



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACONDICIONAMIENTO Y AISLAMIENTO ACÚSTICO DEL AUDITORIO DEL
COLEGIO DE LIGA

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

Profesor Guía

Ing. Guillermo Bolaños

Autor

William Jossué Muñoz Tamayo

Año

2014

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

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

Guillermo Bolaños

Ingeniero en Sonido y Acústica

C.I.: 171581235-8

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.”

William Jossué Muñoz Tamayo

C.I.: 172703400-9

AGRADECIMIENTOS

Un inmenso agradecimiento a mis padres por ayudarme a cruzar con firmeza el camino de la superación.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado para mis padres por la invaluable ayuda que siempre me han proporcionado.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación trata sobre el acondicionamiento y aislamiento del auditorio que posee el Colegio de Liga ubicado en la Autopista Manuel Córdova Galarza Km. 11, (Vía Mitad del Mundo) junto al Country Club LDU. Lo primero que se debe considerar es que el lugar no está convenientemente acondicionado acústicamente y tampoco tiene tratamiento de aislamiento correcto en paredes y puertas ya que el lugar donde se está diseñando el nuevo auditorio era antes una sala de recreación para los estudiantes.

Sabiendo que el espacio donde será diseñado el auditorio posee deficiencias en acondicionamiento y aislamiento acústico, se realizaron las respectivas mediciones, cálculos y simulaciones de: T60 con Software (Spectra Plus) y Fórmula de Sabine, medición de ruido de fondo, medición y simulación (EASE), resonancias e inteligibilidad de la palabra.

Adquiridos estos datos se siguió con la proposición de diseño de acondicionamiento y diseño de particiones (ventanas, puertas y paredes) para el aislamiento acústico del recinto. En la parte de diseño se tuvieron en cuenta valores preestablecidos o recomendados para el tipo de recinto y su uso, en este caso, se trata de un espacio destinado a dar conferencias y pequeños eventos artísticos. Al momento de llegar al objetivo planteado de valores recomendados, se realizó un análisis económico de la propuesta.

ABSTRACT

The present thesis is about the conditioning and isolation of the auditorium which belong to Colegio de Liga High School, located at Autopista Manuel Córdova Galarza Km. 11, (Route to Mitad del Mundo) next to LDU Country Club. To begin with, the enclosure lacks adequate acoustic conditions, in addition to the absence of proper isolation of walls and doors because this place was once a recreation room for students.

Understanding the needs for acoustic conditioning and isolation of the place in question, the necessary measurements, calculations and simulation were made of: T60 with Software (SpectraPlus) and Sabine's formula, calculations of background noise, calculations and simulations of isolation (EASE), resonance and calculations for intelligibility of speech.

Based on the data obtained by these procedures, the acoustic design and conditioning of partitions (windows, doors and walls) was carried on for the acoustic isolation of the room. For the design, the pre-established or recommended values for this type of space were used accordingly, which are the ones used for conference rooms or artistic performances. Finally, after achieving the recommended values, a monetary estimate was made for this proposal.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1 Niveles de ruido ambiental de interiores en espacios no ocupados	7
1.1.1 Objetivos y definiciones	7
1.1.2 Normas de rendimiento acústico	8
1.1.3 Contaminación auditiva.....	11
1.2 Aislamiento acústico de ruido aéreo entre espacios	11
1.2.1 Objetivos y definiciones	11
1.2.2 Normas de rendimiento acústico	12
1.2.3 Excepciones.....	12
1.3 Aislamiento acústico de ruido aéreo entre espacios de circulación y otros espacios utilizados por los estudiantes	13
1.3.1 Objetivos y definiciones	13
1.3.2 Normas de rendimiento acústico	13
1.4 Reverberación en espacios de estudio y enseñanza	14
1.4.1 Objetivos y definiciones	14
1.4.2 Normas de rendimiento acústico	15
1.5 Control de ruido	17
1.5.1 Elección del sitio... ..	17
1.5.2 Estudio de ruido... ..	17
1.6 Barreras acústicas	18

1.7 Planificación y diseño.....	19
1.8 Diseño de las habitaciones para el habla.....	20
1.9 Niveles de ruido de fondo y la inteligibilidad de la palabra.....	21
1.10 Tiempos de reverberación.....	22
1.11 La distribución de materiales absorbentes	23
1.12 Geometría de las habitaciones.....	23
1.13 Geometría del lugar.....	25
1.14 Refuerzo sonoro.....	28
1.15 Salones de teatro.....	29
1.16 Salones multiusos.....	31
2. SITUACIÓN ACTUAL.....	32
2.1 Descripción del lugar.....	32
2.2 Descripción de la situación actual.....	33
2.3 Características del recinto.....	34
2.4 Parámetros a evaluar	38
2.5 Evaluación acústica del recinto	38
2.5.1 Tiempo de reverberación	38
2.5.2 Ruido de fondo	41
2.5.3 Aislamiento de particiones	42
2.6 Análisis de la situación del recinto	46
2.7 Análisis de resultados	48
3. PROPUESTA DE DISEÑO	49

3.1 Aislamiento Acústico	49
3.1.1 Tratamiento de ventanas	49
3.1.2 Tratamiento de puerta.....	50
3.1.3 Tratamiento de paredes	52
3.1.4 Tratamiento del techo	53
3.2 Acondicionamiento Acústico.....	53
3.2.1 Materiales y coeficientes de absorción	53
3.2.2 Tratamiento de paredes.....	54
3.2.3 Tratamiento del suelo	55
3.2.4 Tratamiento del techo	55
3.2.5 Tratamiento de ventanas	56
3.2.6 Propuesta de acondicionamiento de la sala	57
3.2.7 Cálculo de la nueva absorción de la sala.....	57
3.3 Implementación Electro-Acústica	60
3.3.1 Implementos a utilizar en el acondicionamiento acústico.....	61
3.3.2 Incrustación de estructura metálica para colocación de altavoces.....	62
3.3.3 Conexión del sistema de amplificación	63
4. MODELAMIENTO	65
4.1 Software EASE 4.3.....	65
4.2 Modelamiento del recinto mediante software 4.3.....	66
4.3 Estimación de parámetros	66
4.3.1 T60	66

4.3.2 Claridad de la voz (C50)	67
4.3.3 Music Average (C80)	69
4.3.4 Inteligibilidad de la palabra (STI/RASTI)	70
4.3.5 Pérdida de articulación (% ALCons)	71
4.3.6 Nivel de presión sonora	72
4.4 Simulación electro-acústica del sistema de refuerzo sonoro mediante el software NS-1	73
5. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO	77
5.1 Análisis Costo/Beneficio	77
5.2 Presupuesto de Aislamiento Acústico	77
5.2.1 Materiales	77
5.2.2 Mano de obra	77
5.3 Presupuesto de Acondicionamiento Acústico	78
5.3.1 Materiales	78
5.3.2 Mano de obra	78
5.4 Presupuesto de Sistema Electro-Acústico	78
5.5 Presupuesto Total de Implementación	79
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
6.1 Conclusiones	80
6.2 Recomendaciones	82
REFERENCIAS	83
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites superiores para el nivel de ruido ambiental en interiores, LAeq, 30mins (IANLs)	9
Tabla 2. Normas de funcionamiento de aislamiento de ruido aéreo entre espacios	12
Tabla 3. Normas de funcionamiento de aislamiento de ruido aéreo entre espacios utilizados por los estudiantes.	14
Tabla 4. Normas de funcionamiento de tiempo de reverberación.	15
Tabla 5. Requisitos generales acústicos para el habla y música.	31
Tabla 6. Distribución de las superficies de la sala.	36
Tabla 7. Tabla de coeficientes de absorción por bandas de octava acorde al material de revestimiento.	36
Tabla 8. Tabla de coeficientes de absorción producida por el aire.	37
Tabla 9. Tabla de Absorción Total por bandas de octava.	37
Tabla 10. Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid) teóricos.	38
Tabla 11. Datos del tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid) medidos.	40
Tabla 12. Comparación entre el tiempo de reverberación (RT) teórico y medido.	41
Tabla 13. Datos de los Valores del Nivel de Ruido de Fondo medido.	42
Tabla 14. Resultado medición NPS Puerta del Auditorio del Colegio de Liga.	42
Tabla 15. Resultados del valor de aislamiento de ruido aéreo global de la Puerta del Auditorio del Colegio de Liga.	43
Tabla 16. Resultado medición NPS Partición homogénea del Auditorio del Colegio de Liga.	43
Tabla 17. Resultados del valor de aislamiento de ruido aéreo global de la Partición homogénea del Auditorio del Colegio de Liga.	44
Tabla 18. Resultado medición NPS Pared (Muro) del Auditorio del Colegio de Liga.	44
Tabla 19. Resultados del valor de aislamiento de ruido aéreo global de la Pared (Muro) del Auditorio del Colegio de Liga.	45
Tabla 20. Resultado medición NPS Otra pared del Auditorio del Colegio de Liga.	45
Tabla 21. Resultados del valor de aislamiento de ruido aéreo global de la Otra pared del Auditorio del Colegio de Liga.	46
Tabla 22. Aislamiento que ofrece el vidrio doble laminado.	49
Tabla 23. Aislamiento que ofrece la nueva puerta de madera barnizada robusta.	51
Tabla 24. Tabla de materiales y coeficientes de absorción usados en acondicionamiento.	53
Tabla 25. Tabla de Absorción Total por bandas de octava.	57

Tabla 26. Cálculo de la nueva absorción de la sala con la propuesta de los materiales de acondicionamiento acústico.	57
Tabla 27. Tabla de la nueva absorción total de la sala con la propuesta de acondicionamiento.	59
Tabla 28. Nuevo T60 de la sala.....	59
Tabla 29. Implementos Básicos de un Sistema de Refuerzo Sonoro Analógico. ...	60
Tabla 30. Implementos Básicos de un Sistema de Refuerzo Sonoro Digital.....	61
Tabla 31. Tabla de Implementación Electro-acústica.....	61
Tabla 32. Características estructura metálica.	62
Tabla 33. Ángulos de inclinación en grados para los altavoces propuestos en el Software de Simulación NS-1.....	74
Tabla 34. Presupuesto aislamiento acústico materiales.....	77
Tabla 35. Presupuesto aislamiento acústico mano de obra.	77
Tabla 36. Presupuesto construcción camerino y escenario (Extra).....	77
Tabla 37. Presupuesto acondicionamiento acústico materiales.	78
Tabla 38. Presupuesto acondicionamiento acústico mano de obra.	78
Tabla 39. Tabla de Costos para la Implementación Electro-Acústica del Proyecto.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Fuentes de ruido típicas.....	18
<i>Figura 2.</i> Barreras acústicas contra el ruido de tráfico.....	19
<i>Figura 3.</i> Planificación y diseño de zonas de amortiguamiento.....	20
<i>Figura 4.</i> Niveles de presión sonora de un orador a 1 m.....	22
<i>Figura 5.</i> Acabados superficiales en el aula o auditorio.....	24
<i>Figura 6.</i> Acabados superficiales en el aula o auditorio.....	24
<i>Figura 7.</i> Plan ideal de asientos.....	25
<i>Figura 8.</i> Efectos de geometría de sala en el habla.....	27
<i>Figura 9.</i> Efectos de geometría de sala en el habla.....	28
<i>Figura 10.</i> Arreglo de altavoces en un salón de escuela.....	29
<i>Figura 11.</i> Escenarios típicos para salas de teatro.....	30
<i>Figura 12.</i> Ubicación del Colegio de Liga.....	32
<i>Figura 13.</i> Modelamiento de la sala desde una vista exterior.....	33
<i>Figura 14.</i> Modelamiento de la sala desde una vista interior con sus respectivas medidas.....	35
<i>Figura 15.</i> Fotografías panorámicas de la sala.....	35
<i>Figura 16.</i> Fotografías de los instrumentos de medición ocupados dentro de la sala.....	39
<i>Figura 17.</i> Gráfica de la ubicación de los puntos de medición dentro de la sala...	40
<i>Figura 18.</i> Fotografía de la puerta de la sala.....	42
<i>Figura 19.</i> Fotografía de la partición homogénea de la sala.....	43
<i>Figura 20.</i> Fotografía de la pared (muro) de la sala.....	44
<i>Figura 21.</i> Fotografía de la otra pared de la sala.....	45
<i>Figura 22.</i> Simulación EASE, % AICons.....	46
<i>Figura 23.</i> Simulación EASE, STI/RASTI.....	47
<i>Figura 24.</i> Simulación EASE, C50.....	47
<i>Figura 25.</i> Simulación EASE, C80.....	48
<i>Figura 26.</i> Vidrio doble laminado de 6 mm, 100 mm de cavidad y 4 mm de espesor.....	49
<i>Figura 27.</i> Modelamiento de R'w con la propuesta del nuevo vidrio doble laminado.....	50
<i>Figura 28.</i> Puerta de madera barnizada robusta con correcta insonorización acústica.....	51
<i>Figura 29.</i> Modelamiento de R'w con la propuesta de la nueva puerta noise lock.....	52
<i>Figura 30.</i> Técnica de trasdosado con láminas de yeso (gypsum).....	52
<i>Figura 31.</i> Modelamiento diseño de acondicionamiento paredes del auditorio.....	55
<i>Figura 32.</i> Modelamiento diseño de acondicionamiento techo del auditorio.....	56
<i>Figura 33.</i> Modelamiento de cortinas colocadas en las ventanas del recinto.....	56

<i>Figura 34.</i> Vista frontal de la estructura instalada.	63
<i>Figura 35.</i> Vista superior de la estructura instalada.	63
<i>Figura 36.</i> Configuración de Conexiones del Sistema de Amplificación.....	64
<i>Figura 37.</i> Auditorio del Colegio de Liga, archivo importado desde Sketch Up.	66
<i>Figura 38.</i> Auditorio del Colegio de Liga, Tiempo de reverberación con propuesta de acondicionamiento acústico EASE 4.3.	67
<i>Figura 39.</i> Auditorio del Colegio de Liga, C50 EASE 4.3.	68
<i>Figura 40.</i> Auditorio del Colegio de Liga, Distribución de valores de C50.....	68
<i>Figura 41.</i> Auditorio del Colegio de Liga, C80 EASE 4.3.	69
<i>Figura 42.</i> Auditorio del Colegio de Liga, Distribución de valores de C80.....	69
<i>Figura 43.</i> Auditorio del Colegio de Liga, STI/RASTI EASE 4.3.	70
<i>Figura 44.</i> Auditorio del Colegio de Liga, Distribución de valores de STI/RASTI. .	70
<i>Figura 45.</i> Auditorio del Colegio de Liga, % ALCons EASE 4.3.	71
<i>Figura 46.</i> Auditorio del Colegio de Liga, Distribución de valores de % ALCons...	71
<i>Figura 47.</i> Auditorio del Colegio de Liga, Distribución Total de valores de NPS. ..	72
<i>Figura 48.</i> Simulación en NS-1 de la radiación sonora de los altavoces en la superficie del auditorio.	73
<i>Figura 49.</i> Gráfico de ubicación de los Altavoces acorde a los ángulos propuestos en el software NS-1.	75
<i>Figura 50.</i> Gráfica de la Presión Sonora de los altavoces en relación a la distancia, Software de Simulación NS-1.	75
<i>Figura 51.</i> Directividad obtenida por los altavoces acorde al Software de Simulación NS-1.....	76

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enfoca en analizar la inteligibilidad de la palabra dentro de recintos cerrados, verificando la influencia tanto del tratamiento de aislamiento y acondicionamiento acústico brindado a este espacio.

La inteligibilidad de la palabra es influenciada por los siguientes parámetros: tiempo de reverberación, nivel de presión sonora útil y ruido de fondo. El tiempo de reverberación es un parámetro acústico que se lo utiliza para cuantificar la reverberación existente en un recinto, se lo define como el tiempo que transcurre desde que un emisor se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora cae 60 dB con respecto a su valor inicial. El nivel de presión sonora útil es el valor efectivo de intensidad del sonido que genera una presión sonora y el ruido de fondo es todo ruido procedente de todas las fuentes, tanto exterior como interior.

El diseño acústico de auditorios para colegios se enfoca en crear un espacio multifuncional que permita la presentación de un sin número de actividades. Para lo cual la tipología de los auditorios debe tener un escenario, el cual permita la ejecución de diferentes actividades culturales entre presentaciones teatrales, conferencias, danza, actividades audiovisuales, entre otros.

Existen normas inglesas muy eficientes que se basan en el análisis acústico para diseñar correctamente los salones dentro de escuelas y colegios, tal es el caso como el Boletín de Edificios 93 (BB93 - Building Bulletin 93) que es un documento inglés publicado en 2003 en el que constan las normas de funcionamiento acústico para el Programa de Construcción de Escuelas (PSBP - Priority Schools Building Programme).

El objetivo general de los estándares de desempeño de este boletín es asegurarse de que el diseño y la construcción del edificio proporcionen las condiciones acústicas en las escuelas que (a) faciliten la comunicación de voz nítida entre el profesor y el alumno o alumnos, y (b) no interfieran con el estudio de actividades.

El diseño de recintos dentro de escuelas y colegios es tan tomado en serio que por ejemplo las condiciones acústicas en las escuelas de Inglaterra son controladas por el Reglamento de Construcciones e Instalaciones de Instituciones Educativas (2000), que se aplican a las escuelas nuevas y existentes. El cual en la Parte E de su Anexo 1 (modificada por SI 2002/2871) establece lo siguiente:

"Cada habitación u otro espacio en un edificio de la escuela deberán estar diseñados y contruidos de tal manera que se cuente con las condiciones acústicas y el aislamiento contra las perturbaciones por ruido apropiado para el uso previsto."

Además de las normas de diseño y construcción establecidas en el Reglamento de instalaciones de instituciones también hace énfasis en el rendimiento dentro de las escuelas, con el cual se especifica:

"Las condiciones acústicas y aislamiento acústico de las escuelas deben ser adecuados, teniendo en cuenta la naturaleza de las actividades que normalmente se llevan a cabo en la misma."

Para cumplir con este reglamento de instalaciones de instituciones, los espacios de aprendizaje en las escuelas nuevas y renovadas deben proporcionar un adecuado Índice de Transmisión del Habla.

En este documento se enfatizan estas normas inglesas de diseños acústicos dentro de escuelas y colegios porque este reglamento va más allá de solo entregar un diseño que cumpla con las bases acústicas propuestas, también consideran provisiones para estudiantes con necesidades educativas

especiales y para ello también se proponen importantes consideraciones ya que estos alumnos son generalmente aún más dependientes de ambientes acústicos de buena calidad que otros. En consecuencia, los tiempos de reverberación requeridos deben ser más bajos, aislamiento acústico entre espacios adyacentes más altos y los niveles de ruido ambiental en interiores menores que los entornos de otros alumnos.

A través de los años se han construido salas con características acústicas sobresalientes y otras deplorables, siendo solo los recintos con buena acústica los que han podido resistir al paso del tiempo, este el caso de los antiguos teatros griegos que a pesar de tener más de 4 siglos todavía siguen maravillando al mundo por sus cualidades sonoras. El éxito de la buena acústica de estas salas se debe a una mezcla correcta de geometría y tratamiento de materiales internos, lo que llevo a estandarizar de cierta forma el diseño de teatros de cierto tipo, esto es muy notorio en el caso del teatro de proscenio ya que por sus buenas características acústicas durante en el siglo XX se volvió un estándar en la construcción de teatros.

Recordando un poco de historia, los criterios acerca de la acústica en general no tenían base científica hasta que en el siglo I antes de Cristo un arquitecto llamado Marco Vitruvio expusiera los primeros criterios acerca de la acústica, él decía que la acústica dependía totalmente de la geometría, refiriéndose a teatros romanos y griegos de la época.

Finalmente al hablar de sonido, se podría decir que Aristóteles empezó a estudiar el eco como reflexiones, sin embargo fue Herón de Alejandría que indicó que los sonidos son vibraciones longitudinales que se propagan a través del aire. Después Lucio Anneo expuso que eso solo es posible por las características elásticas del aire. Hasta que en el libro Armónicos de Claudio Ptolomeo se juntaron todos estos criterios del sonido.

Antecedentes

El recinto del Colegio de Liga que va a ser tratado no fue construido para el propósito que tiene ahora. La sala fue construida sin tener en cuenta ningún parámetro acústico ni de aislamiento, es decir con total desconocimiento de la acústica de locales, por lo que las personas involucradas dentro de las actividades no poseen un confort acústico adecuado.

Se ha observado que en el Ecuador la construcción de recintos nuevos no contempla criterios de diseño acústico básicos con el fin de lograr una buena inteligibilidad de la palabra en su interior. Quizás muchas veces esto se deba a que simplemente a la gente no le importa un confort acústico, o también por un total desconocimiento acerca del tema, o simplemente podría ser un tema de carácter económico.

El tema de la acústica es completamente desconocido o irrelevante para la mayoría de las personas, su interés no se basa en que un lugar suene bien o no, sencillamente no le prestan la atención que deberían. El ruido es un tema al cual las personas no le toman atención. El ruido dentro de muchos lugares laborales es, aparte de molesto, dañino para la salud, pero nosotros como sociedad nos hemos acostumbrado a trabajar en situaciones adversas y no pensar en la posibilidad de regenerar la realidad.

La acústica de los recintos debe ser la adecuada dependiendo de la función que tiene el espacio y de las actividades que se realicen dentro del mismo.

Para auditorios es imprescindible que la inteligibilidad de la palabra sea adecuada, ya que en este caso el éxito de la conferencia dictada dependerá de la comprensión del cien por ciento del mensaje enviado. Si existe ruido dentro de la intervención entonces este ruido enmascara la palabra, si el recinto no tiene una reverberación adecuada entonces las reflexiones van a ser molestas y no provechosas al igual que si existieran problemas de ecos flotantes.

Adicionalmente se debe considerar que el caso ideal es cuando se tiene un campo sonoro difuso uniforme en todo el interior de la sala, como también si el balance tonal es el apropiado para lograr una correcta calidez sonora.

La siguiente investigación se fundamenta en acondicionar una sala existente en el Colegio de Liga, con el fin de que sirva como un auditorio multifuncional para diferentes actividades culturales y educativas en beneficios de los alumnos del plantel.

Debido a que es un proceso de adecuación, criterios de diseño acústicos básicos para auditorios no fueron tomados en cuenta desde la etapa inicial de diseño arquitectónico del espacio, por lo que se realizó un levantamiento técnico para verificar las condiciones acústicas actuales de la sala con el fin de comprobar la factibilidad de convertir a este espacio en un Auditorio con estándares acústicos básicos para un colegio.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar soluciones de acondicionamiento, aislamiento y sonorización acústica para el auditorio del colegio de Liga para la obtención de un alto grado de inteligibilidad de la palabra en su interior.

Objetivos específicos

- ✓ Realizar un levantamiento acústico de la sala mediante mediciones acústicas bajo normativas internacionales.
- ✓ Plantear soluciones para los problemas de acondicionamiento y aislamiento acústico en el recinto encontrados en el levantamiento técnico.
- ✓ Desarrollar un diseño moderno y atractivo pero a su vez eficiente para aislar el nivel de ruido correspondiente para una buena escucha en un auditorio.
- ✓ Evaluar el diseño planteado a través de un modelo computacional.
- ✓ Verificar el costo beneficio de la solución planteada mediante un análisis económico de los materiales y mano de obra requerido para su implementación.

Hipótesis

Aunque el recinto a analizar no ha sido tratado adecuadamente en aspectos acústicos, se podrá plantear un diseño acústico para convertirlo en un auditorio con un alto grado de inteligibilidad de la palabra y bajo nivel de ruido de fondo, con una inversión económica accesible.

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Niveles de ruido ambiental de interiores en espacios no ocupados

1.1.1. Objetivos y definiciones

El objetivo es proporcionar niveles ambientales de ruido interior adecuados (IANL - Indoor Ambient Noise Levels) para:

- ✓ La comunicación de voz nítida entre el profesor y el estudiante
- ✓ Una comunicación clara entre los estudiantes
- ✓ Actividades de aprendizaje y estudio

El IANL incluye contribuciones de ruido desde:

- ✓ Fuentes externas fuera de las instalaciones de la escuela (incluyendo el tráfico rodado, ferroviario y aéreo, locales industriales y comerciales).
- ✓ Servicios de construcción (por ejemplo, sistemas de ventilación, planta, drenaje, etc.). También se debe tomar en cuenta habitaciones con ventilación natural, es decir, considerar espacios que solo tienen ventanas, sin un sistema de ventilación artificial.

Las contribuciones de ruido que no son tomadas en cuenta para el análisis del nivel de ruido ambiental en interiores son:

- ✓ Las actividades de enseñanza dentro de las instalaciones de la escuela, incluyendo el ruido de personal, los estudiantes y mobiliarios dentro del edificio o en el patio de recreo. El ruido transmitido desde espacios adyacentes se dirige por el aire y afecta los requisitos de aislamiento acústico (Hopkins, 2003).

- ✓ El ruido de la lluvia también es considerado pero se debe demostrar que los techos livianos y acristalamientos de techo han sido diseñados para proporcionar un control adecuado del nivel de presión acústica reverberante tomando en cuenta el ruido de lluvia en un espacio (calculado a partir de datos de ensayo de laboratorio con excitación de ruido de lluvia 'Heavy' como se define en la norma BS EN ISO 140 - 18). Niveles durante las lluvias fuertes no deben contener más de 25 dB por encima del nivel de ruido ambiental en interiores, dado en la Tabla 1. Para renovaciones, esto sólo se aplica a los nuevos techos (incluyendo claraboyas) y no se aplica a las reparaciones de los techos existentes (Hopkins, 2003).

- ✓ Algunos equipos utilizados en el espacio (por ejemplo, máquinas, herramientas, equipos contra el polvo, compresores, ordenadores, proyectores). Sin embargo, para cumplir con el Reglamento de Instalaciones de Instituciones Educativas, el ruido de las fuentes que normalmente están en uso durante las actividades de enseñanza y no pueden ser fácilmente desconectados debe ser considerado.

1.1.2. Normas de rendimiento acústico

La Tabla 1 especifica los límites superiores de los niveles de ruido ambiental en interiores en términos de $L_{Aeq, 30mins}$ durante horas lectivas normales. Los valores se aplican a los edificios nuevos y a las nuevas ampliaciones de edificios existentes. Cuando un tipo de habitación no está en la lista, se debe utilizar la aproximación más cercana. Cuando se utiliza un espacio para más de un propósito, se debe utilizar la condición más excesiva.

Tabla 1. Límites superiores para el nivel de ruido ambiental en interiores, LAeq, 30mins (IANLs)

Tipo de Sala	Clasificación de la sala con el fin de aislamiento al ruido aéreo		Límite superior para el nivel de ruido de fondo de interiores LAeq, 30min (dB)
	Actividad de Ruido (Sala Emisora)	Tolerancia de Ruido (Sala receptora)	
Salas de guardería	Alto	Bajo	35
Habitaciones Parvularias	Bajo	Bajo	35
Escuela primaria: aulas en general, Áreas de enseñanza , Salas de grupos pequeños	promedio	Bajo	35
Escuela secundaria: aulas en general, Salas de reuniones , salas de tutorías, laboratorios de idiomas	promedio	Bajo	35
Otras Áreas			
Áreas de enseñanza	promedio	Medio	40
Áreas de Recursos	promedio	Medio	40
Salas de Música			
Aula de Música	Muy alta	Bajo	35
Habitación pequeña práctica	Muy alta	Bajo	35
Sala de Ensemble	Muy alta	Muy bajo	30
Habitación de recital	Muy alta	Muy bajo	30
studio3 grabación	Muy alta	Muy bajo	30
Control Room	Alto	Bajo	35
Habitaciones de Lectura			
Aulas Pequeñas (menos de 50 personas)	promedio	Bajo	35
Aulas Grandes (más de 50 personas)	promedio	Muy bajo	30

Tabla 1. Continuación

Aulas diseñadas específicamente para estudiantes con impedimentos (incluyendo salas de terapia del habla)	Promedio	Muy bajo	30
Sala de estudio (estudio individual ,trabajo, preparación de maestros)	Bajo	Bajo	35
Bibliotecas			
Áreas de estudio Tranquilo	Bajo	Bajo	35
Áreas de Recursos	Promedio	Medio	40
Laboratorios de ciencias	Promedio	Medio	40
Estudios de teatro	Alto	Muy bajo	30
Diseño y Tecnología			
• Materiales resistentes , áreas CAD/CAM	Alto	Alto	40
• Electrónica / control, textiles, alimentos , gráficos, diseño de áreas y recursos	Promedio	Medio	40
salas de arte	Promedio	Medio	40
Salones multiuso (drama, PA , audio / presentaciones visuales , montaje , música ocasional)	Alto	Bajo	35
Habitaciones audiovisuales , videoconferencia	Promedio	Bajo	35
Espacios de circulación utilizados por los estudiantes	Promedio	Medio	45
Pabellón de deportes	Alto	Medio	40
Estudio de danza	Alto	Medio	40

Adaptado de Hopkins, 2003, p. 9.

1.1.3. Contaminación auditiva

El sonido colectivo de la voz humana es uno de los mayores problemas que originan ruido en las escuelas. El ruido de múltiples voces es significativamente más alto, que el de los objetos de trabajo; por ejemplo máquinas de escribir, instrumentos musicales, etc. Los alumnos de forma natural, hablan alto entre ellos tanto individual como en grupo. Los sonidos y los gritos llegan a exponer a alumnos y profesores a niveles peligrosos de ruido, alcanzando alrededor de 130 dB. Cabe recordar, que los oídos humanos toleran un nivel de ruido entre 60 y 70 dB, sin que esto cause algún daño auditivo. Si la intensidad llegara a aumentar a más de 100 dB, la agresión auditiva resultará molesta e irritante; con el transcurso del tiempo, se convierte en un daño auditivo permanente (Carrión, 1998).

1.2 Aislamiento acústico de ruido aéreo entre espacios

1.2.1 Objetivos y definiciones

Para esta sección nos vamos a basar en el objetivo principal que es atenuar aquel ruido aéreo que a través de las paredes, suelos y techos se transmite a los espacios en cuestión, es decir las aulas, salones multiusos, auditorios, etc.

Otro de los objetivos en el cual también se planea atenuar el ruido aéreo incluye el efecto de acristalamiento interior, puertas, transmisión por la estructura y la transmisión de flanqueo.

El aislamiento acústico se ha de evaluar en términos de la diferencia de nivel DnT normalizada según la norma BS EN ISO 140-4:1998 y los resultados deben ser ponderados y expresados en cantidad de un solo número, DnT,w., de acuerdo a la norma BS EN ISO 717-1:1997. Para efectos de evaluación, la referencia del tiempo de reverberación T es de 0,5 s en todas las bandas de un tercio de octava de 100 Hz a 3.15 kHz.

1.2.2 Normas de rendimiento acústico

La Tabla 2 muestra la mínima reducción acústica requerida entre las habitaciones. Estos valores se definen por el ruido de la actividad en la sala de fuente y la tolerancia de ruido en la habitación de recepción como se da en la Tabla 1. La evaluación del diseño del DnT,w entre dos habitaciones se debe realizar en ambos sentidos.

Tabla 2. Normas de funcionamiento de aislamiento de ruido aéreo entre espacios

Mínimo DnT (Tmf,max),w (dB)		Actividad de Ruido en Sala Emisora			
		Baja	Media	Alta	Muy Alta
Tolerancia de Ruido en sala Receptora	alto	30	35	45	55
	medio	35	40	50	55
	bajo	40	45	55	55
	Muy bajo	45	50	55	60

Adaptado de Hopkins, 2003, p. 10

1.2.3 Excepciones

- ✓ Donde hay una pared operable o mampara plegable entre un estudio de drama o de otra área de enseñanza y un pasillo, el mínimo DnT,w entre los espacios debe ser 45 dB.
- ✓ Cuando hay salas de ensayo de música a las que se accede directamente desde un aula de música, entonces el nivel de aislamiento acústico no cumplirá con los criterios de diseño.

1.3 Aislamiento acústico de ruido aéreo entre espacios de circulación y otros espacios utilizados por los estudiantes

1.3.1 Objetivos y definiciones

El ruido aéreo transmitido entre espacios de circulación (por ejemplo, pasillos, escaleras, etc.) es el que se debe atenuar para cumplir el objetivo de esta sección, al igual que en otros espacios utilizados por los estudiantes, con el fin de minimizar la perturbación de la enseñanza en los espacios de aprendizaje. Esto se aplica cuando las estructuras de separación contienen puertas y/o elementos de cristal.

Los valores de la tabla 3 son el índice mínimo ponderado de reducción sonora R_w de conjuntos de puertas y el índice compuesto ponderado mínimo de reducción de sonido de pared y acristalamiento. El índice ponderado de reducción sonora se mide de acuerdo con la norma BS EN ISO 717-1:1997 (Hopkins, 2003).

Se puede sugerir que de existir ventiladores dentro de los salones, el aislamiento acústico de los ventiladores se especifica en términos de la diferencia de nivel ponderada de elementos normalizados: $D_{n,e,w} - 10\log N$.

N significa el número de ventiladores con un aislamiento de ruido aéreo $D_{n,e,w}$, de conjuntos de puertas y el índice mínimo compuesto ponderado de reducción de sonido de pared y acristalamiento.

Al igual que el índice mínimo ponderado de reducción sonora, la diferencia de nivel – elemento normalizado ponderado para aislamiento acústico de ventiladores se mide con la norma BS EN ISO 717-1:1997.

1.3.2 Normas de rendimiento acústico

La tabla 3 muestra el mínimo permisible de reducción acústica para la construcción del muro de separación compuesta, con una pared de separación que no incluye ventiladores. Los valores se aplican a los edificios nuevos y a las nuevas ampliaciones de edificios existentes, y también son las normas

mínimas aceptables para las Normas de desempeño alternativas en los nuevos edificios.

Tabla 3. Normas de funcionamiento de aislamiento de ruido aéreo entre espacios utilizados por los estudiantes.

Tipo de espacio ocupado por estudiantes	Mínimo R_w (dB)		Mínimo $D_{n,e,w} - 10\lg N$ (dB)
	Pared incluyendo cualquier acristalamiento	Conjunto de puertas	
Todos los espacios excepto salas de música	40	30	39
Salas de música	45	35	45

Adaptado de Hopkins, 2003, p. 12.

1.4 Reverberación en espacios de estudio y enseñanza

1.4.1 Objetivos y definiciones

El objetivo es proporcionar tiempos de reverberación adecuados (RTs) para:

- ✓ La comunicación de voz nítida entre el profesor y el estudiante
- ✓ Una comunicación clara entre los estudiantes
- ✓ La enseñanza de la música y la actuación.

Para el siguiente análisis del tiempo de reverberación se propone a este parámetro en términos del tiempo de reverberación de frecuencia media, T_{mf} , esto es la media aritmética de los tiempos de reverberación el cual está entre las bandas de octava de 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz, o la media aritmética de los tiempos de reverberación en las bandas de un tercio de octava de 400 Hz a 2,5 KHz (Hopkins, 2003).

Para espacios de enseñanza destinada al uso de alumnos con necesidades auditivas o de comunicación especial, este rango de frecuencia Tmf se define como la media aritmética de los tiempos de reverberación por bandas de octava de los 125 Hz a los 4 kHz o de la media aritmética de los tiempos de reverberación en las bandas de un tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

1.4.2 Normas de rendimiento acústico

La tabla 4 contiene los tiempos máximos de reverberación de frecuencia media para los cuartos que están terminados, amueblados para su uso normal, pero no ocupados. Se debe mencionar que al minimizar el Tmf hay numerosos beneficios operacionales y educativos. Los valores se aplican a los edificios nuevos y a las nuevas ampliaciones de edificios existentes.

El rango de valores de Tmf dado en segundos que corresponde a los Salones multiuso (drama, PA, audio / presentaciones visuales, montaje, música ocasional), es el que se toma en cuenta para este trabajo de titulación, es decir, los valores entre 0.8 – 1.2 s.

Tabla 4. Normas de funcionamiento de tiempo de reverberación.

Tipo de Sala	Tmf (segundos)
Salas de guardería	<0.6
Habitaciones Parvularias	<0.6
Escuela primaria: aulas en general, Áreas de enseñanza , Salas de grupos pequeños	<0.6
Escuela secundaria: aulas en general, Salas de reuniones , salas de tutorías, laboratorios de idiomas	<0.8
Otras Áreas	
Áreas de enseñanza	<0.8

Tabla 4. Continuación

Áreas de Recursos	<1.0
Salas de Música	
Aula de Música	<1.0
Habitación pequeña práctica	<0.8
Sala de Ensamble	0.6 - 1.2
Habitación de recital	1.0 - 1.5
Estudio de grabación	0.6 - 1.2
Control Room	<0.5
Habitaciones de Lectura	
Aulas Pequeñas (menos de 50 personas)	<0.8
Aulas Grandes (más de 50 personas)	<1.0
Aulas diseñadas específicamente para estudiantes con impedimentos (incluyendo salas de terapia del habla)	<0.4
Sala de estudio (estudio individual ,trabajo, preparación de maestros)	<0.8
Bibliotecas	
Áreas de estudio Tranquilo	<1.0
Áreas de Recursos	<0.8
Laboratorios de ciencias	<1.0
Estudios de teatro	<0.8
Diseño y Tecnología	
• Materiales resistentes , áreas CAD/CAM	<0.8
• Electrónica / control, textiles, alimentos , gráficos, diseño de áreas y recursos	<0.8
Salones multiuso (drama, PA , audio / presentaciones visuales , montaje , música ocasional)	0.8 - 1.2
Habitaciones audiovisuales , videoconferencia	<0.8
Espacios de circulación utilizados por los estudiantes	<1.5
Estudio de danza	<1.2

Adaptado de Hopkins, (2003), p. 14.

1.5 Control de Ruido

1.5.1 Elección del sitio

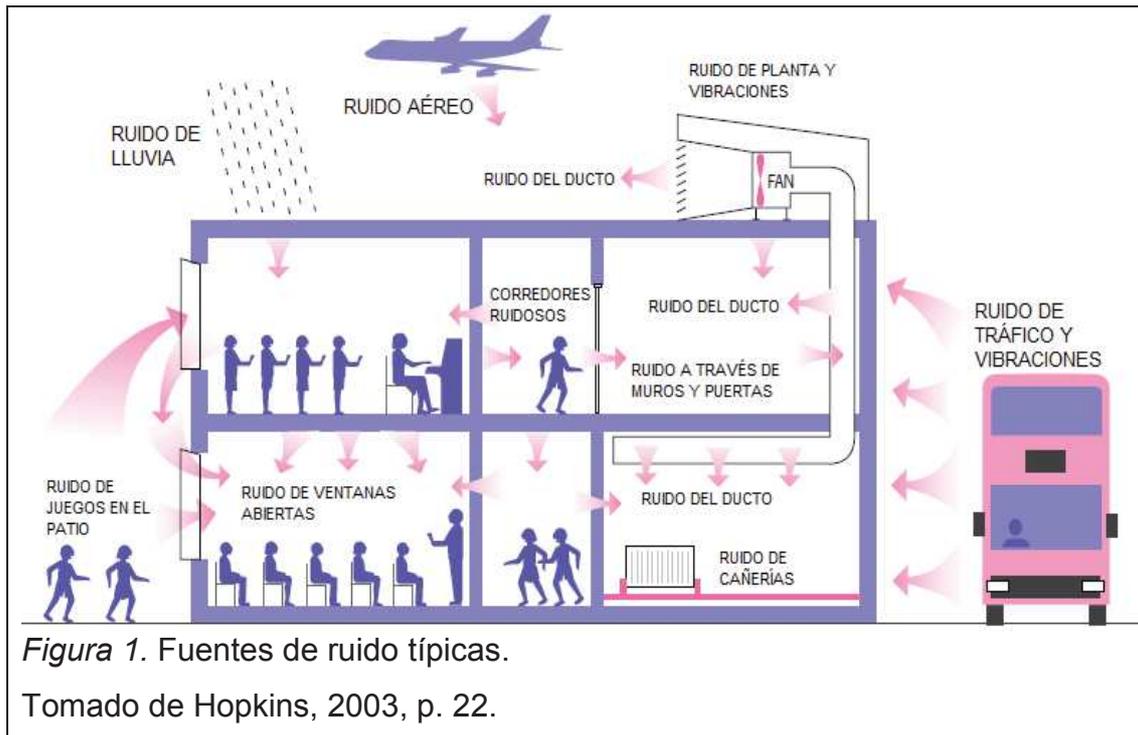
El diseño acústico de un auditorio de una escuela comienza con la selección del lugar, un estudio de ruido del sitio y la planificación de la distribución de los otros edificios escolares. Existen terrenos de fácil adquisición por ser económicos para nuevas escuelas con fácil acceso al transporte, pero éstos a menudo sufren del ruido del tráfico y la contaminación. En el pasado, a veces las escuelas se han construido en sitios que normalmente no han sido considerados adecuados para la vivienda, esto es en parte, porque las escuelas no se han preocupado particularmente de los altos estándares ambientales, y en parte porque ha habido menos control o regulación formal de nivel de ruido en las escuelas que en la viviendas (Hopkins, 2003).

Para escuelas y colegios que ya están construidos, el ruido del tráfico rodado es un problema común ya que muchos de los problemas acústicos en dichas instituciones existentes se derivan directamente de la ubicación de la escuela en una zona ruidosa. El ruido industrial es un problema menos frecuente y por lo general puede ser tratado por la autoridad local usando sus poderes en virtud de la Ley de Contaminación Ambiental.

1.5.2 Estudio de Ruido

La figura 1 que se muestra a continuación ejemplifica las fuentes internas y externas de ruido típicas que pueden afectar los niveles de ruido en el interior de un auditorio de una escuela.

Con el fin de satisfacer los límites para los niveles de ruido ambiental de interior en la tabla 1, es necesario conocer el ruido externo, y el nivel de dicho ruido externo debe ser establecido por la realización de una medición de ruido.

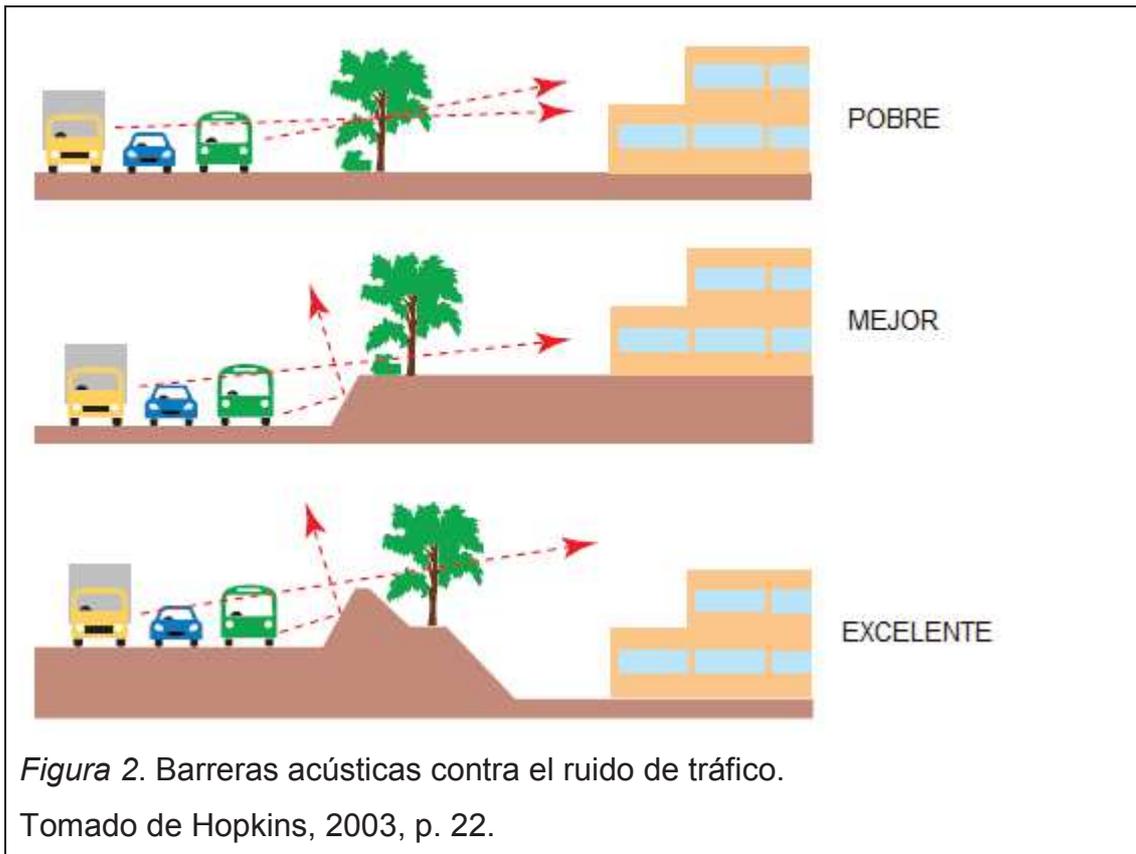


1.6 Barreras Acústicas

Es conveniente mencionar lo que se conoce como barreras acústicas ya que son mucho más eficaces que la distancia en la reducción de ruido de las carreteras o el tráfico ferroviario.

La atenuación de una barrera tiene como función entregar una distancia adicional en la que el sonido tiene que viajar para pasar sobre la parte superior de la barrera. Para calcular la eficacia de una barrera acústica es necesario conocer los niveles de ruido de la fuente por banda de tercio de octava.

Un buen procedimiento para solucionar la reducción de ruido es implementar una valla de madera para que ésta actúe como barrera contra el ruido y como valor agregado se podría ubicar a esta valla dentro de una banda de árboles para crear un efecto visual aceptable. Las barreras también pueden formarse por otro tipo de estructuras como edificios o paisajismos utilizando lomos de tierra, ver figura 2.



1.7 Planificación y diseño

Entre los problemas más comunes que se encuentran en las escuelas es la transferencia de ruido entre habitaciones. En gran medida, esto puede ser diseñado de una manera adecuada no solo por un correcto aislamiento de ruido entre paredes o pisos, sino por una buena planificación y zonificación del edificio en las primeras etapas del diseño. En esta etapa es posible identificar las áreas sensibles al ruido y separarlos de las áreas ruidosas utilizando zonas de amortiguación, como almacenes, pasillos o habitaciones menos sensibles, o por localización de los edificios a una distancia adecuada de separación. Consulte la figura 3 para un ejemplo de distribución de la habitación en un departamento de música con zonas de amortiguamiento (Hopkins, 2003).

La localización de los salones debe ser manejada estratégicamente de manera que los más sensibles al ruido, tales como aulas, estén lejos de la fuente, que podría ser por ejemplo ruido externo provocado por las carreteras.

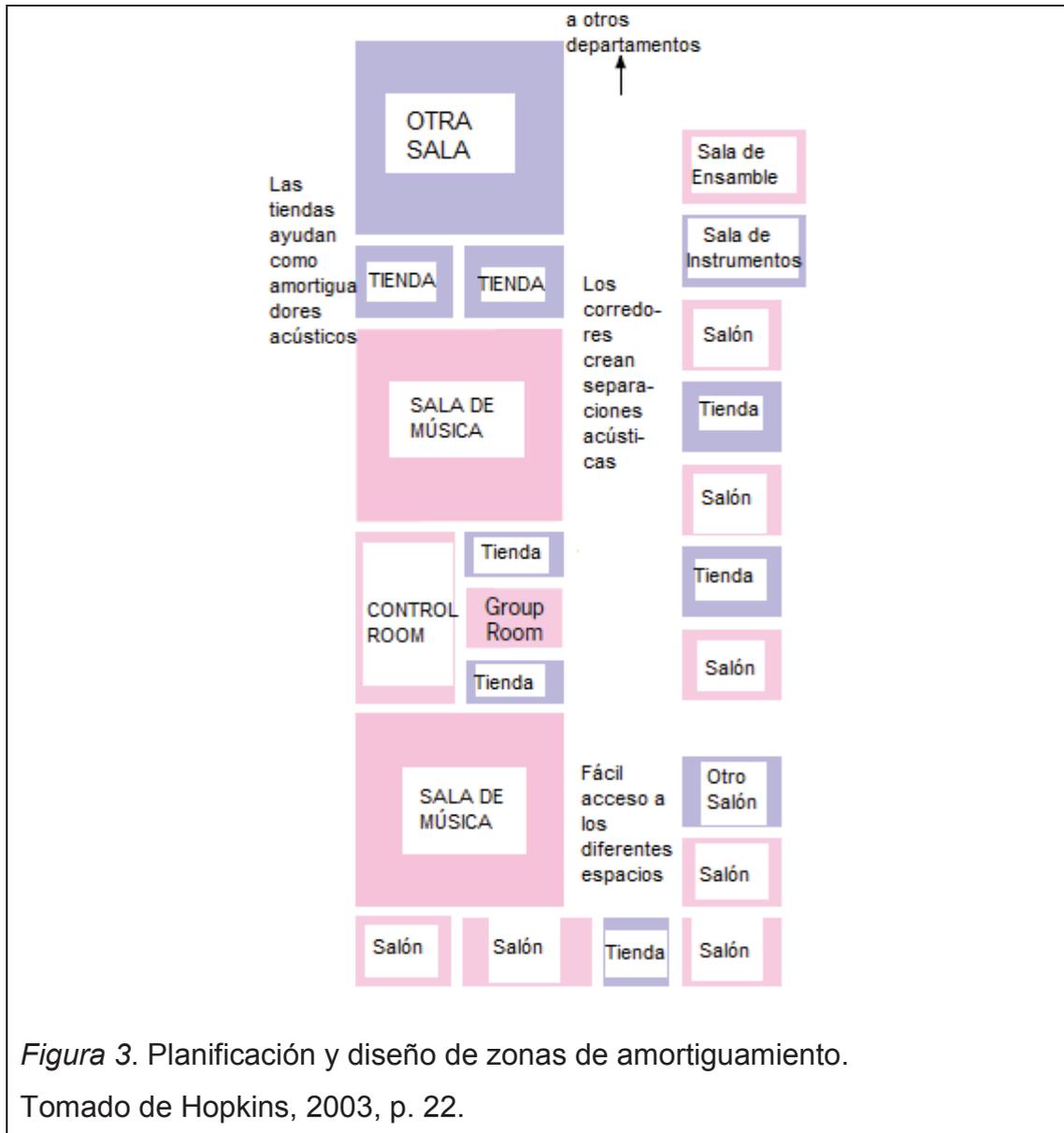


Figura 3. Planificación y diseño de zonas de amortiguamiento.

Tomado de Hopkins, 2003, p. 22.

1.8 Diseño de las habitaciones para el habla

El propósito general de un auditorio dentro de una institución educativa es principalmente el discurso, es decir, un espacio que este destinado para el habla y para esto se podría tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

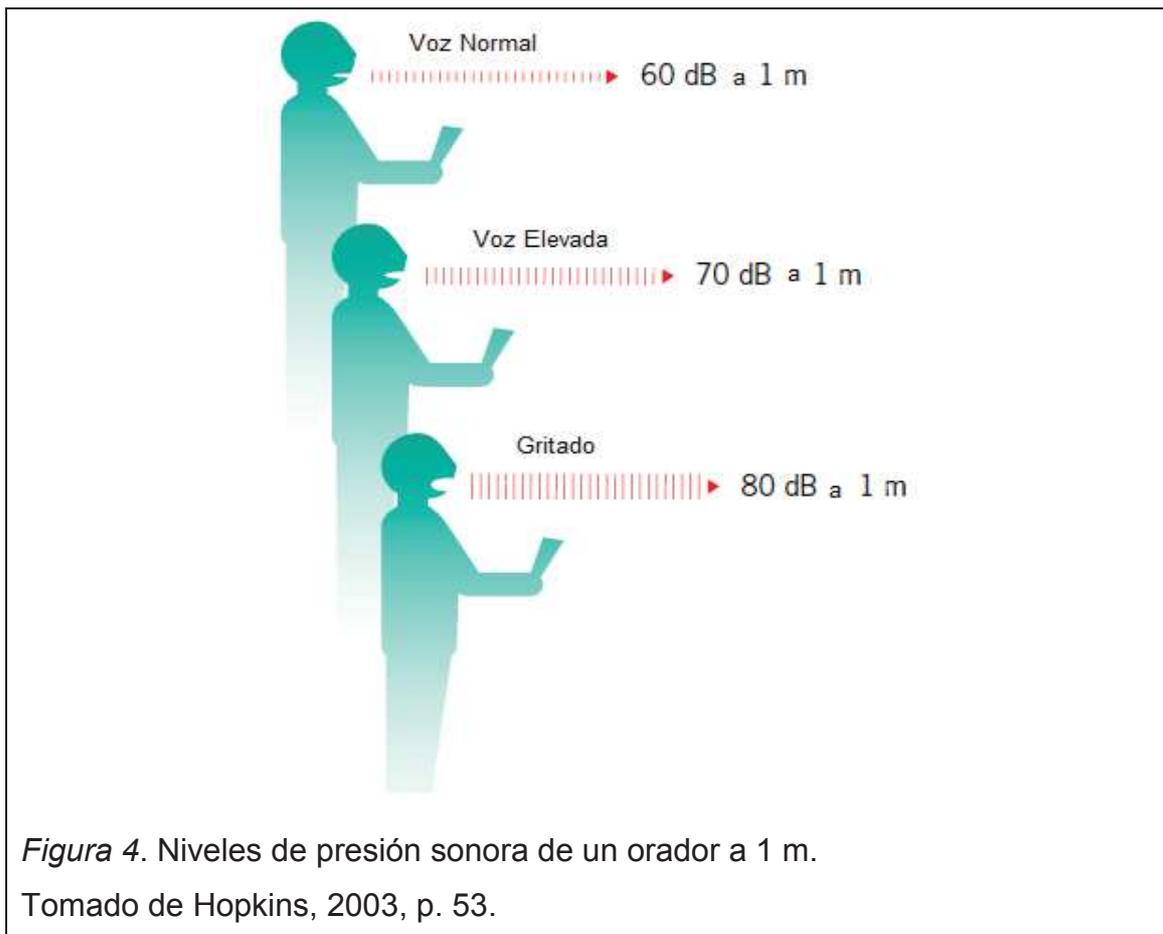
- ✓ Superficie de la habitación, forma, volumen y su respectivo tiempo de reverberación
- ✓ Absorción acústica necesaria para un correcto tiempo de reverberación
- ✓ Distribución, tipo y localización de dicha absorción acústica
- ✓ El nivel de ruido de fondo
- ✓ El uso de un sistema electro acústico (refuerzo sonoro)

1.9 Niveles de ruido de fondo y la inteligibilidad de la palabra

Los profesores tratan de modular su voz, dependiendo del nivel de ruido que exista de fondo. El problema radica en que los alumnos y los profesores intentan hacerse oír al mismo tiempo, en lugar de mantener el ruido al mínimo y hablar por uno por uno. Cuando varios niños hablan a la vez, van elevando las voces para hacerse oír, empeorando enormemente las condiciones del aula. Es importante mencionar que el ruido que se genera en el salón de clases, se ve reflejado en el comportamiento de los niños (Harris, s.f.).

La potencia de salida del habla convencional tiene un nivel de presión sonora de alrededor de 60 dB a 1 m delante del orador. Esta potencia de salida puede ser elevada cuando el orador habla tan fuerte como le es posible sin forzar la voz, lo que aumenta el nivel de presión sonora en aproximadamente 70 dB a 1 m. Por los gritos, la potencia de salida se puede elevar aún más con un nuevo aumento consecuente en el sonido de nivel de presión sonora de hasta aproximadamente 80 dB. En términos subjetivos, esto significa que un orador puede duplicar aproximadamente la sonoridad de la voz al hablar en voz muy alta, y luego doblar de nuevo por medio de gritos, ver figura 4 (Hopkins, 2003).

Las voces de los hombres tienen la característica de tono más bajo (120 Hz), las mujeres un paso intermedio (225 Hz), y los niños el tono más alto (265 Hz) (Hopkins, 2003).



1.10 Tiempos de reverberación

Un tiempo largo de reverberación que tenga varios segundos dentro de un salón de clases causará sílabas que se prolonguen de modo que se superponen y por lo tanto degradan la inteligibilidad de la palabra. Largos tiempos de reverberación son muy típicos en habitaciones grandes.

Adición de absorción acústica y la reducción de la altura del techo reducirá el tiempo de reverberación y mejorará la inteligibilidad de la palabra. La tabla 4 especifica los tiempos de reverberación requeridos para diversos espacios de enseñanza que van desde las aulas de aprendizaje hasta salones de actos (Hopkins, 2003).

Tiempos de reverberación largos también aumentan los niveles de ruido reverberante dentro de una habitación, lo que disminuye aún más la inteligibilidad del habla. Para compensar esto, en salas reverberantes la gente tiende a aumentar sus niveles de voz para hacerse oír por encima del ruido reverberante, lo que agrava aún más la situación. Esta es una característica común de muchos auditorios mal diseñados (Hopkins, 2003).

1.11 La distribución de materiales absorbentes

La misión de los materiales absorbentes acústicos es evitar la reflexión del sonido que incide sobre ellos. Toda fuente de ruido en el interior de un salón produce más ruido que en el exterior, debido a que el salón impide la salida del ruido y actúa como amplificador. Es por esto que la ubicación de absorción acústica dentro de una habitación es muy importante. El tiempo de reverberación supone que las superficies absorbentes de un espacio distribuidas uniformemente combinan razonablemente (Higini, 1999).

1.12 Geometría de habitaciones

Para lograr la sonoridad adecuada para todos los oyentes en una habitación, es necesario que el sonido directo del orador al oyente tenga un camino sin obstáculos. El volumen del sonido directo se puede mejorar mediante reflexiones de retardo de las superficies de las habitaciones. Estas reflexiones de retardo corto deberán llegar al oyente dentro de una vigésima de segundo (50 ms) del sonido directo, que es aproximadamente el tiempo requerido para el oído de integrar tales reflexiones con el sonido directo. Reflexiones fuertes después de 50 ms tienden a ser perjudicial para la inteligibilidad de la palabra, y en última instancia, si el retraso es lo suficientemente largo, serán percibidas como ecos distintos (Hopkins, 2003).

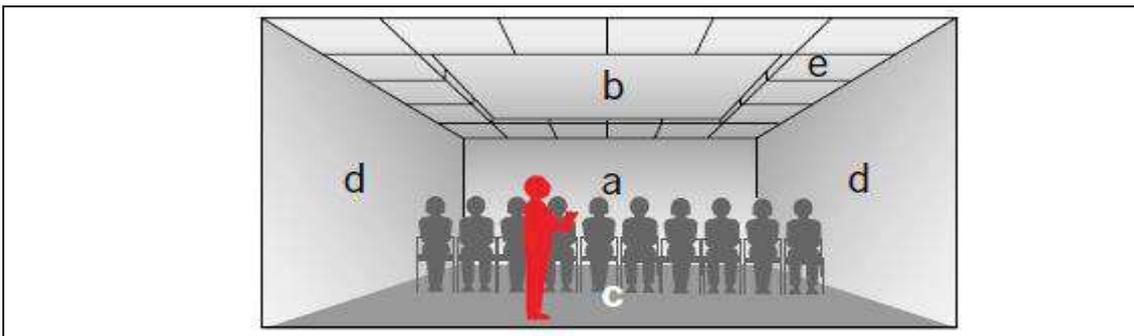


Figura 5. Acabados superficiales en el aula o auditorio.

Notas:

- a Pared trasera - absorbe el sonido o efecto de difusión
- b. Techo - una buena reflexión (por ejemplo, placas de yeso)
- c. Piso - fonoabsorbentes (por ejemplo, la alfombra)
- d. Pared lateral - una sólida reflexión
- e. Techo – fonoabsorbente

Tomado de Hopkins, 2003, p. 55.

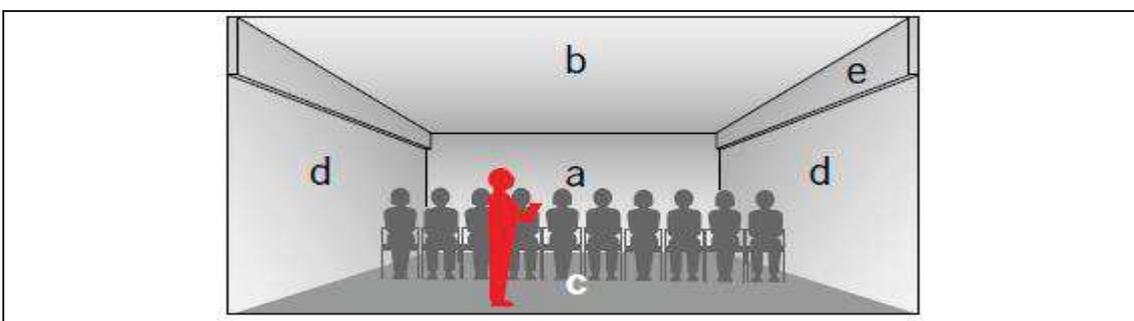


Figura 6. Acabados superficiales en el aula o auditorio.

Notas:

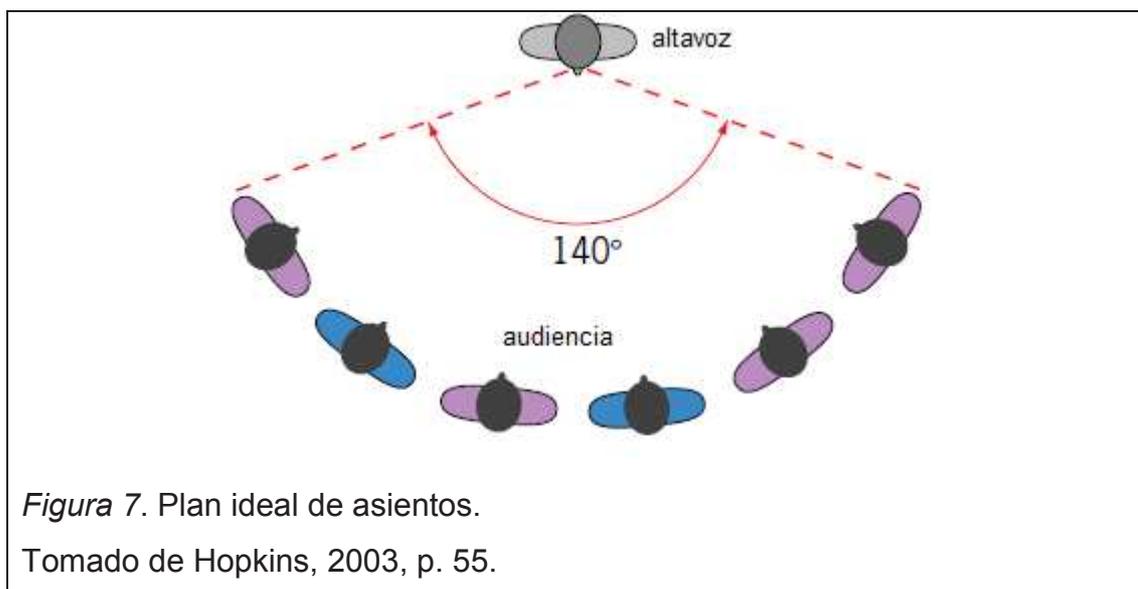
- a. Pared trasera - absorbe el sonido o efecto de difusión
- b. Techo - una buena reflexión (por ejemplo, placas de yeso)
- c. Piso - fonoabsorbentes (por ejemplo, la alfombra)
- d. Pared lateral - una sólida reflexión
- e. Top de las paredes - absorber o difusión de sonido

Tomado de Hopkins, 2003, p. 55.

1.13 Geometría del lugar

La geometría del lugar considera que las ondas sonoras viajan como rayos de sonido, análogos a los rayos luminosos. Esta aproximación será aceptable si la longitud de onda es pequeña comparada con la menor dimensión de las superficies que definen su interior (Carrión, 1998).

Se debe tomar en cuenta que el sonido directo del orador al oyente debe ser tan fuerte como sea posible en todas las posiciones.



Otros factores que también deben tenerse en cuenta en relación con el sonido directo son los siguientes:

En primer lugar, el plan de asientos debe estar dispuesto para encajar dentro de un ángulo de aproximadamente 140° subtendido en la posición del altavoz, véase la figura 7. Esto se debe a que el habla es direccional, y el poder de las frecuencias más altas en la que la inteligibilidad depende en gran medida se cae con bastante rapidez fuera de este ángulo (Hopkins, 2003).

En segundo lugar, el sonido se debilita a medida que pasa a través de las personas sentadas en incidencia rasante (Hopkins, 2003).

Por lo tanto, si es posible, los oyentes deben estar sentados, donde un espacio libre de alrededor de 100 mm esté dispuesto entre la línea de visión de una fila y la línea de visión a partir de la siguiente, véanse las figuras 8 (a) y 8 (b). Se sabe que si la gente no puede ver bien al orador, no van a oírlo tampoco. Con frecuencia es necesario en escuelas, tener un piso plano en un salón de clase. En estos casos, el orador debe estar sobre una plataforma que es suficientemente alta para asegurar el aclaramiento en las filas traseras de la sala, ver figura 8 (c) (Hopkins, 2003).

El sonido directo del altavoz al oyente puede ser mejorada por reflexiones tempranas que llegan dentro de 50 ms, ver figura 8 (d). Estas reflexiones tempranas aumentan el volumen del sonido directo y por lo tanto aumentan la inteligibilidad de la palabra. Son particularmente útiles en los asientos más alejados donde el volumen del sonido directo se ha reducido por la distancia (Hopkins, 2003).

Para proporcionar reflexiones dentro de 50 ms de sonido directo, las superficies duras deben ser situadas a una cierta distancia del hablante y el oyente. En la mayoría de las salas, la parte central del techo es la superficie de reflexión más importante y debe ser de un material duro, que refleja el sonido.

Otras superficies útiles que ofrecen reflexiones tempranas son paredes laterales cerca del altavoz, paneles de techo que reflejan y paneles de techo en ángulo.

La ruta adicional recorrida por el sonido reflejado no deberá ser mayor de 17 m más que la trayectoria del sonido directo entre el orador y la zona debe estar donde llega la reflexión, vea la figura 8(e). Cualquier reflexión que llega a un oyente, o de vuelta al orador por más de 50 ms después del sonido directo, es probable que sea perturbador, ver figura 8(f) (Hopkins, 2003).

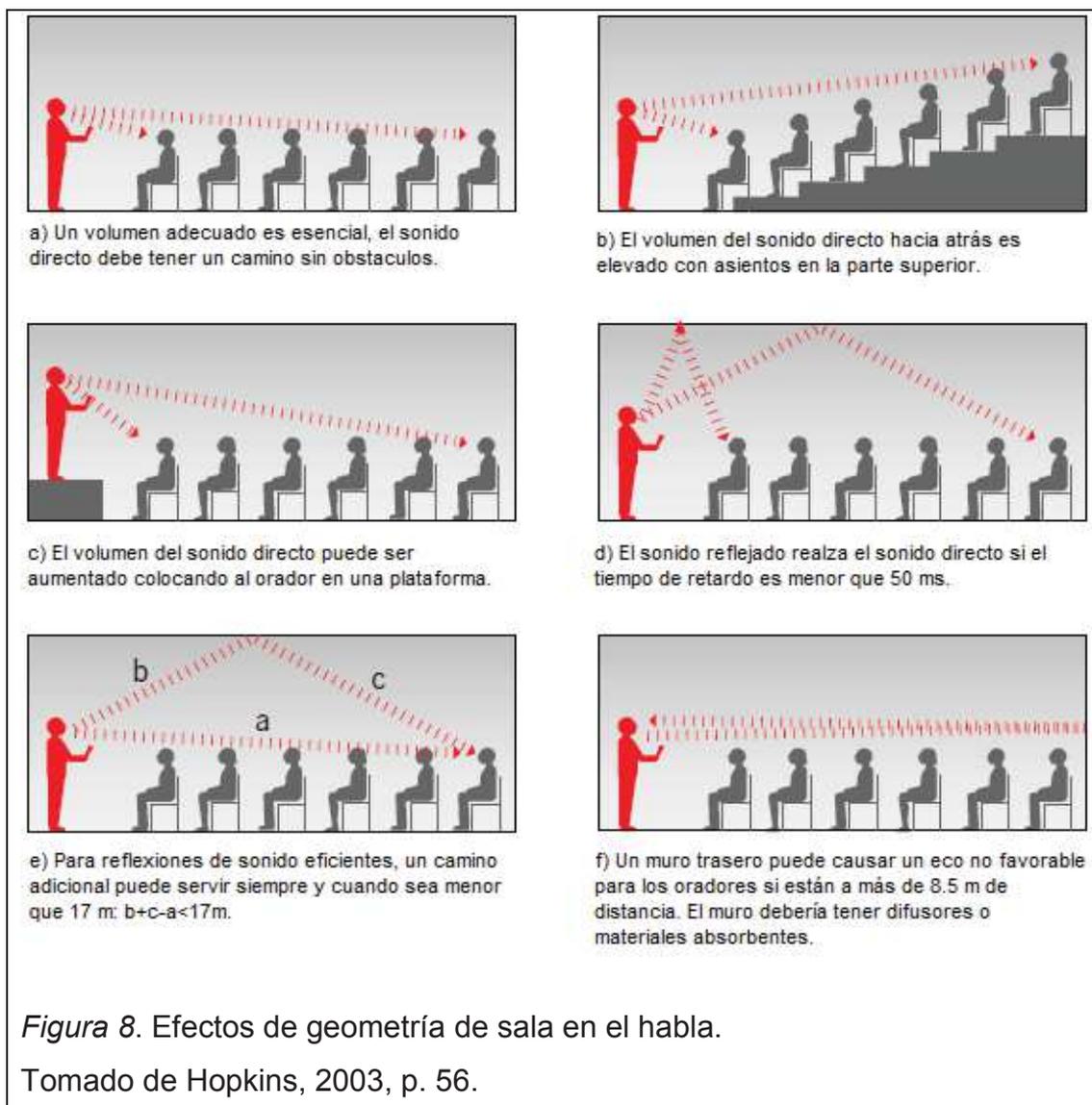
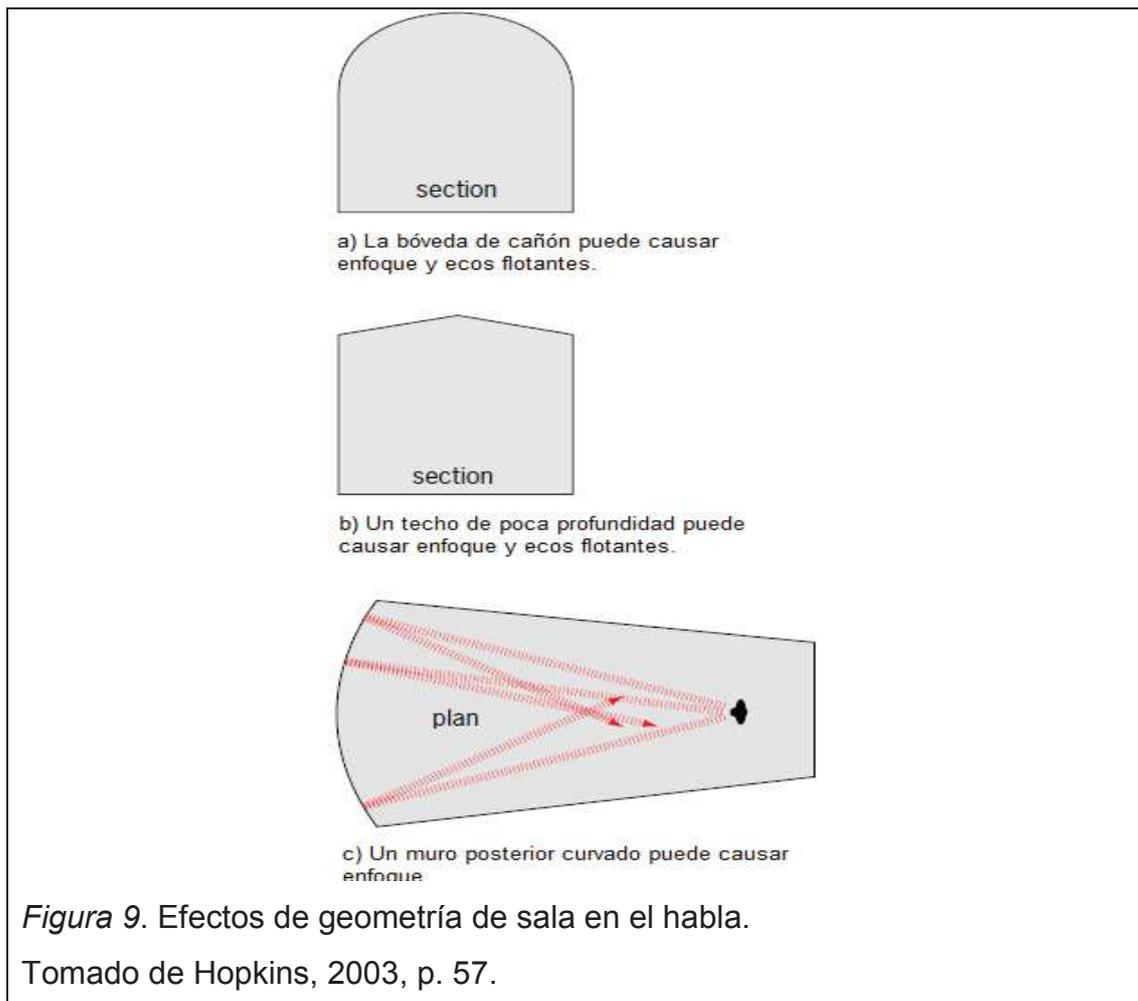


Figura 8. Efectos de geometría de sala en el habla.

Tomado de Hopkins, 2003, p. 56.

El sonido se puede centralizar ocupando cúpulas o bóvedas de cañón ilustradas en la figura 9 (a). Si la cúpula o bóveda de cañón está sobre un piso plano y duro como en un salón de la escuela, se puede producir eco flotante que puede ser molesto para el orador y el oyente por igual. Este efecto también puede ocurrir con livianos techos reflectantes por encima de un suelo plano, véase la figura 9 (b). El mismo efecto también puede ocurrir en el plano donde una habitación tiene una pared trasera curvada o segmentada frente a una pared frontal plana, ver figura 9 (c) (Hopkins, 2003).



1.14 Refuerzo sonoro

Al hablar de refuerzo sonoro nos referimos a un sistema electromecánico diseñado para amplificar el sonido lo más fielmente posible. Una de las razones por las que se requiere este refuerzo es, primero, la acústica del ambiente circundante que dependiendo de la forma y los materiales de que esta hecho puede conspirar contra la propagación del sonido; y segundo, por la cantidad de personas que se enfrenten al emisor (Miyara, 2001).

En salas de la escuela, altavoces de columna pueden estar situados en las paredes laterales, o en un grupo central como se muestra en la Figura 10.

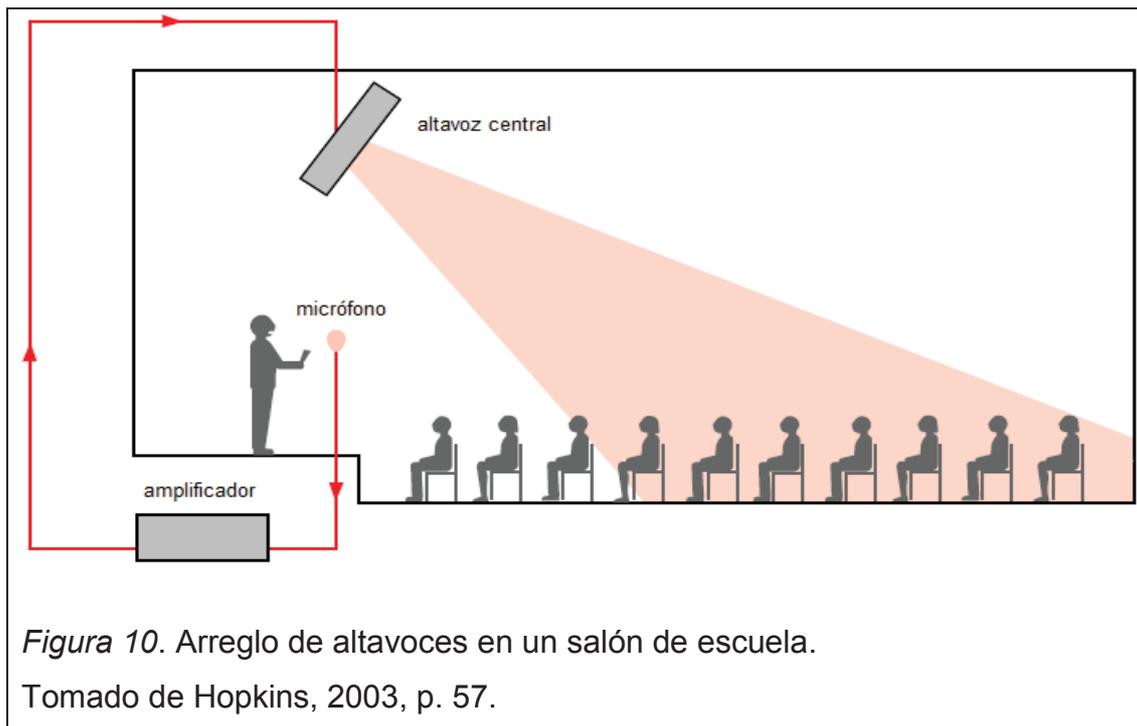


Figura 10. Arreglo de altavoces en un salón de escuela.

Tomado de Hopkins, 2003, p. 57.

1.15 Salones de teatro

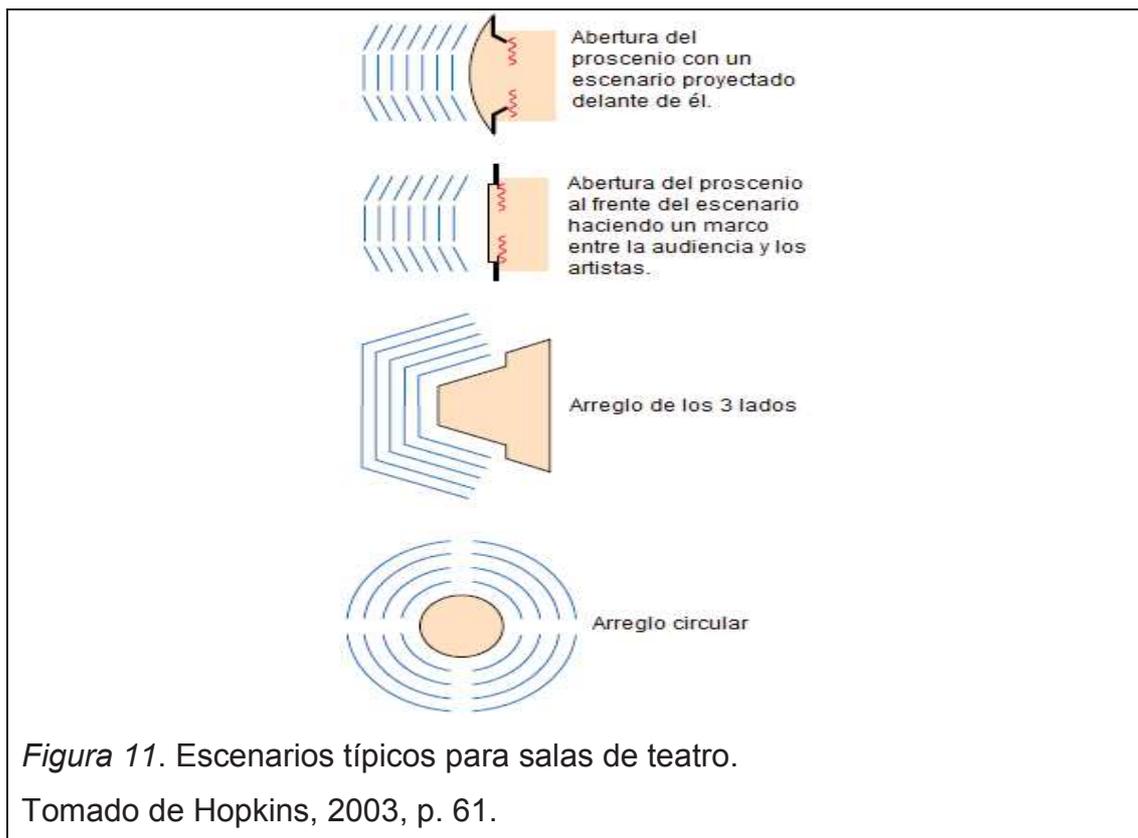
Hay tres tipos de salones de teatro en uso común:

1. Habitaciones para enseñar teatro a pequeña escala y el trabajo práctico
2. Estudios de Drama - para el ensayo y el rendimiento de pequeña escala
3. Teatros y espacios flexibles principalmente para el rendimiento (Hopkins, 2003).

Los materiales para las instalaciones teatrales deberán cubrir las necesidades requeridas por el público. Para estos materiales tenemos la siguiente clasificación: porosos y no porosos. Los porosos son duros, semiduros y blandos, su absorción aumenta con la frecuencia, absorbiendo las frecuencias más elevadas para las cuales nuestro oído es más sensible (Recuero, 1999).

La acústica tiende a cambiar con el diseño, asientos y audiencia. Estas salas pueden estar provistas de cortinas pesadas en algunas o todas las paredes, para permitir cierto control del tiempo de reverberación. En este caso, los acabados de pared serán generalmente duros (mampostería o placas de yeso).

Estudios generalmente tienen suelos de madera y techos acústicos absorbentes, aunque grandes cantidades de iluminación permanente también ofrecen la difusión de utilidad. Algunos teatros varían considerablemente en forma debido al tamaño de la nave de montaje convencional para teatros adaptables. Ellos pueden ser los cines tradicionales con proscenio fijo y el escenario abierto, o en ronda, ver figura 11 (Hopkins, 2003).



Para el éxito de una obra de teatro, es necesario que el público pueda ver y oír mejor que en la mayoría de las otras salas de la escuela. En principio, para lograr una estrecha comunicación entre el actor y el público es necesario restringir el tamaño de la sala de manera que la distancia máxima de cualquier miembro de la audiencia al escenario no exceda los 20 m. En pequeños teatros esto no es generalmente un problema, pero para mayor público se puede requerir el uso de balcones y galerías, dando lugar a la forma de abanico tradicional (Hopkins, 2003).

En muchas ocasiones las salas de cine en las escuelas se utilizan no sólo para el teatro, sino también para conferencias, películas, reuniones y música, pero todos tienen diferentes requisitos acústicos.

1.16 Salones multiusos

En las escuelas grandes hay espacios polivalentes, destinado a actuar como salón de actos, teatro, sala de conciertos e inclusive como gimnasio. En algunos casos se requiere un salón flexible para una variedad de usos y esto da lugar a problemas acústicos específicos debido a las diferentes formas que debe tomar.

Las diferentes funciones de las salas de usos múltiples a menudo tienen requisitos acústicos en conflicto, por lo que es difícil proporcionar un espacio con una acústica óptima para todos los usos. El conflicto principal es entre el habla y la música no amplificada (Hopkins, 2003).

Tabla 5. Requisitos generales acústicos para el habla y música.

Habla	Música
Acústica "en seco"	Acústica viva o "caliente"
Tiempo de reverberación corto	Mucho tiempo de reverberación
Buena claridad, intensidad e inteligibilidad de la palabra	Incluso decadencia de sonido
El sonido debe parecer venir del escenario con alguna contribución de reflexiones de la sala y reverberación perceptible	Buen "desarrollo" - la audiencia debe sentirse rodeada por el sonido y los músicos deben ser capaces de escucharse a sí mismos y entre sí con facilidad
Bajo volumen	Gran volumen

Adaptado de Hopkins, 2003, p. 62.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Descripción del lugar

El colegio de Liga es una institución educativa que se proyecta como uno de los mejores colegios experimentales del Ecuador porque privilegian el desarrollo de las inteligencias, para entregar al país líderes con formación humana, académica, tecnológica y destrezas deportivas.

Este colegio se ubica en la Autopista Manuel Córdova Galarza Km. 11, (Vía Mitad del Mundo) junto al Country Club LDU. A continuación se muestra una figura de su ubicación.

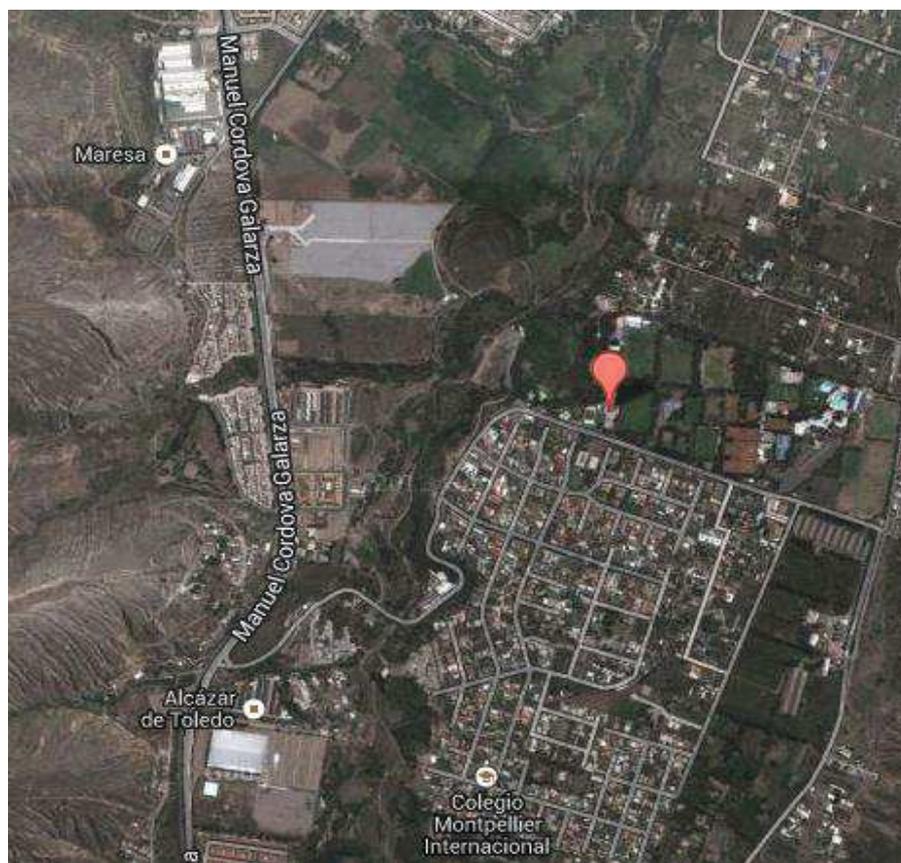


Figura 12. Ubicación del Colegio de Liga.

Tomado de Google Earth, s.f.

El Colegio de Liga, dentro de su planificación contempla espacios deportivos para recreación de los estudiantes y principalmente el salón de uso múltiple donde se ubica el auditorio para todos los eventos y actos culturales.

El salón del auditorio se encuentra en el segundo piso de uno de los edificios de la institución educativa, el espacio es rectangular, casi cuadrado, con una pequeña división para la instalación de una sala de control para el tratamiento de sistemas electro-acústicos del auditorio.

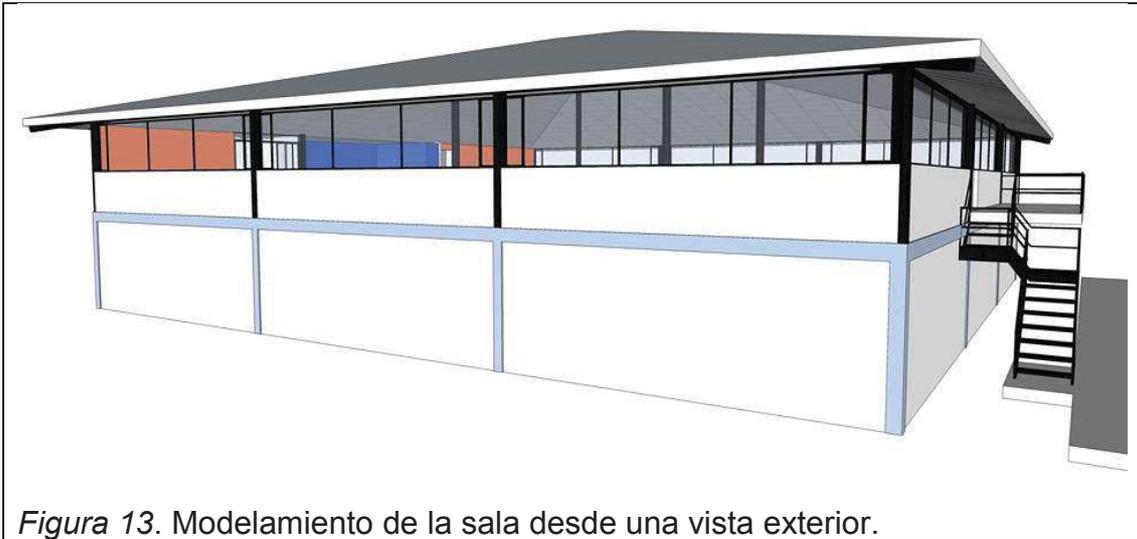


Figura 13. Modelamiento de la sala desde una vista exterior.

2.2 Descripción de la situación actual

El salón de uso múltiple del Colegio de Liga posee varios problemas acústicos como electro-acústicos, principalmente porque sus dimensiones internas y los materiales de recubrimiento existentes, no aportan de manera considerable a una buena distribución de las ondas sonoras, lo que da acogida a diversos efectos acústicos generados por el alto nivel del campo reverberante.

Otro de los problemas que se puede divisar a simple vista en la sala, es que sus paredes laterales son paralelas, por lo cual, está propensa a la generación de ecos flotantes.

En sí, la sala no ha sufrido ningún tratamiento para evitar posibles factores acústicos indeseables, por demás, la mayor parte de su infraestructura es de tipo reflectante.

De igual manera, no cuenta con un sistema electro-acústico adecuado para este prototipo de recinto, y el implementado actualmente, no posee ninguna relación técnica, entre los dispositivos existentes y la ubicación de sus fuentes.

En general, 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 que son muy evidentes al emitir un sonido pueden molestar y fatigar el oído de las personas dentro del recinto.

2.3 Características del Recinto

La sala es de forma rectangular con una cubierta inclinada (15°), las paredes son de hormigón enlucido y pintado. Al final de la sala se encuentran las escaleras para bajar al primer piso.

Este recinto que actualmente es ocupado como salón de uso múltiple dentro del Colegio de Liga cuenta con un área aproximada de 473 m^2 , no contiene ningún escenario fijo ni tampoco butacas fijas, actualmente utilizan sillas móviles dependiendo del número de estudiantes que van a ingresar al salón y también debido a las diferentes actividades que suelen desarrollarse dentro de la institución.

Las dimensiones de la sala nos ayudan a distinguir el área total del recinto, de esta manera detallando el salón especificamos que la sala posee un ancho de 21,72 m, cuenta con un largo de 21,74 m y su altura es de 4,67 m.

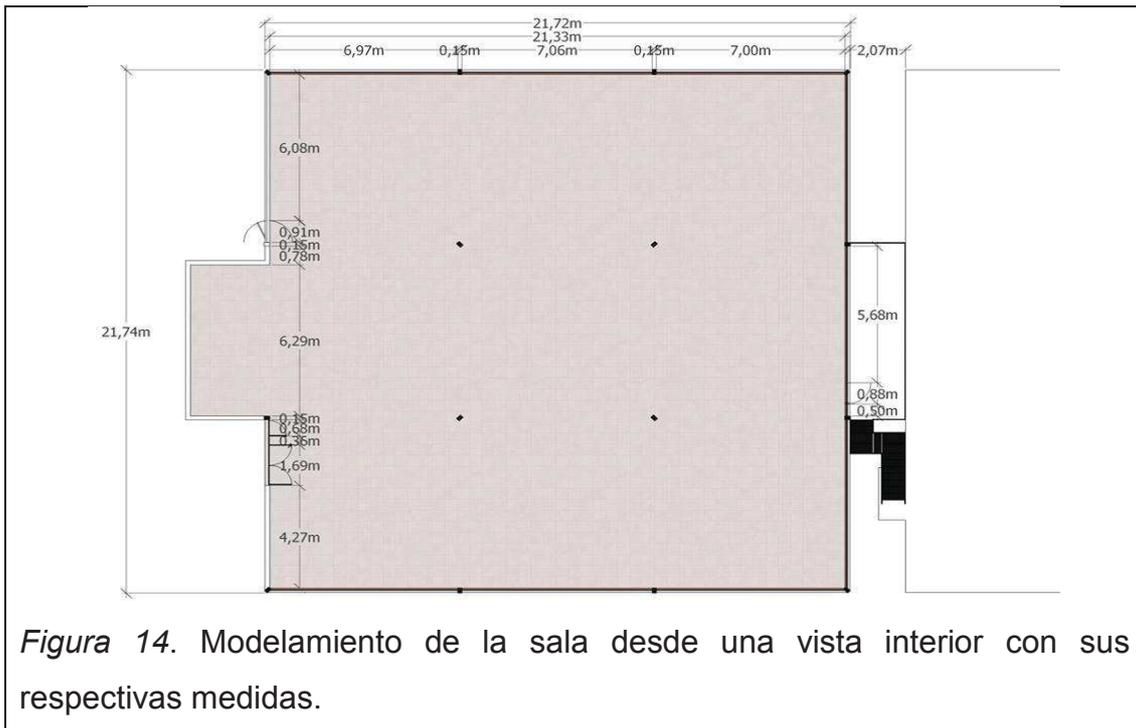


Figura 14. Modelamiento de la sala desde una vista interior con sus respectivas medidas.



Figura 15. Fotografías panorámicas de la sala.

Las superficies del recinto se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 6. Distribución de las superficies de la sala.

SUPERFICIE	S (m²)
Pared	204,26
Techo	700,17
Puertas	8,06
Ventanas	83,42
Piso	503,56
Superficie Total (m²)	1499.47
Volumen Total (m³)	4370.75

Los coeficientes de absorción, brindados por cada superficie son las siguientes:

Tabla 7. Tabla de coeficientes de absorción por bandas de octava acorde al material de revestimiento.

Absorción [Sabines]							
SUPERFICIE	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Paredes laterales	Hormigón pintado	3.95	3.95	3.95	7.89	7.89	7.89
Pared Control Room	Hormigón pintado	0.83	0.83	0.83	1.67	1.67	1.67
Pared Posterior	Hormigón Pintado	16.55	18.20	16.55	13.24	13.24	18.20
Techo	Placas Metálicas	115.30	156,81	83.01	46.12	46.12	27.67
Puerta 1	Metal + Vidrio	1.44	0.96	0.57	0.77	0.96	0.48

Tabla 7. Continuación

Puerta 2	Metal + Vidrio	4.53	3.02	1.81	2.42	3.02	1.51
Ventanas	Vidrio 4mm	8.24	2.75	1.83	1.37	0.91	0.91
Piso	Vinil	2.06	2.06	2.06	4.12	4.12	2.06

Nota: La tabla 7 muestra los resultados de multiplicar el coeficiente de absorción con las respectivas superficies, la tabla original de los coeficientes de absorción fueron tomados de Datos de Hall, y consta en la parte de anexos.

Tomando en cuenta la absorción del aire con un 25% de humedad se obtiene:

Tabla 8. Tabla de coeficientes de absorción producida por el aire.

SUPERFICIE	MATERIAL	S (m ²)	Absorción [Sabines]					
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Aire			--	--	--	--	0.30	0.74

Nota: La tabla 8 muestra los resultados de multiplicar el coeficiente de absorción producido por el aire con las respectivas superficies, la tabla original de los coeficientes de absorción producidos por el aire fueron tomados de Datos de Rossing, y consta en la parte de anexos.

Mediante esta tabla y los datos anteriores, se puede obtener la absorción total del recinto para cada banda de octava.

Tabla 9. Tabla de Absorción Total por bandas de octava.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4[kHz]
Absorción Total [m² Sabine]	196.29	255.96	200.41	173.56	174.19	151.71

Con estos valores se realiza el cálculo de tiempo de reverberación teórico para cada banda de frecuencia, mediante la fórmula de Sabine, cabe recalcar que el uso de la ecuación de Sabine es para obtener un dato calculado teóricamente para luego comprobar con el medido. :

$$RT = 0.161 * \left(\frac{V}{A}\right) [s] \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

V = Volumen total del recinto en [m³].

A= Absorción total en [m² Sabine].

A continuación se muestra la tabla de los resultados obtenidos:

Tabla 10. Datos de los valores de tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid) teóricos.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[KHz]	2[KHz]	4[KHz]	RTmid
RT60 [s]	3.58	2.74	3.51	4.05	4.04	4.64	3.78

2.4 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.

- TIEMPO DE REVERBERACIÓN
- RUIDO DE FONDO
- AISLAMIENTO DE PARTICIONES

2.5 Evaluación Acústica del Recinto

2.5.1 Tiempo de Reverberación

Medición In Situ

Las mediciones de tiempo de reverberación en el auditorio del Colegio de Liga, se llevaron a cabo el día miércoles 6 de noviembre del 2013, de 13H00 a 16H00, siguiendo los parámetros que establece la norma ISO-3382, que se refiere a la evaluación de condiciones acústicas de las salas de conciertos.

Para esta medición se utilizó un micrófono AUDIX, modelo TR40, una interface digital M-AUDIO, modelo FAST TRACK PRO, el software SPECTRAPLUS 5.0, para análisis de resultados, una fuente con componentes Stagg modelo SMS12P.



Figura 16. Fotografías de los instrumentos de medición ocupados dentro de la sala.

Hay que tomar ciertas consideraciones al momento de realizar la medición. La fuente debe producir un nivel de presión sonora suficiente para obtener curvas de decaimiento sin la interferencia del ruido de fondo. Se recomienda dos posiciones de la fuente, a una altura mínima de 1,2 m, a una distancia mínima de 1,5 m de cualquier punto de medición y, a 0,50 m de cualquier superficie.

El número de puntos de medición depende del tamaño del recinto y deben llevar una línea uniformemente espaciada. Los micrófonos se deben colocar a una distancia mínima de 1 m de cualquier superficie reflectante, por ejemplo el

piso o paredes, además, la distancia mínima entre micrófonos deber ser de 1,5 m y la distancia entre el micrófono y la fuente no debe ser mayor a 2 m.

Como primer paso, se ubicó los puntos para realizar las mediciones dentro de la sala. Por lo menos se deben realizar tres mediciones en cada punto.

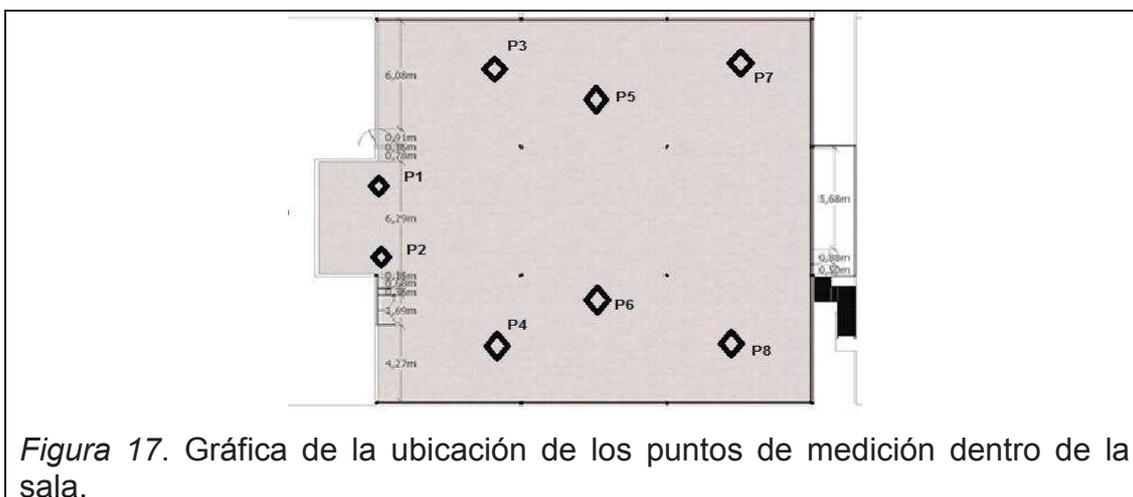


Figura 17. Gráfica de la ubicación de los puntos de medición dentro de la sala.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en la medición:

Tabla 11. Datos del tiempo de reverberación (RT) y tiempo de reverberación medio (RTmid) medidos.

	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4 [kHz]	RT _{MID}
Punto 1	3.08	3.06	2.95	3.67	3.47	2.13	3.31
Punto 2	3.02	2.12	3.94	3.36	3.56	1.91	3.65
Punto 3	2.90	2.78	3.52	3.41	3.14	2.02	3.46
Punto 4	3.13	2.93	4.36	3.51	4.02	2.33	3.93
Punto 5	2.02	3.72	4.49	3.70	3.57	2.26	4.09
Punto 6	1.83	3.61	4.36	4.17	3.45	2.17	4.26
Punto 7	2.17	3.69	4.55	4.13	3.62	2.29	4.34
Punto 8	1.46	2.72	5.04	3.61	4.13	2.34	4.32
	RT_{MID} Total						3.92

Para verificar los datos obtenidos en las mediciones con los teóricos, a continuación se realiza una tabla comparativa de los tiempos de reverberación.

Tabla 12. Comparación entre el tiempo de reverberación (RT) teórico y medido.

	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4 [kHz]	RT _{MID}
Teórico	3.58	2.74	3.51	4.05	4.04	4.64	3.78
Medido	2.45	3.08	4.15	3.70	3.62	2.18	3.92
% Error	31.5	12.4	18.2	8.6	10.3	53	3.7

En la tabla de RT medido y teórico, se puede observar que los datos obtenidos no son del todo homogéneos ya que presentan un margen de error de 19%. Es por esto que teóricamente no se puede afirmar que los datos van a ser los correctos al momento de calcular el RT60, por lo que, es de gran importancia realizar las debidas mediciones in situ.

2.5.2 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 el punto centro del recinto.
4. Obtención de datos del sonómetro.

Los resultados obtenidos en la medición se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 13. Datos de los Valores del Nivel de Ruido de Fondo medido.

Frecuencia	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	8 [kHz]
Ruido Ambiente [dB]	50,3	49,3	47	47,1	42,5	41	40,4	44,7

2.5.3 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 DnT 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.

2.5.3.1 Puerta



Figura 18. Fotografía de la puerta de la sala.

Tabla 14. Resultado medición NPS Puerta del Auditorio del Colegio de Liga.

Aislamiento Puerta							
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L1 (dB)	84,1	80,8	83,6	79,2	82,4	82,6	84,7
L2 (dB)	65	63,5	63,8	60,8	62,9	63,9	66,9
Dnt (dB)	26,1	25,3	29	27,2	28,1	26,6	24,3

Tabla 15. Resultados del valor de aislamiento de ruido aéreo global de la Puerta del Auditorio del Colegio de Liga.

Parámetro	Valor
Dnt,w	29 dB
R'w	12 dB

2.5.3.2 Partición Homogénea (Pared + Ventana)



Tabla 16. Resultado medición NPS Partición homogénea del Auditorio del Colegio de Liga.

Aislamiento Partición Heterogénea (Pared-Ventana)							
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L1 (dB)	79,9	86,1	83	84,2	84,7	84,9	85
L2 (dB)	67,1	61,7	56,7	48,3	50,9	49,6	50
D2m,nt (dB)	19,8	32,5	36	45,9	42,8	43,8	42,9

Tabla 17. Resultados del valor de aislamiento de ruido aéreo global de la Partición homogénea del Auditorio del Colegio de Liga.

Parámetro	Valor
D2m,nt,w	39 dB

2.5.3.3 Pared (Muro)



Tabla 18. Resultado medición NPS Pared (Muro) del Auditorio del Colegio de Liga.

Aislamiento Pared (muro)							
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L1 (dB)	79,5	84,7	83,2	79,9	82,6	83,2	85,5
L2 (dB)	65,9	61,1	52	48,8	48,8	50	50,8
Dnt	20,6	31,6	42,2	41	43,2	41,6	42,3

Tabla 19. Resultados del valor de aislamiento de ruido aéreo global de la Pared (Muro) del Auditorio del Colegio de Liga.

Parámetro	Valor
Dnt,w	41 dB
R'w	29 dB

2.5.3.4 Otra Pared



Tabla 20. Resultado medición NPS Otra pared del Auditorio del Colegio de Liga.

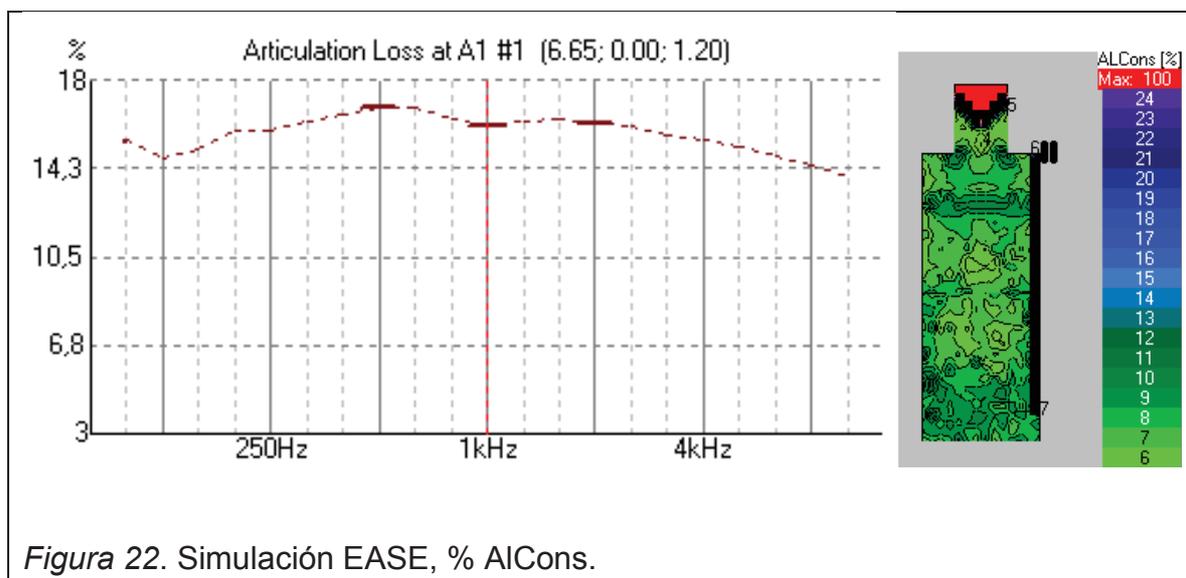
Aislamiento Otra Pared							
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L1 (dB)	79,3	84,2	82,6	79,2	82,4	82,6	84,7
L2 (dB)	65,5	60,5	51,1	47,8	48,1	49,1	50
Dnt	20,8	31,8	42,8	41,6	43,7	42	42,6

Tabla 21. Resultados del valor de aislamiento de ruido aéreo global de la Otra pared del Auditorio del Colegio de Liga.

Parámetro	Valor
Dnt,w	41 dB
R'w	29 dB

2.6 Análisis de la Situación del Recinto

La simulación del recinto se la realizó en el software EASE, que es un sistema de adecuación arquitectónica, capaz de simular el comportamiento acústico de un recinto antes de su construcción. Ingresando los datos proporcionados en el levantamiento arquitectónico del auditorio, se empezó a simular obteniendo los siguientes resultados.



El %ALCons es un método que consiste en mostrar el porcentaje de las consonantes que se pierden, y en este resultado obtenido en la simulación se encuentra alrededor de un 15%, lo cual, acorde a las tablas referenciales para recintos, se encuentra en una calificación “Pobre”.

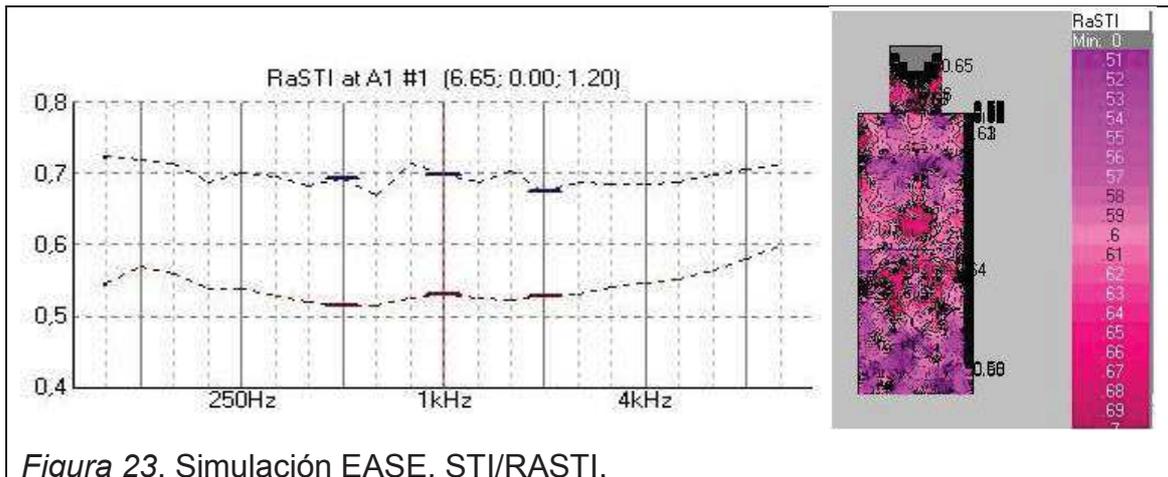


Figura 23. Simulación EASE, STI/RASTI.

El parámetro RASTI es una manera objetiva de medir la inteligibilidad. Se mide en dos frecuencias distintas (500 y 2000 Hz) al colocar un altavoz que transmite el sonido del sitio donde el emisor se encuentra y un micrófono en el lugar de los receptores. Para este resultado, tomando en cuenta que, 0 completamente ininteligible y 1 inteligibilidad óptima, se encuentra oscilando alrededor de 0,56, que es un porcentaje “Aceptable”.



Figura 24. Simulación EASE, C50.

El parámetro C50 que sirve para definir la claridad de la voz, para este resultado, nos indica que el recinto posee una aceptable claridad de la voz ya que supera los 2 dB.

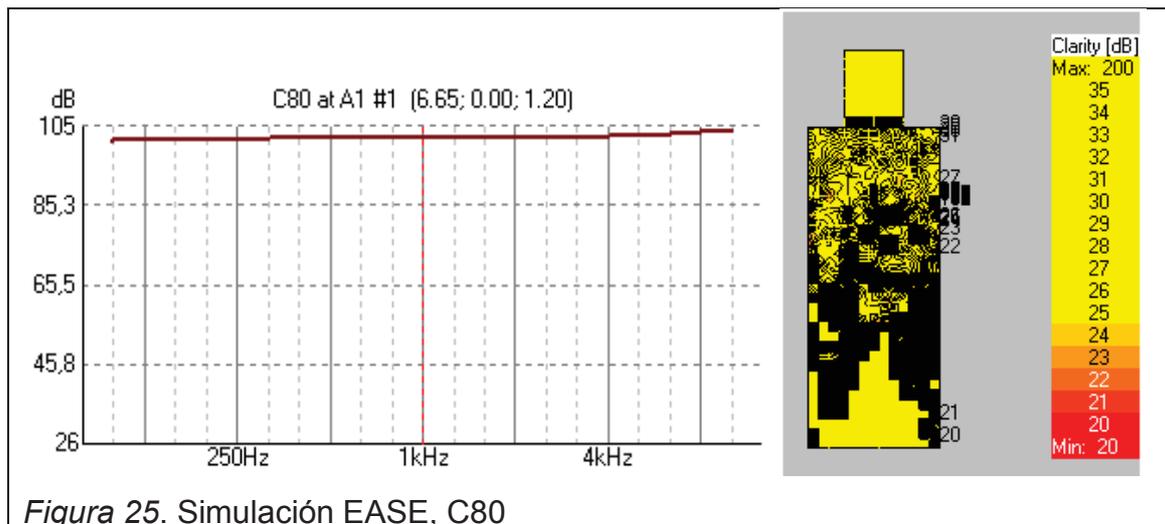


Figura 25. Simulación EASE, C80

Para el parámetro C80 se recomienda que el nivel no supere los 8 dB para una correcta claridad musical, lo cual no se ve reflejado en esta gráfica ya que los valores exceden en gran amplitud.

Los parámetros C50, C80, %ALCons y RASTI son tomados especialmente para estudiar salas enfocadas para conferencias, auditorios, teatros o salas de conciertos, por esta razón, es importante cumplir con los parámetros sugeridos y mediante un correcto acondicionamiento mejorar ciertos parámetros que todavía no cumplen con lo estipulado.

2.7 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 T60 de la sala tiene un RTmid equivalente a 3,78 s, 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 s.

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

3. PROPUESTA DE DISEÑO

3.1 Aislamiento Acústico

El objetivo principal de aislamiento acústico es cumplir con los valores de las normas de funcionamiento de aislamiento de ruido aéreo entre espacios utilizados por los estudiantes, mencionados en la tabla 3, para lo cual se necesita tener un valor de $R'w = 30$ dB.

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 éstas.

La propuesta de tratamiento es la de cambiar el vidrio actual por otro vidrio doble laminado de 6 mm con una cavidad de 100 mm y 4 mm de espesor.



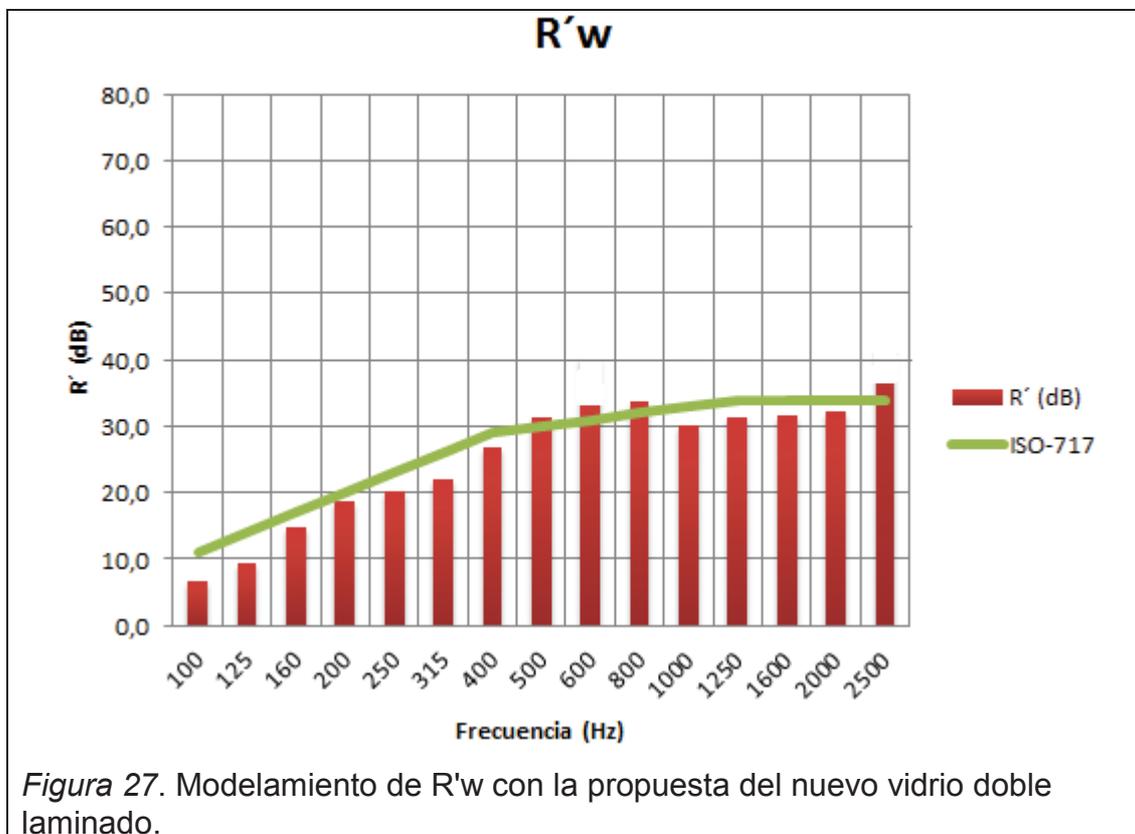
Figura 26. Vidrio doble laminado de 6 mm, 100 mm de cavidad y 4 mm de espesor. Sus datos respectivos se especifican en la tabla 22.

Tomado de www.vidresweb.com, 2014.

Tabla 22. Aislamiento que ofrece el vidrio doble laminado.

Vidrio Doble Laminado Espesor - Cavidad - Espesor (mm)	(Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
6 - 100 - 4	26 dB	20 dB	44 dB	56 dB	38 dB	52 dB

El valor de aislamiento de ruido global que se obtendría con la propuesta de cambio a vidrio doble laminado de 6 mm, 100 mm de cavidad y 4 mm de espesor, es: $R'w = 30$ dB, por lo que se cumple el criterio de diseño.



3.1.2 Tratamiento de puerta

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

Según los datos obtenidos en su respectiva medición, se propone cambiar la puerta 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 establecer un $R'w = 30$ dB.

Especificaciones:

Puertas Noise Lock modelos 43C y 43D

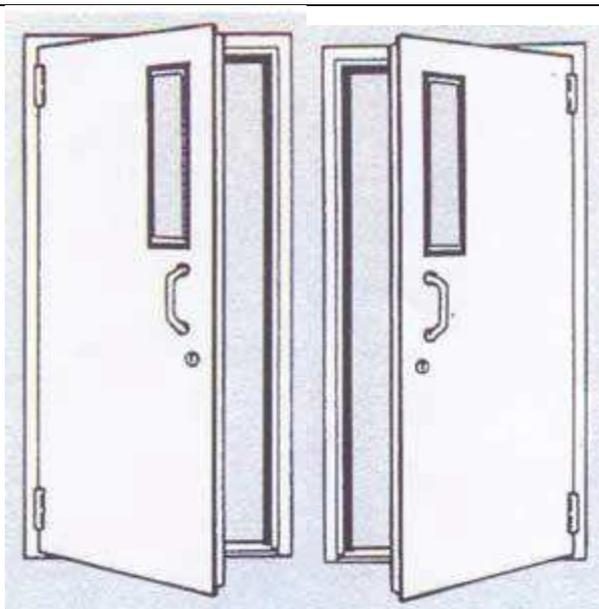


Figura 28. Puerta de madera barnizada robusta con correcta insonorización acústica. Sus datos respectivos se especifican en la tabla 23.

Tomado de www.stopson.com, 2014.

Dimensiones: 1 m x 2 m de altura.

Material: Madera barnizada robusta.

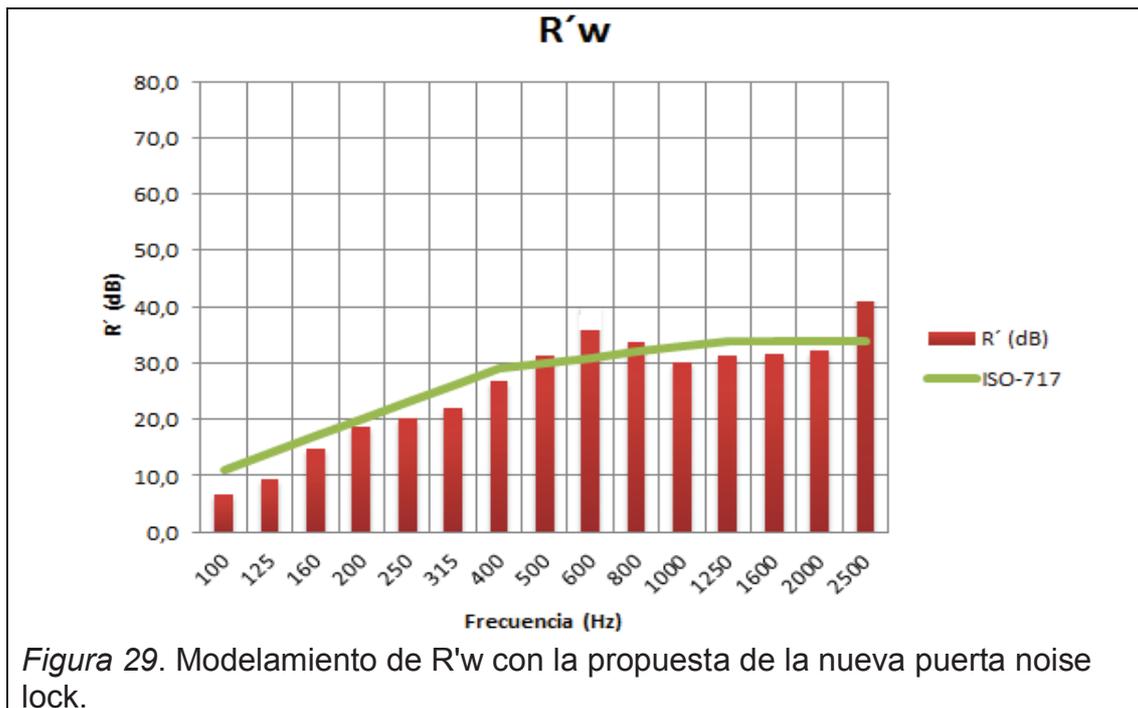
Armazón montable y adaptable a muros de diversos espesores.

Bisagras con levas, eliminan piezas de ajuste inferior.

Garantía para correcta insonorización acústica.

Tabla 23. Aislamiento que ofrece la nueva puerta de madera barnizada robusta.

Puerta Noise Lock	(Hz)					
Espesor (mm)	125	250	500	1000	2000	4000
45	21 dB	40 dB	41 dB	43 dB	44 dB	51 dB



3.1.3 Tratamiento de paredes

Se puede concluir que las paredes del recinto no son el principal problema de aislamiento, ya que presentan un $R'w = 29$ dB, con esto se decide aplicar la técnica de trasdosado para mejorar su rendimiento acústico.



Figura 30. Técnica de trasdosado con láminas de yeso (gypsum).

Tomado de www.obrasonline.com, s.f.

3.1.4 Tratamiento del Techo

Se recomienda sobre la partición del techo, sellar las goteras existentes, con esto se logra solucionar la pequeña cantidad de filtraciones provenientes del techo, en un futuro de ser posible, instalar otro techo que aporte mayor masa previo a aprobación de un ingeniero civil, factor cargas.

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

Tabla 24. Tabla de materiales y coeficientes de absorción usados en acondicionamiento.

MATERIAL	COEFICIENTES DE ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
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
CORTINA 475 g/m ² DOBLADA AL 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60

Tabla 22. Continuación.

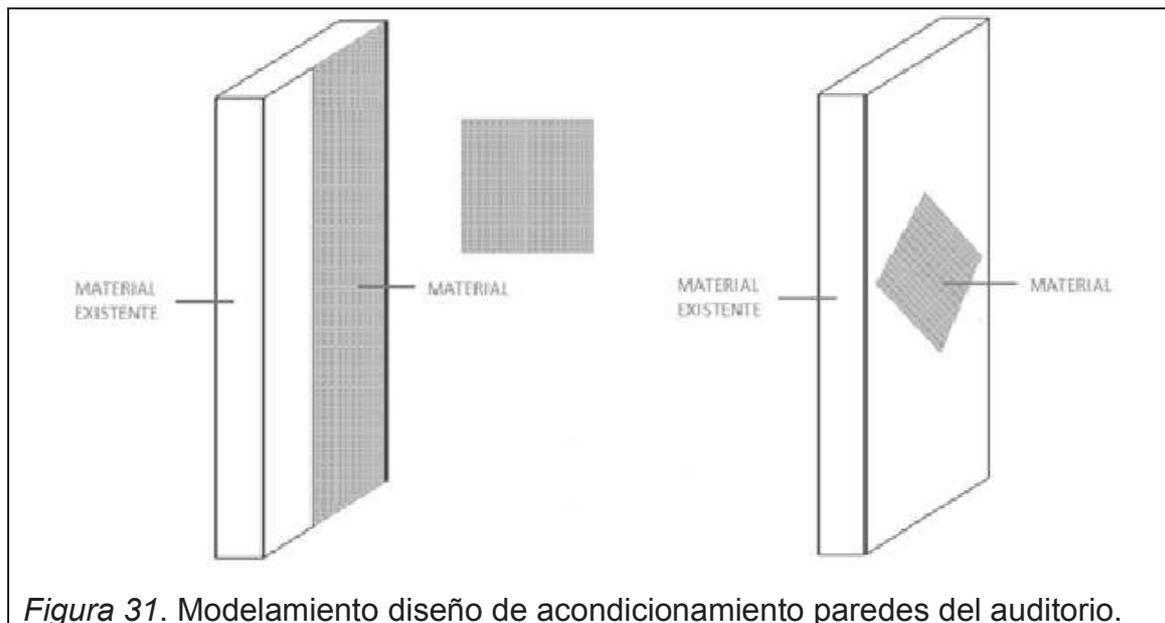
FONAC	0,16	0,15	0,34	0,68	0,90	0,78
PLACA DE YESO 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
PARED ENLUCIDA PINTADA	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
AISLHOGAR DE 5,1 mm	0,22	0,60	0,91	0,93	0,91	0,95
ACUSTIFIBRA DE 3,8 mm	0,12	0,52	0,95	1	0,98	1
VINIL	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01

Nota: Estos valores fueron tomados de la página: <http://sonoflex.com/fonac/fonoabsorbente-conformado/>.

3.2.2 Tratamiento de Paredes

Dentro de la arquitectura y acabados del recinto, son las paredes la partición cuya superficie nos permite calcular la mayor cantidad de material absorbente al no tener ningún material adherido, razón por la cual, se plantea instalar planchas de lana de vidrio 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 m, 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 m, 3,8 cm de espesor y 30 kg/m^3 , cubierta con tela de algodón plegada a un 50 % en una superficie total de $43,48 \text{ m}^2$.



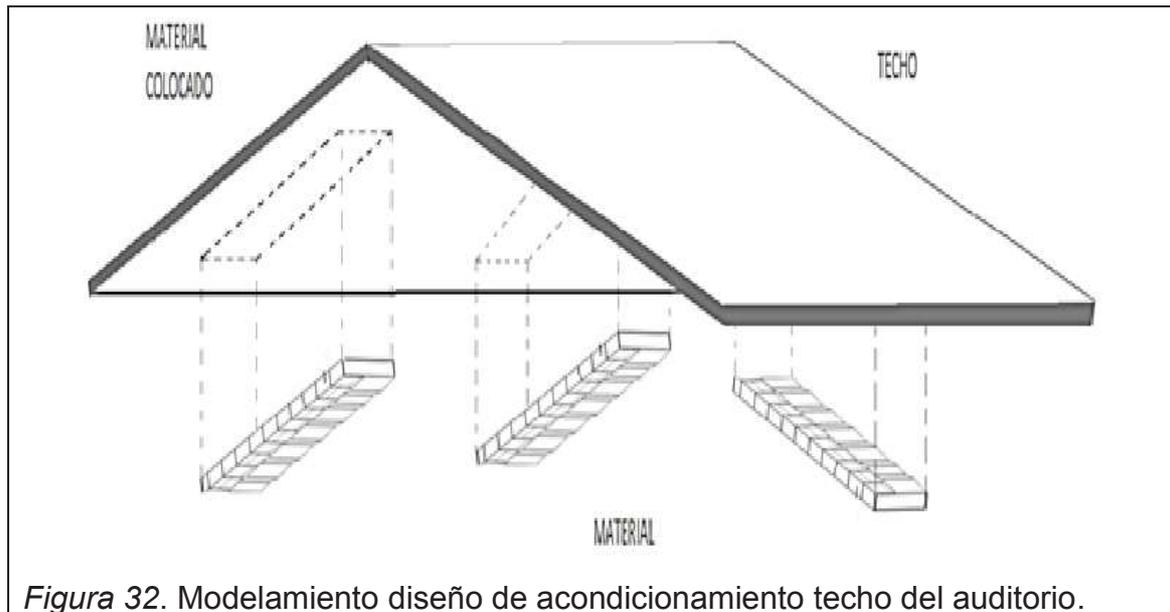
3.2.3 Tratamiento del suelo

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

3.2.4 Tratamiento del techo

El techo del recinto es la superficie más grande por la cual se plantea colocar planchas de lana de vidrio forrada con tela de algodón doblada a la mitad, para no interferir ni realizar cambios drásticos con el material del techo actual.

- ✓ 10 planchas de lana de vidrio de 1 x 1,22 m, 5,1 cm de espesor y 10 kg/m^3 , cubierta con tela de algodón plegada a un 50 % sobre una superficie total de 14,88 m^2
- ✓ De los 800,17 m^2 iniciales, quedan 785,29 m^2 de Gypsum en el techo del recinto.



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.



Figura 33. Modelamiento de cortinas colocadas en las ventanas del recinto.

3.2.6 Propuesta de acondicionamiento de la sala

Antes de realizar el cálculo de T60 para la sala con los nuevos materiales cabe mencionar que la absorción real de la sala en su condición actual era:

Tabla 25. Tabla de Absorción Total por bandas de octava.

Frecuencia	125[Hz]	250[Hz]	500[Hz]	1[kHz]	2[kHz]	4[kHz]
Absorción Total [m² Sabine]	196.29	255.96	200.41	173.56	174.19	151.71

3.2.7 Cálculo de la nueva absorción de la sala.

Tabla 26. Cálculo de la nueva absorción de la sala con la propuesta de los materiales de acondicionamiento acústico.

PARTICIÓN	TIPO DE MATERIAL	Superficie m ²	ABSORCIÓN (m ² Sabine)					
			125	250	500	1k	2k	4k
PAREDES	Lana de vidrio a 1,50 m 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	117,20	112,99	105,93
PAREDES	Lana de vidrio a 2,50 m 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

Tabla 26. Continuación.

PAREDES	Hormigón pintado	77,87	0,78	0,78	1,56	1,56	1,56	1,56
PUERTAS	Madera de 0,3 cm con 5 cm de cámara	16,00	4,00	5,44	2,88	1,60	1,60	0,96
PISO	Vinil	219,62	2,20	2,20	2,20	4,39	4,39	2,20
TECHO	Placa de Yeso de 12 mm 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 m, 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	83,42	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	Personas en asiento tapizado (0,8m ² /persona)	320,00	169,60	163,20	163,20	179,20	179,20	188,80

Tabla 27. Tabla de la nueva absorción total de la sala con la propuesta de acondicionamiento.

ABSORCIÓN TOTAL DE LA SALA	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2kHz	4kHz
	373,43	372,48	406,03	461,53	469,09	466,91

Tabla 28. Nuevo T60 de la sala.

T60	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	1,1	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9

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

$$RT_{mid} = 1 \text{ segundo}$$

Como se puede observar, los resultados de Tiempo de Reverberación con las soluciones y los materiales propuestos, se encuentra dentro del margen referencial para uso de conciertos.

El T60 obtenido es un valor obtenido teóricamente, por lo que a continuación mediante el estudio y la simulación del software ESASE 4.3, se realizará su respectiva comparación.

3.3 Implementación Electro-Acústica

Existen varios dispositivos electrónicos de tipo analógico y digital, pero los más utilizados actualmente, son los sistemas digitales, esto debido a su versatilidad, tanto en manejo como en traslado. Un sistema analógico básico para sonido en vivo, contiene como mínimo los siguientes implementos:

Tabla 29. Implementos Básicos de un Sistema de Refuerzo Sonoro Analógico.

CANT.	DETALLE
1	Consola Analógica
1	Ecuador
1	Procesador de Señales
1	Compresor
1	Puerta de ruido
1	Procesador de Efectos
1	Amplificador de potencia
1	Altavoces
1	Micrófonos

En la tabla anterior se muestran sólo los implementos básicos de un sistema de sonido en vivo, pero en la realidad, no se cuenta sólo con uno de cada tipo, por lo general dependiendo de la magnitud del sistema de amplificación, los dispositivos electrónicos aumentan considerablemente.

Por esta razón, muchas personas dedicadas al sonido en vivo, han cambiado de lo analógico a lo digital. En gustos y estética, es muy variable la obtención de resultados propuestos, ya que, la sonoridad no es la misma al pasar una señal por un sistema analógico que por uno digital.

Un sistema digital, por otra parte, constaría con la siguiente implementación básica:

Tabla 30. Implementos Básicos de un Sistema de Refuerzo Sonoro Digital.

CANT.	DETALLE
1	Consola Digital
1	Amplificador de Potencia
1	Altavoces
1	Micrófonos

Si se compara el sistema digital con el analógico, el sistema digital es más conciso, cuenta con los implementos necesarios para trabajar a nivel profesional y evita el traslado de varios dispositivos a la vez. Por este motivo, este proyecto va a sugerir un sistema digital para su reacondicionamiento electro-acústico.

3.3.1 Implementos a utilizar en el Acondicionamiento Electro-Acústico

Acorde a lo mencionado en el apartado anterior, vamos a implementar el siguiente sistema de amplificación:

Tabla 31. Tabla de Implementación Electro-acústica.

CANT.	DESCRIPCIÓN
1	Consola Yamaha Digital, modelo LS9 de 32 canales
1	Amplificador de Potencia Nexo, modelo NXAMP 4x4
12	Altavoces Nexo, modelo GEO-S12
4	Sub bajos Nexo, modelo LS600-1
3	Monitores Activos Yorville, modelo NX55P
12	Micrófonos Shure, modelo SM58
5	Cajas Directas Whirlwind Imp 2
1	Multipar 32 canales 30(m) Proel
2	Bumper Nexo, modelo GST
16	Cable Plan-PW-MS25
20	Cable GLS Audio Mic XLR, 7.62 m
5	Cable Hosa CSS 10 TRS, 3.1 m

Todos los equipos son muy cotizados a nivel profesional y poseen características de excelente calidad.

Los equipos pueden ser montados y desmontados fácilmente por lo que facilita su traslado de un lugar a otro de manera versátil, incrementando su uso a nivel local. Dispositivos electrónicos como, ecualizadores, aportan al mejoramiento de la inteligibilidad de la palabra, esto debido a que su uso en recintos, ayudan en la obtención de respuestas frecuenciales más planas y por ende con mejores resultados en todas las bandas de frecuencia.

3.3.2 Incrustación de estructura metálica para colocación de Altavoces

Por el hecho de no constar con una superficie maciza en el techo para que se puedan sujetar los altavoces, se ha sugerido realizar un puente metálico capaz de soportar el peso producido por los altavoces en el aire.

La única superficie firme que existe en el techo es la estructura metálica que se encuentra instalada por encima de los paneles de madera, pero no son lo suficientemente gruesos como para resistir magnitudes de esta índole.

Luego de una revisión técnica, realizada por un ingeniero mecánico, la solución que nos propuso fue la siguiente:

Tabla 32. Características estructura metálica.

Características
Estructura Metálica con Tubo cuadrado de acero de 50x50x3 mm. Con ángulo de 38x3 mm. Plancha de acero de 6 mm. con pintura Electrostática

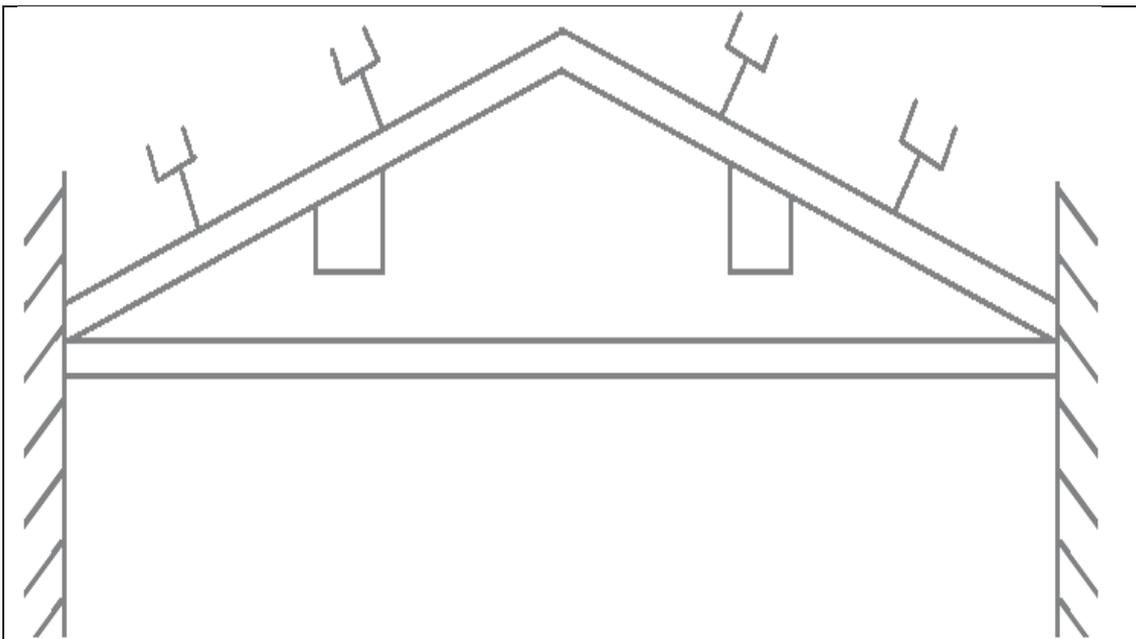


Figura 34. Vista frontal de la estructura instalada.

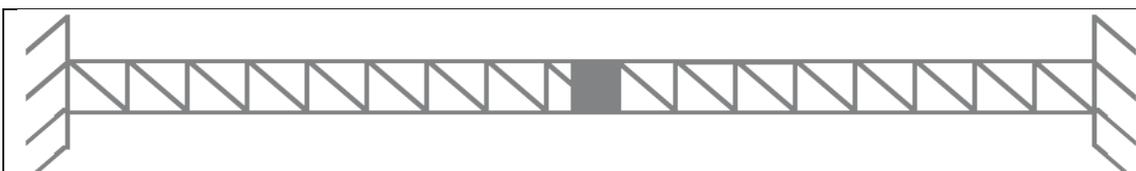
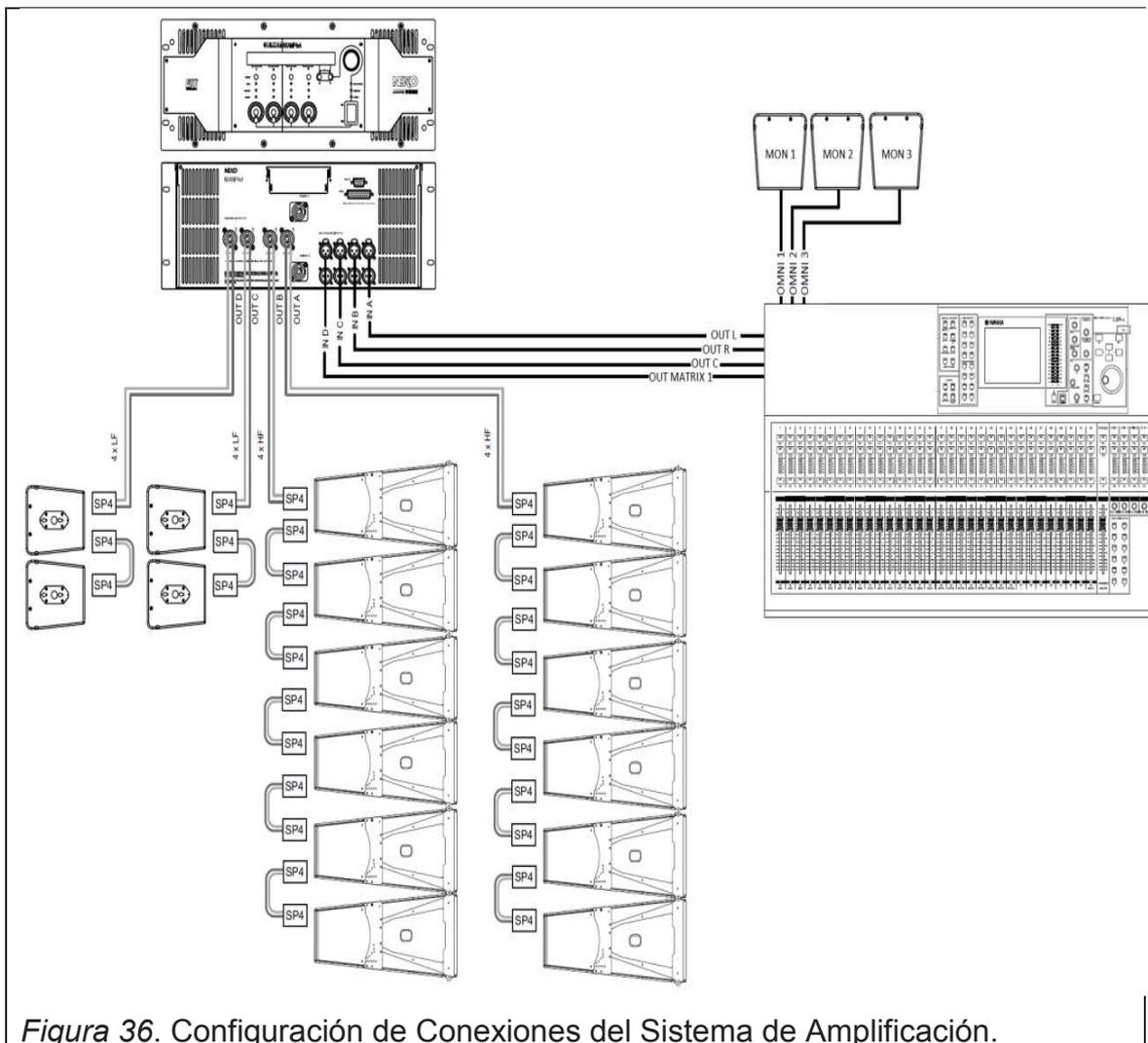


Figura 35. Vista superior de la estructura instalada.

La parte superior se encuentra colocada mediante vinchas metálicas, sujetas a la estructura ya existente, y en las paredes laterales de hormigón, se reforzará con incrustaciones de acero.

3.3.3 Conexión del sistema de Amplificación

A continuación se presenta un sistema de conexiones para el sistema de amplificación:



El amplificador de potencia, trabaja como un sistema procesador de señales, pero con la diferencia que no hay manera de variar la frecuencia de corte. El corte está prefijado por el sistema mismo y solo permite escoger la distribución por canales.

Los monitores son activos por lo que no necesitan el uso de un amplificador de potencia.

4. MODELAMIENTO

4.1 Software EASE 4.3

Localizada en Berlín, Alemania, AFMG (Ankert 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
- ✓ ESASERA SYSTUNE
- ✓ EASE ADDRESS
- ✓ ESASE 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.

4.2 Modelamiento del Recinto mediante software EASE 4.3

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

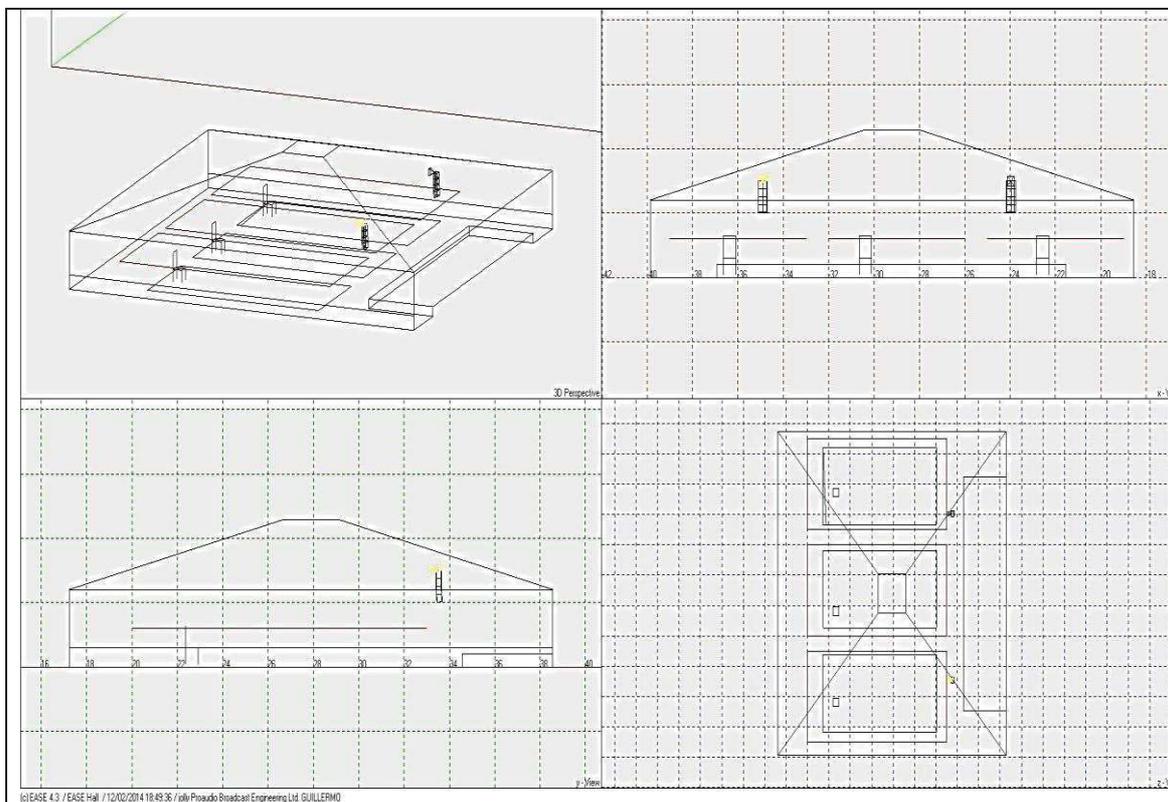


Figura 37. Auditorio del Colegio de Liga, archivo importado desde Sketch Up.

4.3 Estimación de Parámetros

4.3.1 T_{60}

Con motivo de estar más cerca a la realidad del recinto y evaluar que los cálculos realizados anteriormente acierten en un alto grado, se ha decidido calcular los parámetros de T_{60} de la sala con la propuesta de acondicionamiento usando el software EASE 4.3.

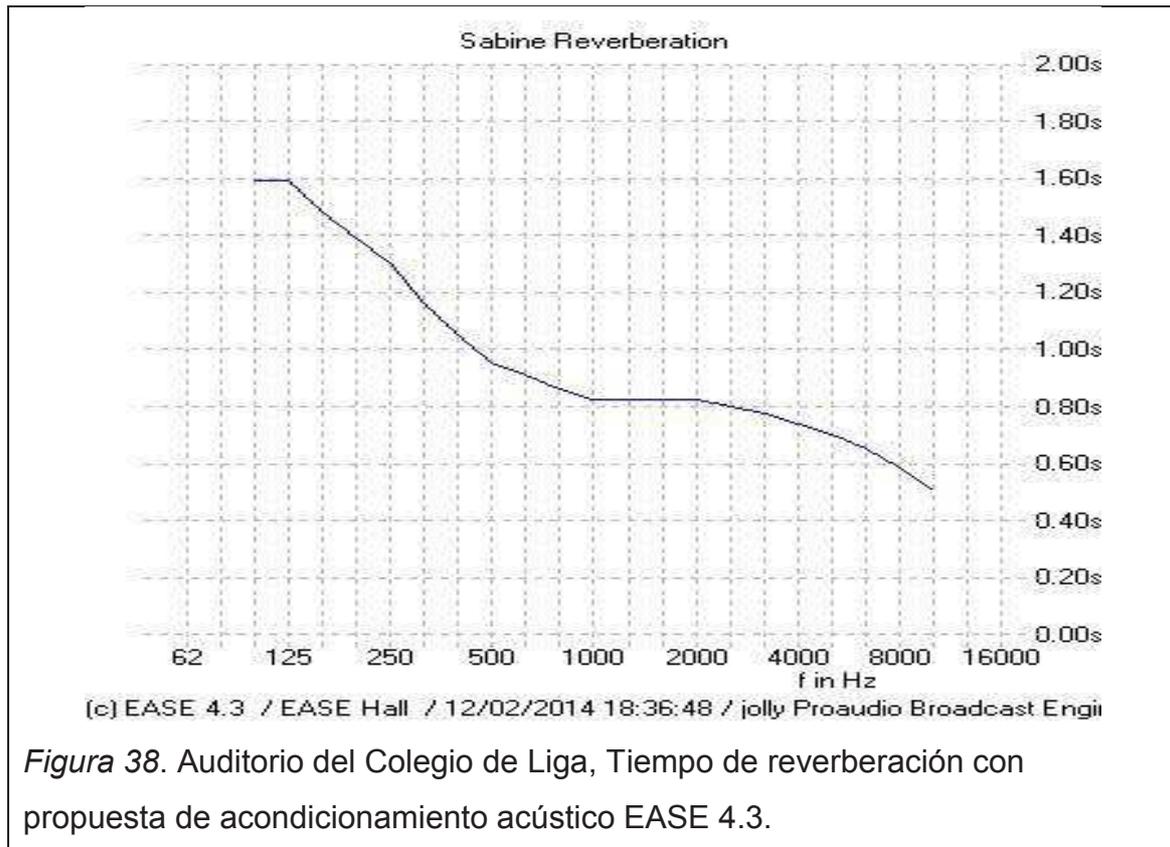


Figura 38. Auditorio del Colegio de Liga, Tiempo de reverberación con propuesta de acondicionamiento acústico EASE 4.3.

Como resultado tenemos un valor muy similar de RT_{mid} en comparación al valor obtenido mediante los cálculos anteriores.

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

$$RT_{mid} = 0,91 \text{ segundos}$$

4.3.2 Claridad de la voz (C_{50})

Obtenidos los datos de C_{50} de cada punto de la sala, y con los factores de ponderación establecidos a continuación se describe la distribución de valores de c_{50} dentro del auditorio del Colegio de Liga.

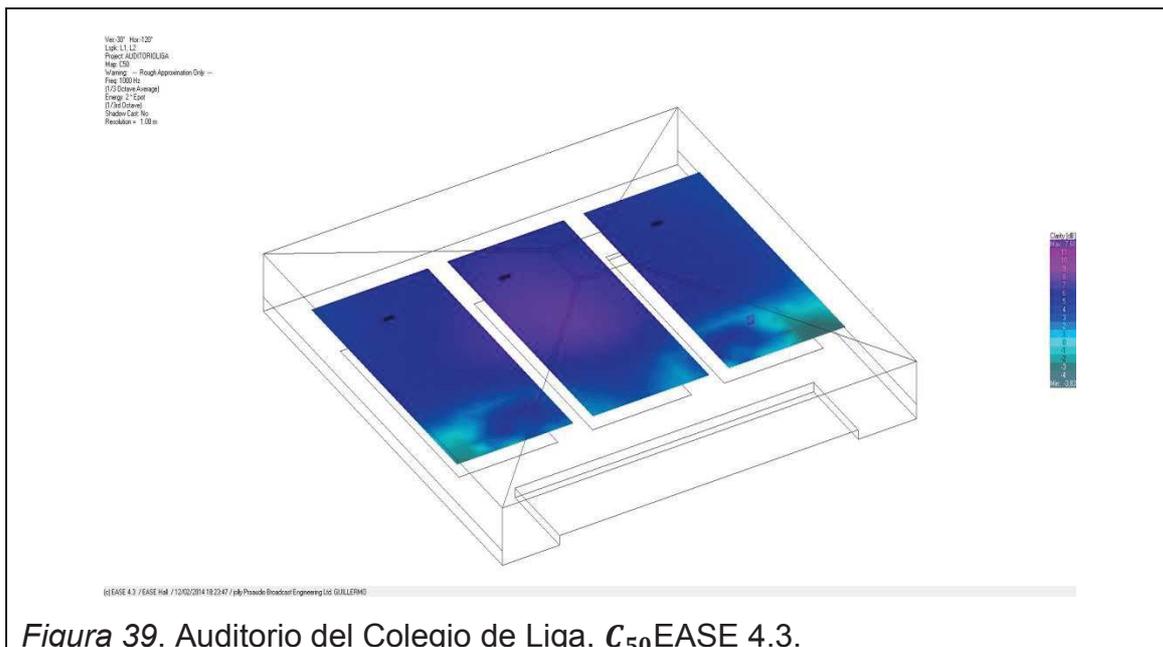


Figura 39. Auditorio del Colegio de Liga, C_{50} EASE 4.3.

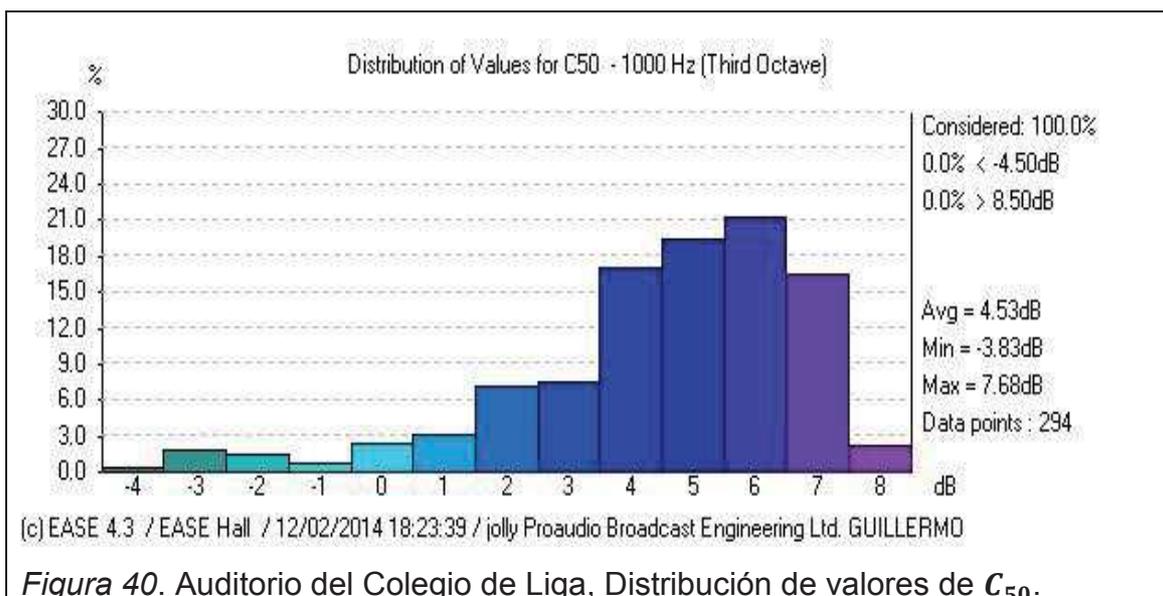
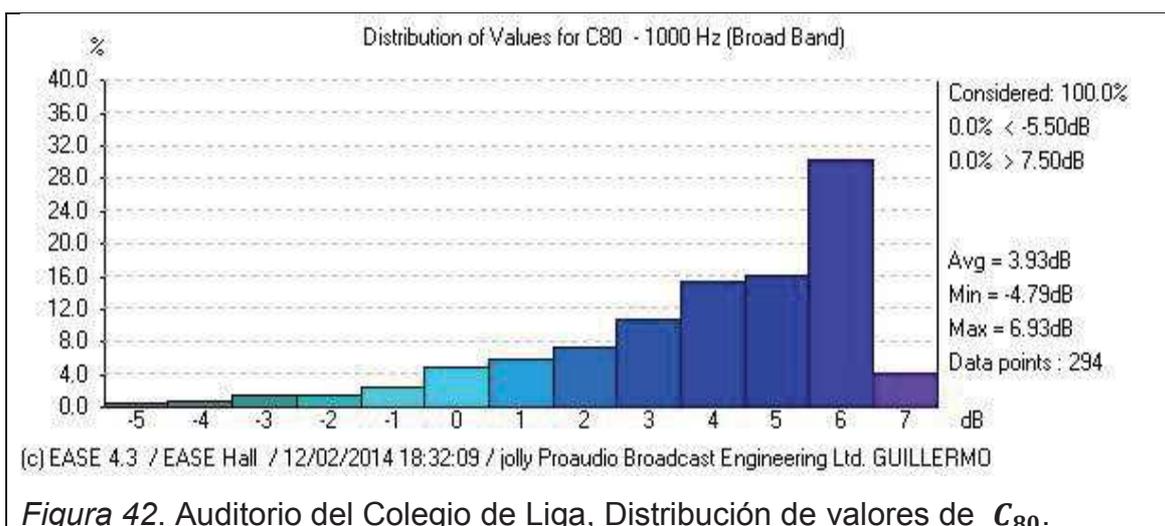
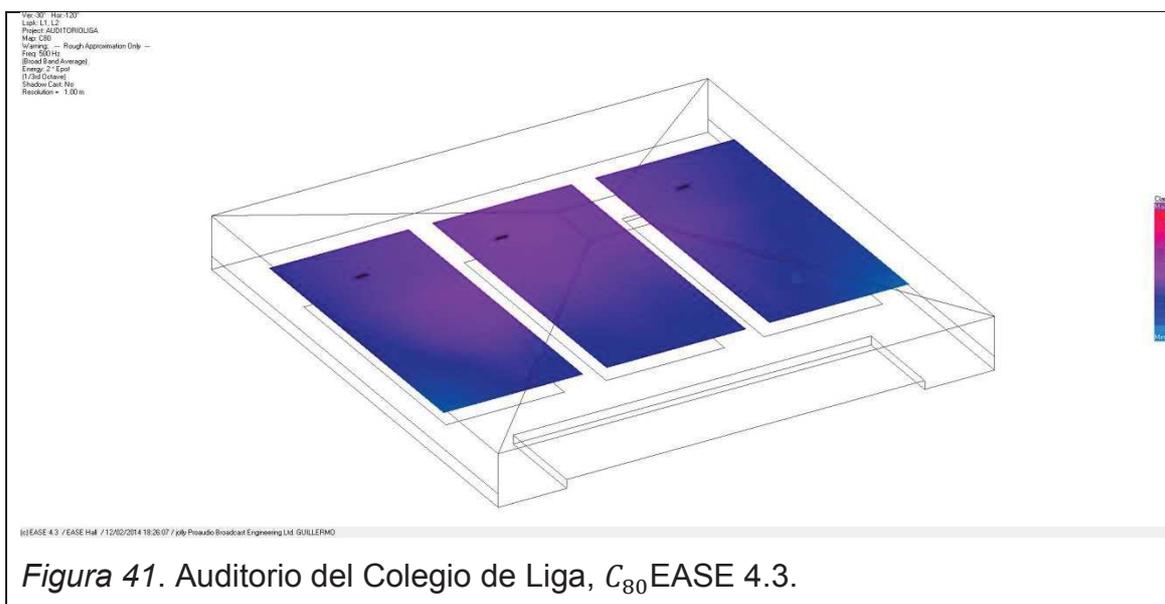


Figura 40. Auditorio del Colegio de Liga, Distribución de valores de C_{50} .

El parámetro C_{50} obtenido en la simulación se encuentra por encima de los 0 dB. Un valor de C_{50} mayor a 2 (dB) es el recomendado para una buena claridad del discurso. Por lo cual se puede asegurar que la sala va a tener una buena claridad tonal.

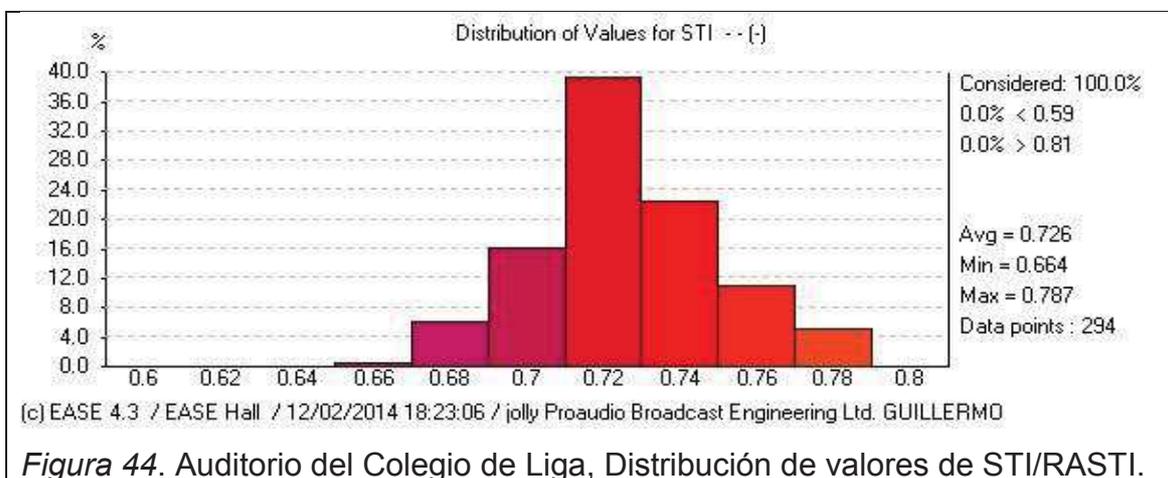
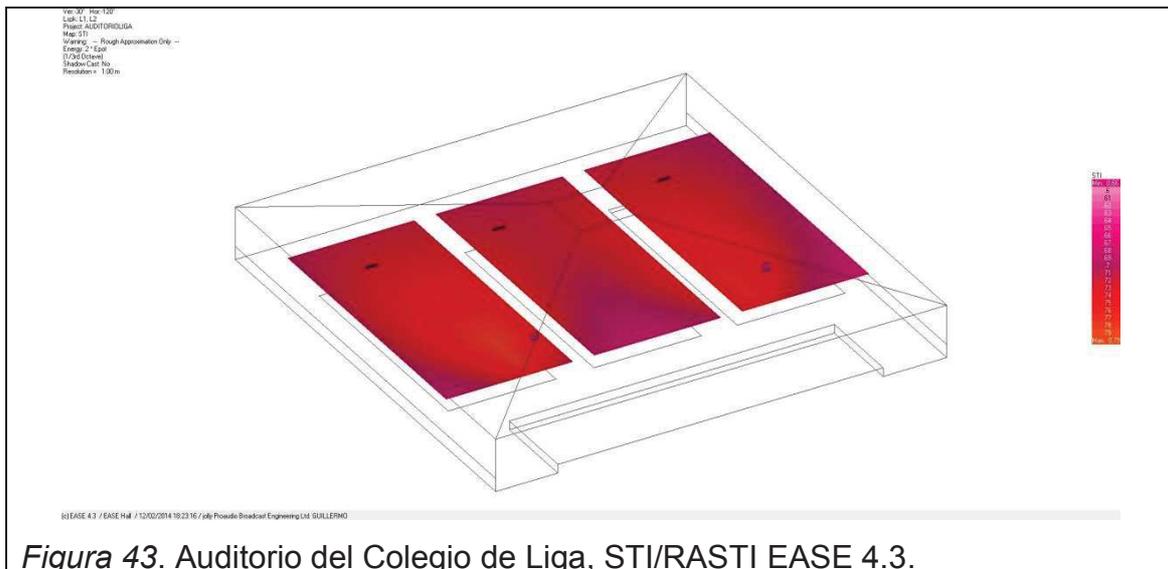
4.3.3 Music Average (C_{80})



Para este parámetro como se había expuesto anteriormente, se recomienda que el nivel no sea inferior a los 2 dB y no supere los 8 dB para una correcta claridad musical. El dato que nos entrega la simulación para el parámetro C_{80} se encuentra en los 4 dB, que es un valor acorde al margen correspondiente a lo “CORRECTO” técnicamente.

4.3.4 Inteligibilidad de la palabra (STI/RASTI)

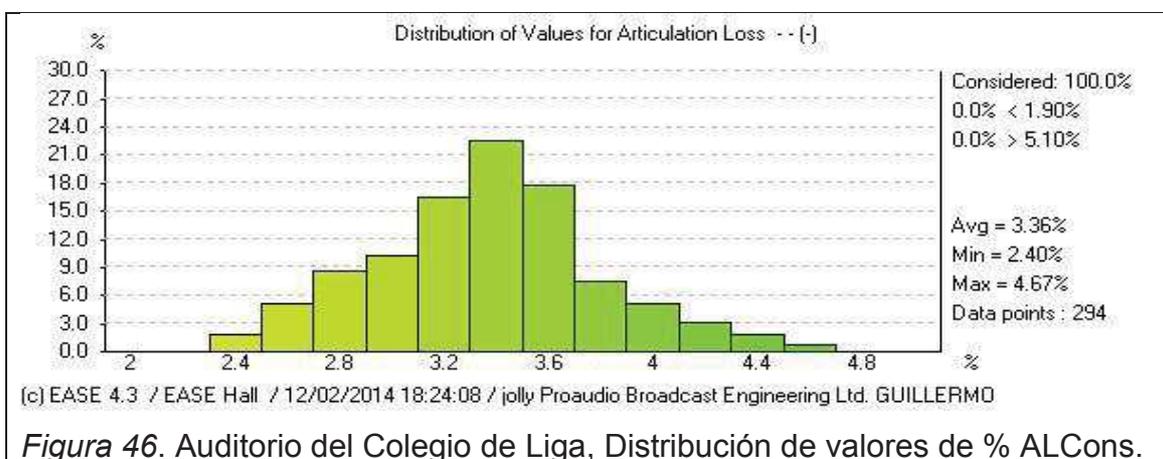
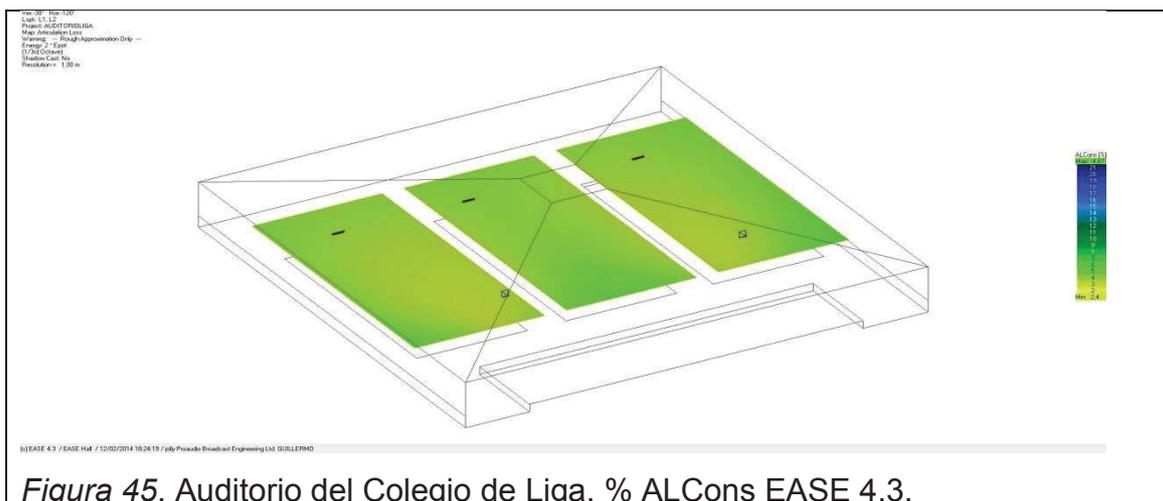
La inteligibilidad de la palabra dentro de una sala se la puede realizar mediante varios estimadores, en este caso particular se ha utilizado STI/RASTI y mediante la tabla de valoración subjetiva del grado de inteligibilidad evaluaremos esta sala.



El parámetro STI/ RASTI, marca su punto máximo en 0.78 y su punto mínimo en 0.66 aproximadamente, para este caso el valor obtenido en la simulación se encuentra en calificación “BUENA”.

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.



El % ALCons marca su punto máximo en 4,67% y su punto mínimo en 2,40%, que acorde a la tabla de valores referenciales se encuentra en una calificación “BUENA”. Este valor nos muestra que el acondicionamiento acústico está aportando al mejoramiento de la inteligibilidad de la palabra.

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.

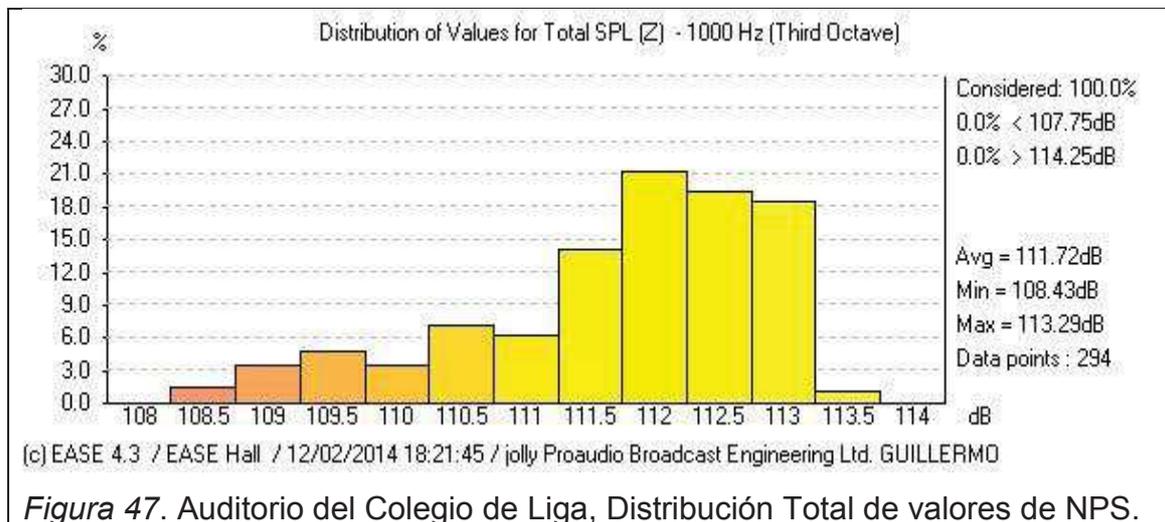


Figura 47. Auditorio del Colegio de Liga, Distribución Total de valores de NPS.

El NPS total, nos muestra que la respuesta de la sala es bastante buena, mantiene su nivel alrededor de los 111,72 dB, este dato de igual manera se lo podrá comparar con el NPS que se obtendrá al momento de realizar la simulación del sistema de refuerzo sonoro.

4.4 Simulación Electro-acústica del sistema de refuerzo sonoro mediante el software NS-1.

Se tomarán 6 altavoces, acompañados con 2 sub bajos con polaridad invertida (efecto cardioide). Lo propuesto anteriormente con respecto a los altavoces, está destinado para cada lado del auditorio, esto quiere decir que, vamos a tener un total de 12 altavoces y 4 sub bajos ubicados linealmente en el auditorio.

El sistema de altavoces es un sistema array tangencial, muy preciso a la hora de radiar energía sonora, por lo cual, su ubicación es muy importante.

En la figura 48 se puede visualizar la ubicación de los altavoces con un cierto ángulo de inclinación tanto horizontal como verticalmente. Su finalidad, sabiendo que este tipo de altavoces son muy direccionales, es radiar de manera uniforme en todo el recinto.

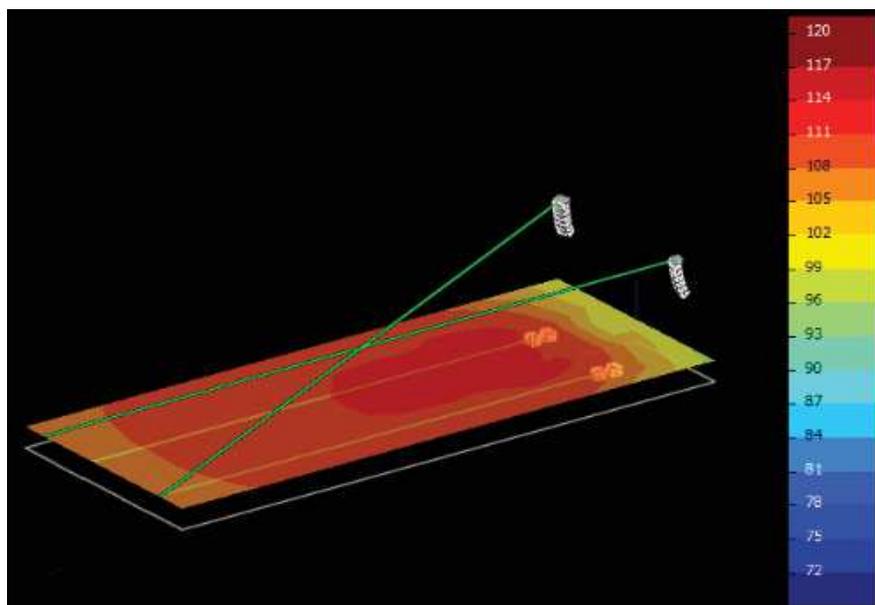


Figura 48. Simulación en NS-1 de la radiación sonora de los altavoces en la superficie del auditorio.

Los niveles de presión sonora en el espacio de estudio, se encuentran entre 96 dB a 114 dB. Si se observa detenidamente, en la parte trasera de los altavoces el decrecimiento es más notorio, esto se debe a la ubicación de los altavoces y a su efecto cardioide, lo cual, ayuda en gran parte a la disminución y formación de diversos fenómenos acústicos en la zona trasera del escenario.

En vista de que el auditorio tiene como meta ser utilizado también como recinto para conciertos y presentaciones, este nivel de presión sonora es muy aceptable para la realización de eventos en vivo, y no se aleja de lo estipulado en la simulación acústica mediante el software EASE, que se encontraba alrededor de los 111,72 dB.

Los altavoces a utilizar son de la marca NEXO, modelo GEO-S12, y para obtener la radiación sonora establecida, esta debe cumplir con ciertos requerimientos.

Los altavoces, evaluados mediante el software, para obtener esta respuesta, deben tener la siguiente Angulación.

Tabla 33. Ángulos de inclinación en grados para los altavoces propuestos en el Software de Simulación NS-1.

N° Speaker	Angulación
1	-9
2	0.31
3	5.4
4	7.1
5	5.8
6	5.0

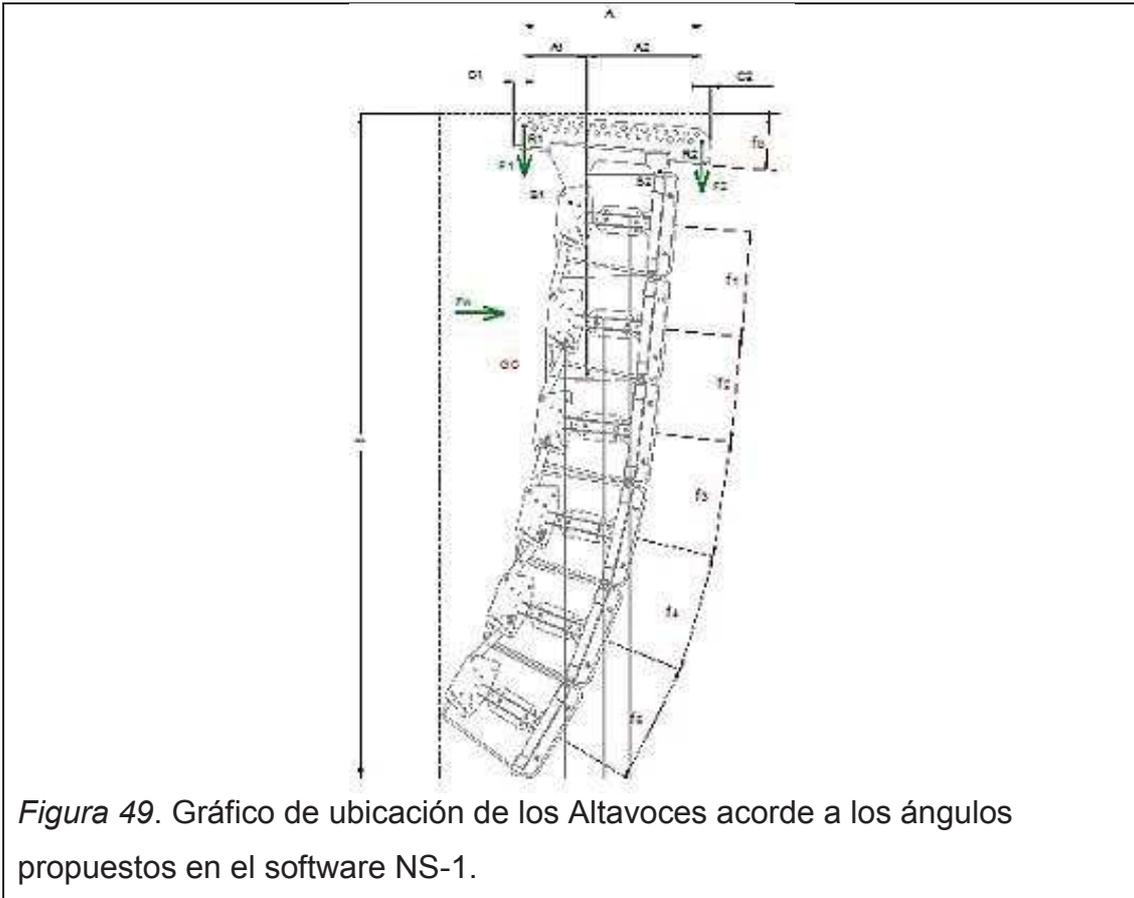


Figura 49. Gráfico de ubicación de los Altavoces acorde a los ángulos propuestos en el software NS-1.

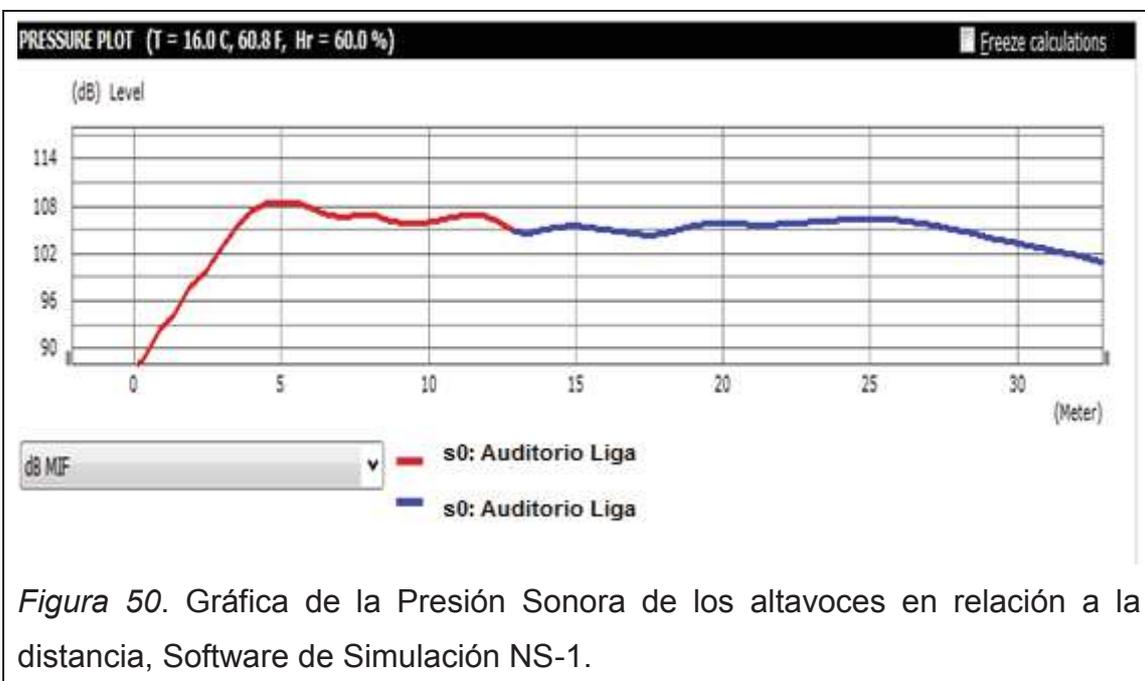
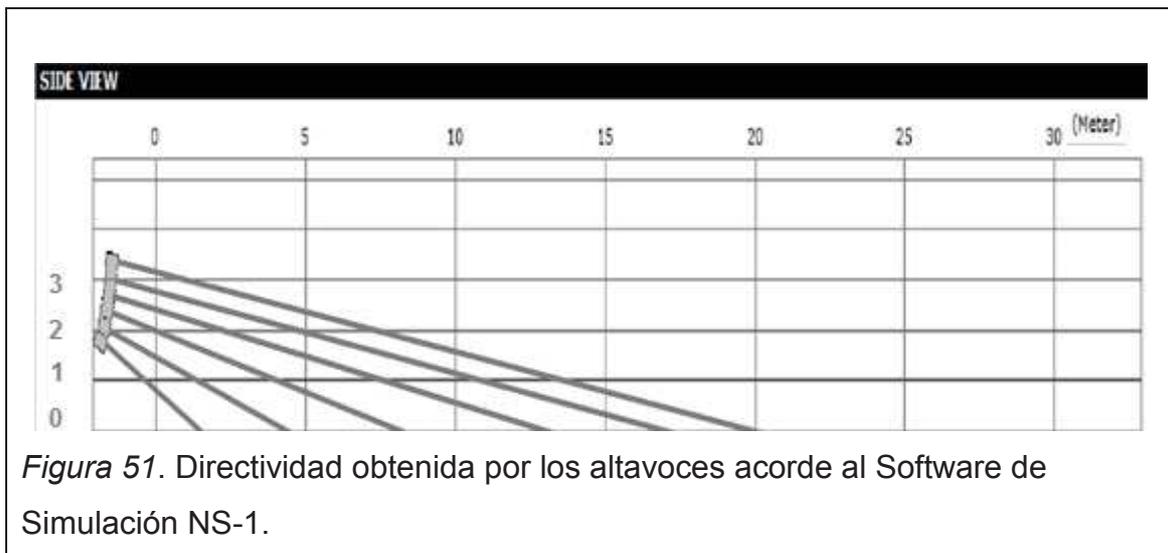


Figura 50. Gráfica de la Presión Sonora de los altavoces en relación a la distancia, Software de Simulación NS-1.

La gráfica relaciona la presión-distancia. Las líneas que llegan hasta los primeros 13 a 14 m. se encuentran en su máximo nivel, mientras que los espacios en blanco a donde no llegan las líneas indican disminución en el nivel acorde a la distancia.

La presión sonora obtenida en la simulación, es considerada muy buena técnicamente, tomando en cuenta la magnitud del auditorio, mantiene una uniformidad sonora que oscila entre ± 5 dB.



Esta gráfica de directividad nos proporciona el punto exacto y la distancia a la que la onda sonora producida por cada altavoz, va a colisionar con el suelo. El primer altavoz, ubicado en la parte inferior del arreglo, va a tener su mayor nivel a los 2 m aproximadamente desde el escenario, mientras que el último está direccionado para llegar hasta el muro posterior del auditorio.

5. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

5.1. Análisis Costo/Beneficio

En todo proyecto es necesario analizar los costos relacionados a la implementación propuesta, ya que nos permite observar la viabilidad del mismo.

En las tablas siguientes se detallan los precios de los implementos necesarios para el aislamiento, acondicionamiento acústico y electro-acústico.

5.2 Presupuesto de Aislamiento Acústico

5.2.1 Materiales

Tabla 34. Presupuesto aislamiento acústico materiales.

Elementos	Detalle	Precio Unitario	Precio Total
Ventanas	Vidrio de 6mm, marcos e instalación	\$ 70 (m^2)	\$ 5.839,40
Paredes	Construcción e instalación	\$ 300 c/u	\$ 900
Espuma de poliuretano para juntas pequeñas	Spray	\$ 12	\$ 100
Mortero		\$ 15	\$ 15
SUBTOTAL			\$ 6.854,40

5.2.2 Mano de obra

Tabla 35. Presupuesto aislamiento acústico mano de obra.

Número de Personas	Actividad	Tiempo	Precio Total
2	Sellado Total de Juntas	1 semana	\$ 200
SUBTOTAL			\$ 200,00

Tabla 36. Presupuesto construcción camerino y escenario (Extra).

Estructuras	Actividad	Tiempo	Precio Total
Camerino y Escenario Fijo	Construcción	3 semanas	\$ 10000
SUBTOTAL			\$ 10000,00

5.3 Presupuesto de Acondicionamiento Acústico

5.3.1 Materiales

Tabla 37. Presupuesto acondicionamiento acústico materiales.

Elementos	Detalle	Precio Unitario	Precio 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	\$ 382,80
TELA DE ALGODÓN	1 m ²	\$ 6 x 137	\$ 8220,00
FONAC	0,60 x 0,60 metros	\$ 40 x 37	\$ 1480,00
CORTINAS	1 m ² instalado	\$20 x 56	\$ 1120,00
SUBTOTAL			\$ 4362,95

5.3.2 Mano de obra

Tabla 38. Presupuesto acondicionamiento acústico mano de obra.

Número de Personas	Actividad	Tiempo	Precio Total
6	Instalación Acondicionamiento	1 semana	\$ 825
SUBTOTAL			\$ 825,00

5.4 Presupuesto de Sistema Electro-Acústico

Tabla 39. Tabla de Costos para la Implementación Electro-Acústica del Proyecto.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Consola Yamaha LS9	U	1	8.800,00	8.800,00
Amplificador de Potencia Nexo NXAMP	U	1	8.267,96	8.267,96
Altavoces Nexo GEO- S12	U	12	2.100,00	25.200,00
Sub bajos Nexo LS600-1	U	4	2.400,00	9.600,00
Monitores Yorville NX55P	U	3	1.121,56	3.364,68

Tabla 34. Continuación.

Micrófonos Shure SM58	U	12	99,00	1.188,00
Cajas Directas Whirlwind Imp 2	U	5	70,00	350,00
Multipar 32 Ch. Proel	U	1	450,99	450,99
Bumper Nexo GST	U	2	920,60	1.841,20
Cable Plan-PW-MS25	U	16	21,00	336,00
Cable GLS Audio Mic XLR, 7.62 m	U	20	15,99	319,80
Cable Hosa CSS 10 TRS, 3.1 m	U	5	6,25	31,25
Estructura metálica	U	1	750,00	750,00
			SUBTOTAL	60.499,88

5.5 Presupuesto Total de Implementación

El costo total del proyecto incluido todos los rubros detallados anteriormente, materiales, mano de obra, importaciones e ingeniería es: **\$ 82.742,23**.

A este valor se le sumaría una ganancia correspondiente al 17% que da una utilidad de \$14.066,18 USD, a cuyo valor se debe restar el impuesto a la renta, sueldo de residente de obras y gastos imprevistos, por lo que la utilidad neta bruta sería alrededor de \$10.000,00 USD.

5.6 Análisis costo-beneficio

La inversión económica a realizar por parte de la institución es elevada, pero si se toma en cuenta que sería el único auditorio dentro de una institución educativa en el Ecuador que cuente con una implementación acústica y electro-acústica de este tipo, la administración ejecutiva del club de Liga, encargada de proveer económicamente para su mejoramiento y cuidado, podría considerar válida la viabilidad de este proyecto, recordando que su objetivo a nivel nacional, es la calidad y el liderazgo educativo. Este proyecto les facilitará la disposición de contar con un lugar adecuado para realizar eventos de manera óptima tanto para eventos del colegio como para eventos particulares.

Normalmente, un equipo electro acústico con características similares al planteado tiene un costo de alquiler en el mercado de aproximadamente \$2.000,00 (dos mil dólares). Realizando por lo menos dos eventos culturales o musicales al mes, significaría que al año la institución tendría un gasto de \$ 48.000,00 (cuarenta y ocho mil dólares), esto extrapolado al tiempo de vida útil de los equipos planteados que es alrededor de 10 años la institución invertiría alrededor de \$480.000.00 USD solamente en equipos rentados.

En términos económicos la implementación de este tratamiento acústico representa un ahorro de \$400.000.00 USD en el período de tiempo mencionado, una parte de este presupuesto podría ser utilizado para el mantenimiento, renovaciones de equipos, personal calificado para manejo del sistema, sistema de luces inteligentes, instrumentos musicales y elaboración de escenografía profesional.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- ✓ Caracterizar la sala mediante mediciones que cumplen con la normativa internacional elegida, permitieron obtener resultados válidos para un correcto análisis del recinto.
- ✓ La aplicación de normativas internacionales dentro de nuestro país nos deja un aporte fundamental para que siga creciendo la industria acústica con cada proyecto al que se vaya tomando como ejemplo.
- ✓ La utilización de un software para simulación, puede ser de gran ayuda siempre y cuando se tome en consideración, que los datos ingresados en el mismo, sean lo más exactos posibles.

- ✓ La relación costo beneficio que se plantea en el proyecto, es viable, tomando en cuenta que brindará apertura a actividades no solo estudiantiles sino también artísticas ya sean propias o ajenas a la institución.
- ✓ Se han cumplido los valores establecidos de tiempo de reverberación, ya que los nuevos valores están entre 0,9 y 1,2 s 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.
- ✓ Se puede concluir que el acondicionamiento acústico sugerido, brindará mejores resultados al momento de implementarlo en el recinto. Hay que darse cuenta que, la colocación de los materiales propuestos es de fácil manejo e instalación.
- ✓ 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 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

- ✓ Al momento de realizar las mediciones, es recomendable conocer todos los dispositivos electrónicos a utilizar y sus posibles ventajas y desventajas, se deben calibrar correctamente, ya que la obtención de los datos medidos, es primordial para un excelente análisis del recinto.
- ✓ Al momento de seleccionar materiales para el acondicionamiento de un recinto se debe verificar que los mismos cumplan con normas de calidad y de seguridad requeridos por la legislación local, principalmente, los índices de inflamabilidad del material deben proporcionar altos niveles de protección contra incendios de acuerdo a lo solicitado por el cuerpo de Bomberos del DMQ.
- ✓ Si se requiere por parte del cliente reemplazar algún material planteado en el siguiente trabajo, se recomienda consultar con el diseñador acústico para verificar que este no altere los resultados esperados.
- ✓ En la implementación electro-acústica, se debe tomar en cuenta, que los dispositivos estén correctamente conectados, ya que esto aumentará la vida útil de los equipos y mejorará su rendimiento.
- ✓ Se recomienda mantener los espacios y equipos libres de polvo o sustancias que puedan dañar o corroer los materiales.
- ✓ 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.

REFERENCIAS

Carrión, A. (1998). *Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos*, Barcelona, España: UPC.

Harris, C. (s.f.). *Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido. Vol. I y II.* (3a.ed.). Madrid, España: McGraw Hill.

Higini, A. (1999). *El ABC de la Acústica Arquitectónica.* (1a.ed.). Barcelona, España: CEAC.

Hopkins, C. (2003). *Acoustic Design of School.* Londres, Inglaterra: BRE.

Miles, D. (1997). *Modern Recording Techniques.* (5a.ed.). Estados Unidos: Focal.

Miyara, F. (2001). *Acústica y Sistemas de Sonido*, Madrid, España: Paraninfo.

Recuero, M. (1999). *Acústica Arquitectónica Aplicada.* Madrid, España: Paraninfo.

Sommerhoff, J. (2005). *Acústica de Locales.* Chile: UACH.

Norma ISO-3382

ANEXOS

FICHA TÉCNICA ENSAYO 140-4 (MEDICIÓN AISLAMIENTO PARED)

INFORME DE ENSAYO

Diferencia de niveles estandarizada de acuerdo a la norma ISO 140-4.
Medida "in-situ" del aislamiento a ruido aéreo entre recintos

Cliente: UDLA Fecha: 06/11/2013

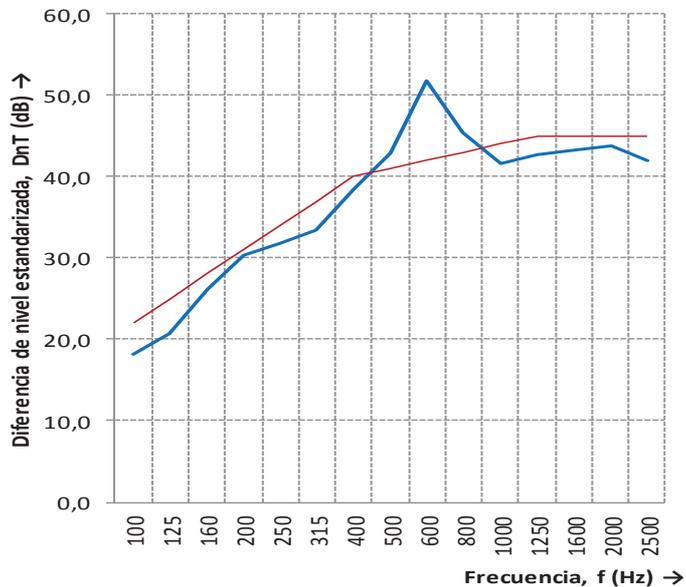
Descripción elemento separador:

Pared de hormigón pintado de 10 cm de espesor sin ningún tipo de tratamiento acústico



Rango de frecuencia según curva de ref (ISO 717-1)
DnT (dB) — ISO 717-1

Frecuencia Hz	Dnt dB
100	18,2
125	20,8
160	26,2
200	30,3
250	31,8
315	33,5
400	38,4
500	42,8
600	51,8
800	45,4
1000	41,6
1250	42,7
1600	43,3
2000	43,7
2500	42,0
3150	42,6



Valoración según la Norma ISO 717-1: (Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de ingeniería)

Índice de aislamiento $D_{nT,w} (C, Ctr) = 41 (-2, -7)$

$R'_w (C, Ctr) = 29 (-1, -6)$

Informe número
Pared Posterior - 001



Ensayo realizado por:
William Muñoz

FICHA TÉCNICA ENSAYO 140-4 (MEDICIÓN AISLAMIENTO PUERTA)

INFORME DE ENSAYO

Diferencia de niveles estandarizada de acuerdo a la norma ISO 140-4.
Medida "in-situ" del aislamiento a ruido aéreo entre recintos

Cliente: UDLA Fecha: 06/11/2013

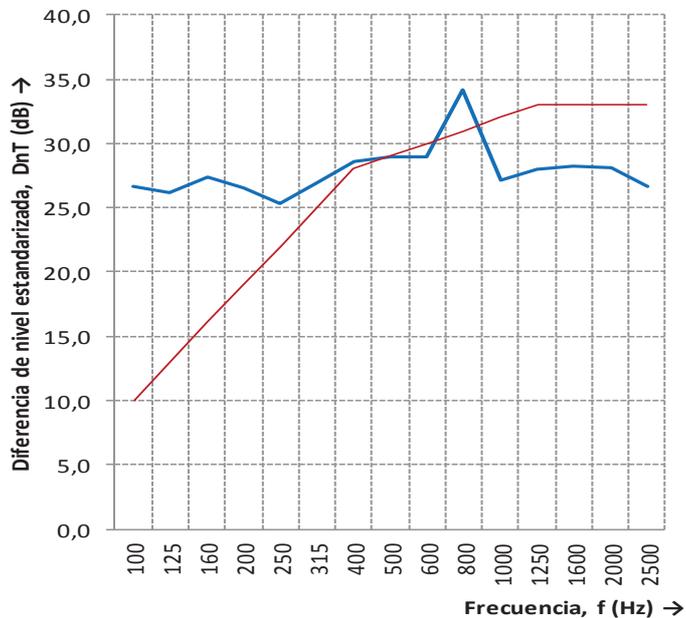
Descripción elemento separador:

Puerta metálica color negro combinada con vidrio de 4 mm sin ningún tipo de tratamiento acústico



Rango de frecuencia según curva de ref (ISO 717-1)
DnT (dB) — ISO 717-1

Frecuencia Hz	Dnt dB
100	26,7
125	26,1
160	27,4
200	26,5
250	25,3
315	26,8
400	28,6
500	29,0
600	29,0
800	34,1
1000	27,2
1250	28,0
1600	28,3
2000	28,1
2500	26,6
3150	24,3



Valoración según la Norma ISO 717-1: (Evaluación basada en resultados de medidas insitu obtenidos mediante un método de ingeniería)

Índice de aislamiento $D_{nT,w} (C, Ctr) = 29 (-2 , -1)$

$R'_w (C, Ctr) = 12 (-1 , 0)$

Informe número
Puerta - 001



Ensayo realizado por:
William Muñoz

FICHA TÉCNICA ENSAYO 140-4 (MEDICIÓN AISLAMIENTO PARED MURO)

INFORME DE ENSAYO

Diferencia de niveles estandarizada de acuerdo a la norma ISO 140-4.
Medida "in-situ" del aislamiento a ruido aéreo entre recintos

Cliente: UDLA Fecha: 06/11/2013

Descripción elemento separador:

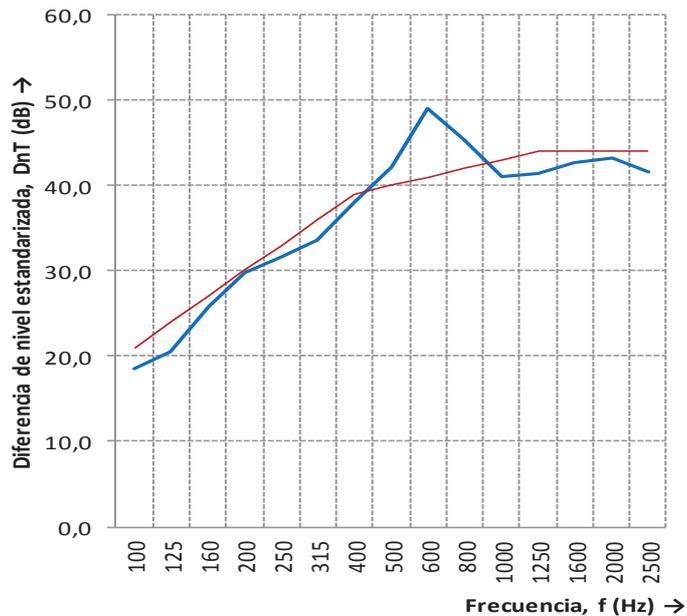
Pared de hormigón pintado color azul de 10 cm de espesor sin ningún tipo de tratamiento acústico



Rango de frecuencia según curva de ref (ISO 717-1)

DnT (dB) — ISO 717-1

Frecuencia Hz	Dnt dB
100	18,6
125	20,6
160	25,8
200	29,7
250	31,6
315	33,6
400	38,2
500	42,2
600	49,1
800	45,4
1000	41,0
1250	41,5
1600	42,8
2000	43,2
2500	41,6
3150	42,3



Valoración según la Norma ISO 717-1: (Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de ingeniería)

Índice de aislamiento $D_{nT,w} (C, Ctr) = 40 (-1, -6)$

$R'_w (C, Ctr) = 28 (-2, 6)$

Informe número
Pared Muro - 001



Ensayo realizado por:
William Muñoz

FICHA TÉCNICA ENSAYO 140-4 (MEDICIÓN AISLAMIENTO PARTICIÓN HOMOGÉNEA)

INFORME DE ENSAYO

Diferencia de niveles estandarizada de fachada de acuerdo a la norma ISO 140-5.
Medidas in situ del aislamiento al ruido aéreo de elementos de fachada y de fachadas

Cliente: UDLA Fecha: 21/07/2014

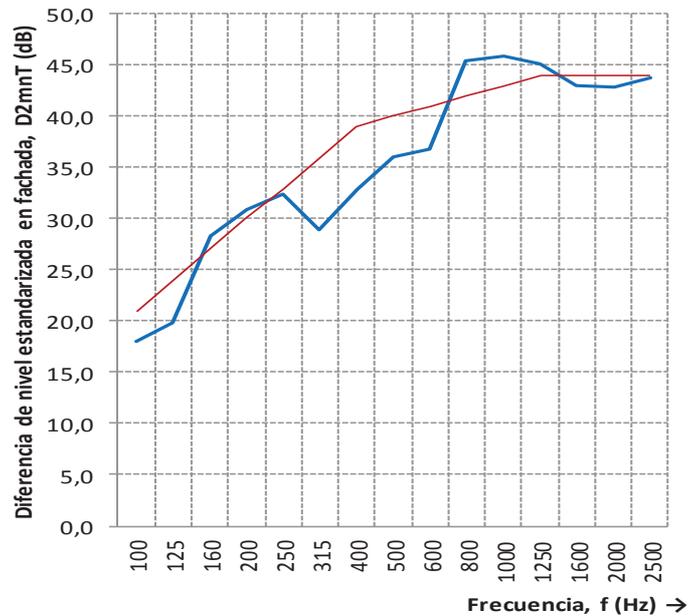
Descripción elemento de fachada:

Pared de hormigón de 10 cm de espesor pintado de color naranja conformado por un vidrio de 4 mm que comparte aproximadamente la mitad de toda el área de la partición.



Rango de frecuencia según curva de ref (ISO 717-1)
D_{2m,nT} (dB) — ISO 717-1

Frecuencia Hz	D _{2m,nt} dB
100	18,0
125	19,8
160	28,3
200	31,0
250	32,5
315	29,0
400	32,9
500	36,0
600	36,7
800	45,4
1000	45,9
1250	45,1
1600	42,9
2000	42,8
2500	43,8
3150	42,9



Valoración según la Norma ISO 717-1: (Evaluación basada en resultados de medidas insitu obtenidos mediante un método de ingeniería)

Índice de aislamiento D_{2m,nT,w} (C,Ctr) 39 (-1 , 6)

Informe número
Partición Homogénea

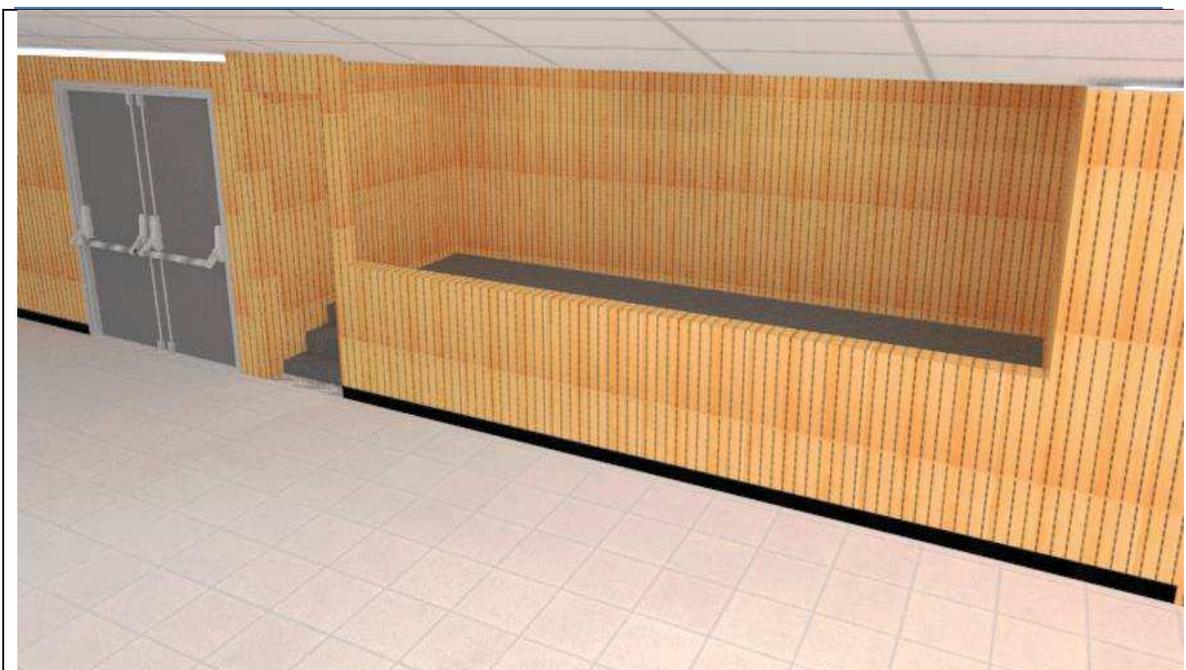


Ensayo realizado por:
William Muñoz

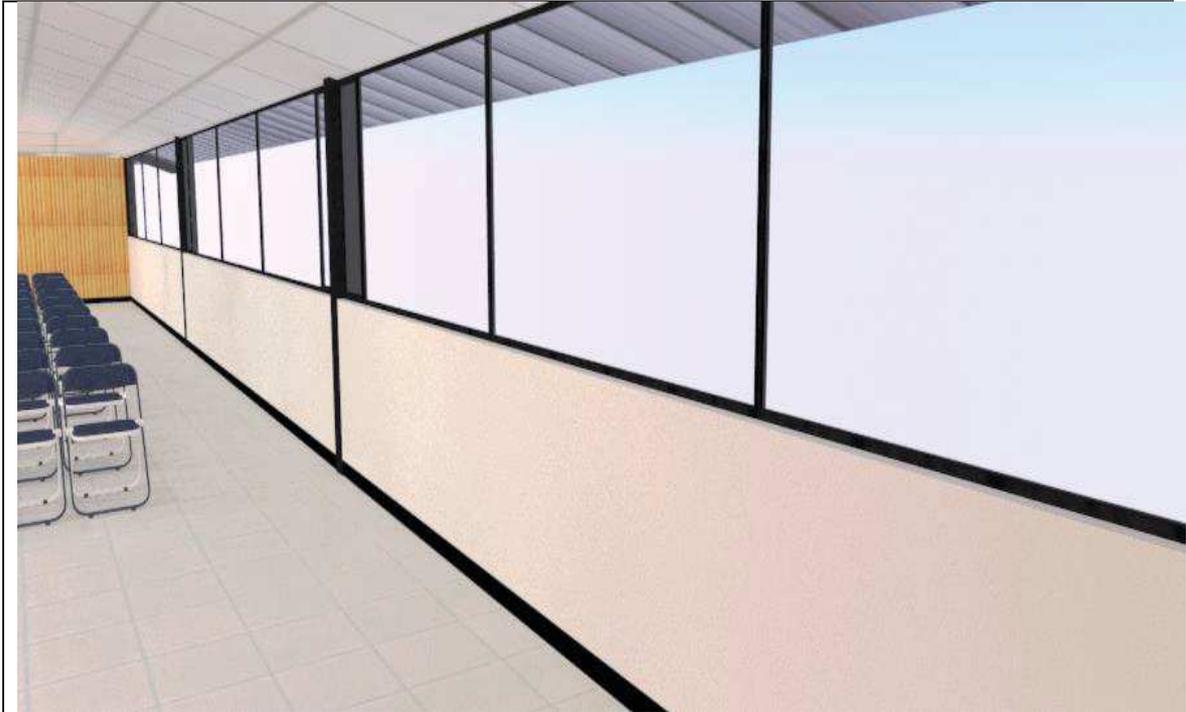
FOTOGRAFÍAS MODELAMIENTO DEL AUDITORIO DEL COLEGIO DE LIGA POR EL SOFTWARE SKETCH UP.



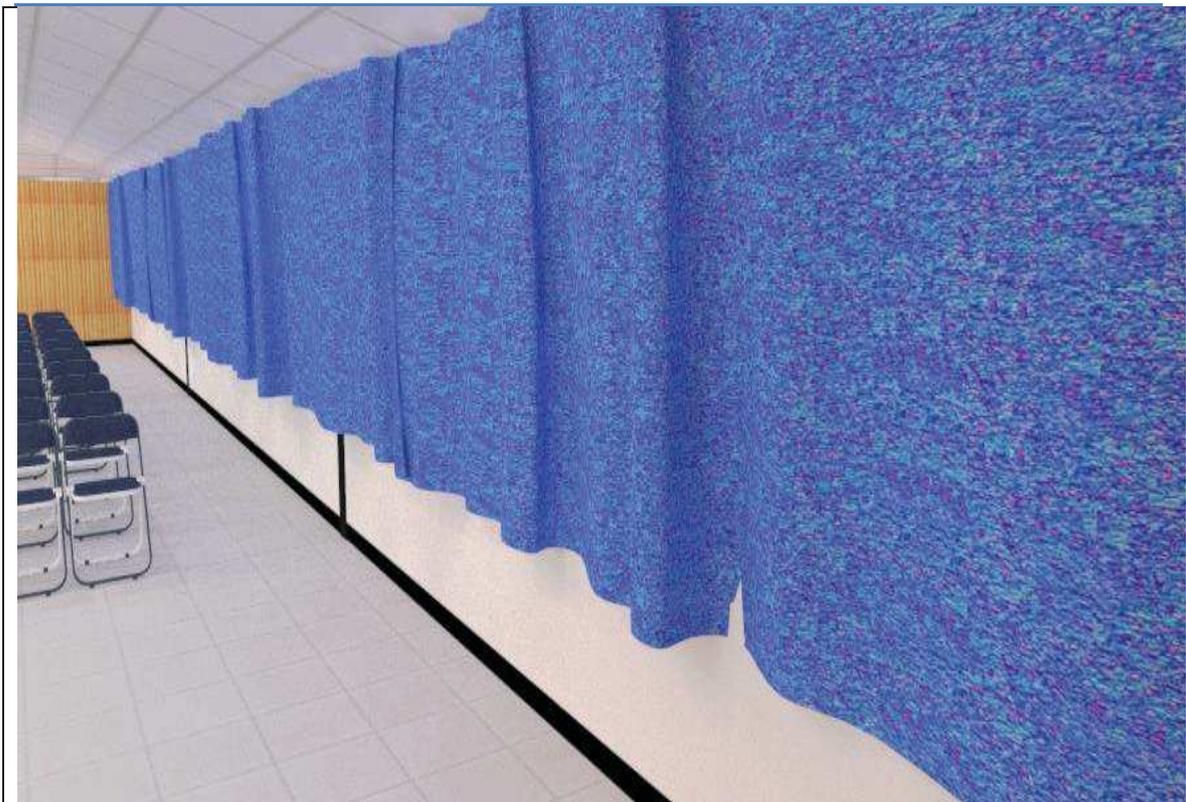
Vista interior frontal del auditorio del Colegio de Liga con sus butacas móviles.



Vista de la cabina de control (control room) del auditorio del Colegio de Liga.



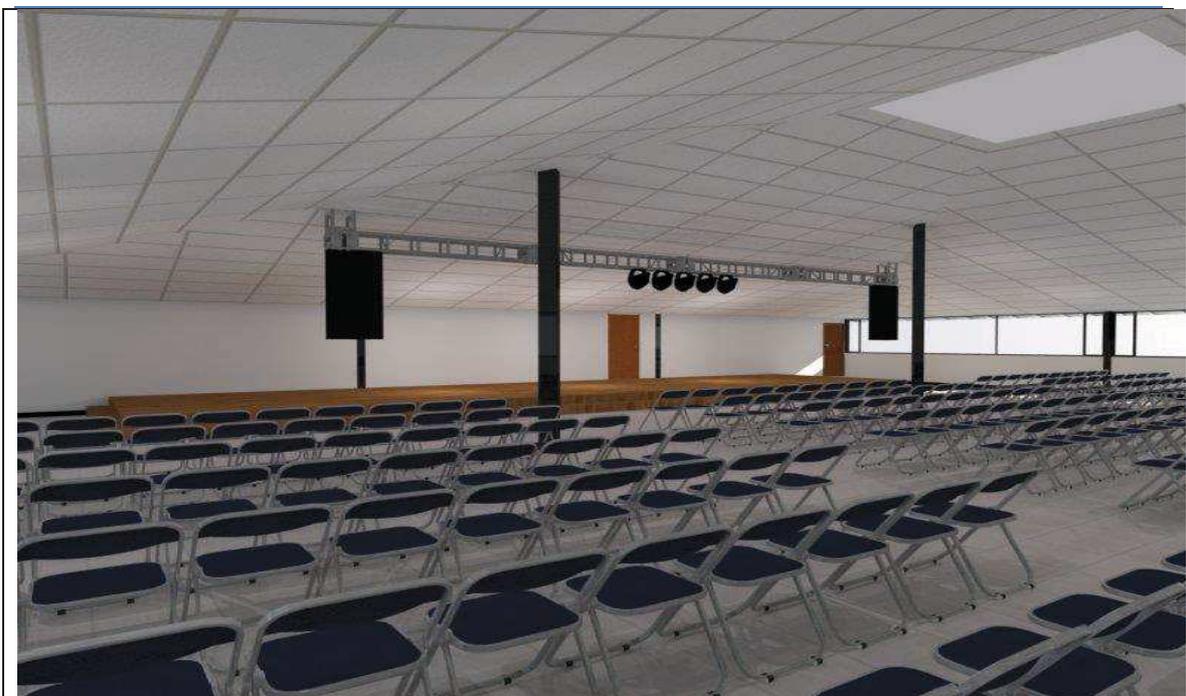
Vista interna del auditorio del Colegio de Liga sin cortinas.



Vista del auditorio del Colegio de Liga con cortinas.



Vista del escenario fijo del auditorio del Colegio de Liga.



Vista del sistema NEXO line array para el auditorio del Colegio de Liga con su respectiva estructura metálica.



Vista global del auditorio del Colegio de Liga desde la puerta principal de acceso.



Vista global del auditorio del Colegio de Liga desde el escenario.



Vista exterior del camerino y la nueva ubicación de las gradas y la puerta de emergencia.



Vista exterior global del auditorio del Colegio de Liga.

Formulario

1. Velocidad de propagación del sonido

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \left[\frac{m}{s} \right]$$

2. Velocidad de propagación del sonido en el aire

$$c = 332 + 0.608 * t \left[\frac{m}{s} \right]$$

3. Longitud de onda

$$\lambda = \frac{c}{f} = c * T \text{ [m]}$$

4. Nivel de Presión Sonora

$$L_p = 20 * \log \frac{P}{P_{ref}} \text{ [dB]}$$

5. Intensidad Sonora

$$I = \frac{P_{ef}^2}{\rho_0 * c} = \frac{1}{\rho_0 * c T} \int_0^T p^2(t) dt \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

6. Nivel de Intensidad Sonora

$$L_i = 10 * \log \frac{I}{I_{ref}} \text{ [dB]}$$

7. Nivel de Potencia Sonora

$$L_w = 10 * \log \frac{W}{W_{ref}} \text{ [dB]}$$

8. Absorción

$$A = S * \alpha \text{ [m}^2 \text{ Sabine]}$$

9. Coeficiente de Absorción

$$\alpha = \frac{\text{Energía Absorbida}}{\text{Energía Incidente}}$$

10. Absorción Total

$$A_{tot} = \alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2 + \dots + \alpha_n A_n$$

11. Coeficiente de Absorción Medio

$$\bar{\alpha} = \frac{A_{tot}}{S_t}$$

12. Tiempo de Reverberación RT

$$RT = \frac{0,161 V}{\bar{\alpha} S_t} \text{ (s)}$$

13. Tiempo de Reverberación con un factor de absorción

$$RT = \frac{0,161 V}{A+4mV} \text{ (s)}$$

14. Modos Normales de Vibración

$$F_{k,m,n} = 172.5 \sqrt{\left(\frac{k}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{m}{Ly}\right)^2 + \left(\frac{n}{Lz}\right)^2}$$

15. Densidad de Energía

$$D = \frac{(P)^2}{\rho c}$$

16. Distancia Crítica

$$Dc = 0.14 \sqrt{QR}$$

17. Calculo LD – LR, del %ALCons

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

18. Frecuencia Límite Inferior

$$F = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}} \text{ (Hz)}$$

19. Tensión Eléctrica

$$V = R \cdot I \text{ (Volts)}$$

20. Resistencia Eléctrica

$$I = \frac{V}{R} (\Omega)$$

21. Potencia Eléctrica

$$P = V \cdot I (W)$$

22. Potencia Eléctrica en función de la Resistencia

$$P = \frac{V^2}{R} (W)$$

23. Valor Eficaz (RMS)

$$P_{promedio} = \frac{V_{ef}^2}{R}$$

24. Sensibilidad del Micrófono

$$S = \frac{v}{p} (V/Pa)$$

25. Sensibilidad del Micrófono en decibeles

$$S_{dB} = 20 \log_{10} \frac{S}{S_{ref}}$$

26. NPS dBm

$$NPS_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{Pot}{Pot_{ref}} (dBm)$$

27. NPS dBu

$$NPS_{dBu} = 20 \log_{10} \frac{V}{V_{ref}}$$

28. NPS dBV

$$NPS_{dBV} = 20 \log_{10} \frac{P}{V_{ref}}$$

29. Potencia Máxima de salida

$$Pot = \frac{V^2}{Z}$$

30. Relación Señal/Ruido

$$S/R_{dB} = 20 \log_{10} S/R$$

Glosario

Armónico.- En una onda periódica, cualquiera de sus componentes sinusoidales, cuya frecuencia sea un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

Decibel.- Unidad empleada para expresar la relación entre dos potencias eléctricas o acústicas; es diez veces el logaritmo decimal de su relación numérica. Su símbolo es [dB].

Energía- Capacidad para realizar un trabajo. Se mide en joules y su simbología es [J].

Frecuencia.- Número de veces que se repite un proceso periódico por unidad de tiempo.

Normativa.- Conjunto de normas aplicables a una determinada materia o actividad.

Omnidireccional.- Irradia o recibe perturbaciones de ondas desde cualquier punto a su alrededor.

Onda.- Perturbación que se propaga en un fluido.

Oscilar.- Efectuar movimientos de vaivén a la manera de un péndulo o de un cuerpo colgado de un resorte o movido por él.

Período.- Tiempo que algo tarda en volver al estado o posición que tenía al principio.

Perturbar.- Inmutar, trastornar el orden y concierto, o la quietud y el sosiego de algo o de alguien.

Propagar.- Hacer que algo se extienda o llegue a sitios distintos de aquel en que se produce.

Resonancia.- Fenómeno que se produce al coincidir la *frecuencia* propia de un sistema mecánico, eléctrico, etc., con la frecuencia de una excitación externa.

Sensibilidad.- Capacidad de respuesta a muy pequeñas excitaciones, estímulos o causas.

ANEXOS DE EQUIPAMIENTO ELECTRO- ACÚSTICO

Subwoofer NEXO LS600



Especificaciones Técnicas Subwoofer NEXO LS600

LS600 PRODUCT FEATURES

Components:	LF 1 x 15" (38cm) long excursion Neodymium 8Ω driver.
Height x Width x Depth	435mm x 688mm x 528 mm (17.12" x 27.09" x 20.79").
Weight	30 kg (66 Lbs) net.
Connectors	2 x NL4MP SPEAKON 4 pole.
Construction	Baltic Birch Ply & textured, polyurethane black coating.
Fittings	Handles 2 Metal recessed pockets.
Flying Points	One plate connecting with external accessories.
Stand fittings	Internal Steel Stand Fitting on Top (35mm, 1 3/8") allows pole mounting for 1 PS10-R2.

SYSTEM SPECIFICATIONS LS600 with PS10 TDController-R2

Frequency Response [a]	40 Hz - 110 Hz ±3dB.
Usable Range @-6dB [a]	38 Hz - 120 Hz.
Sensitivity 1W @ 1m [b]	101 dB SPL Nominal.
Nominal Peak SPL @ 1m [b]	135 to 138 dB Peak.
Crossover Frequencies	120 Hz Active through PS10 TD Controller-R2.
Nominal Impedance	8 Ohms.
Recommended Amplifiers	1000 to 2000 Watts / 8 Ohms.

SYSTEM OPERATION

Electronic Controller	The LS600 Subwoofer must be used with a Nexo Controller (PS10TD -R2, NX242, or NXAMPS). Use without a properly connected Controller will result in poor sound quality and may damage the components.
Subbass	The LS600 Subwoofer provides optional VLF extension for PS10R2 Loudspeakers. Active two-way operation with the PS10-R2 is included in the PS10TD-R2, NX242 or NXAMPS. One LS600 matches 2 x PS10-R2, additional LS600 may be used for enhanced effect.
Speaker Cables	The PS10R2 is wired 2- & 2+ on Speakon connectors, LS600 on 1- & 1+. Loop through Speakons are present on both products. Single identical cables can thus be used to loop through combinations of up to 2 x PS10R2 & 1 x LS600 in no particular order. As part of a policy of continual improvement, NEXO reserves the right to change specifications without notice.

SHIPPING & ORDERING

Packaging	LS600 is packaged as a single product.
Shipping Weight & Volume	29.4 kg (64.68 lbs) / 0.265 cubic metres.

As part of a policy of continual improvement, NEXO reserves the right to change specifications without notice.

[a] Response curves & data : Anechoic Far Field for the PS10-R2 + PS10TDController-R2. Half-Space Anechoic radiation for the LS600 + PS10 TDController-R2.

[b] Sensitivity & Peak SPL data : these will depend on spectral distribution and crest factor of program material. Measured with band limited Pink Noise. Nominal refers to Voice Decade (300 Hz - 3 kHz), Wideband to the specified ±3dB range. Data are for speaker + processor + recommended amplifier combinations.

Peak SPL is at clipping of recommended amplifier.

[c] Directivity curves & data : obtained by computer treatment on off axis response curves.

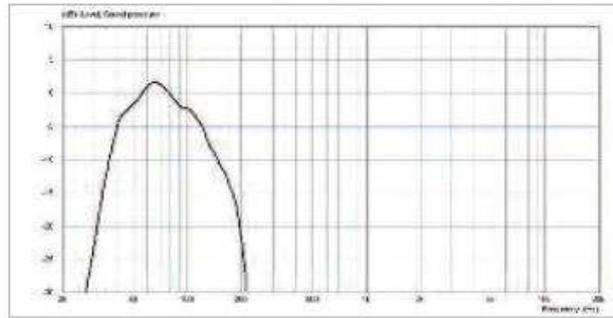
E&OE September 2009.

Architectural and Engineering Specifications

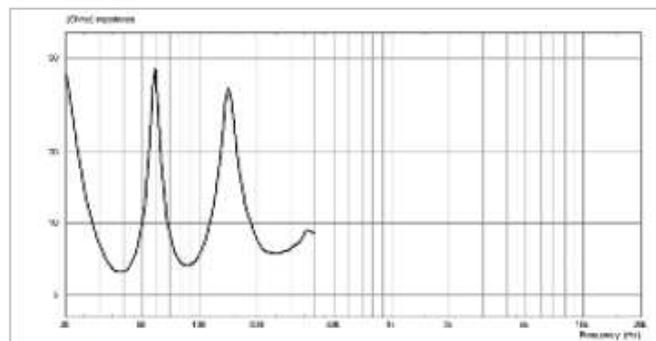
The sub-bass loudspeaker system shall have one 15 inch shielded Neodymium 8 Ω long excursion cone transducer. Nominal Sensitivity shall be 101dB. When driven by a NEXO NXAMP 4x1, NXAMP 4x4 a PS10 TDController-R2 or by a NX242 properly-connected to amplification capable of delivering 1000 to 2000 Watts into a 4Ω (nominal) load the system shall be capable of 135dB to 138dB peak SPL, with a frequency response of 40Hz to 110Hz ±3dB (38Hz to 120kHz -6dB). The system shall include an active crossover. Electrical connections shall be made via one of two 4-pole NL4MP SPEAKON connectors.

The system shall have a tuned ported rectangular enclosure constructed of 18ply Baltic birch, finished in either black or white textured coating and having exterior dimensions no greater than 435mm H x 688mm W x 528mm D (16.9in H x 27.1in W x 20.8in D); the system shall weigh 30 kg (66lbs). Exterior hardware shall include 1 metal plate, 2 attachment points and 1-pole socket. Interior components shall be protected by a powder coated perforated steel grille. The system shall be the NEXO LS 600 with the PS10 TDController-R2, NXAMP 4x1, NXAMP 4x4 or NX242.

Gráfica de Respuesta de Frecuencia e Impedancia del Altavoz NEXO LS600



LS600 response



LS600 impedance

Altavoces GEO-S12 suspendidos



Características Técnicas del Altavoz GEO-S12

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO	
GEO S1210	
Componentes	HF: 1 x motor de bobina de 3", garganta de 1,4" y 16 Ohmios con fuente de onda reflectante hiperboloide de 5°. LF: 1 x altavoz de cono de 12" (30cm) de alta excursión, imán de neodimio y 16 Ohmios.
Altura x Anchura x Profundidad	344 x 675 x 378 mm (13 ^{1/2"} x 26 ^{1/2"} x 14 ^{7/8"}) excluyendo accesorios
Forma	Altura de eje a eje de colgado: 345mm (13 ^{1/2"}) Trapezoidal de 10°.
Peso: neto	28.05 kg (61.8 lbs) incluyendo sistema de ensamblado de array.
Conectores	2 x NL4MP SPEAKON 4 pines (entrada y puenteo)
Construcción	Madera contrachapada báltica acabada en capa negra estructurada.
Acabado frontal	Rejilla metálica negro oscuro.
Puntos de colgado	Dos placas a las que se fijan accesorios externos. Ajustes de ángulo entre cajas = 0.2°, 0.315°, 0.5°, 0.8°, 1.25°, 2.0°, 3.15°, 5°, 6.3°, 8.0°, 10.0° (pasos logarítmicos)
ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	
GEO S1210 con tarjeta NX-tension en el NX242 TDcontroller	
Respuesta en frecuencia [a]	53 Hz – 19 kHz ± 3 dB
Banda eficaz @-6dB [a]	50 Hz – 20 kHz
Sensibilidad 1W @ 1m [b]	103 dB SPL nominal
SPL de pico @ 1m [b]	Dependiente de la configuración [d]
Dispersión [c]	Plano acoplado: Dependiente de la configuración [d] Plano no-acoplado: Configurable 80° / 120°.
Frecuencias de cruce	LF-HF: 1.1 kHz Pasivo o Activo (configurable internamente)
Impedancia nominal	HF: 16 Ohmios; LF : 16 Ohmios;
Amplificación recomendada 3 GEO S1210 en paralelo	HF: 875 a 1550 vatios a 4 Ohmios LF: 1750 a 3100 vatios a 4 Ohmios
4 GEO S1210 en paralelo	HF: 1000 a 1800 vatios a 4 Ohmios LF: 2000 a 3600 vatios a 4 Ohmios
6 GEO S1210 en paralelo	HF: 1650 a 3000 vatios a 4 Ohmios LF: 3300 a 6000 vatios a 4 Ohmios

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	
Controlador electrónico	Las memorias de configuración de los TDcontrollers NEXO tienen ajustes precisos para la serie GEO S12 e incluyen sofisticados sistemas de protección. El uso de cajas de la serie GEO S12 sin un TDController conectado apropiadamente tendrá como resultado un mal sonido y pueden dañarse los transductores.
Diseño de arrays	Los arrays de menos de 4 x GEO S1210 proporcionarán un control pobre de la dispersión y ni se recomiendan ni recibirán soporte.
Sub-bajo	Los CD18 / GEO SUB / S2 extienden la respuesta de frecuencia de bajos hasta 32 Hz / 38 Hz / 32 Hz
Cables de caja acústica	Activo: 1/1":LF; 2/2": HF Pasivo: 1/1": Sin conectar; 2/2":LF + HF.
Accesorios	Consulte el manual del usuario del GEO S12 antes de su uso.

Como parte de una política de mejora continua, NEXO se reserva el derecho a cambiar las especificaciones sin previo aviso.

- [a] Curvas de respuesta y datos: anecoicas en campo lejano por encima de 200 Hz, anecoicas en medio espacio por debajo de 200 Hz.
- [b] Sensibilidad y SPL pico: dependerán de la distribución espectral. Medidos con ruido rosa en banda limitada.
Referido a la banda especificada de +/- 3 dB. Los datos reflejan combinaciones de caja + procesador + amplificador recomendado.
- [c] Curvas de directividad y datos: respuesta en frecuencia con suavizado de 1/3 octava, normalizado respecto de la respuesta en el eje. Datos obtenidos por procesamiento matemático de las curvas de respuesta fuera del eje.
- [d] Consulte el manual del usuario del GEO S12.
Datos de banda útil de frecuencias: respuesta en frecuencia con pendientes de cruce anuladas en controlador TD.

Amplificador de Potencia NXAMP 4x4



Ajustes de Salida

Asignación de salidas

Ajustes del NX / Canal del NX	1	2	3	4
GEOS12 Pasivo 4 Canales	GEO S12 Ch1	GEO S12 Ch2	GEO S12 Ch3	GEO S12 Ch4
RS15 Omni Estéreo - GEOS12 Pasivo Estéreo	RS15 Izquierdo	RS15 Derecho	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
RS15 Cardio Mono - GEOS12 Pasivo Estéreo	RS15 Trasero	RS15 Frontal	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
S2 Estéreo - GEOS12 Pasivo Estéreo	S2 Izquierdo	S2 Derecho	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
CD18 Mono - GEOS12 Pasivo Estéreo (1)	CD18 Trasero	CD18 Frontal	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
GEO SUB Mono - GEOS12 Pasivo Estéreo (1)	GEO SUB Trasero	GEO SUB Frontal	GEO S12 Izquierdo	Geo S12 Derecho
GEOS12 Activo 2 Canales	GEO S12 LF Izdo.	GEOS12 HF Izquierdo	GEO S12 LF Dcho.	GEO S12 HF Dcho.
RS15 Cardio - GEOS12 Activo Mono	RS15 Trasero	RS15 Frontal	GEO S12 LF	GEOS12 HF
CD18 - GEOS12 Activo Mono	CD18 Trasero	CD18 Frontal	GEO S12 LF	GEOS12 HF
GEO SUB - GEOS12 Activo Mono	GEO SUB Trasero	GEO SUB Frontal	GEO S12 LF	GEOS12 HF

Parámetros de salida

Etiqueta de Salida	Ganancia de amplificador (2)	Potencia de amplificador (2)	Ganancia global	Retardo global	Ganancia de sensado	EQ de Array (3)	Techo dinámico (4)
Todos los canales	26 dB	Especificaciones del amplificador	0 dB	0 ms	0 dB	0	5 barras

Características Técnicas Amplificador de Potencia NXAMP 4x4

POWER SPECIFICATIONS FOR NXAMP4x1		POWER SPECIFICATIONS FOR NXAMP4x4	
Number of amplifiers channels	4x channels, 2 by 2 bridgeable	4x channels, 2 by 2 bridgeable	
Max. output voltage (no load)	4 x 105Volts	4 x 200Volts	
Max. output power (8Ω)	4 x 600W	4 x 1900W	
Max. output power (4Ω)	4 x 900W	4 x 3300W	
Max. output power (2Ω)	4 x 1300W	4 x 4000W	
Power consumption (Standby)	10W	20W	
Power consumption (Idle)	100W	150W	
Power consumption (1/8 Power)	1100W	3000W	

COMMON NXAMP SPECIFICATIONS FROM ANALOG IN TO POWER OUT	
Analog Inputs channels	4x channels, analogue inputs on XLR 3 with a second XLR 3 for linking
Frequency response	±0.5dB from 10Hz to 20KHz
Input Impedance	20KΩ
Max Input Level	+28dBu
Dynamic Range	All Channels = 105dB unweighted
THD + Noise	Typical 0.1% flat setup
Latency time	500us on a flat setup
Power Supply	Dedicated version for 100 ~ 120Volts or 220 ~ 240Volts

COMMON NXAMP FEATURES	
Audio Inputs	<ul style="list-style-type: none"> • 4x balanced analogue inputs on XLR3 with a second XLR3 for linking, using 24bit converters. • 4x digital inputs via the optional network card slot at the back.
Power Outputs	4x Speakon outputs using internal power relay for automatic output assignment regarding setup.
RS232 port	Allow firmware upgrade for software improvement and new cabinet setups.
GPIO port	5x Global Purpose Inputs and 8x Global Purpose Outputs for simple remote control and monitoring.
Processing	Two DSPs, 24bit data with 48bit accumulator. 700MIPS.
Front Panel	On/Off Mains switch, Select Wheel, Menu A and Menu B buttons, 40 characters by 2 lines display. Amp protect, Stand-by and power LED's. Then for each channel: volume indicator (15x LEDs), Individual Mute buttons and red LED, output current signal green led, Speaker Protection yellow LED, Amp. Peak red LED.
Rear Panel	1 (NXAMP4x1) or 2 (NXAMP4x4) mains socket; RS232 serial communications connector; GPIO port, Expansion slot for networking audio extension card, 4 XLR inputs with link and 4 Speakon 4 outputs.
Dimensions & Weight	NXAMP4x1: 3U 19" Rack - 457 mm (18") Depth - 16.5kg (33lbs) net NXAMP4x4: 4U 19" Rack - 457 mm (18") Depth - 24.5kg (49lbs) net

COMMON NXAMP FEATURES	
Audio Inputs	<ul style="list-style-type: none"> • 4x balanced analogue inputs on XLR3 with a second XLR3 for linking, using 24bit converters. • 4x digital inputs via the optional network card slot at the back.
Power Outputs	4x Speakon outputs using internal power relay for automatic output assignment regarding setup.
RS232 port	Allow firmware upgrade for software improvement and new cabinet setups.
GPIO port	5x Global Purpose Inputs and 8x Global Purpose Outputs for simple remote control and monitoring.
Processing	Two DSPs, 24bit data with 48bit accumulator. 700MIPS.
Front Panel	On/Off Mains switch, Select Wheel, Menu A and Menu B buttons, 40 characters by 2 lines display. Amp protect, Stand-by and power LED's. Then for each channel: volume indicator (15x LEDs), Individual Mute buttons and red LED, output current signal green led, Speaker Protection yellow LED, Amp. Peak red LED.
Rear Panel	1 (NXAMP4x1) or 2 (NXAMP4x4) mains socket; RS232 serial communications connector; GPIO port, Expansion slot for networking audio extension card, 4 XLR inputs with link and 4 Speakon 4 outputs.
Dimensions & Weight	NXAMP4x1: 3U 19" Rack - 457 mm (18") Depth - 16.5kg (33lbs) net NXAMP4x4: 4U 19" Rack - 457 mm (18") Depth - 24.5kg (49lbs) net

NXAMP USER CONTROLS

System Selection	Allows control across all NEXO ranges.
System Set-up	Within the selected range, if possible, allows cabinets to be set for passive or active mode, wideband or crossover mode, choose among available crossover point, cardioid or supercardioid mode.
Protection	Multiple Peak Limiters fitted for both selected cabinet and amplifier. Multiple Acceleration, Displacement and Temperature protections on every channel. Inter-channel regulation.
Delay	Up to 150m (330 ft.) of delay in 10cm (.4in) steps
Input Patching	Allows any of the 4x analogue (or digital) inputs combination to be routed on each output.
Output Gain	Global and inter-channel gain ± 6 dB in 0.5dB steps.
Volume control	Each channel with 16x steps from $-\infty$ dB to 0dB.
Save/Recall	Set-up Stores up to 40x user set-ups; On- the-fly recall, without mute or glitches for instant comparison.
Array EQ	LF or HF shelving filters to compensate ground or stacking effects, ± 6 dB, frequency factory tuned.
Security Mode	Password protected for Read-Only or Remote-Only Mode.
Remote control	Full remote control via the Ethersound protocol and ESmonitor software.
Certification	UL, SEMKO (CE), CCC, KOREA, TSS, PSE
Green status	Compliant with ROHS and WEEE directive

Especificaciones Técnicas Consola Yamaha LS9

Especificaciones generales

Retraso de señal	Menos de 2,5 ms (de INPUT (Entrada) a OMNI OUT (Salida OMNI) @Fs=48 kHz)		
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundidad)	LS9-16:	480 x 220 x 500 mm	
	LS9-32:	884 x 220 x 500 mm	
Peso neto	LS9-16:	12,0 kg	
	LS9-32:	19,4 kg	
Requisitos de alimentación eléctrica	LS9-16:	95 W, 110-240 V, 50/60 Hz	
	LS9-32:	170 W, 110-240 V, 50/60 Hz	
Rango de temperaturas	Funcionamiento: de +10°C a +35°C Almacenamiento: de -20°C a +60°C		
Accesorios incluidos	Manual de instrucciones, Cable de alimentación de CA, Guardapolvo (sólo LS9-32)		
Accesorios opcionales	Tarjetas mini-YGDAI, lámpara de cuello de cisne LA1L (para LS9-32), kit de montaje en bastidor RK1		
Longitud del cable de alimentación de CA	250 cm		

		Condiciones	Mín.	Tipo	Máx.	Unidad
Frecuencia de muestreo Reloj externo	Rango de frecuencias		39.69		50.88	kHz
	Demora de PLL * * La demora del reloj de entrada es inferior a 1 ns.	Entrada digital Fs = 44,1 kHz o 48 kHz			10	ns
		Entrada digital Fs = 39,69-50,88 kHz			20	
Frecuencia de muestreo Reloj interno	Frecuencia	Reloj: Interno 44,1 kHz		44.1		kHz
		Reloj: Interno 48 kHz		48		
	Precisión	Reloj: Interno 44,1 kHz o 48 kHz			50	ppm
	Demora	Reloj: Interno 44,1 kHz o 48 kHz			5	ns
Deslizador	Trayecto (Recorrido)	Resolución: 1.024 incrementos, de +10 a -138, -∞ dB para todos los deslizadores		100		mm
	Error de posición				±1.5	
	Tiempo de desplazamiento	De extremo a extremo, bajo control de software normal				0.3

Características de entrada/salida

Características de entrada analógica

Terminales de entrada	GAIN (Ganancia)	Impedancia de carga real	Para utilizar con nominal	Nivel de entrada			Conector
				Sensibilidad *1	Nominal	Máx. antes de cortar	
INPUT 1-16 <LS9-16> INPUT 1-32 <LS9-32>	-62 dB	3 k Ω	Micrófono de 50-600 Ω y líneas de 600 Ω	-82 dBu (61,6 μ V)	-62 dBu (0,616 mV)	-42 dBu (6,16 mV)	Tipo XLR-3-31 (balanceado) *2
	+10 dB			-10 dBu (245 mV)	+10 dBu (2,45 V)	+30 dBu (24,5 V)	

*1. La sensibilidad es el nivel más bajo que producirá una salida de +4dBu (1.23V) o el nivel de salida nominal cuando la unidad se ha establecido en una ganancia máxima. (Todos los deslizadores y controles de nivel están en posición máxima.)

*2. Los conectores de tipo XLR-3-31 están balanceados. (1=TIERRA, 2=ACTIVO, 3=INACTIVO)

* En estas especificaciones, 0 dBu = 0,775 Vrms.

* Todos los convertidores de entrada analógica a digital (AD) son lineales de 24 bits, con sobremuestreo de 128 tiempos.

* Se suministran +48 V de CD (alimentación fantasma) a los conectores de tipo INPUT XLR a través de cada conmutador controlado por software de forma individual.

Características de salida analógica

Terminales de salida	Impedancia de origen real	Para utilizar con nominal	Conmutador de ganancia *3	Nivel de salida		Conector
				Nominal	Máx. antes de cortar	
OMNI OUT 1-8 <LS9-16> OMNI OUT 1-16 <LS9-32>	75 Ω	Líneas de 600 Ω	+24 dB (predeterminado)	+4 dBu (1,23 V)	+24 dBu (12,3 V)	Tipo XLR-3-32 (balanceado) *1
			+18 dB	-2 dBu (616 mV)	+18 dBu (6,16 V)	
PHONES OUT (Salida de auriculares)	15 Ω	Auriculares de 8 Ω	—	75 mW *4	150 mW	Toma de auriculares estéreo (TRS) (sin balancear) *2
		Auriculares de 40 Ω	—	65 mW *4	150 mW	

*1. Los conectores de tipo XLR-3-32 están balanceados. (1=TIERRA, 2=ACTIVO, 3=INACTIVO)

*2. La toma de auriculares estéreo PHONES OUT no está balanceada. (Punta=IZQUIERDO, Anillo=DERECHO, Cuerpo=TIERRA)

*3. Hay conmutadores incluidos en el cuerpo para ajustar el nivel de salida máximo.

*4. La posición del control de nivel se encuentra 10 dB por debajo del valor máximo.

* En estas especificaciones, 0 dBu = 0,775 Vrms.

* Todos los convertidores de salida analógica a digital (AD) son de 24 bits, con sobremuestreo de 128 tiempos.

Características de entrada digital

Terminal	Formato	Longitud de los datos	Nivel	Conector	
2TR IN DIGITAL (Entrada digital 2TR)	Coaxial	IEC-60958	24 bits	0,5 Vpp/75 Ω	Toma de clavija RCA

Características de salida digital

Terminal	Formato	Longitud de los datos	Nivel	Conector	
2TR OUT DIGITAL (Salida digital 2TR)	Coaxial	IEC-60958 Uso de consumidor	24 bits	0,5 Vpp/75 Ω	Toma de clavija RCA

Consola Digital Yamaha LS9



Micrófono SM 58 Vocal



Características Técnicas SM58 Vocal

Tipo	Dinámico (bobina móvil)
Respuesta de frecuencia	50–15.000 Hz
Patrón polar	Cardioide
Impedancia de salida	clasificado por EIA a 150Ω (300Ω real)
Sensibilidad (a 1 kHz, voltaje en circuito abierto)	–54,5 dBV/Pa (1,85 mV)*
Polaridad	Una presión positiva en el diafragma del micrófono produce un voltaje positivo en la clavija 2 con respecto a la clavija 3
Peso	<i>Neto:</i> 0,298 kg (0,656 lb)
Conector	Conector de audio de tres clavijas profesional (tipo XLR), macho
Estuche	Metal troquelado esmaltado de color gris oscuro; rejilla esférica de acero con acabado mate de color plateado

Caja de Impedancia Whirlwind Imp 2



Características de la Caja de Impedancia Whirlwind Imp 2

1/4 inch parallel wired in and out jacks
Ground Lift switch to help isolate hum and buzz
Uses Whirlwind's TRHL transformer
Response: 20Hz-20kHz ±1dB
Impedance Ratio (input to output): 133:1

Tabla de Coeficientes de Absorción

Naturaleza de la superficie	Coeficiente de absorción de sonido a frecuencia(Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Baldosa acústica, montaje rígido	0,2	0,4	0,7	0,8	0,6	0,4
Baldosa acústica suspendida	0,5	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5
Escayola acústica	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7	0,7
Escayola ordinaria, en listones	0,2	0,15	0,1	0,05	0,04	0,05
<u>Tablero de Yeso</u> , 1/2" en entramados	0,3	0,1	0,05	0,04	0,07	0,1
Chapado <u>de madera</u> , 1/4" en entramados	0,6	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Bloque de hormigón, sin pintar	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
Bloque de hormigón pintado	0,1	0,05	0,06	0,07	0,1	0,1
Hormigón, vertido	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Ladrillo	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Baldosa de vinilo sobre hormigón	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Alfombra dura sobre hormigón	0,02	0,06	0,15	0,4	0,6	0,6
Alfombra dura sobre un respaldo de fieltro	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Piso de plataforma de madera	0,4	0,3	0,2	0,2	0,15	0,1
Cristal ordinario de ventana	0,3	0,2	0,2	0,1	0,07	0,04

Placa de vidrio pesada	0,2	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Cortinas, terciopelo medio	0,07	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6
<u>Asientos tapizados</u> , sin ocupantes	0,2	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6
Asientos tapizados, ocupados	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9
Asientos de madera, sin ocupantes	0,02	0,03	0,03	0,06	0,06	0,05
Bancos de madera, ocupados	0,4	0,4	0,7	0,7	0,8	0,7

Datos de Hall, 2nd. Ed., Tabla 15.1

Absorción del Aire

La absorción del aire es mayor para las altas frecuencias y es dependiente de la temperatura del aire y de la humedad relativa. Rossing informa de los siguientes valores y modificaciones de la fórmula de Sabine:

Absorción del aire m por metro cúbico:			
Aire a	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
20°C, 30% HR	0.012	0.038	0.136
20°C, 50% HR	0.010	0.024	0.086

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{S_e + mV}$$