid equivalente a 3,75 segundos, el cual es más del doble del valor recomendado para el tipo de sala, y cuyos valores por banda de octava oscilan entre los 3 y 4 segundos.

Los modos normales de vibración no pueden ser medidos matemáticamente, ya que la fórmula establecida es para salas de geometría simétrica rectangular o cuadrada.

Las particiones dentro de la sala presentan un bajo aislamiento en frecuencias bajas.

CAPITULO III

3. PROPUESTA DE AISLAMIENTO, ACONDICIONAMIENTO Y SISTEMA ELECTROACÚSTICO

3.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO

El objetivo principal de aislamiento acústico del recinto es cumplir con la curva NC 20, a continuación descrita:

Fig. 18. Curvas NC 20

Niveles de presión sonora en bandas de octava (dB)								
Frecuencias centrales (Hz)								
NC	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
20	51	40	33	26	22	19	17	16

Fuente: Elaborado por autor

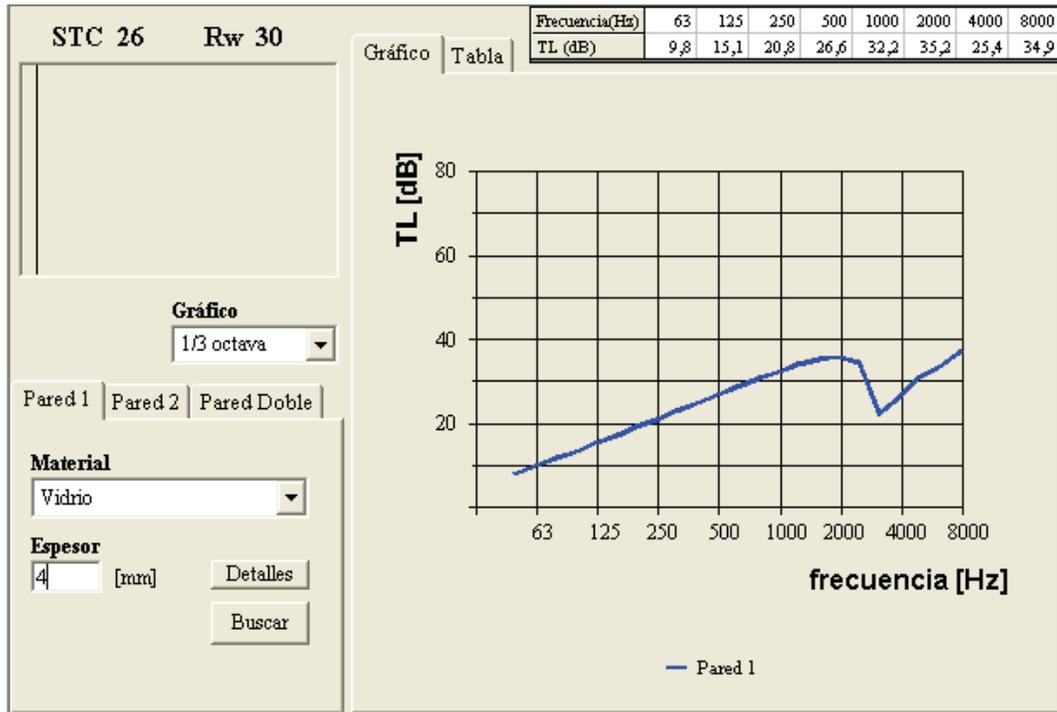
3.1.1 Tratamiento de ventanas

Tomando en cuenta las recomendaciones expuestas inicialmente, el primer paso a dar en el aislamiento de las ventanas es el sellado y corrección de los marcos, ya que existen grandes aberturas entre estas.

La propuesta de tratamiento es la de aumentar otro vidrio laminado de 4mm al instalado actualmente, dejando una cámara de aire de 10 cm, para conseguir una partición doble.

El análisis de la partición vidrio 4 mm existente usando el software Petras:

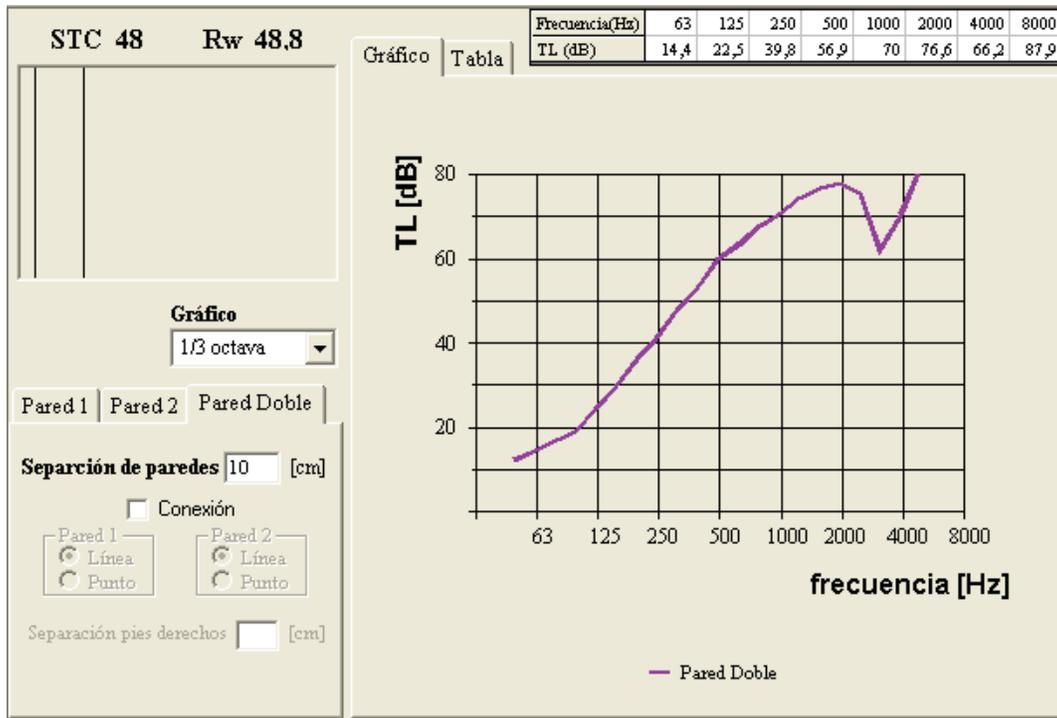
Fig. 19. Vidrio 4 mm modelado software Petras



Fuente: Elaborado por autor

El análisis de la partición vidrio doble laminado de 4 mm c/u según planteamiento obtenido usando el software Petras:

Fig. 20. Vidrio doble 4 mm con cámara de aire de 10 cm modelado software Petras



Fuente: Elaborado por autor

La pérdida por transmisión que se obtendría con la propuesta de cambio a vidrio doble laminado de 4 mm c/u es:

Fig. 21. Resultados de TL con propuesta de aislamiento

f (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
TL VENTANA MODELADA (dB)	14,4	22,5	39,8	56,9	70	76,6	66,2	87,9
TL VENTANA ACTUAL (dB)	9,8	15,1	20,8	26,6	32,2	35,2	25,4	34,9
NUEVO TL (dB)	4,6	7,4	19	30,3	37,8	41,4	40,8	53
NUEVO RUIDO DE FONDO (dB)	45,43	41,9	28	16,8	4,7	-0,4	-0,4	-8,27
CURVAS NC 20 (dB)	51	40	33	26	22	19	17	16

Fuente: Elaborado por autor

3.1.2 Tratamiento puertas

Las puertas existentes en el recinto representan un gran problema de aislamiento tanto en las juntas como en el espesor del material.

En este caso, no se puede realizar un análisis mediante software, al no encontrar el material específico de la puerta, es por eso que se usarán los datos obtenidos en la medición de la partición:

Fig. 22. Resultados de medición puertas Casa de Loja

f(Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
TL PUERTA(dB)	4,8	7,35	9,2	10,3	10,6	12,92	14,22	18,81

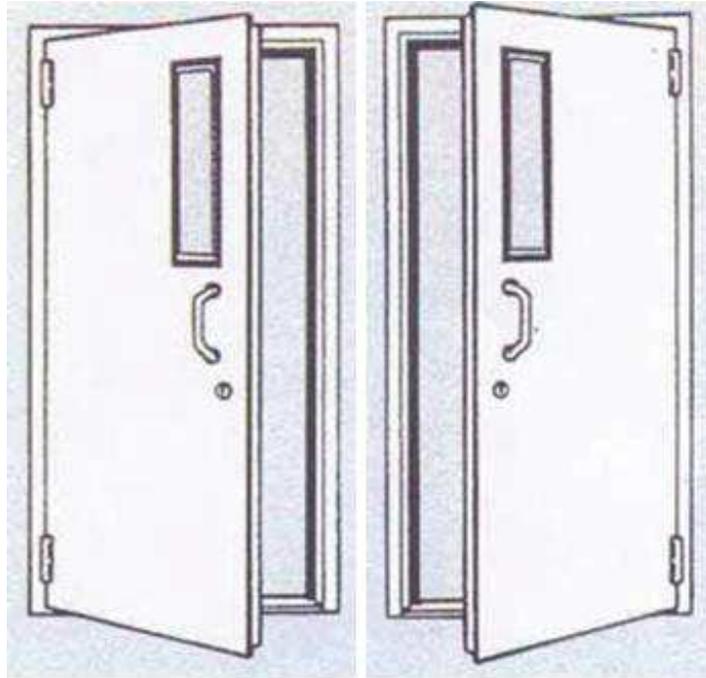
Fuente: Elaborado por autor

Según los datos obtenidos, se propone cambiar las puertas del salón de uso múltiple ya que ningún tipo de arreglo va a mejorar el aislamiento para cumplir con los objetivos propuestos.

A continuación se describe un tipo de puerta que permitiría cumplir con los objetivos y estar por debajo de la curva NC25:

ESPECIFICACIONES:

- Puertas Noise Lock modelos 43C y 43D

Fig. 23. Resultados de medición puertas Casa de Loja

Fuente: <http://www.stopson.com/webs/Puertas.htm>

- Dimensiones: 1 x 2 metros de altura
- Material: Madera barnizada robusta.
- Armazón montable y adaptable a muros de diversos espesores.
- Bisagras con levas, eliminan piezas de ajuste inferior.
- Garantía para correcta insonorización acústica.

Fig. 24. Valores de TL propuesta de aislamiento

Clase	Espesor mm	Frecuencia central de la banda de octava (Hz)								Informe de prueba	Peso Kg/m ²
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
STC		Atenuación por transmisión en decibelios (dB)									
43	45	15	21	40	41	43	44	51	56	815-29-95	34
47	64		23	41	43	47	52	56		TL-70-188	36
49	64	19	28	40	46	50	53	55	60	618-2-87	36
51	64	20	27	46	50	52	52	58	63	19c-94815	44
53	64	22	30	47	52	53	52	58	65	815-17-94	54
54	89	23	32	51	53	52	51	61	66	815-23h-94	78
61	89	23	35	53	58	60	62	68	73	815-23i-94	80
64	127	26	37	56	61	65	66	70	75	815-24-94	88

Fuente: <http://www.stopson.com/webs/Puertas.htm>

Fig. 25. Resultados de TL con propuesta de aislamiento

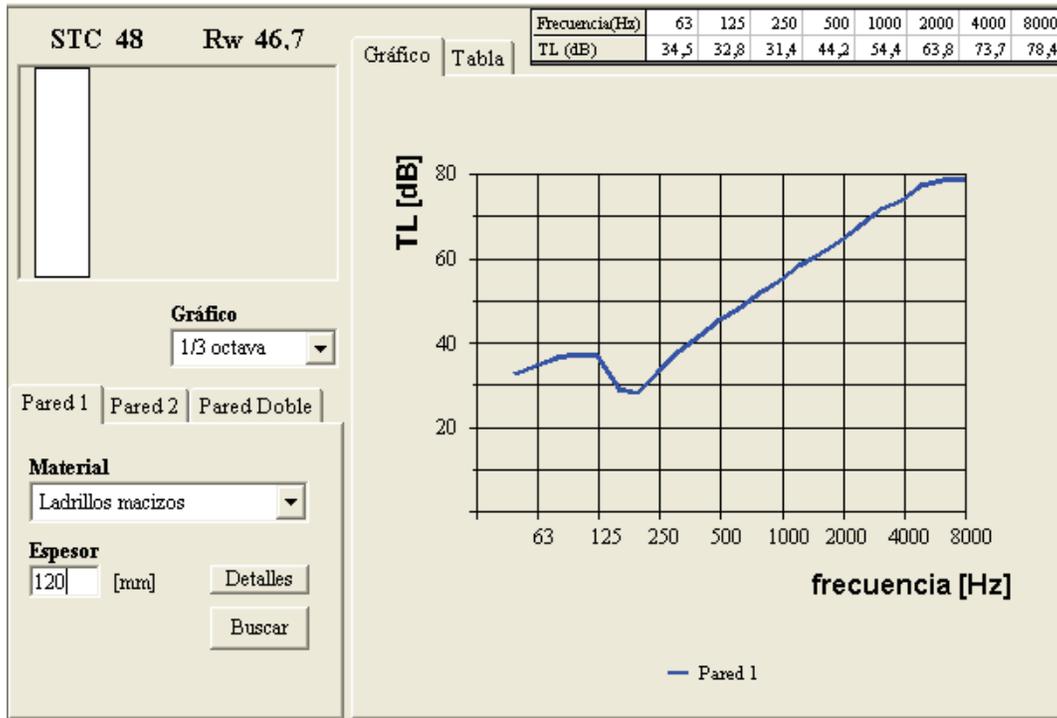
f (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
TL PUERTA MODELADA (dB)	15	21	40	41	43	44	51	56
TL PUERTA ACTUAL (dB)	4,8	7,35	9,2	10,3	10,6	12,92	14,22	18,81
NUEVO TL (dB)	10,2	13,65	30,8	30,7	32,4	31,08	36,78	37,19
NUEVO RUIDO DE FONDO (dB)	39,83	35,65	16,2	16,4	10,1	9,92	3,62	7,54
CURVAS NC 20 (dB)	51	40	33	26	22	19	17	16

Fuente: Elaborado por autor

3.1.3 Tratamiento de paredes

Modelamiento de partición pared actual, usando software Petras:

Fig. 26. Pared de 12 cm modelado software Petras



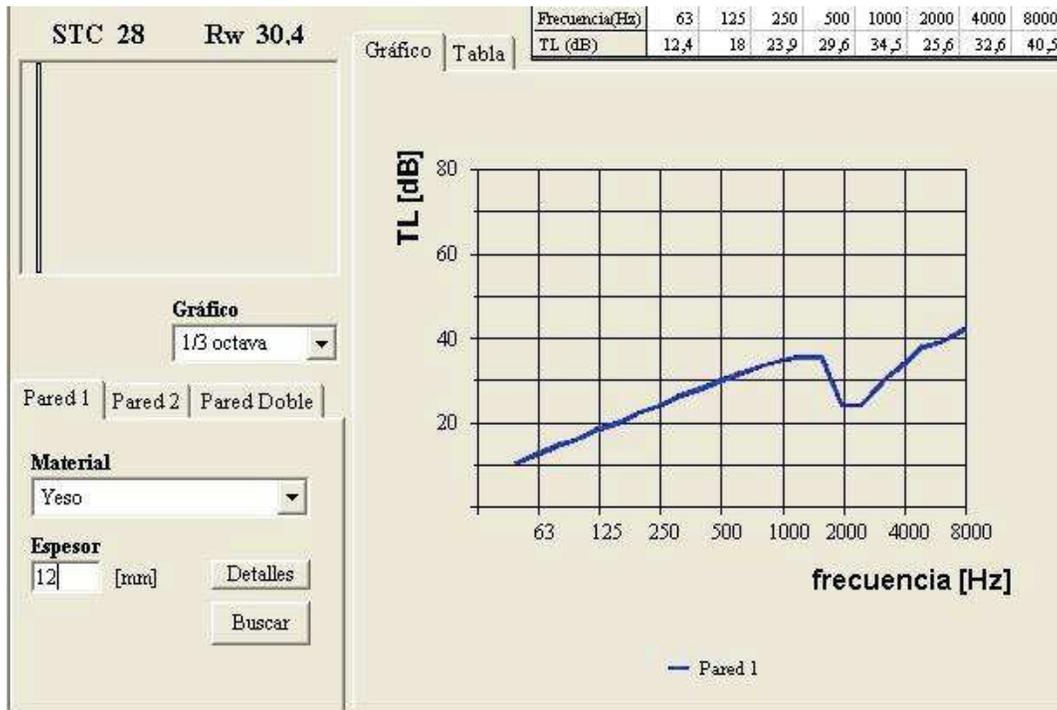
Fuente: Elaborado por autor

Con el modelamiento de la partición, se puede concluir que las paredes del recinto no son el principal problema de aislamiento, ya que presentan un STC de 48, con esto se decide no aplicar ningún tipo de material a las paredes.

3.1.4 Tratamiento del techo

Modelamiento de partición techo, usando software Petras:

Fig. 27. Pared de 12 cm modelado software Petras



Fuente: Elaborado por autor

Se recomienda sobre la partición del techo trabajar en sellar las goteras existentes, con esto se logra solucionar la pequeña cantidad de filtraciones provenientes del techo

3.1.5 Pérdida por transmisión compuesta (TL compuesto)

Hasta el momento solo hemos podido obtener la pérdida por transmisión de cada partición, y podemos observar que no todas las bandas de frecuencia cumplen con la curva NC 20, es por eso que se debe realizar un cálculo de TL compuesto de toda la partición, para asegurarnos que este por debajo y cumpal con la curva NC establecida.

Fig. 28. Tabla de resultados TL compuesto

DATOS	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
TL Ventanas (dB)	14,4	22,5	39,8	56,9	70	76,6	66,2	87,9
COEFICIENTE DE TX	0,036308	0,005623	0,000105	2,04E-06	1E-07	2,19E-08	2,4E-07	1,62E-09
SUPERFICIE m ²	37	37	37	37	37	37	37	37
TL PUERTAS (dB)	15	21	40	41	43	44	51	56
COEFICIENTE DE TX	0,031623	0,007943	0,0001	7,94E-05	5,01E-05	3,98E-05	7,94E-06	2,51E-06
SUPERFICIE m ²	16	16	16	16	16	16	16	16
TL PAREDES (dB)	34,5	32,8	31,4	44,2	54,4	63,8	73,7	78,4
COEFICIENTE DE TX	0,000355	0,000525	0,000724	3,8E-05	3,63E-06	4,17E-07	4,27E-08	1,45E-08
SUPERFICIE m ²	213,21	213,21	213,21	213,21	213,21	213,21	213,21	213,21
TL TECHO (dB)	12,4	18	23,9	29,6	34,5	25,6	32,6	40,5
COEFICIENTE DE TX	0,057544	0,015849	0,004074	0,001096	0,000355	0,002754	0,00055	8,91E-05
SUPERFICIE m ²	539,62	539,62	539,62	539,62	539,62	539,62	539,62	539,62
COEF. TX COMPUESTO	0,040923	0,011168	0,002926	0,000746	0,00024	0,001845	0,000368	5,97E-05
TL COMPUESTO (dB)	13,88034	19,52027	25,33656	31,27272	36,20587	27,33943	34,33943	42,23764
RUIDO DE FONDO ACTUAL (dB)	43	50,03	49,3	47	47,1	42,5	41	40,4
TL PROPUESTA AISLAMIENTO (dB)	13,9	19,5	25,3	31,3	36,2	27,3	34,3	42,2
NUEVO RUIDO DE FONDO (dB)	29,1	30,53	24	15,7	10,9	15,2	6,7	-1,8
CURVA NC 20	51	40	33	26	22	19	17	16

Fuente: Elaborado por autor

3.2 Acondicionamiento Acústico

Para el presente acondicionamiento, nos enfocaremos en la absorción como propuesta principal para mejorar y bajar el T60 que tiene actualmente la sala. Se hará uso de materiales absorbentes disponibles en el mercado, Sabine y las diferentes tablas de coeficientes de absorción.

3.2.1 Materiales y coeficientes de absorción

Fig. 29. Tabla de materiales y coeficientes de absorción usados en acondicionamiento

MATERIAL	COEFICIENTES DE ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DE FRECUENCIA					
	125	250	500	1k	2k	4k
ACUSTIFIBRA DE 3,8 mm	0,12	0,52	0,95	1	0,98	1
AISLHOGAR DE 5,1 mm	0,22	0,60	0,91	0,93	0,91	0,95
FONAC	0,16	0,15	0,34	0,68	0,90	0,78
PARED ENLUCIDA PINTADA	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
MADERA DE 0,3CM CON 5CM DE CÁMARA	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
TELA ALGODÓN, PLEGADA A UN 50%	0,04	0,23	0,4	0,57	0,53	0,4
BALDOSA	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
PLACA DE YESO 12 mm a 10 cmm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
CORTINA 475 g/m^2 DOBLADA AL 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60

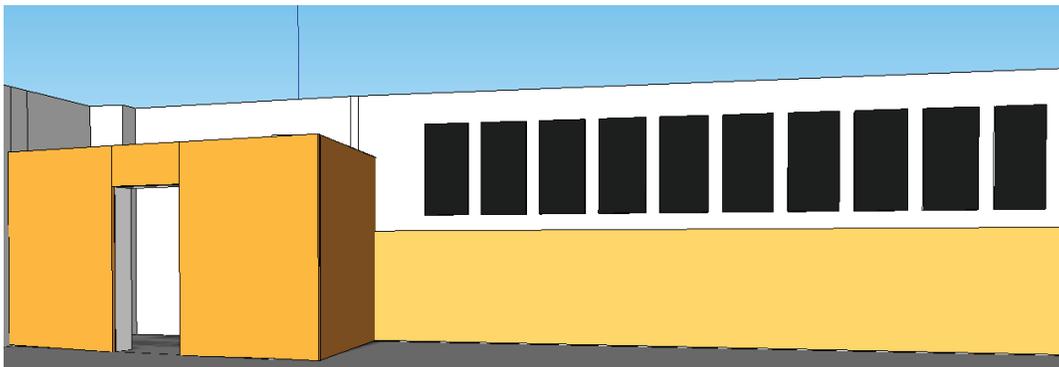
Fuente: Elaborado por autor

3.2.2 Tratamiento de paredes

Dentro de la arquitectura y acabados del recinto, son las paredes la partición cuya superficie nos permite colocar la mayor cantidad de material absorbente al no tener ningún material adherido, razón por la cuál, se plantea instalar planchas de lana de vidrio y espuma de poliuretano, de diferentes medidas y densidad superficial, en todo el contorno del recinto forrado con tela de algodón doblada en la mitad.

- Lana de vidrio a 1,50 metros de altura, 5,1 cm de espesor y 10 Kg/m^3 , cubierta con tela de algodón plegada a un 50% en una superficie total de $78,47 \text{ m}^2$.
- Lana de vidrio a 2,50 metros de altura, 3,8 cm de espesor y 30 Kg/m^3 , cubierta con tela de algodón plegada a un 50% en una superficie total de $43,48 \text{ m}^2$.
- 18 Planchas de espuma de poliuretano poliéster de $0,61 \times 1,22$ metros en una superficie total de $13,40 \text{ m}^2$.
- De los $213,21 \text{ m}^2$ de paredes iniciales, solo quedan $77,87 \text{ m}^2$ de bloque enlucido pintado.

Fig. 30. Modelamiento diseño de acondicionamiento paredes Casa de Loja



Fuente: Elaborado por autor

3.2.3 Tratamiento del suelo

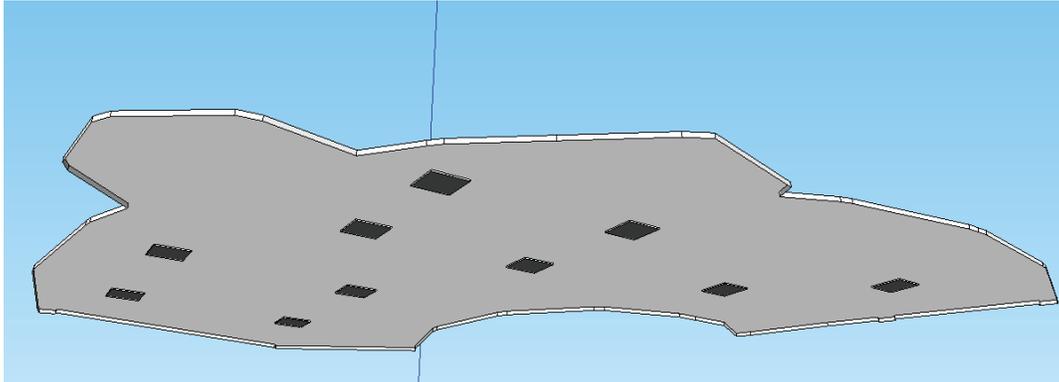
No se realizará ningún tipo de tratamiento en el suelo del recinto, ya que por las diversas actividades que se realizan, el Gres es el material más adecuado para el mantenimiento y limpieza del lugar, así como para el alto tráfico de personas, equipos y materiales que existe todas las semanas para los montajes y desmontajes de eventos.

3.2.4 Tratamiento del techo

El techo del recinto es una de las superficies más grandes, pero cuenta con múltiples puntos de iluminación, razón por la cuál se plantea colocar 10 planchas cuadradas de 1,22 X 1,22 metros de lana de vidrio forrada con tela de algodón doblada a la mitad, para no interferir ni realizar cambios drásticos en la iluminación.

- 10 Planchas de lana de vidrio de 1,22 x 1,22 metros, 5,1 cm de espesor y 10 Kg/m³, cubierta con tela de algodón plegada a un 50% sobre una superficie total de 14,88 m²
- De los 539,62 m² iniciales, solo quedan 524,74 m² de Gipsu en el techo del recinto.

Fig. 31. Modelamiento diseño de acondicionamiento techo Casa de Loja



Fuente: Elaborado por autor

3.2.5 Tratamiento de ventanas

Se plantea colocar cortinas de 475 g/m^2 en todas las ventanas del recinto, con una superficie mayor a la del vidrio en relación de 1,5. Esto aportará a la absorción del lugar y a la funcionalidad del recinto cuando elementos de proyección sean requeridos dentro del mismo.

3.2.6 Propuesta de acondicionamiento Sala Vacía

Fig. 32. Cálculo de T60 sala vacía Casa de Loja

PARTICIÓN	TIPO DE MATERIAL	SUPERFICIE <i>m</i> ²	ABSORCIÓN					
			<i>m</i> ² Sabine					
			125	250	500	1k	2k	4k
PAREDES	Lana de vidrio a 1,50 metros de altura, 5,1 cm de espesor y 10 Kg/m ³ Cubierta con tela de algodón plegada a un 50%	78,47	20,40	65,13	102,79	117,70	112,99	105,93
PAREDES	Lana de vidrio a 2,50 metros de altura, 3,8 cm de espesor y 30 Kg/m ³ Cubierta con tela de algodón plegada a un 50%	43,48	7,22	32,61	58,69	68,26	65,65	60,87
PAREDES	Pared de bloque enlucida pintada	77,87	0,78	0,78	1,56	1,56	1,56	1,56
PAREDES	Planchas de espuma de poliuretano poliéster de 0,61 x 1,22 metros	13,40	2,14	2,01	4,55	9,11	12,06	10,45
PUERTAS	Madera de 0,3cm con 5cm de cámara	16,00	4,00	5,44	2,88	1,60	1,60	0,96
PISO	Baldosa (Gres)	539,62	5,40	5,40	5,40	10,79	10,79	5,40
TECHO	Placa de Yeso de 12mm a 20 cm	524,74	152,17	72,47	26,24	20,99	36,73	47,23
TECHO	Lana de vidrio de 1,22 x 1,22 metros, 5,1 cm de espesor y 10 Kg/m ³ , cubierta con tela de algodón plegada a un 50%	14,88	1,79	7,74	14,14	14,88	14,59	14,88
VENTANAS	Doble vidrio	37,00	9,25	3,70	2,59	2,22	1,48	0,74
VENTANAS	Cortinas 475 g/m ² doblada al 50%	55,50	3,89	17,21	27,20	41,63	38,85	33,30
SUMA TOTAL		1400,95	207,03	212,48	246,03	288,73	296,29	281,31
COEF. ABS. MED			0,15	0,15	0,18	0,21	0,21	0,20
T60			1,5	1,5	1,3	1,1	1,1	1,1

Fuente: Elaborado por autor

$$RT_{mid} = \frac{RT(500\text{ Hz}) + RT(1.000\text{ Hz})}{2}$$

$$RT_{mid} = 1,2 \text{ segundos}$$

3.2.7 Propuesta de acondicionamiento Sala Ocupada

Fig. 33. Cálculo de T60 sala ocupada Casa de Loja

PARTICIÓN	TIPO DE MATERIAL	SUPERFICIE m^2	ABSORCIÓN					
			$m^2 Sabine$					
			125	250	500	1k	2k	4k
PAREDES	Lana de vidrio a 1,50 metros de altura, 5,1 cm de espesor y 10 Kg/m ³ Cubierta con tela de algodón plegada a un 50%	78,47	20,40	65,13	102,79	117,70	112,99	105,93
PAREDES	Lana de vidrio a 2,50 metros de altura, 3,8 cm de espesor y 30 Kg/m ³ Cubierta con tela de algodón plegada a un 50%	43,48	7,22	32,61	58,69	68,26	65,65	60,87
PAREDES	Pared de bloque enlucida pintada	77,87	0,78	0,78	1,56	1,56	1,56	1,56
PAREDES	Flanchas de espuma de poliuretano poliéster de 0,61 x 1,22 metros	13,40	2,14	2,01	4,55	9,11	12,06	10,45
FUERTAS	Madera de 0,3cm con 5cm de cámara	16,00	4,00	5,44	2,88	1,60	1,60	0,96
PISO	Baldosa (Gres)	219,62	2,20	2,20	2,20	4,39	4,39	2,20
TECHO	Placa de Yeso de 12mm a 20 cm	524,74	152,17	72,47	26,24	20,99	36,73	47,23
TECHO	Lana de vidrio de 1,22 x 1,22 metros, 5,1 cm de espesor y 10 Kg/m ³ , cubierta con tela de algodón plegada a un 50%	14,88	1,79	7,74	14,14	14,88	14,59	14,88
VENTANAS	Doble vidrio	37,00	9,25	3,70	2,59	2,22	1,48	0,74
VENTANAS	Cortinas 475 g/m ² doblada al 50%	55,50	3,89	17,21	27,20	41,63	38,85	33,30
PISO	Persona en asiento tapizado (0,8 m ² /persona)	320,00	169,60	163,20	163,20	179,20	179,20	188,80
SUMA TOTAL		1400,95	373,43	372,48	406,03	461,53	469,09	466,91
COEF. ABS. MED			0,27	0,27	0,29	0,33	0,33	0,33
T60			0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7

Fuente: Elaborado por autor

$$RT_{mid} = \frac{RT(500\text{ Hz}) + RT(1.000\text{ Hz})}{2}$$

$$RT_{mid} = 0,75 \text{ segundos}$$

3.2.8 Resonadores

Por la geometría asimétrica de la sala, no se tiene un cálculo de modos normales de vibración, razón por la cual los resonadores descritos a continuación son planteados para mejorar el T60 de la sala en la frecuencia de 80Hz, la cual la obtenemos de los datos del software Spectra Plus.

Se intentó usar resonadores para la frecuencia de 125Hz y 250Hz pero la cantidad necesaria para cubrir la absorción prevista sobrepasa los 80 resonadores en la banda de frecuencia de 125 Hz, y los 240 resonadores en la banda de frecuencia de 250 Hz, razón por la cuál se optó por usar mayor cantidad de material absorbente y optimizar ese tiempo de construcción de tal cantidad de resonadores.

RESONADOR DE HELMHOLTZ

Fig. 34. Diseño Resonador de Helmholtz para 80 Hz

FRECUENCIA DE DISEÑO (fo)	80 Hz
λ	4,3 metros
$\lambda/16$	0,269 metros
LONGITUD DEL TUBO (L)	0,15 metros
DIÁMETRO TUBO (a)	0,0085 metros
MASA ACÚSTICA (Ma)	854,93 Kg/m ⁴
COMPLIANZA ACÚSTICA (Ca)	0,00000000462 m ⁵ /N
VOLUMEN (Vi)	0,000646 m
X	0,1 metros
Y	0,1 metros
Z	0,1 metros
ABSOR. MÁX	1,471 Sabines

Fuente: Elaborado por autor

El número de resonadores necesarios para obtener la absorción deseada es igual a:

$$\mathbf{N_{resonadores}} = \frac{A_{deseada} - A_{actual}}{A_{m\acute{a}x}}$$

$$\mathbf{N_{resonadores}} = \frac{199,747 - 75,282}{1,471} = 85$$

Suponiendo que no existe ninguna absorción en la frecuencia de 80 Hz con todo el acondicionamiento propuesto, se necesitarán 85 resonadores de Helmholtz para bajar el T60 a 1,5 segundos. Como lo anterior no se cumple y no tenemos la información de coeficientes en la banda de frecuencia de 80Hz, sabemos que por la gran absorción que estos resonadores aportan a esta frecuencia necesitaríamos menos del 40% del cálculo obtenido

3.3 Sistema Electro-Acústico

Existen dos tipos de sistemas de altavoces existentes hoy por hoy en el mercado, los sistemas convencionales y los sistemas line array.

Los sistemas convencionales han sido por años los más utilizados por su variedad de modelos y especificaciones técnicas, son sistemas cuyos ángulos de cobertura tanto en el eje horizontal como en el vertical son amplios y varían entre 30°, 45°, 60° y hasta 90°, siendo siempre el eje vertical el de menor cobertura.

La problemática de estos sistemas incide en la interacción de un parlante con el otro, al tener amplios grados de cobertura, lo que hace que existan cancelaciones entre uno o varios parlantes al ser instaladas varias filas o columnas entre sí, por lo que obligatoriamente se debe respetar los ángulos de separación dictaminados por los fabricantes, limitando en algunas veces las coberturas requeridas para cierto tipo de recintos.

Los sistemas line array han predominado actualmente por ofrecer dos características principales: el control de directividad vertical y que el sistema completo funcione como una sola fuente.

Con esta finalidad, estos sistemas han sido contruidos con una relación menor de distancia entre sus componentes, que las de un sistema convencional, haciendo que la directividad vertical sea menor, permitiendo direccionar el sistema sobre un área específica evitando reflexiones indeseadas sobre otras superficies.

La otra característica principal, es que son sistemas que se acoplan al ir ensamblando una fuente encima de la otra, por su baja cobertura vertical, con esto se logra aumentar la respuesta en bajas frecuencias entre mayor sea el número de fuentes y que todo el ensamblaje funcione como una sola fuente.

Es necesario tomar en cuenta estos elementos al elegir el tipo de sistema para una instalación, ambos pueden ser muy útiles y brindar grandes beneficios si se adecuan a las necesidades y espacio físico, es imprescindible también conocer que un sistema convencional puede funcionar con una o varias fuentes mientras que un sistema line array tiene un mínimo de fuentes para que la respuesta de frecuencia sea la adecuada y generalmente lo óptimo es un sistema no menor a 4 por columna.

Para el diseño electro-acústico de esta sala, se ha escogido trabajar con la marca de sistemas line array SLS LS650, ya que es un sistema que posee una gran particularidad en su diseño llamado RIBBON LINE ARRAY SYSTEMS.

Este es un sistema de 2 vías pasivo, compuesto por un parlante de 6 pulgadas y media, el cual reproduce frecuencias entre los 80 Hz a los 1.500 Hz y un transductor de gran rendimiento PRD500 para frecuencias entre los 1.500Hz a 40.000Hz.

El transductor PRD500 consiste en un sistema push-pull simétrico magnético de Neodimio, capaz de reproducir 50 watts RMS y hasta 500 Watts pico, reproduciendo verdaderas ondas cilíndricas.

Con estas características es un altavoz capaz de ofrecer una forma de onda coherente ideal para mantener y crear la propagación lineal que se busca en un sistema array, manteniendo una impedancia constante lineal al no depender de ningún componente inductivo.

Su respuesta de frecuencia va más allá de los 20.000 Hz y posee una gran definición y claridad al ofrecer una respuesta de frecuencia bastante plana entre los 2kHz y los 16kHz.

Para complementar el sistema se usarán los subgraves SLS 115i, los cuales tiene una repuesta de frecuencia desde 33 Hz -300 Hz.

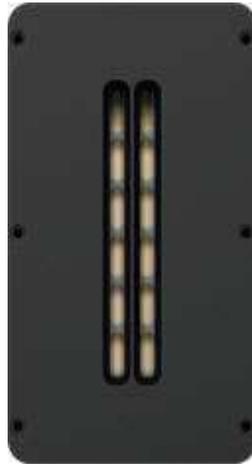
Fig. 35. SLS LS6500 sistema line array 2 vías pasivo



Fuente:

[http://intrinsicudiosolutions.com/SLS%20Audio%20LS6500%20Line %20Array%20System.htm](http://intrinsicudiosolutions.com/SLS%20Audio%20LS6500%20Line%20Array%20System.htm)

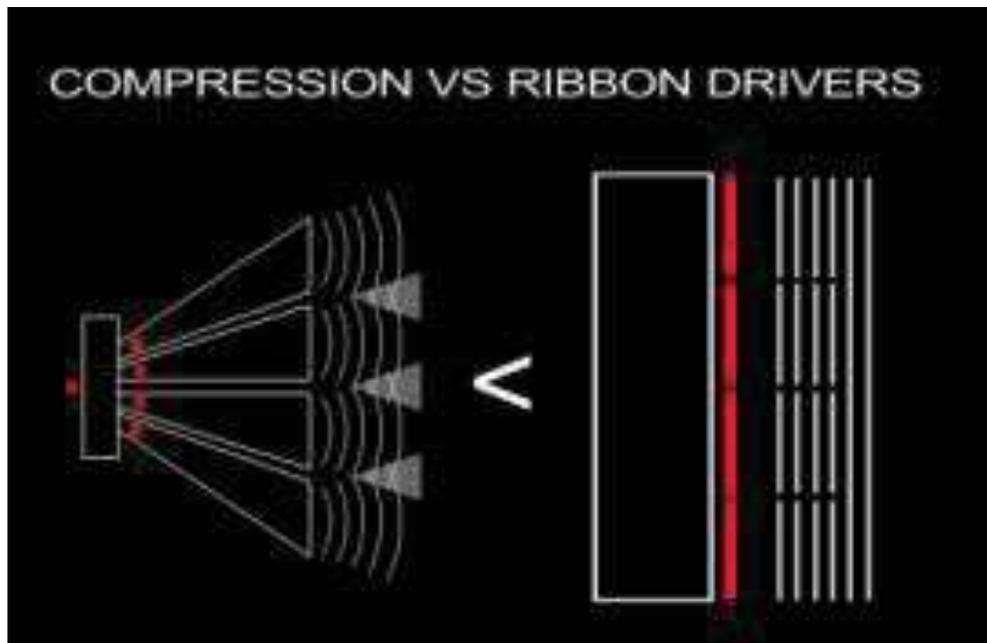
Fig. 36. SLS HF PRD500 transductor



Fuente:

<http://intrinsicudiosolutions.com/SLS%20Audio%20PRD%20Series%20Planar%20Magnetic%20Ribbon%20Drivers.htm>

Fig. 37. Diferencia entre driver de compresión y driver tipo ribbon



Fuente:

<http://intrinsicudiosolutions.com/SLS%20Audio%20PRD%20Series%20Planar%20Magnetic%20Ribbon%20Drivers.htm>

3.3.1 Modelamiento de cobertura de altavoces mediante software de predicción

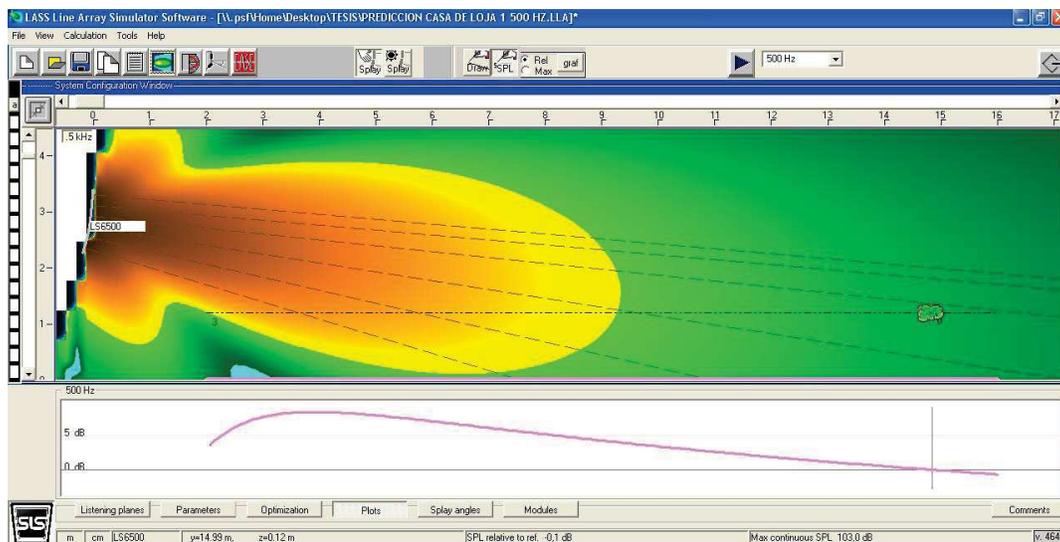
El fabricante SLS ha desarrollado su propio software de simulación y cobertura de altavoces, llamado LASS (Line Array Simulation Software), con esta herramienta se puede evaluar cuantas fuentes se requieren para cubrir el área del recinto, ángulos de cobertura, altura de sistema, respuesta de frecuencia y detalles a ser considerados al momento de una instalación.

Para realizar la siguiente predicción, se tomarán 2 consideraciones expresadas en el libro de Diseño acústico de espacios arquitectónicos pag.43 de Antoni Carrión Isbert, las cuales se detallan a continuación:

NIVEL DE PRESIÓN SONORA: $L_p \geq 90$ (dB) en las áreas de audiencia

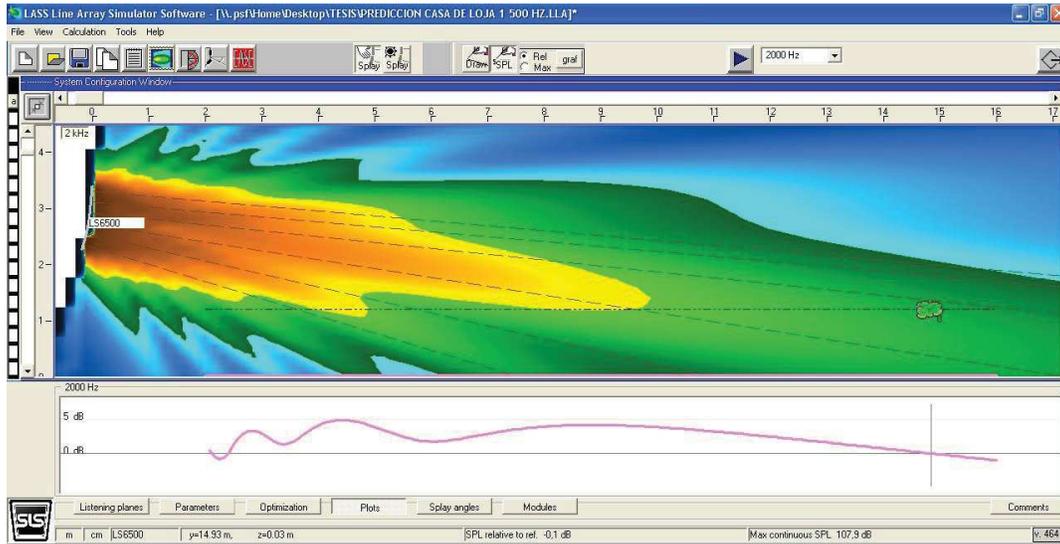
UNIFORMIDAD DE COBERTURA: $\Delta L_p \leq \pm 3$ (dB) en las bandas de 500Hz y 2kHz

Fig. 38. Modelamiento de cobertura SLS LS650 en 500 Hz



Fuente: Elaborado por autor

Fig. 39. Modelamiento de cobertura SLS LS650 en 2.000 Hz



Fuente: Elaborado por autor

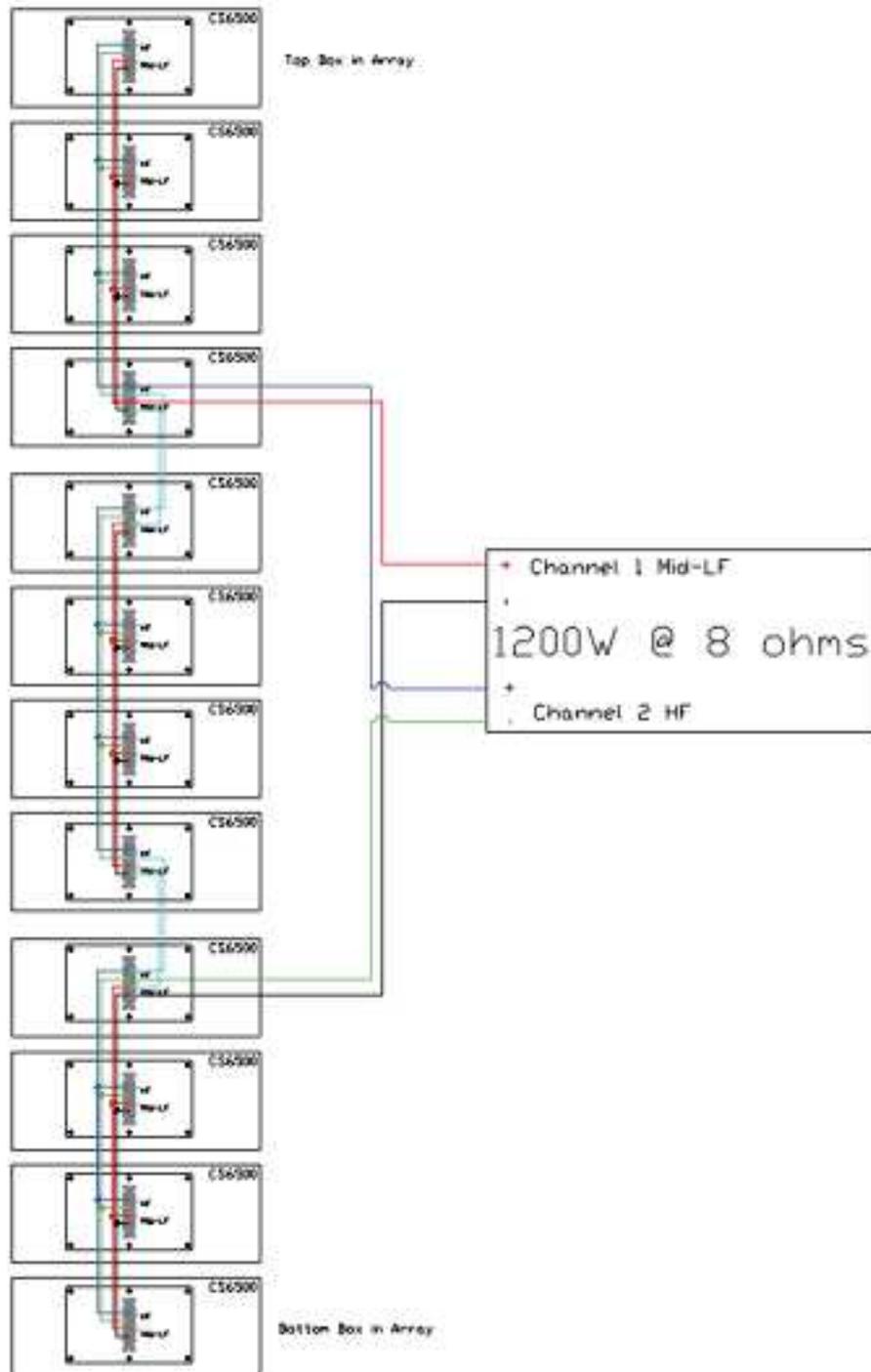
3.3.2 Configuración del sistema de altavoces

Para la configuración del sistema SLS LS650, se seguirán al detalle todas las recomendaciones del fabricante, el procesador del sistema estará programado según las especificaciones del modelo del altavoz expuestas en los anexos de este trabajo.

En los sistemas pasivos se pueden usar dos tipos de configuraciones de cableado, una es en serie y la otra en serie – paralelo.

Para el sistema SLS LS650, se usará la conexión serie – paralelo, para que con el menor número de amplificadores obtener la mayor potencia.

Fig. 40. Conexión serie – paralelo SLS LS650

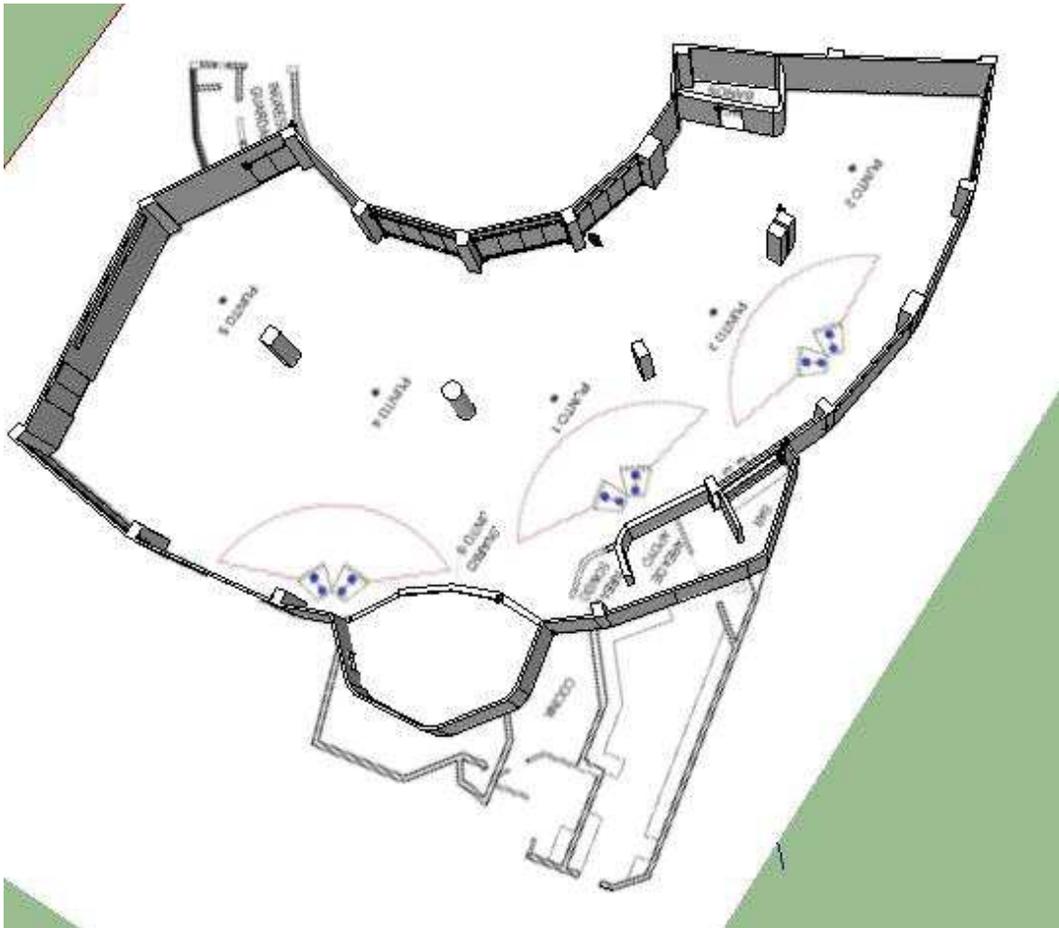


Fuente: <http://intrinsicaudiosolutions.com/LS650-1%20and%20CS6500%20SeriesParallel%20Wiring%20Solutions.pdf>

3.3.3 Ubicación del sistema de altavoces

La ubicación del sistema SLS dentro del recinto se lo hará siguiendo estándares de posición L y R, con la particularidad de que se instalará un refuerzo más para cubrir todo el ancho de la sala por la razón de que es asimétrica. En el eje vertical el sistema será colgado a la altura máxima del recinto (3,40 metros) Mediante software de predicción se ha establecido la mejor posición del sistema electro-acústico para máxima cobertura de la siguiente manera:

Fig. 41. Ubicación sistema SLS LS650



Fuente: Elaborado por autor

3.3.4 Controladores y equipo periférico

Con el avance tecnológico y la revolución de los sistemas digitales, hoy por hoy se requiere que los sistemas tanto de audio, video, iluminación y seguridad se encuentren integrados, es por eso que los controladores digitales han tomado ventana en sus prestaciones sobre equipo análogo.

Con la finalidad de que el recinto brinde todas las herramientas necesarias, y que sus equipos sean de fácil manejo con marcas y modelos reconocidos a nivel mundial, se plantea la instalación de los siguientes equipos para el control del sistema electro-acústico:

- Procesador DBX DRIVE RACK, 2 INPUTS Y 6 OUTPUTS
- Amplificadores Crown series IT
- Consola digital YAMAHA LS 9 de 32 canales
- Reproductor de CD DENNON DN-D4500

CAPITULO IV

4. MODELAMIENTO

4.1 Software EASE 4.3

Localizada en Berlín, Alemania, AFMG (Ahnert Feistel Media Group) es la compañía líder a nivel mundial en el desarrollo de software para la industria profesional de audio, medición y simulación acústica. Entre los tipos de software que han sido considerados como estándares en la industria esta compañía ha desarrollado:

- EASE
- EASERA
- EASE FOCUS
- EASERA SYSTUNE
- EASE ADDRESS
- EASE SPEAKER LAB

El software EASE ha sido desde 1990, el más popular y usado en el mundo como una herramienta profesional para simulación acústica tanto en recintos cerrados como recintos al aire libre, así como predicción en el comportamiento de cadenas electroacústicas.

EASE contiene la base de datos más completa en marcas de transductores a nivel mundial, lo que nos permite simular casi toda cadena electroacústica existente en el mercado actual.

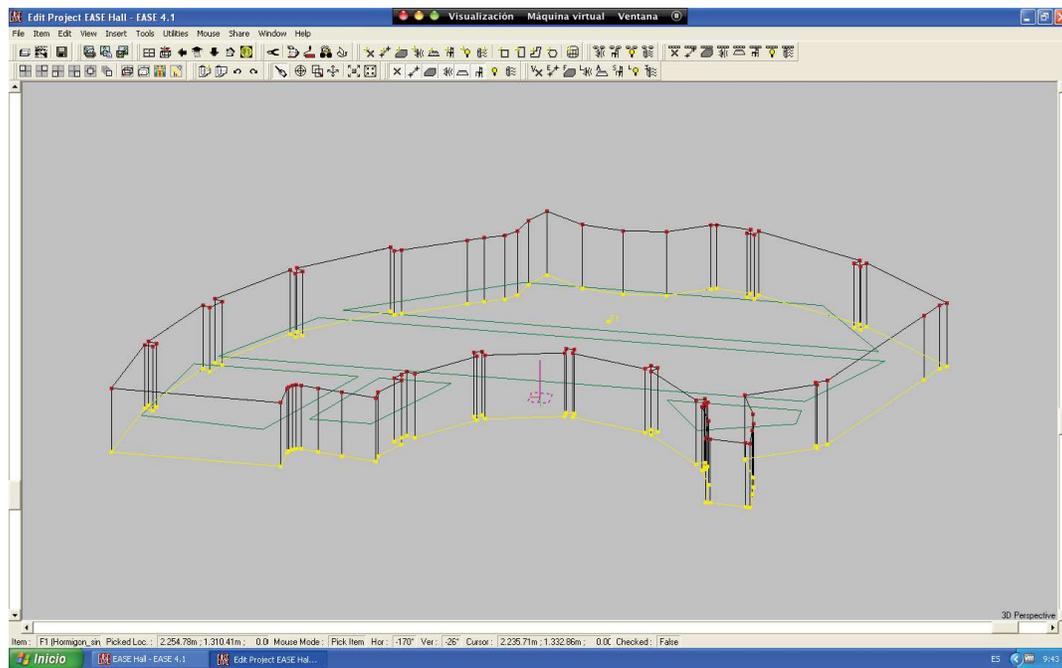
El modelamiento de un recinto en EASE 4.3, se lo puede hacer de dos formas, una es diagramando en su ventana principal para realizar el levantamiento de planos, y la segunda importando archivos, planos y gráficas desde programas muy conocidos como Autocad, Sketch up de Google, entre otros.

Por su flexibilidad, precisión y herramientas, es EASE 4.3 el software más amigable en el mercado, y la razón principal por la que se lo ha escogido para realizar este trabajo de tesis.

4.2 Modelamiento del Recinto mediante Software EASE 4.3

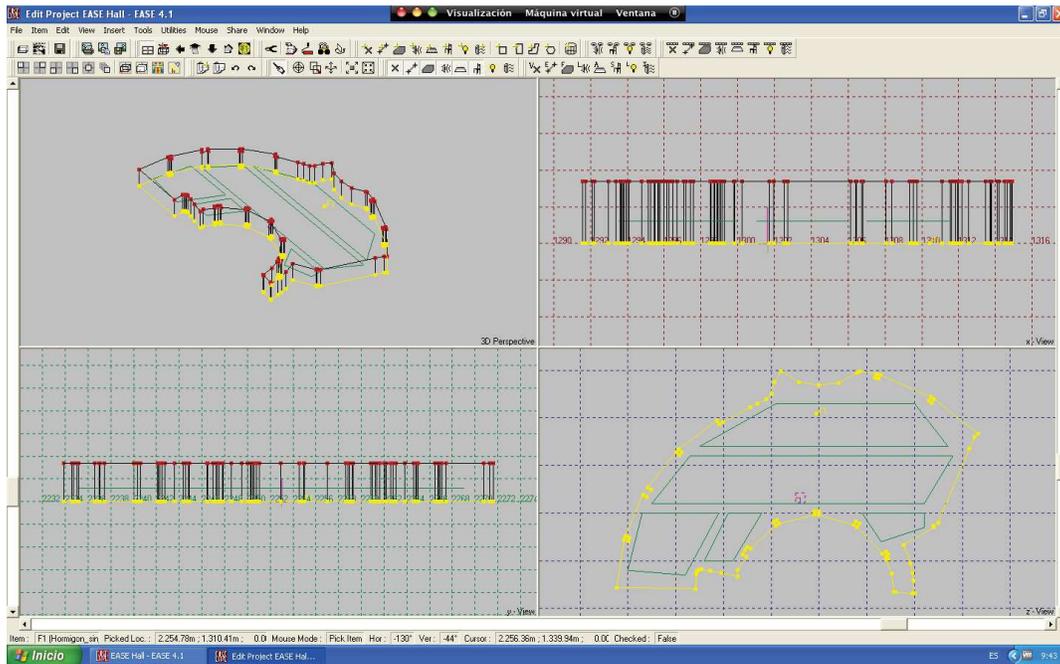
Para realizar el modelamiento del recinto, se ha importado el plano desde Auto Cad en 3D, herramienta de fácil acceso y que nos permite ahorrar mucho tiempo en el diseño.

Fig. 42. Casa de Loja, archivo importado de AutoCad



Fuente: Elaborado por autor

Fig. 43. Casa de Loja, archivo importado de AutoCad



Fuente: Elaborado por autor

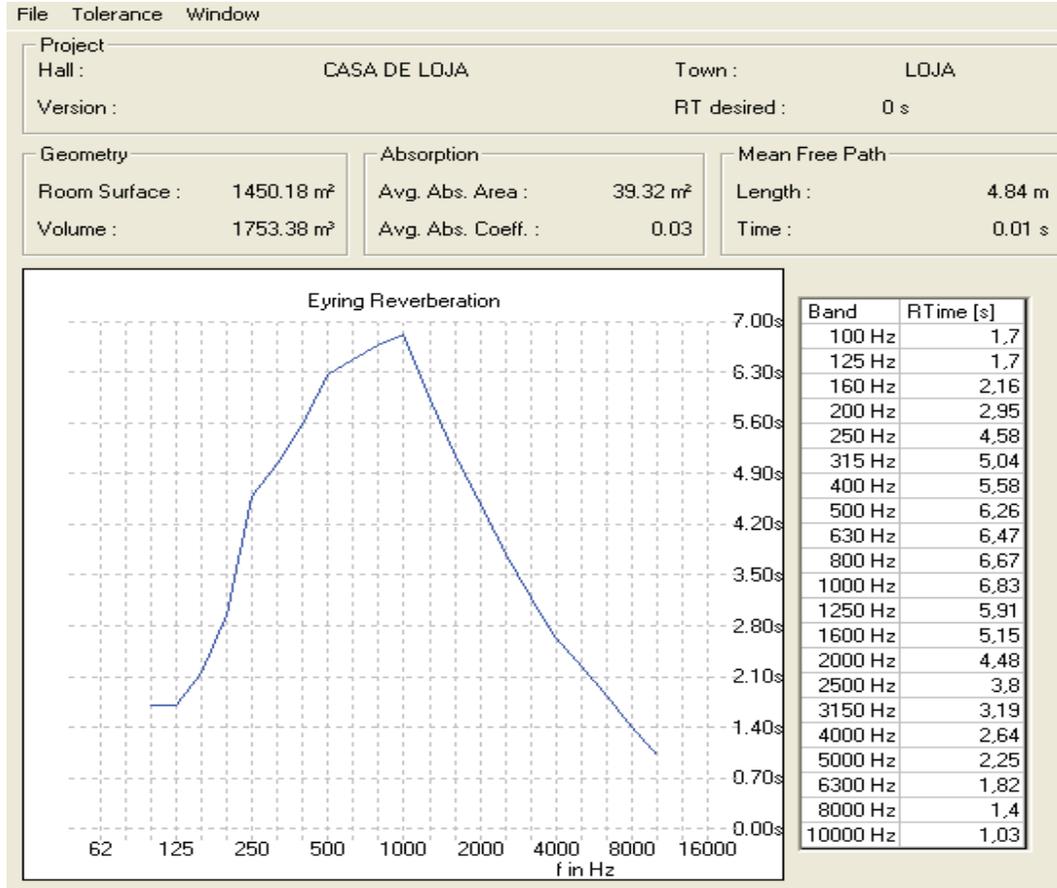
4.3 Estimación de Parámetros

4.3.1 T60

Con motivo de estar lo más cerca a la realidad del recinto y evaluar que los cálculos realizados anteriormente acierten en un alto grado, se ha decidido calcular parámetros de T60 de la sala sin ningún tratamiento acústico y con la propuesta de acondicionamiento, usando la teoría establecida por Eyring con el software EASE 4.3.

SALA AL MOMENTO ACTUAL

Fig. 44. Casa de Loja, tiempo de reverberación sala actual EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

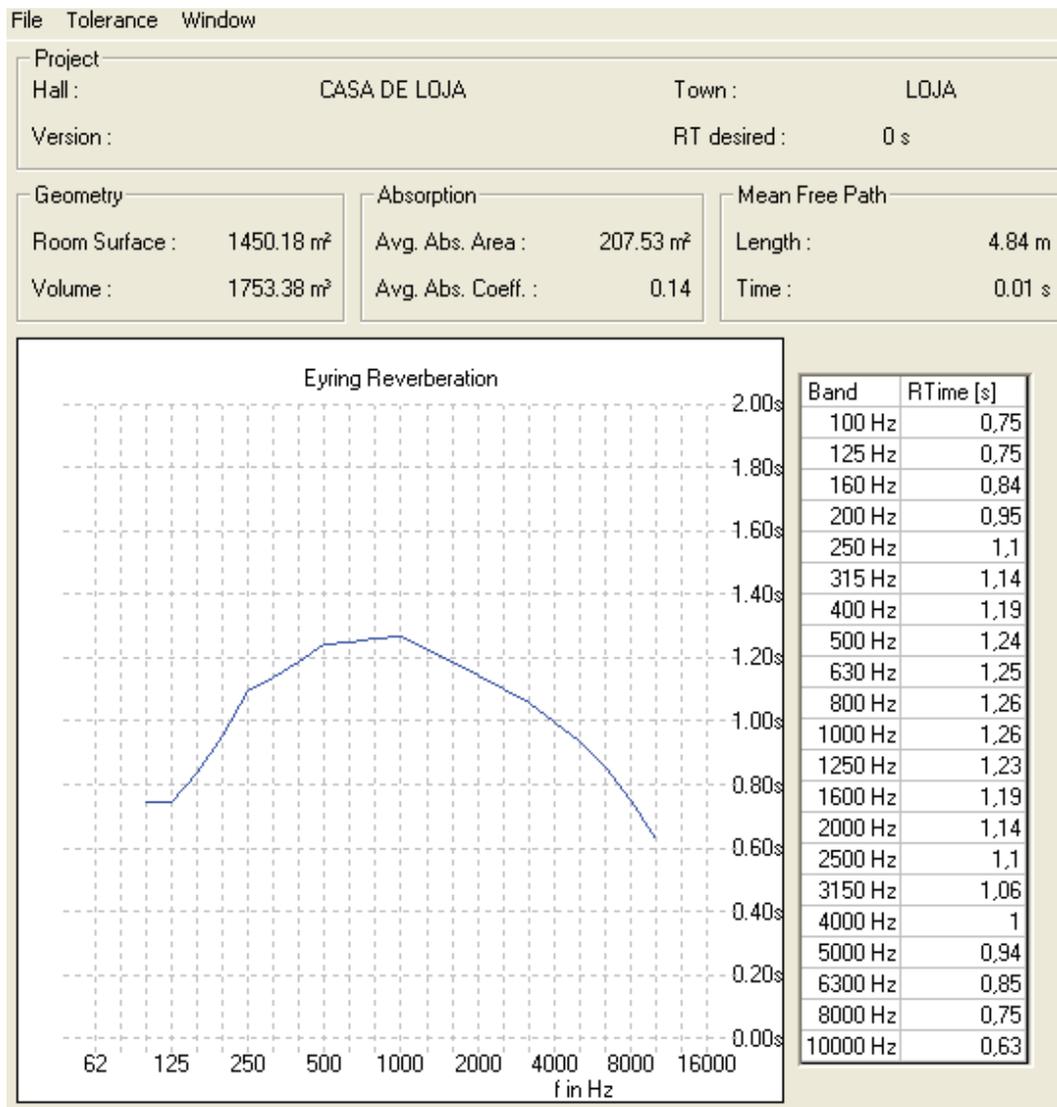
Como resultado tenemos un valor de RTmid más alto del obtenido mediante mediciones.

$$RT_{mid} = \frac{RT(500\text{ Hz}) + RT(1.000\text{ Hz})}{2}$$

$$RT_{mid} = 6,5 \text{ segundos}$$

SALA CON PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Fig.45. Casa de Loja, tiempo de reverberación con propuesta de acondicionamiento Acústico EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

Como resultado tenemos un valor similar de RTmid en comparación al valor obtenido mediante mediciones.

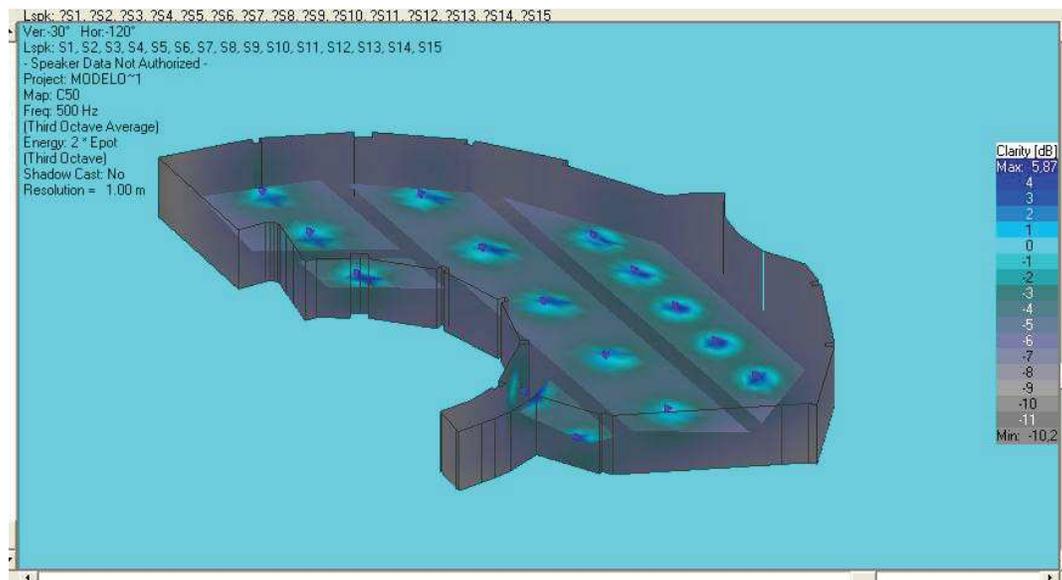
$$RT_{mid} = \frac{RT(500\text{ Hz}) + RT(1.000\text{ Hz})}{2}$$

RT mid = 1,25 segundos

4.3.2 Claridad de la voz (C50)

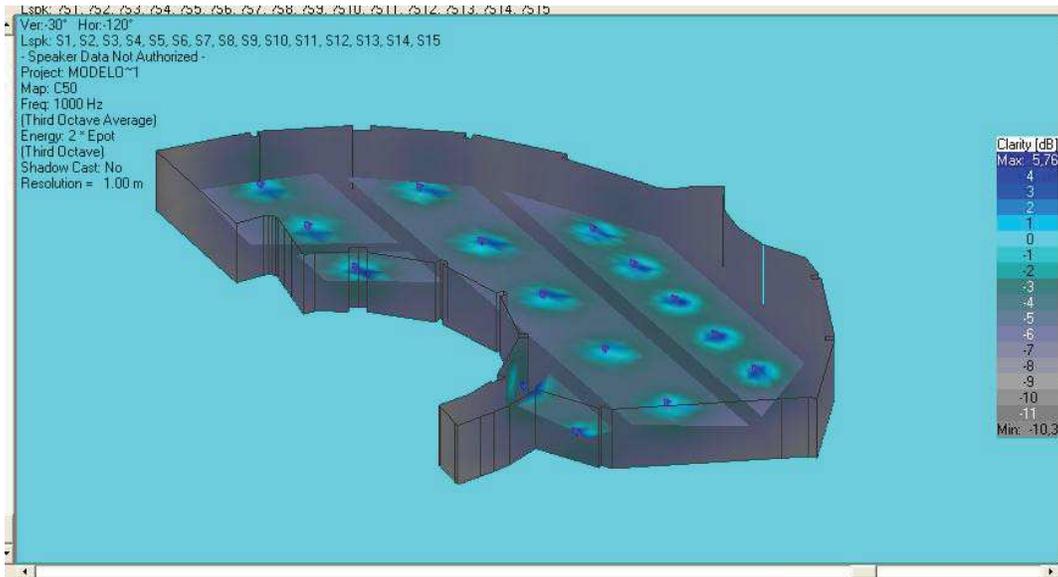
Obtenidos los datos de C50 de cada punto de la sala, y con los factores de ponderación establecidos a continuación describimos el cálculo como media aritmética ponderada correspondiente a las bandas de frecuencia por banda de octava desde 500 Hz hasta 4kHz, el cuál recibe el nombre del speech average.

Fig. 46. Casa de Loja, C50 500Hz EASE 4.3



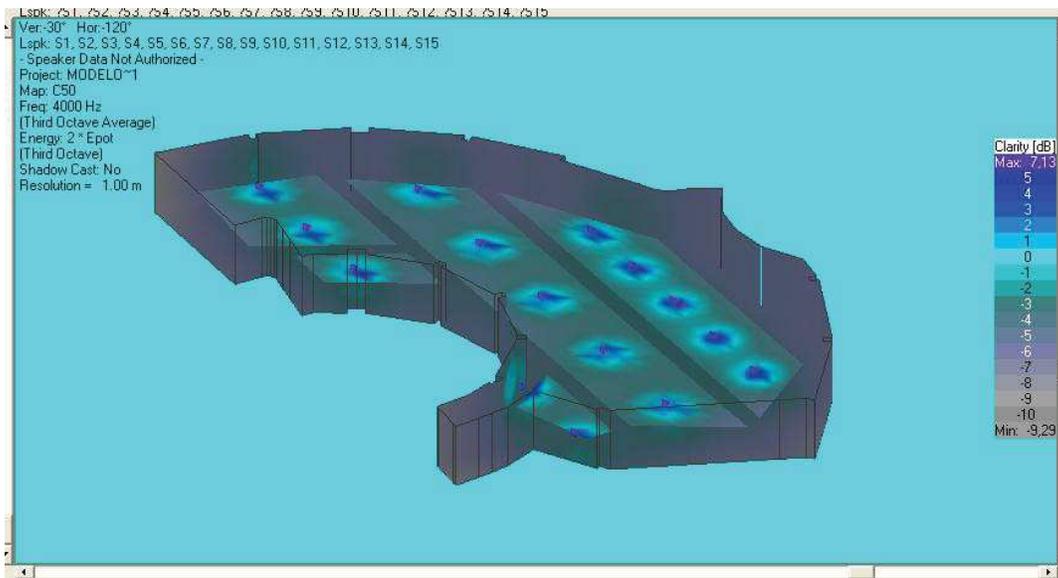
Fuente: Elaborado por autor

Fig. 47. Casa de Loja, C50 1kHz EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

Fig. 48. Casa de Loja, C50 4kHz EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

$$\text{SPEECH AVERAGE (C50)} = 0,15 * (2) + 0,25 * (2) + 0,35 (3) + 0,25 * (4)$$

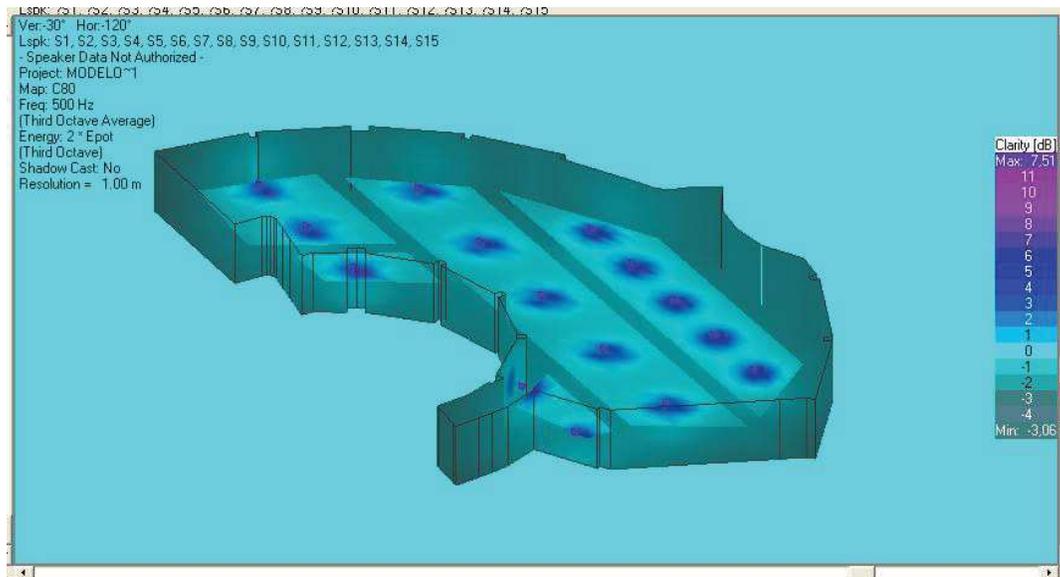
$$\text{SPEECH AVERAGE (C50)} = 2,85 \text{ dB}$$

El valor de C50 de sala en cada punto está por encima del valor recomendado cuando el C50 es mayor a 2 dB

4.3.3 Music average (C80)

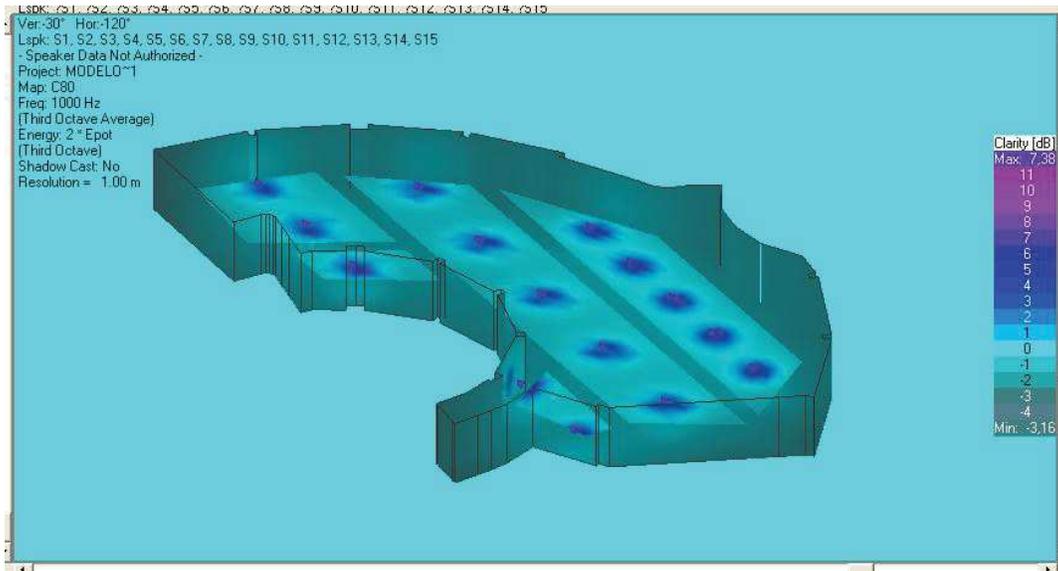
Obtenidos los datos de C80, utilizaremos la recomendación de Beranek correspondiente a las bandas de frecuencia por banda de octava desde 500 Hz hasta 2kHz. Se debe tomar en cuenta que este parámetro no solo depende de la relación energética existente en la sala, sino que intervienen parámetros musicales y el tipo de interpretación y habilidad de los músicos ejecutantes.

Fig. 49. Casa de Loja, C80 500Hz EASE 4.3



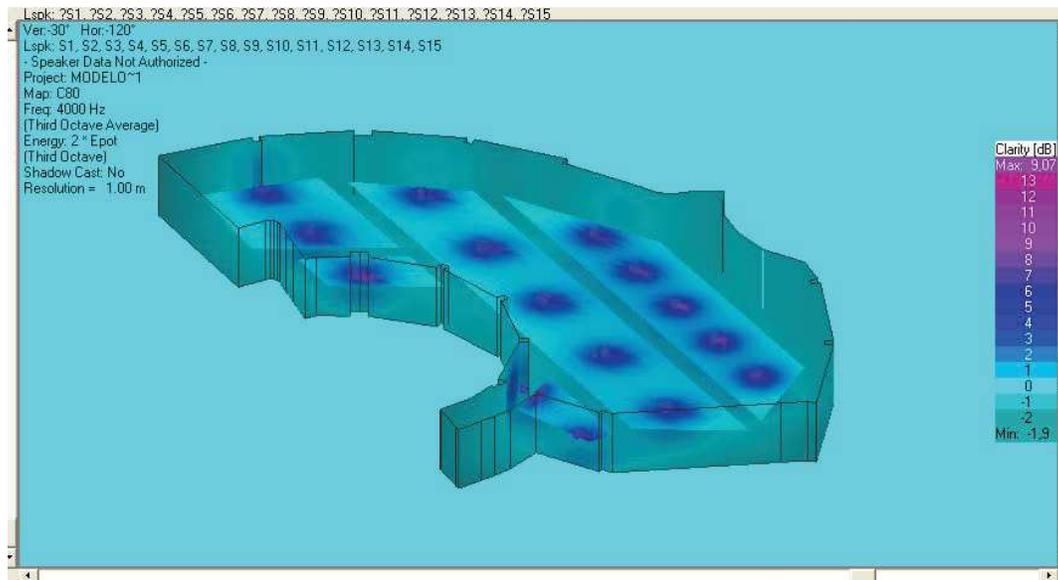
Fuente: Elaborado por autor

Fig. 50. Casa de Loja, C80 1kHz EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

Fig. 51. Casa de Loja, C80 4kHz EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

$$\text{C80 (MUSIC AVERAGE)} = (-1 - 1 + 1) / 3$$

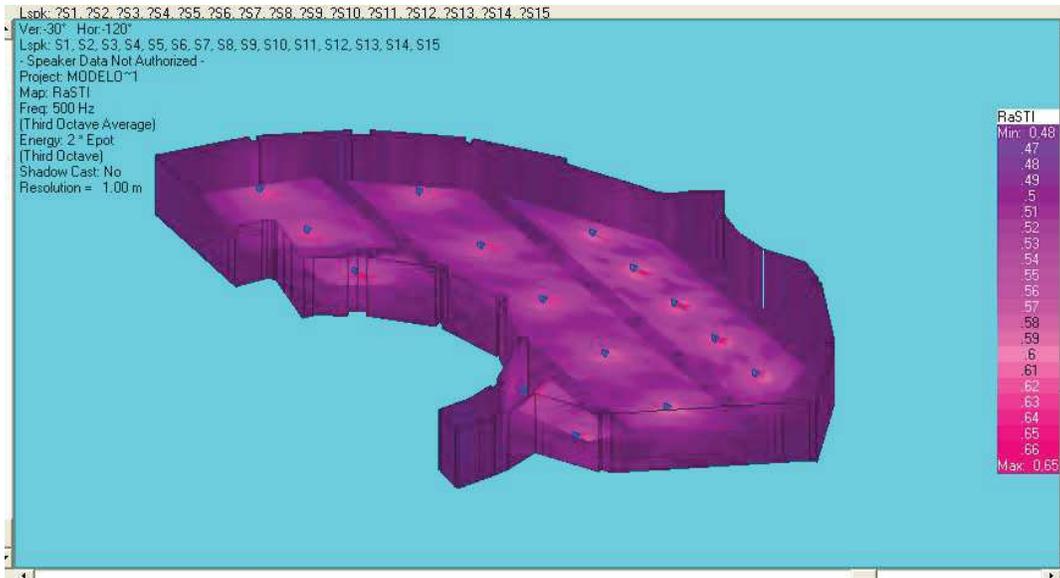
$$\text{C80 (MUSIC AVERAGE)} = -0,33 \text{ dB}$$

El valor de C80 de sala en cada punto está entre los valores preferentemente recomendados entre -4 y 0 dB para sala vacía.

4.3.4 Inteligibilidad de la palabra (RASTI)

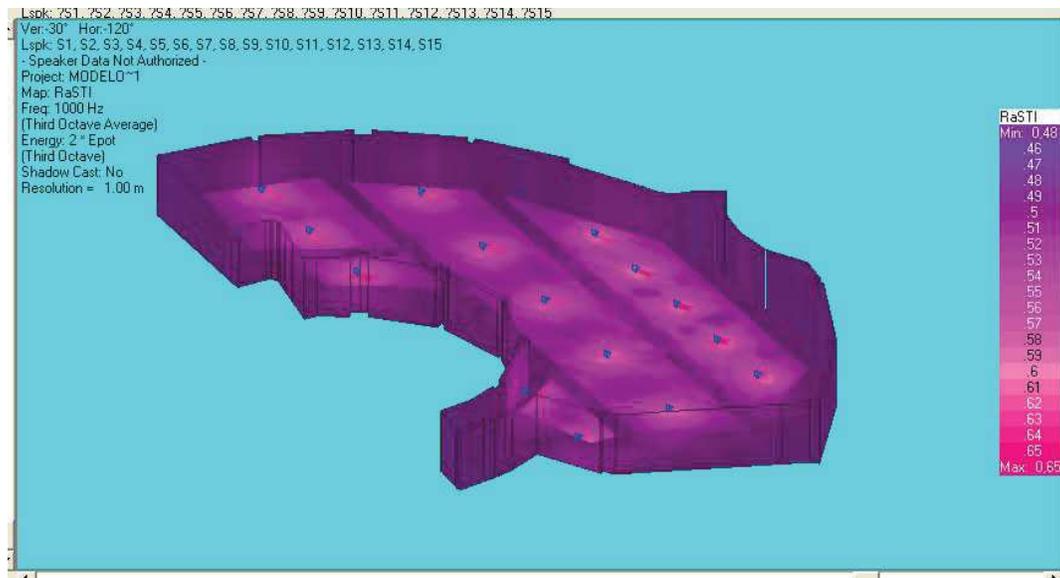
La evaluación de la inteligibilidad dentro de una sala se la puede realizar mediante varios estimadores, en este caso particular se ha utilizado RASTI y mediante la tabla de valoración subjetiva del grado de inteligibilidad evaluaremos esta sala.

Fig. 52. Casa de Loja, RASTI 500Hz EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

Fig. 53. Casa de Loja, RASTI 500Hz EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

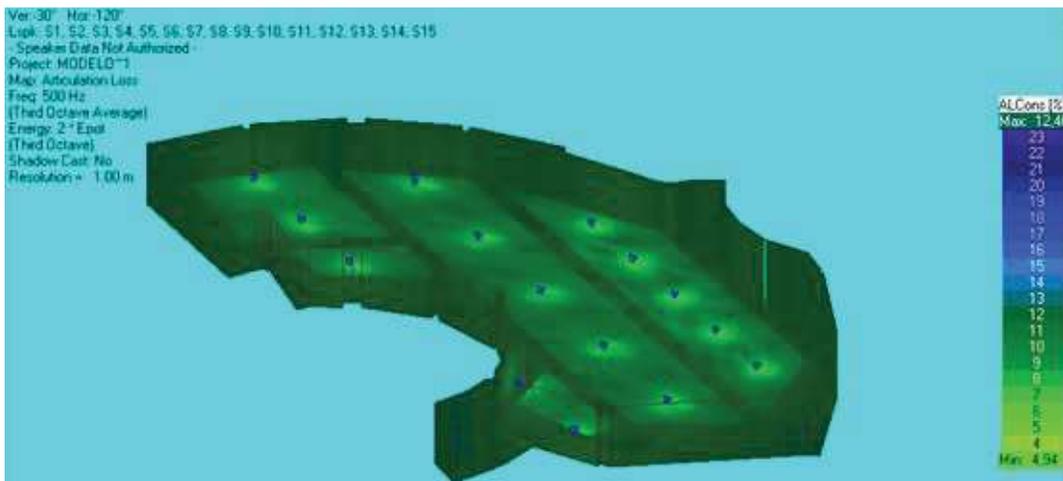
Los valores RASTI en los que se encuentra la sala van entre 0,5 a 0,61, lo que describe una valoración subjetiva de aceptable.

4.3.5 Pérdida de articulación (% ALCons)

Establecida como el porcentaje de pérdida de articulación de consonantes, el grado de inteligibilidad se atribuye a la correcta percepción de las consonantes en la transmisión de un mensaje hablado.

A continuación se establecen los porcentajes de ALcons para esta sala:

Fig. 54. Casa de Loja, %ALcons 500Hz EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

Fig. 55. Casa de Loja, %ALcons 2000Hz EASE 4.3



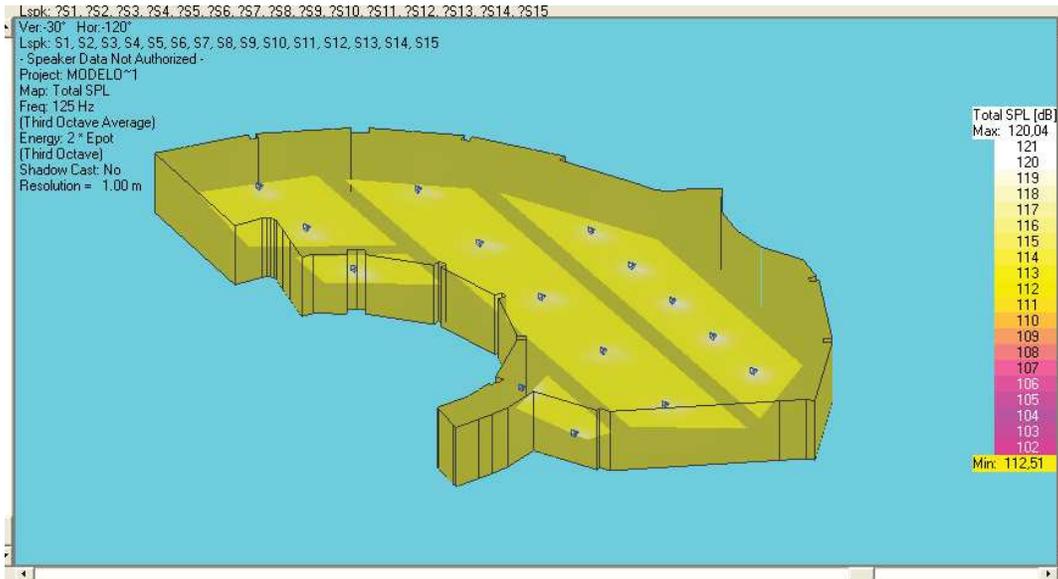
Fuente: Elaborado por autor

Los valores de %ALcons se encuentran entre 4,77 – 11,44, lo que según la tabla de valoración subjetiva de inteligibilidad se encuentra entre buena y aceptable.

4.3.6 Nivel de presión sonora

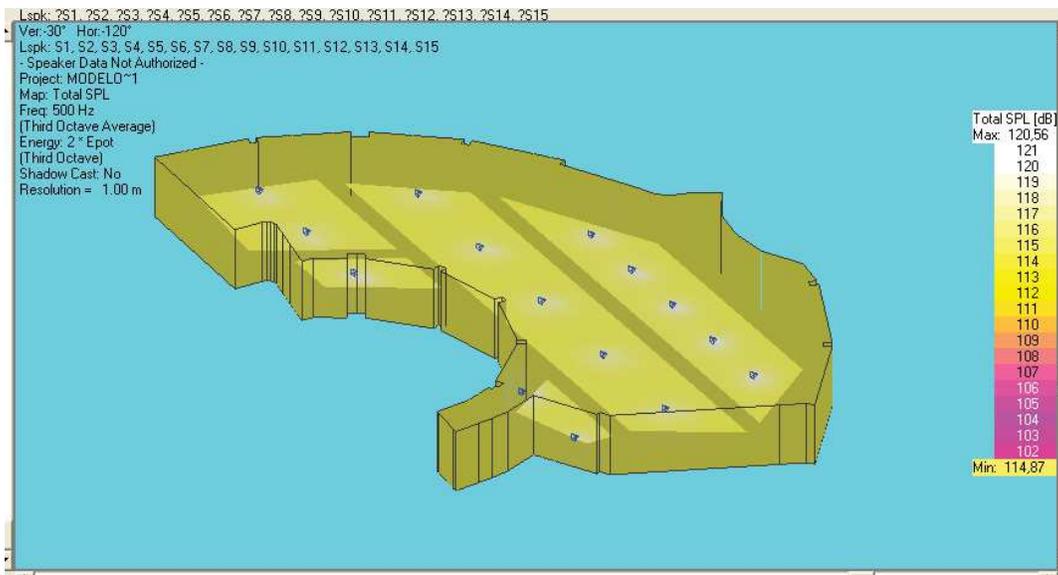
Según la teoría establecida de NPS, el objetivo es conseguir homogeneidad en la sala y un mínimo de 90 dB en las áreas de audiencia.

Fig. 56. Casa de Loja, NIVEL DE PRESIÓN SONORA 125 Hz EASE 4.3



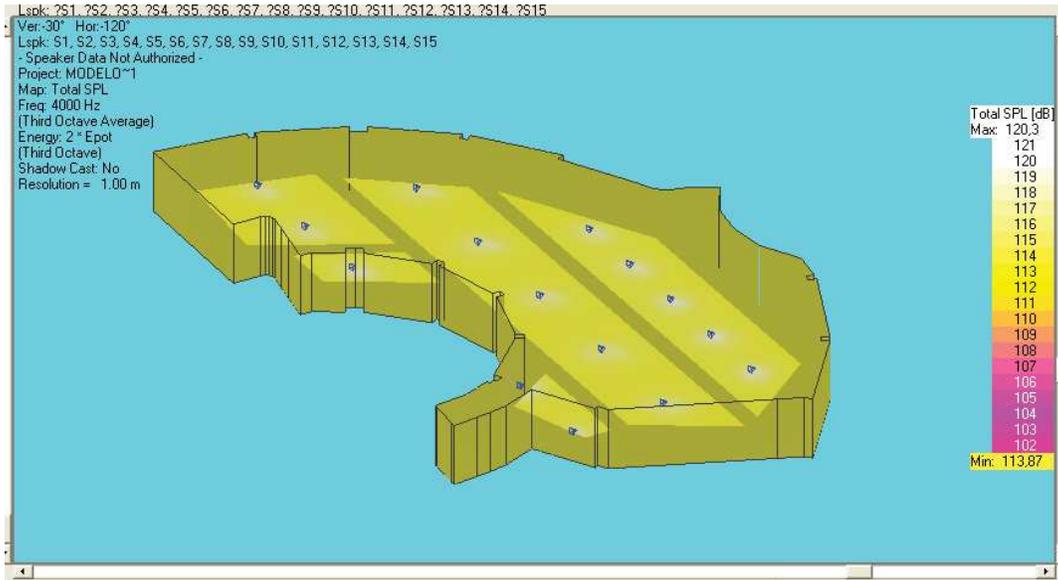
Fuente: Elaborado por autor

Fig. 57. Casa de Loja, NIVEL DE PRESIÓN SONORA 500 Hz EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

Fig. 58. Casa de Loja, NIVEL DE PRESIÓN SONORA 4kHz EASE 4.3



Fuente: Elaborado por autor

Con la simulación podemos ver que el NPS en las áreas de audiencia está por encima de los 90 dB y sin variaciones que sobrepasen los 3 dB.

CAPITULO V

5. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

5.1 Diseño, Ingeniería e Implementación

Este rubro incluye: mediciones realizadas In Situ, Ingeniería, diseño del aislamiento, acondicionamiento, cadena electro-acústica y la implementación del proyecto: \$ 4.000

5.2 Presupuesto de Aislamiento Acústico

5.2.1 Materiales

Fig. 59. Presupuesto aislamiento acústico materiales

ELEMENTOS	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
VENTANAS	Vidrio de 4mm, marcos e instalación	\$ 80 m ²	\$ 2960
PUERTAS	CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	\$ 400 c/u	\$ 3200
ESPUMA DE POLIURETANO PARA JUNTURAS PEQUEÑAS	SPRAY	\$ 12	\$ 100
MORTERO		\$ 15	\$ 15
SUBTOTAL			\$ 6275

Fuente: Elaborado por autor

5.2.2 Mano de obra

Fig. 60. Presupuesto aislamiento acústico mano de obra [80]

NUMERO PERSONAS	ACTIVIDAD	TIEMPO	PAGO TOTAL
2	SELLADO TOTAL DE JUNTURAS	1 Semana	\$200
SUBTOTAL			\$ 200

Fuente: Elaborado por autor

5.3 Presupuesto de Acondicionamiento Acústico

5.3.1 Materiales

Fig. 61. Presupuesto acondicionamiento acústico materiales [81]

ELEMENTOS	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ACUSTIFIBRA	3,8 mm 1,22 X 2,44 metros	\$ 37,21 X 15	\$558,15
AISLHOGAR	5,1 mm 1,22 X 15 METROS	\$ 63,80 X 6	\$ 382,8
TELA DE ALGODÓN	1 m ²	\$ 6 X 137	\$ 822
FONAC	0,60 X 0,60 metros	\$ 40 x 37	\$ 1480
CORTINAS	1 m ² instalado	\$ 20 X	\$ 1120
SUBTOTAL			\$ 4362,95

Fuente: Elaborado por autor

5.3.2 Mano de obra

Fig. 62. Presupuesto acondicionamiento acústico mano de obra [82]

NUMERO PERSONAS	ACTIVIDAD	TIEMPO	PAGO TOTAL
2	INSTALACIÓN ACONDICIONAMEINTO	1 Semana	\$200
SUBTOTAL			\$ 200

Fuente: Elaborado por autor

5.4 Presupuesto de Sistema Electro-Acústico

Fig. 63. Presupuesto sistema electro-acústico [83]

ELEMENTOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
SISTEMA DE PARLANTE SLS LS650	12	\$ 1800	\$21600
PROCESADOR DIGITAL DBX DRIVE RACK	1	\$ 1900	\$ 1900
CONSOLA DIGITAL YAMAHA LS 9	1	\$ 8700	\$ 8700
MEDUSA 32 CANALES Y 8 ENVÍOS	1	\$ 600	\$ 600
MONITORES DE PISO SLS 112 RM	6	\$ 900	\$ 5400
SISTEMA DE MICROFONERÍA SHURE	12	\$ 250	\$ 3000
PEDESTALES DE MICRÓFONO	12	\$ 80	\$ 960
RIGGINS Y PUNTOS DE ANCLAJE	3	\$ 980	\$ 2940
CABLEADO	200 metros	\$ 3	\$ 600
SUBTOTAL			\$ 45700

Fuente: Elaborado por autor

5.5 Presupuesto Total de Implementación

El costo total del proyecto incluido todos los rubros detallados anteriormente,
materiales, mano de obra, importaciones e ingeniería\$60.737,95

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Como resultado de la inspección del lugar, se logra deducir que los problemas de altos niveles de ruido de fondo dentro del recinto se deben a juntas no terminadas en el proceso de construcción.
- Con el acondicionamiento propuesto, se logra reducir la cantidad de reflexiones dentro del recinto, obteniendo mejor inteligibilidad en la palabra y un mensaje claro.
- Se han cumplido los objetivos de tiempo de reverberación, ya que los nuevos valores están entre 0,8 y 1,2 que es lo aconsejable para salas de conferencias.
- Con la instalación de un sistema electro acústico integrado y moderno, se amplían el tipo de actividades que pueden realizarse en el recinto, ya que cuenta con todas las herramientas necesarias.
- Mediante modelamiento de la sala con el uso de EASE 4.3, podemos darnos cuenta del margen de error que se obtiene entre las mediciones hechas in situ y la predicción.
- Mediante modelamiento de la sala se puede concluir que la propuesta de acondicionamiento acústico va a beneficiar más a actividades musicales realizadas, que a mensajes orales.

- Mediante el modelamiento se puede concluir que los parámetros de diseño han sido cumplidos y que la propuesta de acondicionamiento coincide con bajos márgenes de error con los cálculos realizados.

6.2 RECOMENDACIONES

- Realizar la implementación del diseño tomando en cuenta todas las disposiciones expuestas en el presente trabajo, y cumplir con los materiales y mediadas al detalle.
- Si se requiere reemplazar algún material, se recomienda consultar con el diseñador para buscar un material con coeficientes de absorción muy similares.
- Se recomienda mantener los espacios y equipos libres de polvo o sustancias que puedan dañar o corroer los materiales.
- Se recomienda capacitar al personal sobre el cuidado y manejo de los sistemas electro acústicos, con al finalidad de ofrecer un gran soporte a los clientes y alargar la vida útil de los equipos.
- Se recomienda llevar una agenda de mantenimiento y dar aviso al instalador sobre daños o problemas que se susciten para dar una solución pronta y no permitir el desgaste acelerado del acondicionamiento e instalación
- Contactar al instalador si existieran fugas, rupturas daños en tuberías de agua que filtren o dañen el/los materiales instalados en el recinto.

REFERENCIAS

LIBROS

- CARRIÓN, Antoni, Diseño Acústico de espacios arquitectónicos, Editorial UPC, primera edición, Barcelona, 1998
- EICHE, Jon, Gude to sound systems for workshop, Editorial Hall Leonard, 1990
- HIGINI, Arau, El ABC de la acústica arquitectónica, Editorial CEAC, primera edición, España, 1999
- MILES, David, Modern Recording Techniques, Editorial Focal Press, quinta edición, USA, 1997
- MIYARA, Federico, Acústica y Sistemas de Sonido, Editorial Paraninfo, Madrid, 2001
- RECUERO, Manuel, Acústica Arquitectónica Aplicada, Editorial Paraninfo, Madrid, 1999
- SOMMERHOFF, Jorge, Acústica de Locales, Editorial UACH, Chile, 2005

PAGINAS WEB

- <http://www.afmg.eu/index.php/company.html>
- <http://ease.afmg.eu/>
- <http://www.estudiodegrabacion.eu/wp-content/uploads/2010/05/curvancrecomendada.jpg>
- <http://www.estudiograbacion.com/2010/05/curvas-nc-evaluacion-del-ruido-de-fondo-en-una-sala/>

ANEXOS

ANEXO 1

EXTRACTO DE LA NORMA INTERNACIONAL ISO 3382. ACOUSTICS – MEASUREMENT OF THE REVERBERATION OF ROOMS WITH REFERENCE TO OTHER ACOUSTICAL PARAMETERS.SEGUNDA EDICIÓN 1997.

5 Measurement procedures

5.1 General

Two methods of measuring the reverberation time are described in this standard: the interrupted noise method and the integrated impulse response method. Both methods have the same expectation value but the latter requires more sophisticated instrumentation. If room acoustic measures other than the reverberation time are to be measured only the latter method is relevant, as these are based on the impulse response.

NOTE 20 It is preferable to measure reverberation times in octave bands from 63 Hz to 4 kHz in concert halls and rooms for speech. For measurements in rooms for other purposes measurements in one-third-octave bands from 100 Hz to 5 kHz can be applied.

5.2 Interrupted noise method

5.2.1 Excitation of the room

A loudspeaker source shall be used and the signal fed into the loudspeaker shall be derived from broadband random or pseudo-random electrical noise. When using a pseudo-random noise, it shall be randomly ceased, not using a repeated sequence.

The sound source should be as omni-directional as possible.

For measurements in octave bands the bandwidth of the signal shall be greater than one octave and for measurements in one-third-octave bands the bandwidth of the signal shall be greater than one-third octave. The spectrum shall be reasonably flat within the actual octave band to be measured. Alternatively, the broadband noise spectrum may be shaped to provide an approximately pink spectrum of steady-state reverberant sound in the enclosure from 88 Hz to 5 657 Hz (i.e. a range covering the one-third-octave bands with midband frequencies from 100 Hz to 5 kHz or octave bands from 125 Hz to 4 kHz) with the reverberation time being measured simultaneously in different octave or one-third-octave bands.

The duration of excitation of the room needs to be sufficient for the sound field to have achieved a steady state before being allowed to decay, and thus it is essential for the noise to be radiated for a minimum period of 7/2 seconds. In large volumes the duration of the excitation shall be at least a few seconds.

NOTE 21 Broadband noise excitation puts more severe requirements on the power handling capacity of the loudspeaker system to maintain the required signal-to-noise ratios.

5.2.2 Number of measurements

The number of microphone positions used will be determined by the coverage required. However, in view of the randomness inherent in the source signal, it is necessary to average over a number of measurements at each position in order to achieve an acceptable repeatability (see 6.1.1). Therefore, a minimum of three measurements shall be made at each position and the results averaged. Then, either

- find the individual reverberation times for all the decay curves and take the mean value, or
- make an ensemble average of the squared sound pressure decays and find the reverberation time of the resulting decay curve.

The method used shall be stated in the test report. If ensemble averaging is used it is allowed to make only one measurement in each of a minimum of 18 positions instead of using six positions with three measurements at each position.

NOTE 22 In the limit of an infinite number of measurements with interrupted noise the ensemble averaged decay curve will be identical with that of a single integrated squared impulse response.

**SISTEMA EAW EP3 3 VÍAS ACTIVO ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
FUENTE UTILIZADA PARA REALIZAR MEDICIONES DE T60 Y MNV.**

Physical

System Configuration	3-way, full range
Product Group	S
LF Subsystem & Loading	One 15 in woofer, vented
MF Subsystem & Loading	One 8 in cone, horn-loaded
HF Subsystem & Loading	One 1.4 in exit/3 in voice coil neodymium compression driver on CD horn
Enclosure Material	Exterior grade Baltic birch plywood
Finish	Wear resistant textured black paint
Connector	One female XLR, one male XLR input (pin 2 hot) One Neutrik PowerCon (AC mains)
Suspension Hardware	Six 3-position fly track with integral 3/8-16 mounting/suspension points
Grille	Powder coated perforated steel
Companion Subbass	EP1
Optional Accessories 1	Fly clip with ring, (0001386)
Optional Accessories 2	3/8-16 forged shoulder eyebolt, (104001)

Dimensions (±0.13 in / ±3 mm)

Height	34.00 / 864
Front Width	19.75 / 502
Rear Width	11.00 / 279
Depth	22.00 / 559
Trapezoid Angle (degrees)	15 per side

Performance

Frequency Response

±3 db	62 Hz to 18 Hz
-10 dB	45 Hz

Axial Sensitivity (dB SPL, 1 watt @ 1 m)

Nominal Input Impedance (ohms)

Power Handling (watts, continuous)

Calculated SPL Limit (referenced to 1 m)

Full Range Passive Peak	133.3
Full Range Long Term	127.3

Nominal Dispersion (degrees @ - 6 dB)

Horizontal	65°
Vertical	45°



SISTEMA RIBBON LINE ARRAY SLS LS650. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. PROPUESTA DE SISTEMA ELECTROACÚSTICO

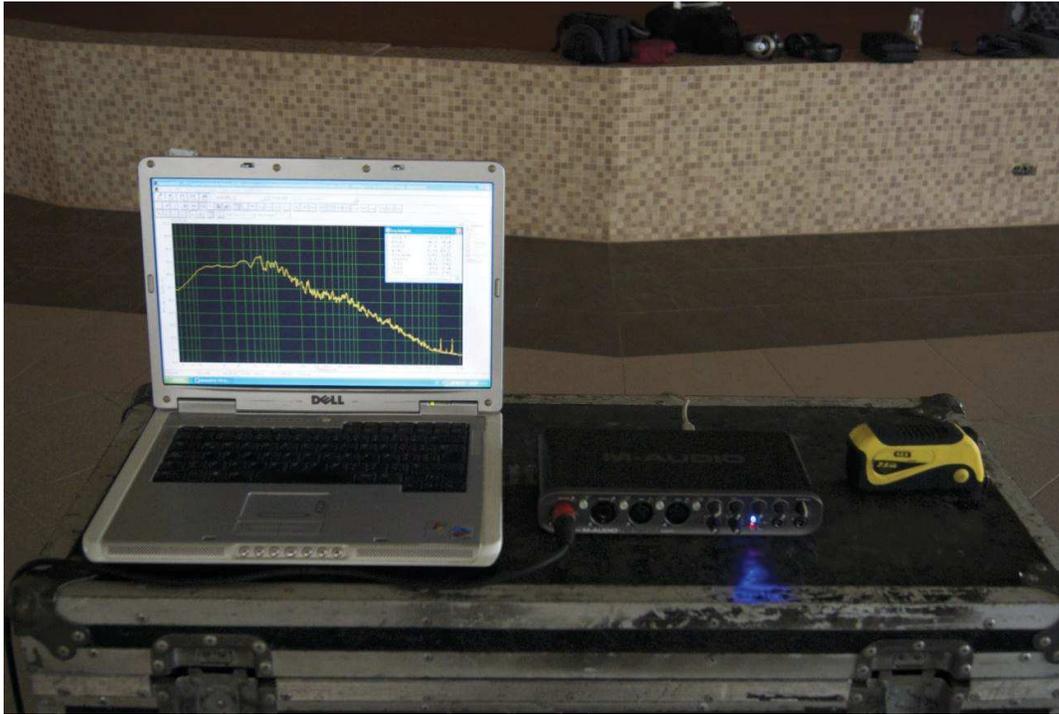
Product Specifications	
Operating Range ¹	85Hz - 20,000Hz
Sensitivity (1W/1M) - Low Freq. ²	91dB
High Freq.	101dB
Horizontal Coverage Angle -5dB ³	110 Degrees
Vertical Coverage Angle	Defined by height and configuration of the array
Power Handling - Low Freq. ⁴	100W (28 Volts) AES/2
High Freq.	145W (32 Volts) IEC Short Term 46W (18 Volts) IEC Long Term 35W (15.6 Volts) AES/2
Recommended Amp Power for Max Output	
Low Freq.	200 Watts @ 8 ohms
High Freq.	150 Watts @ 8 ohms
Max SPL (calculated) 1 Meter - Low Freq. ⁵	111dB Cont. / 117dB Peak
High Freq.	118dB Cont. / 123dB Peak
Nominal Impedance - Low Freq.	8 Ohms
High Freq.	7 Ohms
Crossover Frequency	DSP Settings Provided
Transducers - Low Freq.	6.5" Bass/Mdrange
High Freq.	PRD500 Ribbon
Input	NL4 x2 (Pair 1 = LF, Pair 2 = HF) Barrier strip for I version
Dimensions	7.25" (18.4cm) H (front side) 5.5" (14cm) H (rear side) 14" (35.6cm) W 10" (25.4cm) D
Enclosure	13ply Baltic Birch
Weight	20lbs (9kg) Shipping 26lbs (11.8kg)
Rigging	All array rigging is included
Optional Accessories	RLA/3-BB - Rigging Frame RC-LS6500 Road Case (holds 8 LS6500s)
Finish Options	Black Latex White Latex (w/ white rigging) Paintable Natural Finish (w/ black rigging)

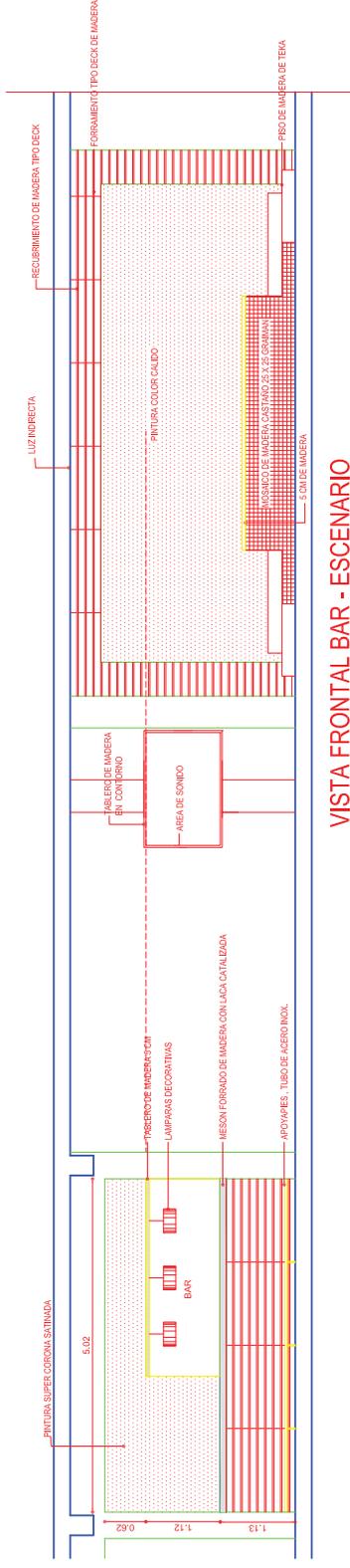


SISTEMA DE MONITORES SLS 112 RM. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. PROPUESTA DE SISTEMA ELECTROACÚSTICO

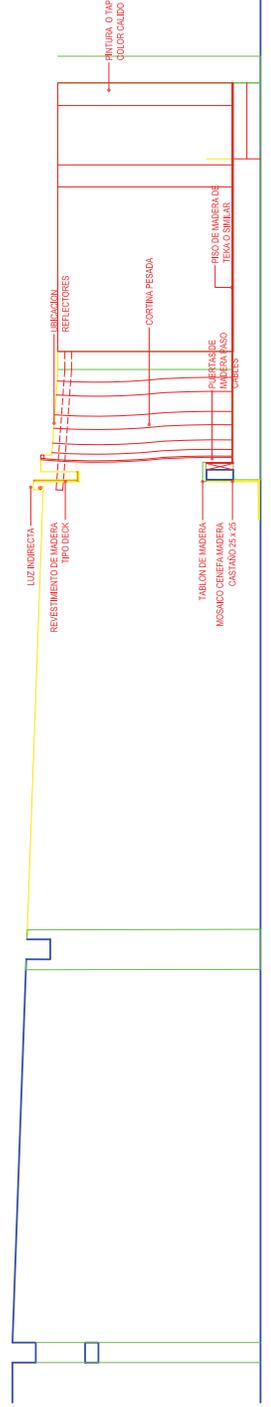
Product Specifications	
Operating Range ¹	58Hz - 20,000Hz
Sensitivity (1W/1M) - Passive ²	97dB
Active - Low Freq.	96dB
Active - High Freq.	107dB
Horizontal Coverage Angle -6dB ³	80 Degrees
Vertical Coverage Angle -6dB ³	30 Degrees
Power Handling - Passive ⁴	500W (64 Volts) AES/2
Active - Low Freq.	500W (64 Volts) AES/2
Active - High Freq.	365W (50 Volts) IEC Short Term 104W (26 Volts) IEC Long Term 60W (20 Volts) AES/2
Recommended Amp Power for Max Output	
Passive or Bi-amp Low Freq.	1000 Watts @ 8 ohms
High Freq.	400 Watts @ 8 ohms
Max SPL (calculated) ¹ Meter - Low Freq.	123dB Cont. / 129dB Peak
High Freq. ⁵	127dB Cont. / 133dB Peak
Nominal Impedance - Passive	8 Ohms
Active - Low Freq.	8 Ohms
Active - High Freq.	6.5 Ohms
Crossover Frequency	1200Hz (PXO option)
Transducers - Low Freq.	12" Woofer
High Freq.	PRD1000 Ribbon
Input	NL4 x2 Pair 1 = LF Pair 2 = HF With PXO option Pair 1 = Full Range
Dimensions	15.65" (40cm) H 30" (76cm) W 16" (41cm) D
Enclosure	13ply Baltic Birch
Weight	54lbs (24.5kg) Shipping 79lbs (35.8kg)
Rigging	No rigging points provided
Optional Accessories	PXO Passive Crossover
Finish Options	Black Latex White Latex Paintable Natural Finish

INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN MEDICIONES CASA DE LOJA





VISTA FRONTAL BAR - ESCENARIO
 ESC..... 1 - 75



VISTA FRONTAL BAR - ESCENARIO
 ESC..... 1 - 75

