



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN SALAS DE ENSAYO DE LA
ESCUELA DE MÚSICA UBICADAS EN LA SEDE GRANADOS DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Autor

Alexis Ernesto Cañar Vizúete

Año
2017



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN SALAS DE ENSAYO DE LA
ESCUELA DE MÚSICA UBICADAS EN LA SEDE GRANADOS DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

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

Profesor Guía

Msc. Christiam Santiago Garzón Pico

Autor

Alexis Ernesto Cañar Vizúete

Año

2017

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.”

Christiam Santiago Garzón Pico
Master en Acústica Arquitectónica y Medio Ambiental
CI. 1713644621

DECLARACIÓN DE PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Jorge Páez Rodríguez

Master en Gestión y Evaluación de la Contaminación Acústica

CI. 1756773154

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.”

Alexis Ernesto Cañar Vizúete

C.I. 1724054711

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su ejemplo de trabajo y consejos valiosos de vida.

A las personas que conocí en esta trayectoria tan anhelada.

A las personas que se superan cada día, borraron lo que les enseñaron y actúan sin presiones sociales.

DEDICATORIA

Al esfuerzo de mis padres por brindarme su mano.

A mis hermanos y sobrinos que son mi alegría y motivación.

A las personas interesadas en aprender.

RESUMEN

La Escuela de Música en la Universidad de Las Américas, se oficializó en el año 2012, con el propósito de apoyar la cultura y aprendizaje de la música en Quito. Las aulas están ubicadas al subsuelo de la Universidad de Las Américas en la sede Granados, la calidad acústica en las salas dependerá de los parámetros acústicos, forma geométrica, volumen, condiciones de ruido de fondo y objetos que pueden ser absorbentes, tales como : sillas, alfombras, cortinas, puertas, personas entre otros. La necesidad del diseño acústico para salas de escucha musical se basa en tener un buen acople del sonido y el espacio, así como tener un respuesta frecuencial equilibrada y ajustado a estándares de calidad.

En este estudio se analiza las condiciones acústicos en 7 salas de ejecución musical de la escuela de música, en la cual interpretan gran variedad géneros como: Blues-rock,jazz, funk, afro music, salsa, pop, entre otros. El estudio acústico de las aulas se analiza mediante las siguientes teorías : estadística, geométrica y mediciones de campo. Este estudio permite conocer los descriptores acústicos, el uso adecuado de las salas, mediante fichas técnicas y se sugiere condiciones de diseño para una sala.

ABSTRACT

The School of Music at the University of the Américas, opened in the year 2012 with the purpose of supporting culture and music learning in Quito. The classrooms are located in the basement of the University of the Americas headquarters Granados, the acoustic quality of the rooms depends on the acoustic parameters, shape, volume, conditions of background noise and objects that can be absorbent, these can be: furniture, carpets, curtains, doors, people among others. The need of acoustic design for listening rooms are based on having a good coupling of sound and space also have a balanced and adjusted frequency response to quality standards.

This study analyzes the acoustic conditions in 7 rooms of musical performance of the school of music, in which they interpret a variety of genres like: Blues-rock, jazz, funk, afro music, salsa, pop, among others. The study of acoustics of the classrooms were analyzed through several theories : statistical, geometric and measurements. This study allows you to know how is going to be welcomed the sound in the complex, acoustic descriptors are displayed and the appropriate use, through technical files and suggested design conditions in a room.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Antecedentes	1
Alcance.....	3
Justificación	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Hipótesis	4
2. Marco teórico	5
2.1 Parámetros acústicos.....	5
2.1.1 Descriptores	5
2.1.1.1 Reverberación.....	5
2.1.1.2 Ruido de fondo.....	8
2.1.1.3 Modos de vibración	9
2.1.1.4 C80	10
2.1.1.5 C50	10
2.1.1.6 Calidez	11
2.1.1.7 Brillo	11
2.1.1.8 Inteligibilidad del habla.....	11
2.1.1.9 STI	12
2.1.1.10 D50	12
2.2 Influencia de los modos normales de vibración en salas.....	13
3. Información de las salas.....	14
3.1 Información general del caso de estudio.....	14
3.2 Descripción detallada de las salas.....	16
4. Metodología	22

4.1 Método estadístico	22
4.2 Método geométrico	23
4.3 Mediciones in situ	24
4.3.1 Hoja de campo.....	24
4.3.2 Planos y puntos de mediciones	24
4.3.3 Normativa ISO3382	32
4.3.4 Instrumentación	33
4.3.4.1 Fuente omnidireccional BP012 CESVA.....	33
4.3.4.2 Amplificador AP602	34
4.3.4.3 Dispositivo registrador NTI	35
4.3.4.4 Calibrador acústico Cesva CB006.....	36
4.3.4.5 Talkbox NTi	36
4.3.4.6 Laser Bosch GLM 50.....	37
4.3.4.7 Equipos adicionales.....	37
4.3.4.8 Excitación del recinto.....	37
4.3.4.9 Promediados de resultados.....	38
5. Resultados	38
5.1 Ficha técnica	38
5.2 Comparación de datos.....	60
5.3 Análisis de teoría estadística.....	61
5.4 Análisis de mediciones de campo.....	66
5.5 Análisis de teoría geométrica	67
6. Conclusiones	72
6.1 Recomendaciones.....	72
REFERENCIAS	73
ANEXOS.....	75

Introducción

Antecedentes

Los parámetros acústicos permiten predecir la interacción entre el recinto y la fuente emisora, permitiendo clasificar el tipo de sala, su uso, ventajas y desventajas. Uno de los parámetros más importantes que brinda información científica de la sala es el tiempo de reverberación (RT), también juega un papel importante para la definición, buen acople del ensamble, así como el buen entendimiento entre músicos (Kuttruff y Mommertz, 2012). El primer científico en investigar este parámetro acústico fue Wallace Sabine en 1922, el cual por medio de experimentos determinó valores estadísticos de RT, así como las variables que modifican el RT.

Según Toma, Topa, Kirei y Homana, 2010 la reverberación nace de las reflexiones del piso techo y paredes, brinda un efecto agradable, especialmente en la música ya que en el habla puede ser un problema para la inteligibilidad. (Byrne, 2012) menciona que el tiempo de reverberación ha influenciado en la música y en su evolución, ya que anteriormente la música era amplificada de forma natural por medio del RT de la sala, en lugares como: iglesias, teatros y coliseos la reverberación juega un papel importante. Por lo cual el tipo de composición musical y su inteligibilidad estaba ligada a este fenómeno del decaimiento energético RT de la sala, (Byrne, 2012), además comenta que el músico se aseguraba que su interpretación podría ser escuchada en el lugar de interpretación, por esta razón se debe considerar un RT en función del género musical.

(MeyerSoundLabs, 2010), explica que la reverberación ayuda a los músicos y a la audiencia a sentirse cómodo resultando fácil involucrarse con los intérpretes, mientras que con un RT no controlado degrada la señal volviéndola no inteligible. Un RT no controlado trae ambientes caóticos que desembocan en: cansancio, estrés, irritabilidad, fatiga auditiva, problemas cardiovasculares entre otros.

Estudios aseguran que los músicos prefieren ensayar en salas con 0.8-0.9 seg. (sala viva) de reverberación, consideran más agradable ensayar en salas vivas y aconseja tener acústica variable de la sala para poder interpretar diferentes géneros musicales (Osman, 2010). (Magne Skålevik, 2012) sugiere valores de volumen del recinto en función del número de músicos que ensayen en la sala, con el fin de tener un control en la directividad y sonoridad, una de las dificultades actuales resulta en la disposición del espacio, ya que muchas salas no cumplen estándares internacionales tales como recomienda la normativa EBU 3276, la cual explica que se debe tener una superficie mínima de 40m² para una sala de escucha, por otro lado los cálculos teóricos se ven poco fiable en espacios reducidos, debido a la predominancia de ondas estacionarias y a las anomalías físicas que presentan recintos pequeños, por lo que aconsejan que se hagan mediciones de campo con una metodología que se adapte a las condiciones de la sala, se aconseja utilizar el método de ruido impulsivo ya que comparte similitudes con las transientes de la música y esta información no se ve afectada por la respuesta frecuencial de la sala (Rizzi, Ghelfi, y Santini, 2016).

La forma interna y las dimensiones del espacio se debe hacer en función de tener una correcta distribución de los modos normales de vibración (Osman, 2010). Para salas dedicadas a la música se debe relacionar las distancias de las paredes que conforman la sala respecto a los intervalos de las escalas musicales, con el fin que la interacción entre el instrumento y la sala sea armoniosa y no disonante (Wes Lachot, 2007).

Carrión en 1998, explica varios parámetros acústicos que deben ser tomados en cuenta para evaluar la subjetividad de la calidad acústica en una sala, varios de ellos se derivan del RT como la calidez y la viveza. Se dice que no hay sala perfecta, sugiere que se debe tener conciencia sobre las fortalezas y debilidades de una sala para poder sacar provecho o poder mejorarla, existen 2 formas de mejorar la acústica de un espacio activa y pasiva, la acústica

variable activa, es la solución más óptima ya que brinda amplios valores de RT haciéndola más funcional y versátil (Ellison y Schwenke, 2010).

En la actualidad existen un sin número de salas dedicadas al ensayo musical, de las cuales muchas no presentan requerimientos mínimos para tener una buena resolución de la música, ya sea por recursos económicos o falta de conocimiento.

Alcance

Este proyecto se desarrolla con el fin de conocer las condiciones acústicas en las salas dedicadas al ensamble musical de la Universidad de Las Américas sede Granados. Para desarrollar este proyecto debemos conocer los parámetros acústicos que brinda información del espacio:

- T60
- Modos normales de vibración
- Ruido de fondo
- C80
- C50
- Calidez
- Brillo
- STI (para salas multifuncionales)

A continuación, delimitamos el campo de estudio, como ya mencionado antes el lugar de estudio es enfocado en las 7 salas de ensamble musical de la Universidad de Las Américas, sede Granados. Se analiza las salas mediante métodos acústicos como: estadístico, geométrico y mediciones de campo.

Para realizar las mediciones de campo nos regimos a la normativa ISO 3382, la cual nos detalla el procedimiento, instrumentación requerida, método de evaluación y además minimiza la incertidumbre en los datos a encontrar.

Para el análisis estadístico se hace referencia a Sabine y Arau Puchades.

Para el desarrollo de la teoría geométrica se usa autocad, en el cual se traza rayos de luz reflejadas por una fuente fantasma.

Justificación

Uno de los aportes de esta investigación está en brindar información científica acústica, el uso recomendado para cada sala, así como el detalle de sus características, la comparación de métodos de evaluación acústica.

Objetivo general

Evaluar parámetros acústicos en las salas dedicadas al ensamble musical mediante mediciones de campo, teoría estadística y geométrica.

Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de los modos normales a través de mediciones de campo.
- Evaluar la influencia del ruido de fondo a través de mediciones de campo.
- Evaluar la influencia del T60 a través de mediciones de campo y teoría estadística.
- Analizar las diferencias acústicas de las salas mediante teoría geométrica.
- Realizar una comparativa del análisis estadístico vs mediciones de campo.
- Evaluar datos acústicos e interpretarlos.

Hipótesis

Brindar información útil de las condiciones actuales de las salas de ensamble musical de la escuela de música, clasificar las salas según sus condiciones, entregar criterios para que sean tomadas en cuenta en caso de una restauración o futuras construcciones.

2. Marco teórico

2.1 Parámetros acústicos

De los parámetros acústicos se puede juzgar las condiciones y calidad subjetiva de la sala, además se puede categorizar y definir su uso.

Su estudio es primordial en salas dedicadas al habla y el escucha musical, para el caso de escucha musical el objetivo es tener una correcta interacción entre la fuente sonora y el espacio, los cuales, por medio de parámetros como claridad, calidez, brillo, se puede llegar a tener una idea general de la acogida del evento sonoro en la misma.

En el caso de espacios dedicados al habla, se debe tener una óptima inteligibilidad del habla para que el mensaje entre el orador y el oyente sea eficiente y no distorsione el mensaje. El mensaje puede ser distorsionado por el ruido de fondo, bajo aislamiento acústico o por la pérdida de consonantes en el habla ya sea por una reverberación no controlada o por una no correcta amplificación del sonido en la sala.

2.1.1 Descriptores

2.1.1.1 Reverberación

El tiempo de reverberación (RT), es un parámetro acústico que define el tiempo que debe pasar para que un evento sonoro decaiga 60 dB, a partir de que el fenómeno sonoro cese (Möser y Barros, 2009). El efecto de decaimiento del sonido se da por la absorción del sonido, siendo los objetos que abarca la sala los más influyentes, incluyendo las paredes. Las propiedades de los materiales y su distribución serán de influencia para la respuesta de frecuencia en la sala. Otras formas de visualizar el RT son: RT10, RT20, RT30. Estos parámetros son ocupados para analizar características especiales de la sala además

corrige problemas de edificación y se estudia la caída de la pendiente en 10dB,20dB,30dB respectivamente. En los rangos de tiempo cuando se produce el decaimiento energético del sonido, el recinto brinda información importante en el dominio de tiempo, frecuencia y espacio (Magne Skålevik,2012).

Tabla 1.

Presentación la interacción de diferentes dominios del sonido.

	Temporal domain (time)	Tonal domain (frequency)	Spatial domain (directions)
0 ms Direct Sound	Temporal que	Pitch detection	Localisation
0-20ms initial reflections Strength, Gain G_{early}	Not separable from visible source; May substitute invisible source; Masker of direct sound	Coloration effects on visible sources;	Counteracts source localisation, source separation, pitch detection
20-80ms early reflections Strength, Gain G_{early}	Articulation, separation and expression of musical notes; Echo if too strong	Tonality, sonority, harmony, timbre, 'singing room'	Apparent Source Width (lateral reflections); False localisation if too strong
>80 ms late reflections Strength, Gain G_{late}	Reverberance; Temporal continuity of music; Articulation loss if too strong; Echo if uneven	Musician's feedback about ensemble's tonality at listener's ears; Ease of intonation. Tonality, sonority, harmony, timbre, 'singing room'	Envelopment, listener's impression of being enveloped in a room together with musical source; Spatial continuity

Tomada de Magne Skålevik ,2012.

Además, explica que el RT debe variar de acuerdo al tipo de música, ya que un RT alto puede enmascarar instrumentos percutivos y uno demasiado bajo impide la propagación envolvente del sonido ideal para la ejecución de música clásica. Por esta razón se afirma que la música evolucionó mediante la época y su lugar de ejecución (Byrne,2012). La reverberación evalúa subjetivamente la viveza de la sala, la cual influye en el tipo de música que se puede llegar a tocar en el recinto, del RT se derivan parámetros como la viveza, calidez, brillo. (Carrión, 1998). El RT puede ser determinado mediante mediciones de campo o de forma estadística. Para llevar a cabo las mediciones de campo, se ocupa la normativa técnica, UNE EN ISO3382 "medición de parámetros acústicos en recintos". Mientras que la forma estadística hay varios autores que evalúan el RT, tales como:

Según Sabine:

$$RT = \frac{0.161xV}{A+4mV} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde: V es el volumen del recinto

A: la absorción que viene dada por coeficiente de absorción de los materiales en una superficie.

m: constante atenuada del aire.

Sabine en su fórmula considera un campo difuso uniforme, brinda mejores resultados en salas vivas, no considera la distribución de material absorbente en la sala, el decaimiento es lineal en el tiempo por lo que no considera anomalías físicas en la sala. Sabine es el mentor de la acústica moderna, de su estudio varios científicos acomodaron la fórmula considerando factores como la asimetría de la absorción repartida en el recinto, como Arau- Puchades.

Según Arau-Puchades

$$RT60 = \left[\left(\frac{0.161V}{-S \ln(1-ax)} \right)^{Sx/S} \right] \left[\left(\frac{0.161V}{-S \ln(1-ay)} \right)^{Sy/S} \right] \left[\left(\frac{0.161V}{-S \ln(1-az)} \right)^{Sz/S} \right] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde: V volumen del recinto

a: La absorción que viene dada por coeficiente de absorción de los materiales en diferentes coordenadas del espacio.

S: superficie total

Sx,Sy,Sz: superficies que conforman el recinto.

Considera la distribución asimétrica del material absorbente y calcula 2 caídas de nivel el RT y EDT.

2.1.1.2 Ruido de fondo

El ruido de fondo es la presión sonora inherente al interior de la sala, cuando las fuentes sonoras de trabajo están apagadas, es decir el ruido que comúnmente se encuentra en el ambiente del recinto, puede ser modificado por fuentes móviles tales como: autos, voces, lluvia, ruidos impulsivos entre otros. En función del ruido de fondo establecen los índices de valoración de ruido, los mismos que recomendará el tipo de uso adecuado para las salas.

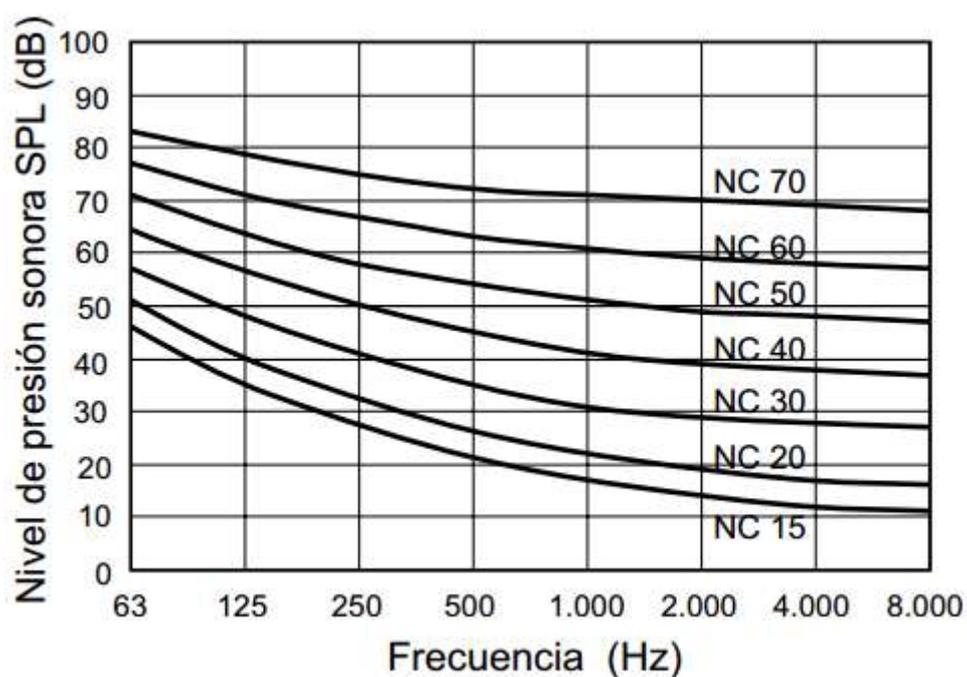


Figura 1. Curvas NC- Ruido de fondo

Tomado de (Carrión, 1998)

Las Curvas NC establecen valores de ruido de fondo máximo permitidos para poder categorizar y darle diferentes usos a las salas.

Tabla 2.

Valores recomendados de Ruido de fondo

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

Tomado de (Carrión, 1998)

2.1.1.3 Modos de vibración

Los modos de vibración describen patrones de ondas estacionarias que existen en espacios geométricos, el patrón varía en función de las longitudes del espacio y forma geométrica. Se produce por la coincidencia de ondas incidentes y reflejadas al interior de la sala, en salas de escucha musical es fundamental poder controlarlo a lo largo del espacio, con el fin de no tener coloración o distorsión del sonido en determinados rangos de frecuencias.

Según la trayectoria de la onda se clasifican tipos de modos de vibración en el recinto:

- Modos axiales: se forma cuando una onda estacionaria fluctúa entre dos superficies.
- Modos tangenciales: está formado por la reflexión de una onda estacionara entre cuatro superficies.
- Modos oblicuos: se forma cuando una onda estacionaria coincide con seis o más superficies

2.1.1.4 C80

También conocida como claridad musical, relaciona de la energía precoz y la energía tardía, en los primeros 80ms incluyendo sus reflexiones respecto a la energía posterior a los primeros 80ms. Con este parámetro se conoce si el sonido primario va ser reforzado por la sala, evalúa la percepción subjetiva y la calidad de la música. Se calcula de forma teórica como lo menciona la normativa UNE EN ISO 3382, también existe un valor promediado que resulta de la media aritmética, en particulares bandas de frecuencias. Carrión, (1998)

$$C_t = 1 + e^{(13.8*t/T60)} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$C80s.a = \frac{C80(500hz)+C80(1Khz)+C80(2khz)}{3} \quad [dB] \quad \text{(Ecuación 4)}$$

2.1.1.5 C50

C50 o claridad de la voz se relaciona con la inteligibilidad del habla, relaciona la energía precoz y la energía tardía en los primeros 50ms. Evalúa la separación entre los sonidos de las primeras reflexiones y las posteriores a los 50ms. Se recomienda valores mayores a 2dB, garantiza que el mensaje será bien recibido. Se calcula de forma teórica en función del RT o integrando los primeros 50ms con respecto a las reflexiones posteriores, la claridad tonal puede tomar un solo valor se lo llama Speech Average y es un promedio de C50 en específicas bandas de frecuencias. (Carrión, 1998)

$$C_t = 1 + e^{(13.8*t/T60)} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$$C50s.a = 0.15C50(500hz) + 0.25C50(1khz) + 0.35C50(2khz) + 0.25C50(4khz) \quad \text{(Ecuación 6)}$$

2.1.1.6 Calidez

La calidez acústica o también conocida como Bass Ratio, es un promedio de la suma de la reverberación en las bandas de frecuencias de 125hz y 250hz y vs la suma en las bandas de frecuencias de 500hz y 1khz. (Carrión, 1998). Evalúa subjetivamente la riqueza de la sala a bajas frecuencias y presenta la sensación placentera de la calidez y profundidad de la sala.

$$\text{Calidez} = \frac{RT(125\text{hz}) + RT(250\text{hz})}{RT(500\text{hz}) + RT(1\text{khz})} \quad (\text{Ecuación 7})$$

2.1.1.7 Brillo

Al brillo al igual que la calidez es el promedio de los tiempos de reverberación en las bandas de frecuencia de 2khz y 4khz vs las bandas de frecuencias de 500hz y 1khz. Evalúa subjetivamente la riqueza de la sala a altas frecuencias y presenta la sensación placentera de la suavidad de la sala.

$$\text{Brillo} = \frac{RT(2\text{khz}) + \frac{RT(4\text{khz})}{RT(500\text{hz})}}{RT(500\text{hz}) + RT(1\text{khz})} \quad (\text{Ecuación 8})$$

2.1.1.8 Inteligibilidad del habla

La comunicación es clave fundamental para la evolución de nuestra especie, el lenguaje hablado se desarrolla a lo largo de la historia y es el más utilizado para intercambiar información. El mensaje es la idea que el orador emite y debe ser descifrada por el receptor, el entendimiento del mensaje por parte del receptor es un proceso de reconocimiento de fonemas, el espacio puede ser de ayuda o de obstáculo para que el mensaje llegue al receptor, si no se lleva un control de acondicionamiento del espacio los fonemas pueden ser socapados, volviéndolos no reconocibles y dando más tarea al receptor. Se puede facilitar la comprensión del mensaje si el narrador ocupa un buen timbre de voz y si el espacio está adecuado acústicamente, por lo cual muchos autores cuantifican

la inteligibilidad del habla por medio de descriptores tales como: STI, Rasti, %Alcons entre otros.

2.1.1.9 STI

El STI (Speech Transmission Index), fue definido por Houtgast y Steeneken en el año 1980, permite evaluar la inteligibilidad del habla entre los valores 0 y 1. Su cálculo se basa en la reducción de diferentes índices de modulación “m” de la voz debido al RT no controlado, bajo aislamiento o un ruido de fondo elevado. Al ser un parámetro ligado a la inteligibilidad del habla el rango de frecuencias será el de interés de la voz, estos serán 125hz-8khz. Este método fue estandarizado por la normativa IEC 60268-16 en el 2003. A servido de base para el desarrollo de nuevos métodos de evaluación de inteligibilidad del habla como es el parámetro RASTI, que se basa en el mismo cálculo, pero en menos bandas de octava y de frecuencias de modulación.

STI cuantifica la cantidad de modulación pérdida mediante esta ecuación:

$$m(F) = \left((1 + (2 * \pi * F * \frac{T}{13.8})^2) \right)^{-1/2} * (1 + 10^{\frac{-5}{R} + 10})^{-1} \quad (\text{Ecuación 9})$$

donde F: 14 frecuencias de modulación.

2.1.1.10 D50

Fue desarrollada por Thiele en 1950, considera como energía sonora útil al sonido en los primeros 50ms incluyendo las reflexiones que se dan en ese determinado tiempo, se expresa en porcentajes y cuantifica la claridad de la voz y la separación entre frases de la música y el habla. Se recomienda que este valor supere el 50%, entre mayor sea el valor mayor inteligibilidad de la palabra tendrá el recinto.

$$D50 = 10^{C50/10} / 1 + 10^{C50/10} \quad (\text{Ecuación (10)})$$

2.2 Influencia de los modos normales de vibración en salas.

Uno de los problemas más comunes en salas de música es el acople del sonido directo y los modos de vibración, se producen resonancias al coincidir ondas incidentes y reflejadas esto provoca sumas constructivas y destructivas en frecuencias específicas, teniendo como resultado un incremento de energía en los rangos de frecuencias modales y coloración en la respuesta frecuencial de la sala.

Las salas pequeñas están gobernadas por modos normales y la teoría estadística para hallar RT resulta no fiable, la frecuencia de Schroeder indica el punto donde la sala deja de ser modal.

$$F = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

donde: T= Reverberación

V = Volumen

En un recinto cerrado un evento sonoro posee energía directa, reflejada y absorbida. Cuando se percibe el sonido directo sin reflexiones se le denomina campo directo, mientras que al percibir las múltiples reflexiones del sonido ocasionadas por los elementos que conforman la sala se le denomina campo reverberante, la energía absorbida se da por los elementos de la sala disipando el sonido por medio de la energía calorífica y mecánica. La distancia crítica es el punto donde el campo reverberante es el mismo que el campo directo, en ese punto se produce un aumento de 3dB según la teoría de superposición de ondas, posterior a esta distancia el campo reverberante tendrá más influencia en la sala.

$$Dc = 0.14 * ((Q * R)^{1/2}) \quad (\text{Ecuación 12})$$

donde :

Q= factor de directividad de la fuente

R= constante de la sala $R = S * a / 1 - a$

S= superficie total de la sala

a= coeficiente medio de absorción de la sala

3. Información de las salas

3.1 Información general del caso de estudio

En la siguiente tabla se describe los detalles de ubicación e información de la Universidad de Las Américas.

Tabla 3.

Información del caso de estudio

Nombre	Universidad de las Américas sede granados
Dirección	E12-41 y Av. De los granados & De Los Colimes, Quito
Parroquia	El Inca
Horario de funcionamiento	Horario diurno 7am- 7pm Horario nocturno 7pm-10pm
Nº. de plantas	5

Ubicación geográfica



Figura 2. Mapa - Universidad de Las Américas.

Tomado de Google Maps, 2017

3.2 Descripción detallada de las salas.

E01

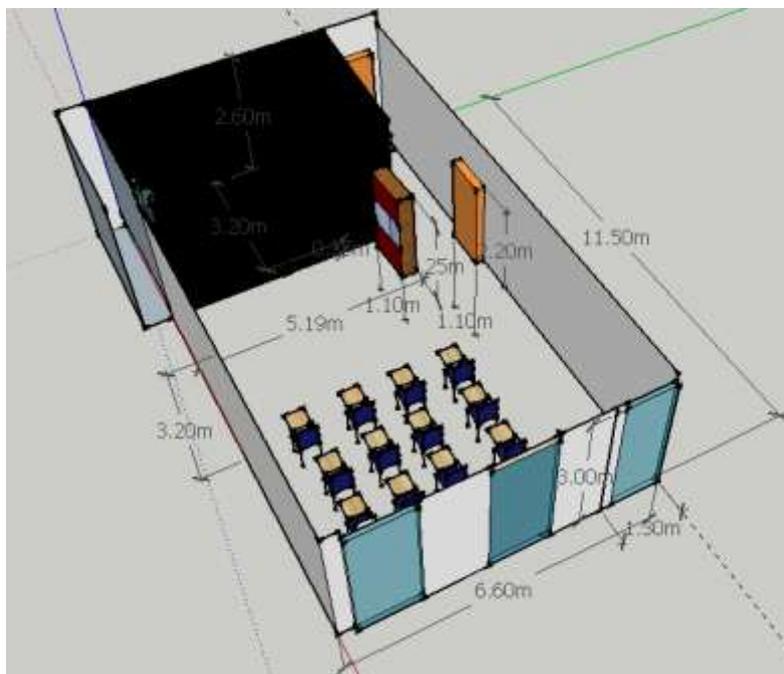


Figura 3 Sala E01 - Visualización 3D

Tomado de Sketchup, 2010

La sala de ensamble E01 está ubicada en el ala noroeste del subsuelo 1, en la UDLA sede granados, es una sala multifuncional destinada principalmente al ensayo de ensambles musicales, pero también se dictan clases de forma hablada por esta razón conviene analizar la inteligibilidad del habla. Es de tipo rectangular, alberga alrededor de 42 pupitres. La sala E01 posee gran cantidad elementos dentro tales como: instrumentos musicales, amplificadores y cadenas electroacústicas de refuerzo sonoro para ejecutar ensayos musicales. Las cortinas pesadas del escenario están distanciadas entre 10cm y 40cm de las paredes que la conforman (actuando como absorbentes en bajas frecuencias) los asientos ocupan grandes cantidades de espacio en el recinto y actuarán como absorbentes considerables en la sala, la puerta de entrada es doble dejando un espacio de aire de 20 cm entre ellas, la tarima no posee diseño acústico, la sala posee sistema de ventilación.

E02

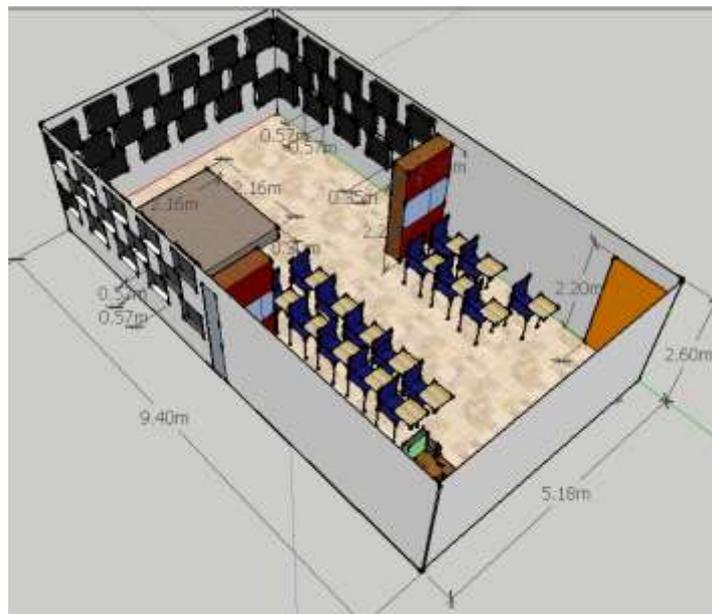


Figura 4. Sala E02- Visualización 3D

Tomado de Sketchup, 2010

La sala E02 es una sala multifuncional, se utiliza para salas de ensayos y ejecución de piezas sonoras, se ubican en la noroeste del subsuelo 1, además está equipada con instrumentos, amplificadores y cadenas electroacústicas de refuerzo sonoro. En la parte posterior existe 17 esponjas de 0.57x0.57 y a los lados posee 28 esponjas de 0.57x0.57, encima del cielo raso hay un espacio de aire de 65 cm y están colocadas placas de lana de vidrio de 4cm sin recubrimiento, la puerta de entrada es doble dejando un espacio de aire de 3cm entre ellas, en la parte trasera superior existe una cavidad de 80cm lo cual actúa como cámara, la geometría es rectangular y posee alto grado absorción debido a la propiedades de sus elementos, el sistema de ventilación no está habilitado.

E03

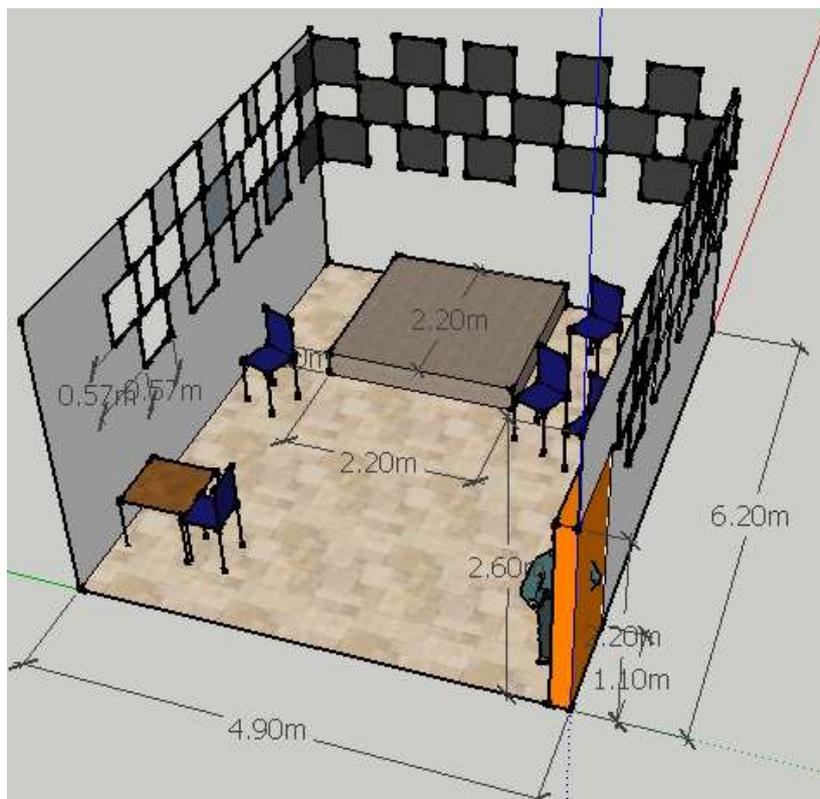


Figura 5. Sala E03 - Visualización 3D

Tomado de Sketchup, 2010

La sala de ensamble E03 está ubicada en el ala norte del subsuelo 1, en la UDLA sede granados, la sala E03 es un espacio dedicado al ensayo musical, de tipo rectangular consta de instrumentos musicales y una cadena electroacústica de refuerzo sonoro, posee grandes cantidades de espuma de poliuretano en su zona posterior y a los lados, en total 45 esponjas de 0.57x0.57, encima del cielo raso está colocado 4 cm de lana de vidrio, siendo esta zona la de mayor absorción en la sala. La puerta de entrada es doble dejando un espacio de aire de 4cm entre ellas, posee un sistema de ventilación no activado.

E04

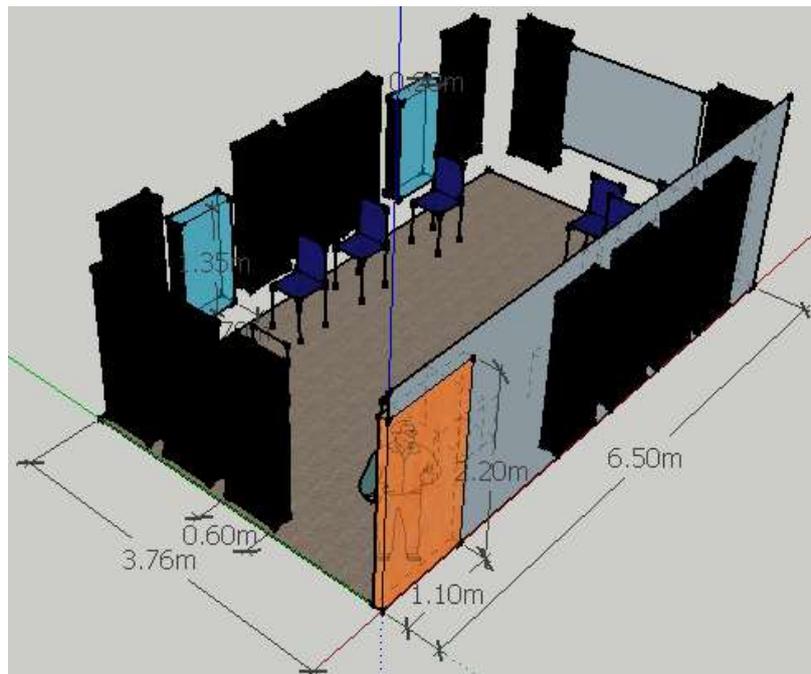


Figura 6. Sala E04 - Visualización 3D

Tomado de Sketchup, 2010

La sala de ensamble E04 está ubicada en el parqueadero del subsuelo 1 al centro este, en la UDLA sede granados, la sala E04 es un espacio dedicado al ensayo musical, de tipo rectangular su espacio es limitado, consta de instrumentos musicales, asientos y una cadena electroacústica de refuerzo sonoro, posee grandes cantidades de espuma de poliuretano alrededor de la sala en total 14 rectángulos de 1.8mx0.6m, su piso es alfombrado. Las paredes son de concreto forradas de gypsum por lo que tiene buen grado de aislamiento, además su puerta es mixta 50% madera y 50% de metal. La mayor cantidad de material absorbente está en el techo ya que es lana de vidrio de 5cm esculpida en gypsum, las paredes son de gypsum pero su estructura es de ladrillo.

E05

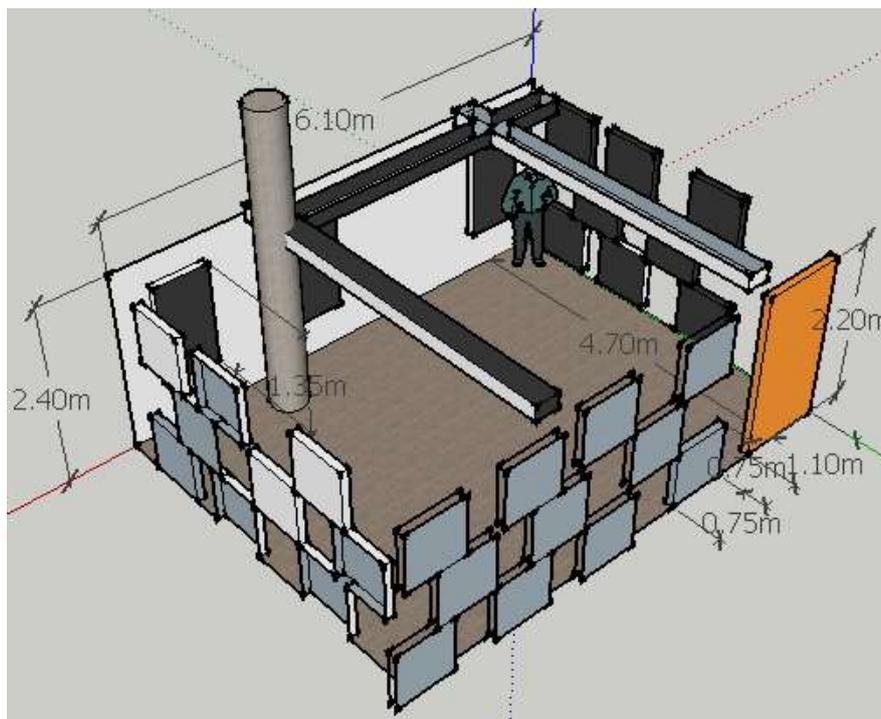


Figura 7. Sala E05 - Visualización 3D

Tomada de Sketchup, 2010

La sala de ensamble E05 está ubicada en el parqueadero del subsuelo 2 ala sur oeste, en la UDLA sede granados, la sala E05 es un espacio dedicado al ensayo musical, de tipo rectangular, consta de instrumentos musicales y una cadena electroacústica de refuerzo sonoro, posee grandes cantidades de espuma de poliuretano alrededor de la sala 28 cuadros de 0.75mx0.75m y 3 rectángulos de 1.35mx0.7m, su piso es alfombrado, sobre concreto. Las paredes son de concreto forradas de gypsum por lo que tiene buen grado de aislamiento, el punto crítico es su puerta al ser de tipo simple. En su techo hay cielo raso y posterior se encuentra una cavidad de aire de 50 cm.

E06

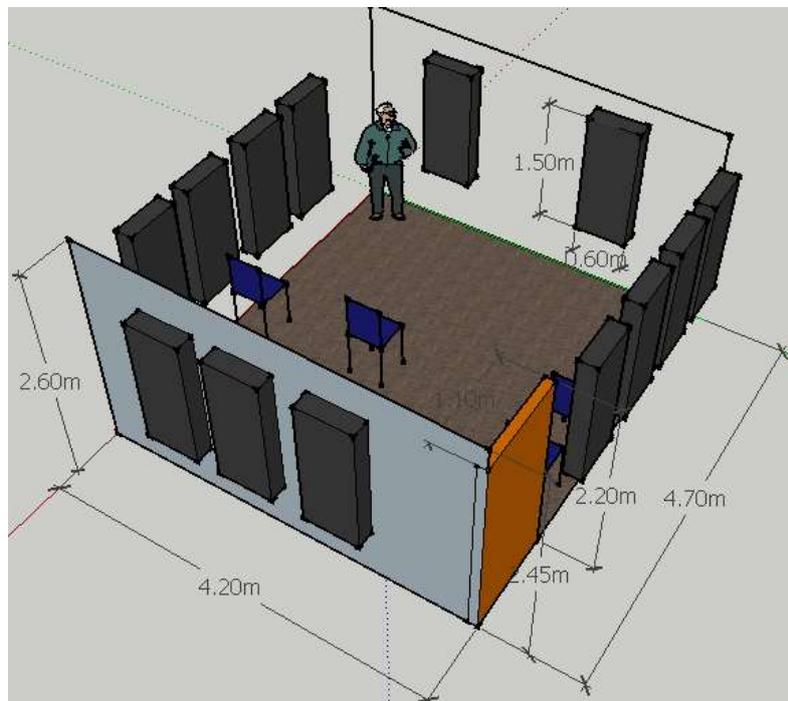


Figura 8. Sala E06 - Visualización 3D

Tomado de Sketchup, 2010

La sala de ensamble E06 está ubicada en el parqueadero del subsuelo 2 ala noroeste, en la UDLA sede granados, la sala E06 es un espacio dedicado al escucha musical, de tipo rectangular, consta de instrumentos musicales y una cadena electroacústica de refuerzo sonoro, posee grandes cantidades de espuma de poliuretano alrededor de la sala en total 13 rectángulos de 1.5mx0.6m, su piso es alfombrado. Las paredes son de concreto forradas de gypsum, el techo es de cielo raso y encima está cubierta de lana de vidrio de 4cm, con una cavidad de 40cm de aire, la puerta es simple.

E07

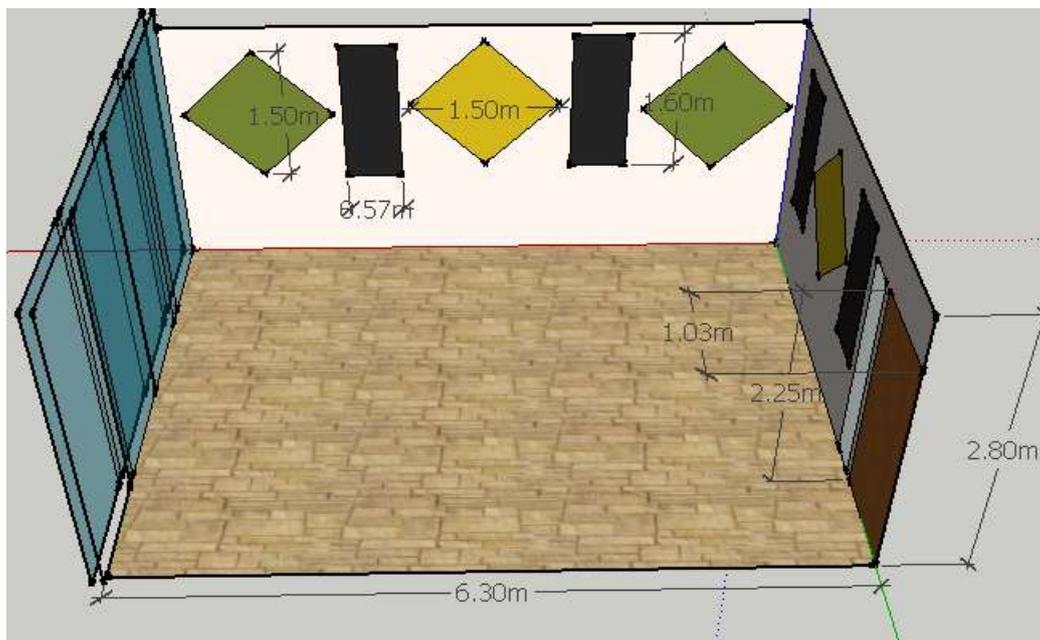


Figura 9. Sala E07 - Visualización 3D

Tomado de Sketchup, 2010

La sala de ensamble E07 está ubicado en el ala noroeste del subsuelo 1, en la UDLA sede granados, es una sala destinada al ensayo de ensambles musicales. Es de tipo rectangular, alberga alrededor de 15 pupitres, posee espuma de poliuretano en total 4 rectángulos de 1.6mx0.57m y 4 paneles suspendidos alrededor de la sala de 1.5mx1.5m, el techo es de cielo raso y encima está cubierta de lana de vidrio de 4cm, con una cavidad de 85cm de aire.

4. Metodología

4.1 Método estadístico

El análisis estadístico trata el cálculo del decaimiento logarítmico de forma teórica, mediante datos de coeficientes de absorción de los materiales que hay en el recinto y la superficie que presentan, se ocupa la información de

geométrico considera la dirección del rayo de luz como reflexiones especulares, es decir la reflexión es simétrica al plano de reflexión en superficies planas. (Puchades, 2015)

Para superficies cóncavas la dirección de la reflexión del sonido va a depender de la relación del radio cóncavo, respecto a la longitud de onda (Puchades, 2015). En el caso de bajas frecuencias la longitud será mayor a la del radio cóncavo y pasará desapercibido, en caso contrario la reflexión será tangente a la superficie.

Para llevar a cabo se utiliza el software autocad, mediante imágenes sonoras se proyecta las reflexiones, los cuadros se muestran los resultados. Refiérase al Anexo 2

4.3 Mediciones in situ

4.3.1 Hoja de campo

La hoja de campo es de carácter anotativo en el cual se describe las características de la sala, además este documento debe garantizar el ensamble de las mediciones realizadas, para comprobar la veracidad de los datos, a continuación, se adjunta las hojas de campo. Refiérase al Anexo 3

4.3.2 Planos y puntos de mediciones

Se realiza 6 mediciones con 2 posiciones de fuente, para todos los casos se realizan 3 mediciones por posición de fuente.

Tabla 4.

Distribución de posiciones de fuente- Sonómetro

Posición de fuente	Posiciones de sonómetro
1	1
1	2
1	3
2	4
2	5
2	6

Sala E01

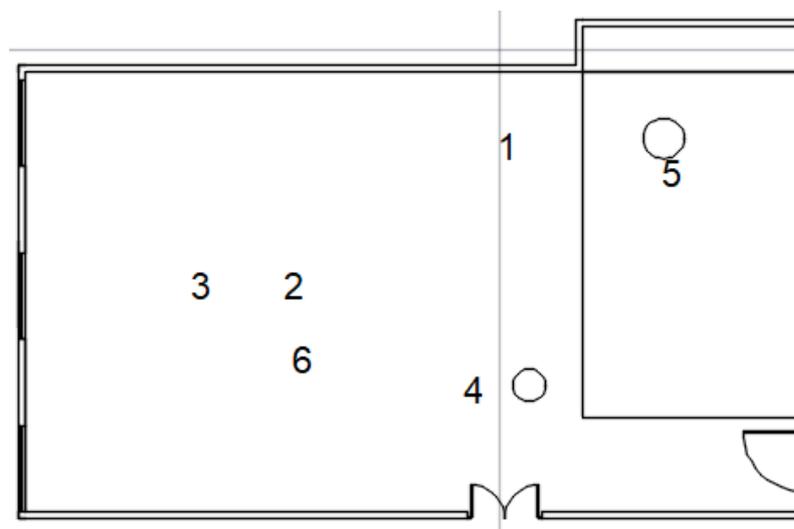
*Figura 12 Puntos de medición- E01*

Tabla 5.

Distribución de los puntos de medición E01.

Posición de sonómetro	Largo [m]	Ancho [m]	Comentarios
1	4	2	Audiencia
2	7	3	Audiencia
3	9	3	Audiencia
4	2	3	Escenario
5	2	2	Escenario
6	7.5	2	Audiencia

Posición de fuente	Largo [m]	Ancho[m]
1	2	2
2	4	2

Sala E02

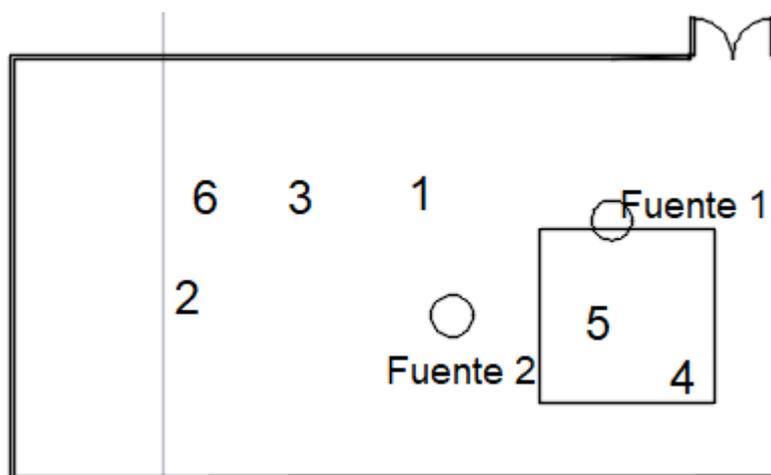


Figura 13. Puntos de medición- E02 línea

Tabla 6.

Distribución de los puntos de medición E02.

Posición de sonómetro	Largo [m]	Ancho [m]	Comentarios
1	4	2	Audiencia
2	7	2	Audiencia
3	6	3.2	Audiencia
4	1	1	Escenario
5	2	3.2	Escenario
6	7	3.2	Audiencia

Posición de fuente	Largo [m]	Ancho[m]
1	2	2
2	4	2

Sala E03

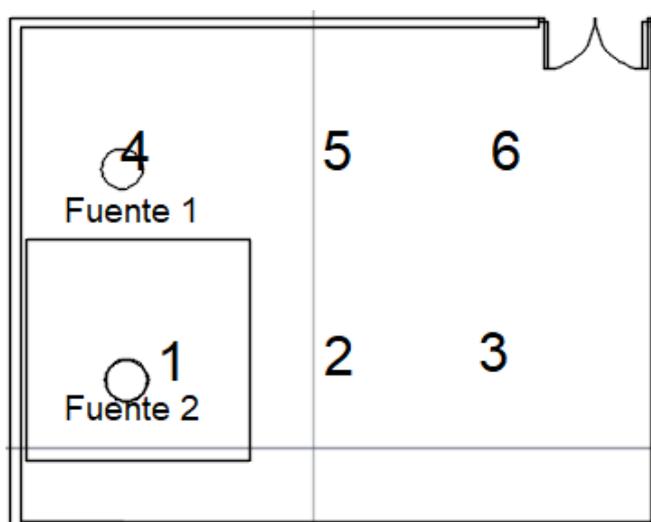


Figura 14. Puntos de medición- E03

Tabla 7.

Distribución de los puntos de medición E03.

Posición de sonómetro	Largo [m]	Ancho [m]	Comentarios
1	1	3.5	Escenario
2	3	3.5	Audiencia
3	5	3.5	Audiencia
4	1	1	Escenario
5	3	1	Audiencia
6	5	1	Audiencia

Posición de fuente	Largo [m]	Ancho[m]
1	1	2
2	1	3.5

Sala E04

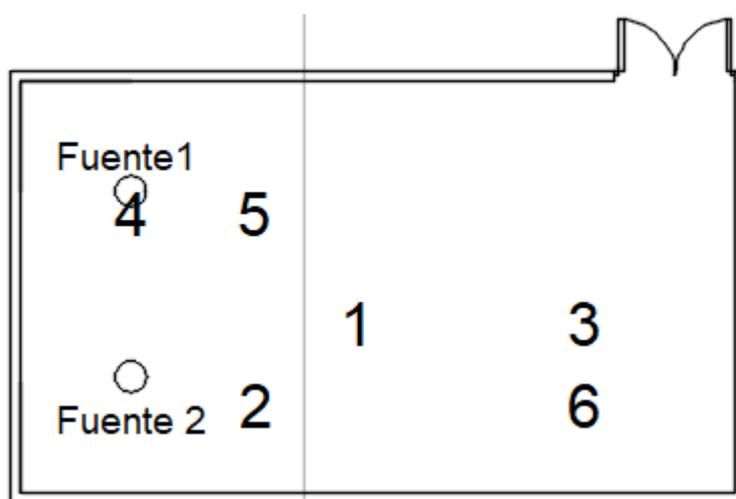


Figura 15. Puntos de medición- E04

Tabla 8.

Distribución de los puntos de medición E04

Posición de sonómetro	Largo [m]	Ancho [m]	Comentarios
1	3	2	Escenario
2	2	1	Audiencia
3	5	2	Audiencia
4	1	1	Escenario
5	4	2	Escenario
6	3	1	Audiencia

Posición de fuente	Largo [m]	Ancho[m]
1	1	1
2	1	2.7

Sala E05

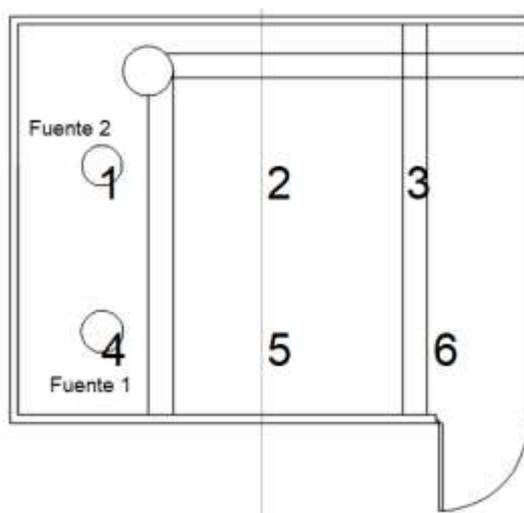


Figura 16. Puntos de medición- E05

Tabla 9.

Distribución de los puntos de medición E05.

Posición de sonómetro	Largo [m]	Ancho [m]	Comentarios
1	1	3	Escenario
2	3	3	Audiencia
3	5	3	Audiencia
4	1	1	Escenario
5	3	1	Audiencia
6	5	1	Audiencia

Posición de fuente	Largo [m]	Ancho[m]
1	1	1
2	1	3

Sala E06

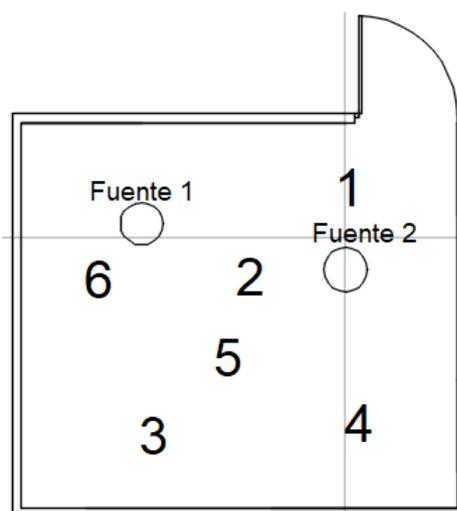


Figura 17. Puntos de medición- E05

Tabla 10.

Distribución de los puntos de medición E06

Posición de sonómetro	Largo [m]	Ancho [m]	Comentarios
1	1	1	Audiencia
2	2.8	2.6	Audiencia
3	3.8	3.4	Audiencia
4	3.8	1.2	Escenario
5	2	2	Escenario
6	7.5	2	Audiencia

Posición de fuente	Largo [m]	Ancho[m]
1	1.1	1.3
2	1.6	3.5

E07

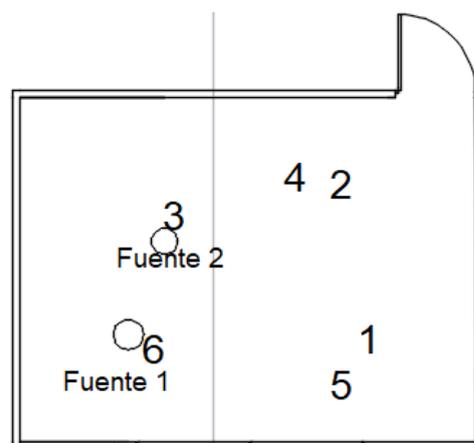
*Figura 18. Puntos de medición- E07*

Tabla 11.

Distribución de los puntos de medición E07

Posición de sonómetro	Largo [m]	Ancho [m]	Comentarios
1	2	1	Audiencia
2	2	1	Audiencia
3	2	2	Audiencia
4	2	1	Escenario
5	2	1	Escenario
6	1.5	1.5	Audiencia

Posición de fuente	Largo [m]	Ancho[m]
1	1.5	1.5
2	2	2

4.3.3 Normativa ISO3382

Para llevar a cabo las mediciones se debe tener como primer plano las condiciones de la sala, tales como:

- Condiciones meteorológicas
 - Temperatura
 - Humedad

- Descripción de componentes de la sala
 - Materiales y elementos en la sala.
 - Levantamiento de parámetros geométricos.

- Hoja de campo
 - Dibujo de croquis del recinto.
 - Distribución de puntos de medición.
- Manejo de equipos
 - Tiempo de reverberación
 - Ruido de fondo
 - Medición de STI para salas multifuncionales.

La normativa de medición ISO 3382 propone dos métodos para excitar la sala, método de respuesta impulsiva usa fuentes como: globos, explosiones, barridos de frecuencia, MLS (Maximun Lenght Sequence). El método elegido es el de ruido interrumpido el cual es un ruido aleatorio de banda ancha, se elige este método debido al ruido de fondo alto y bajo aislamiento de las salas, se ha ocupado el generador de señales Cesva para emitir ruido rosa a 0dB, para todos los casos de estudio, se registran 3 tomas por punto para posterior promediar los datos y eliminar incertidumbre en la medición. Además, elegimos 2 puntos de fuente y 6 puntos de medición.

La elección de los puntos se realizan bajo las consideraciones de la normativa las cuales sugieren mantener una distancia de cuarto de longitud de onda o 1 metro de superficies reflectantes para evitar la influencia de coloración por reflexiones, el micrófono se ubica a una distancia de 1.5 metros de distancia del suelo que es la altura referencial del oído, además los puntos de micrófono deberían estar separados al menos media longitud de onda o 2m uno de otros según la normativa UNE EN ISO 3382.

4.3.4 Instrumentación

4.3.4.1 Fuente omnidireccional BP012 CESVA

Se debe garantizar que la fuente se omnidireccional con un rango de desviación tolerable por la normativa en las bandas de frecuencias dictadas por la normativa ISO 3382, además debe cumplir la norma CEI 60651.

Tabla 12.

Desviación máxima de directividad de la fuente, en decibelios.

Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Desviación máxima	+/- 1	+/-1	+/-1	+/-3	+/-5	+/-6

Tomado de ISO 3382-1, 2009

El rol de la fuente omnidireccional es crear un campo difuso en el recinto, mediante ruido rosa para nuestro caso.



Figura 19. Fuente omnidireccional BP012 CESVA

Tomado de Cesva, s.f.

4.3.4.2 Amplificador AP602

Es un generador de ruido rosa y blanco, ecualizador gráfico de $\frac{1}{3}$ de octava y un amplificador de potencia.



Figura 20. Amplificador AP602

Tomado de Cesva, s.f.

4.3.4.3 Dispositivo registrador NTI

Sonómetro NTI incorpora programas como el T60, analizador de espectro, STIPA. Para las mediciones de campo en cada caso de estudio se verificó la calibración del equipo siendo ± 0.05 el rango de error.



Figura 21. Sonómetro NTi

Tomado de NTi, s.f.

4.3.4.4 Calibrador acústico Cesva CB006

Es de tipo portable, no necesita correcciones ambientales ni correcciones debido a las ponderaciones frecuenciales, su funcionamiento radica en generar presión acústica de 94dB @ 1khz.



Figura 22. Calibrador Cesva CB006

Tomado de Cesva, s.f.

4.3.4.5 Talkbox NTi

Se utiliza esta fuente que emite frecuencias moduladas, simula una persona que habla y se la utiliza para la evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla mediante la norma UNE-EN ISO 60268-16.



Figura 23. Talkbox NTi

Tomado de NTi, s.f.

4.3.4.6 Laser Bosch GLM 50

Medidor de distancia, facilita el trabajo de levantamientos de un espacio, con medidas exactas, reduce el tiempo de trabajo al medir rápidamente distancias.



Figura 24 Bosch GLM50

Tomado de Bosch, s.f.

4.3.4.7 Equipos adicionales

- Trípode para fuente omnidireccional y sonómetro NTi
- Cable Speak On
- Cable de poder para amplificador Cesva AP602
- Extensión eléctrica
- Protector auditivo

4.3.4.8 Excitación del recinto

La excitación del recinto por parte de la fuente debe ser lo suficientemente alto como para garantizar la caída de nivel al menos 35 dB por encima del ruido de fondo en las bandas de frecuencias de interés, para los cálculos de precisión como es nuestro caso se debe excitar el recinto con el ruido interrumpido por unos segundos hasta conseguir el estado estacionario de la sala, posterior calcular.

4.3.4.9 Promediados de resultados

El número de posiciones de micrófono determina la exactitud de la medición, para promediar los datos se lo puede hacer mediante 2 formas según explica la normativa:

- Se calcula los tiempos de reverberación individuales para las curvas de decrecimiento y sacando el valor medio, este método es el que se escogió para nuestro caso de estudio.
- Se calcula la media del conjunto de los decrecimientos de presión acústica al cuadrado y hallando el tiempo de reverberación de la curva de crecimiento resultante.

Se utiliza excel para promediar los valores, refiérase al anexo 4.

5. Resultados

5.1 Ficha técnica

Tabla 13.

Resultado global de la sala E01

UDLA	CÓDIGO DE FICHA
TESIS: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN LAS SALAS DE ENSAYO DE LA ESCUELA DE MÚSICA UBICADAS EN LA SEDE GRANADOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	01

DATOS DE LA SALA

UBICACIÓN	Udla-Sede granados.
NOMBRE	E01
DIRECCIÓN	E12-41 y, Av. De los Granados & De Los Colimes
CIUDAD	Quito

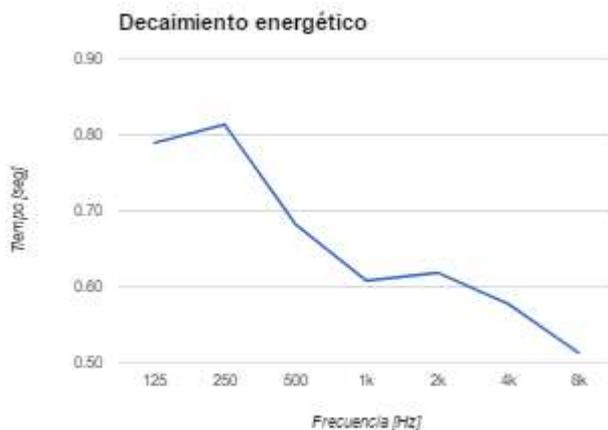
FOTOGRAFÍA REFERENCIAL

DATOS TÉCNICOS		DIMENSIONES DE LA SALA	
Capacidad	20 personas	Altura (H)	3m
Volumen sala	218.8m ³	Ancho (W)	6.4m
Superficie de la sala	267.6m ²	Largo (L)	11.4m
Superficie escenario	16.8 m ²		

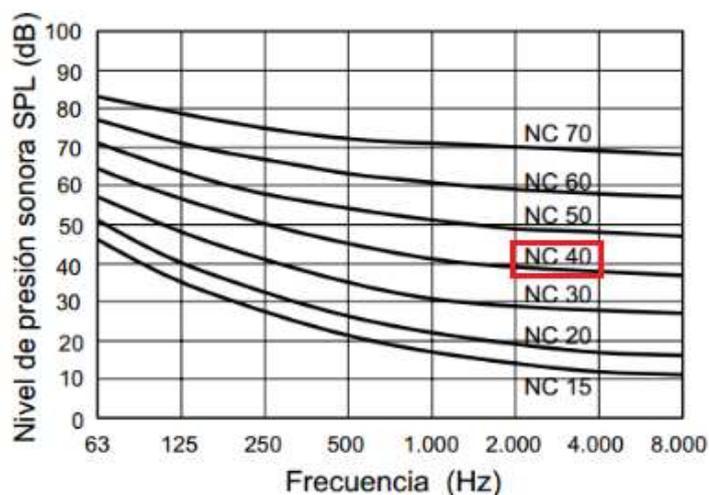


PARÁMETROS ACÚSTICOS

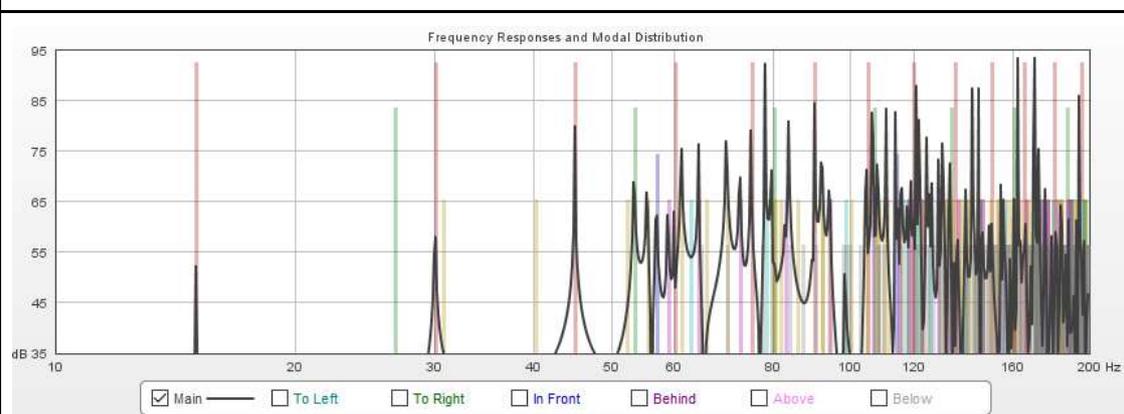
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	Calidez[seg]	1.24
RT [seg]	0.79	0.81	0.68	0.61	0.62	0.58	Brillo [seg]	0.93
C50 [dB]	2.28						RTmid [seg]	0.65
C80 [dB]	2.19						D50 62%	STI 0.65



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Ruido de fondo	19.6	22.3	26.3	29	32	26.8



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Sabine	0.64	0.94	0.94	0.52	0.72	0.8
Arau-Puchades	0.66	0.89	0.94	0.98	0.75	0.82



Frecuencia de Schroeder **105Hz**

Distancia crítica **1.09m**

ELEMENTOS DE LA SALA

Piso: baldosa sobre hormigón, alfombra escenario, escenario de madera, asientos sin ocupantes, panel acústico doble sobre cámara de aire, puerta doble (con espacio de 15cm de aire)

Paredes: Paredes de placas de Gypsum, vidrio pesado , cortinas delgadas cubre vidrio, cortinas terciopelo fruncido en escenario

Techo: Cielorraso + espacio de aire, losa liviana.

OBSERVACIONES

Sistema de refuerzo sonoro **SI**

Tipo de uso: Aula de teoría musical y sala de ensayo

Tipo de uso recomendado: Aula de teoría musical

Tabla 14.

Resultado global de la sala E02

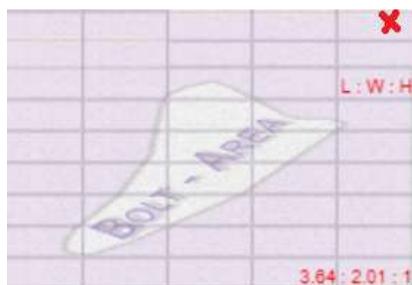
UDLA	CÓDIGO DE FICHA
TESIS: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN LAS SALAS DE ENSAYO DE LA ESCUELA DE MÚSICA UBICADAS EN LA SEDE GRANADOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	02

DATOS DE LA SALA

UBICACIÓN	Udla-Sede granados.
NOMBRE	E02
DIRECCIÓN	E12-41 y, Av. De los Granados & De Los Colimes
CIUDAD	Quito

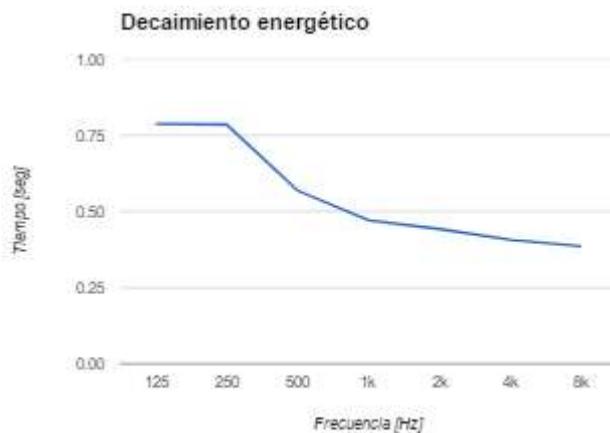
FOTOGRAFÍA REFERENCIAL

DATOS TÉCNICOS		DIMENSIONES DE LA SALA	
Capacidad	11 personas	Altura (H)	2.58m
Volumen sala	125.6m ³	Ancho (W)	5.18m
Superficie de la sala	172.6m ²	Largo (L)	9.4m
Superficie escenario	4.3m ²		

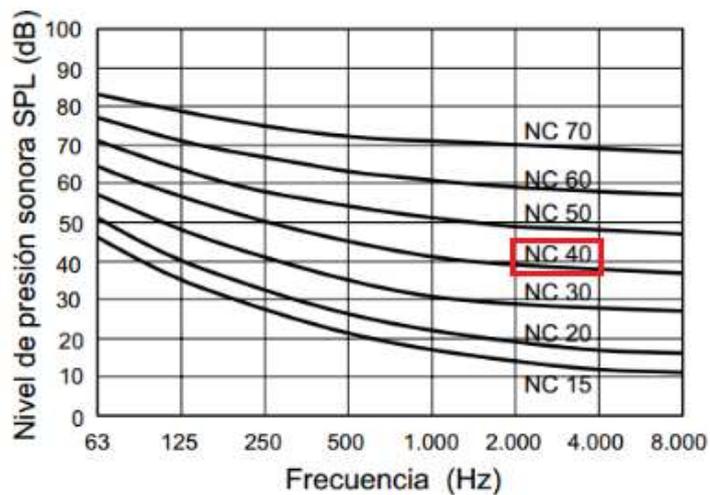


PARÁMETROS ACÚSTICOS

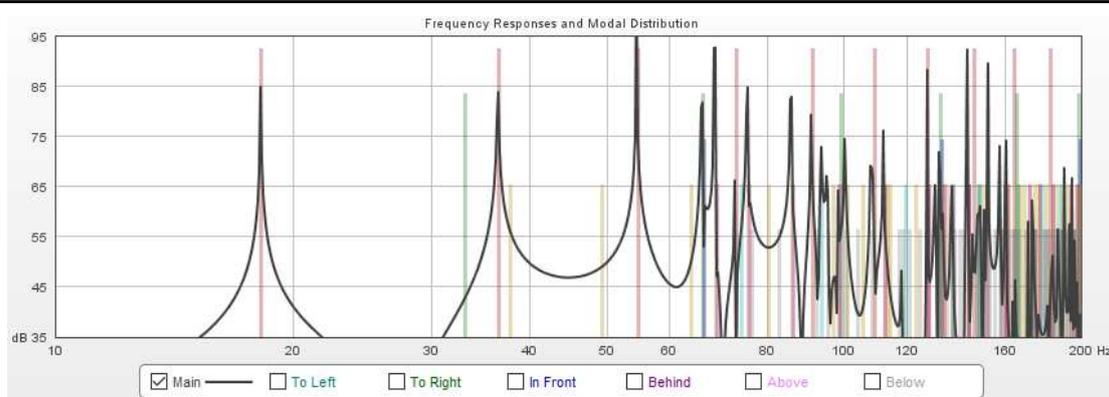
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	Calidez[seg]	1.51	
T60	[seg]	0.79	0.79	0.57	0.47	0.44	0.41	Brillo [seg]	0.82
C50	[dB]	2.12						RTmid [seg]	0.52
C80	[dB]	2.22						D50=62%	STI 0.72



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Ruido de fondo	21,5	22,6	30,1	30,9	32,0	26,2



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Sabine	0.32	0.44	0.43	0.26	0.25	0.24
Arau-Puchades	0.16	0.49	0.64	0.24	0.17	0.23



Frecuencia de Schroeder **138Hz**
Distancia crítica **0.82m**

ELEMENTOS DE LA SALA

Piso: Baldosa sobre hormigón, alfombra escenario, escenario de madera, asientos sin ocupantes, puerta doble (con espacio de 3cm de aire), panel acústico sobre cámara de aire.

Paredes: paredes de placas de Gypsum, poliuretano

Techo: Lana de vidrio, cielorraso + espacio de aire, losa liviana

OBSERVACIONES

Sistema de refuerzo sonoro SI

Tipo de uso: Aula de teoría musical y sala de ensayo

Tipo de uso recomendado: Aula de teoría musical, ensamble y estudio de música.

Tabla 15.

Resultado global de la sala E03

UDLA	CÓDIGO DE FICHA
TESIS: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN LAS SALAS DE ENSAYO DE LA ESCUELA DE MÚSICA UBICADAS EN LA SEDE GRANADOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	03

DATOS DE LA SALA

UBICACIÓN	Udla-Sede granados.
NOMBRE	E03
DIRECCIÓN	E12-41 y, Av. De los Granados & De Los Colimes
CIUDAD	Quito

FOTOGRAFÍA REFERENCIAL**DATOS TÉCNICOS**

Capacidad	6 personas
Volumen sala	68.3m ³
Superficie de la sala	121.9m ²
Superficie escenario	4.8m ²

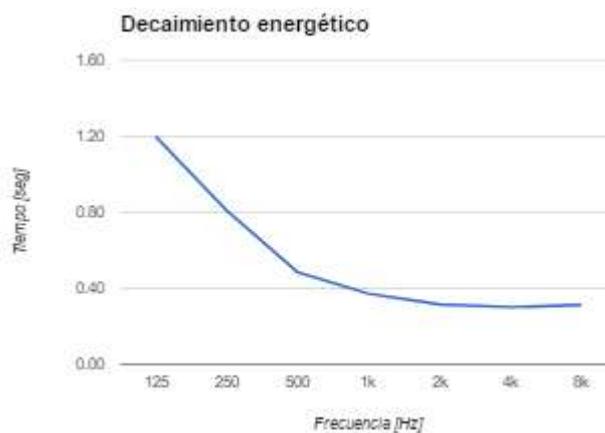
DIMENSIONES DE LA SALA

Altura (H)	2.27m
Ancho (W)	4.92m
Largo (L)	6.12m



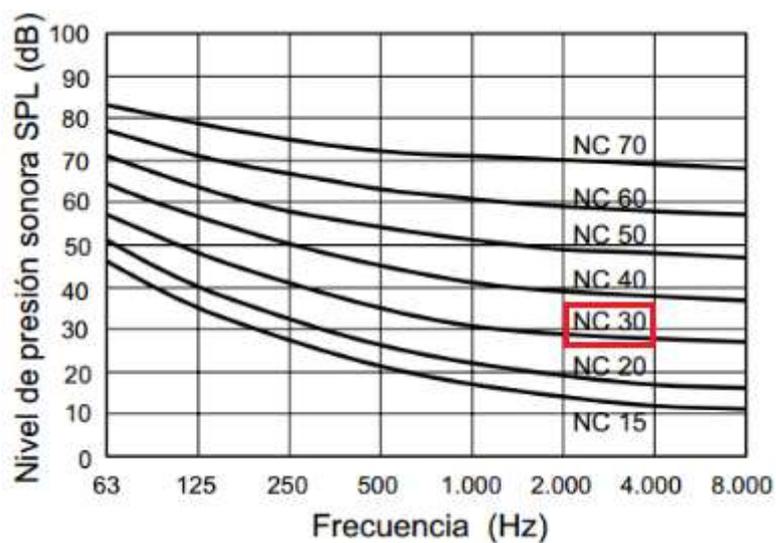
PARÁMETROS ACÚSTICOS

Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	Calidez[seg]	2.35	
T60 [seg]	1.20	0.81	0.49	0.37	0.32	0.30	Brillo [seg]	0.72	
C50 [dB]	2.16							RTmid [seg]	0.43
C80 [dB]	2.22							D50	63%

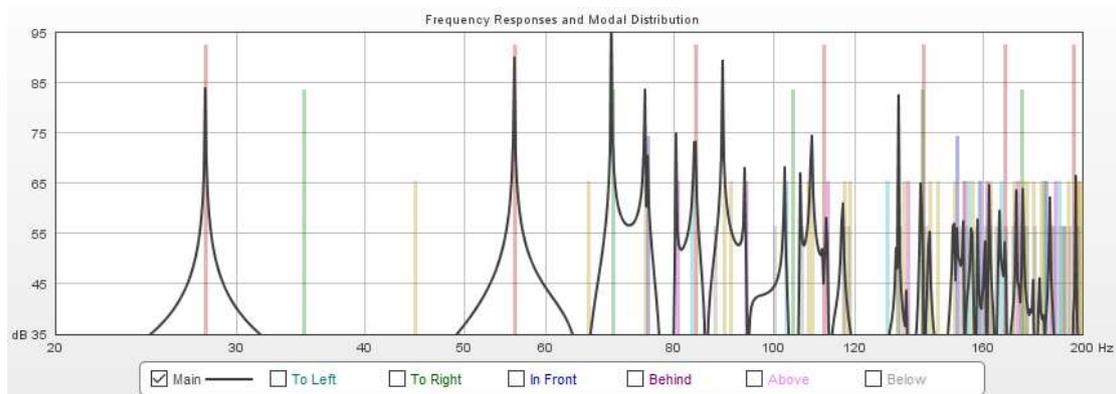


2.2

Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Ruido de fondo	12.3	19.1	23,3	26,3	27,2	25,7



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Sabine	0.31	0.57	0.67	0.39	0.36	0.41
Araucarias	0.16	0.41	0.55	0.25	0.18	0.22



Frecuencia de Schroeder **187Hz**

Distancia crítica **0.61m**

ELEMENTOS DE LA SALA

Piso: baldosa sobre hormigón, alfombra de escenario, escenario de madera, asientos.

Paredes: paredes de placas de Gypsum, poliuretano

Techo: Cielorraso + espacio de aire, lana de vidrio, losa liviana

OBSERVACIONES

Sistema de refuerzo sonoro **SI**

Tipo de uso: sala de ensayo

Tipo de uso recomendado: control room

Tabla 16.

Resultado global de la sala E04

UDLA	CÓDIGO DE FICHA
TESIS: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN LAS SALAS DE ENSAYO DE LA ESCUELA DE MÚSICA UBICADAS EN LA SEDE GRANADOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	04

DATOS DE LA SALA

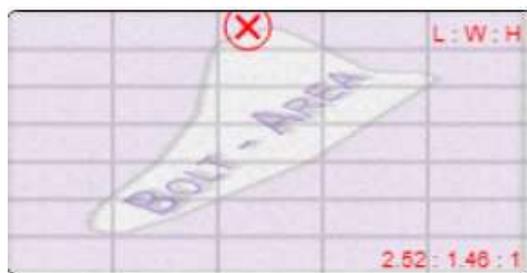
UBICACIÓN	Udla-Sede granados.
NOMBRE	E04
DIRECCIÓN	E12-41 y, Av. De los Granados & De Los Colimes
CIUDAD	Quito

FOTOGRAFÍA REFERENCIAL**DATOS TÉCNICOS**

Capacidad	6 personas
Volumen sala	63m ³
Superficie de la sala	101m ²

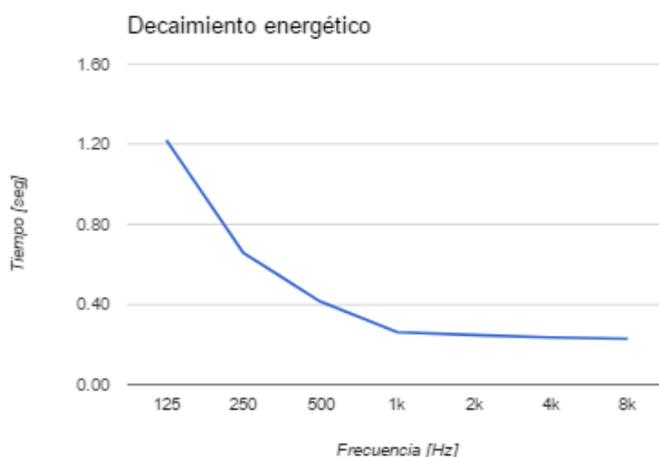
DIMENSIONES DE LA SALA

Altura (H)	2.58m
Ancho (W)	3.76m
Largo (L)	6.5m

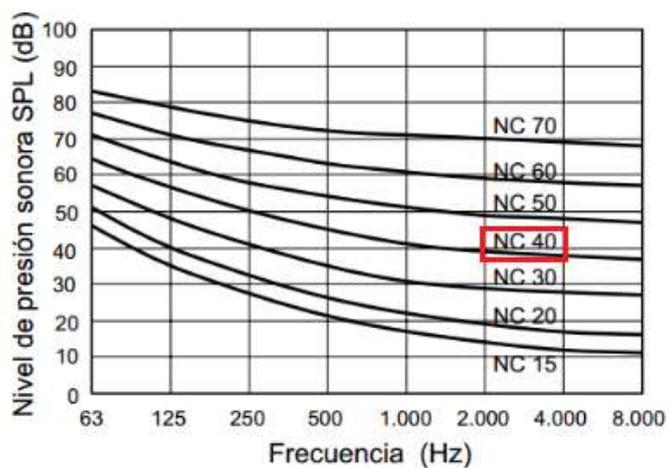


PARÁMETROS ACÚSTICOS

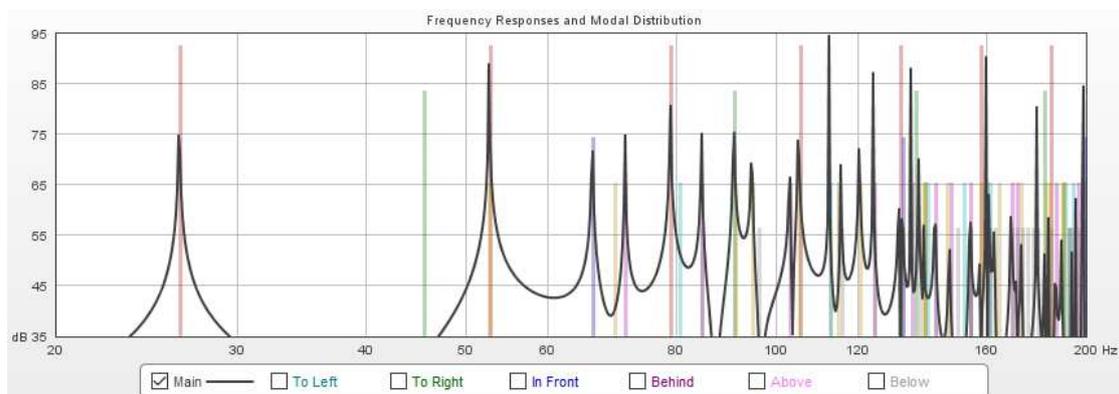
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	Calidez[seg]	2.76
T60 [seg]	1.22	0.66	0.42	0.26	0.25	0.24	Brillo [seg]	0.72
C50 [dB]	2.3						RTmid [seg]	0.34
C80 [dB]	2.37						D50	63%



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Ruido de fondo	21,5	22,6	30,1	30,9	32,0	26,2



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Sabine	0.26	0.42	0.44	0.24	0.18	0.2
Arau-Puchades	0.12	0.27	0.31	0.15	0.1	0.15



Frecuencia de Schroeder 195Hz

Distancia crítica 0.58m

ELEMENTOS DE LA SALA

Piso: alfombra delgada pegada al contrapiso, panel acústico doble sobre cámara de aire, puerta pesada (material interno metal, con espacio de aire), asientos.

Paredes: paredes de placas de Gypsum , vidrio pesado

Techo: Cielorraso + espacio de aire, losa liviana

OBSERVACIONES

Sistema de refuerzo sonoro SI

Tipo de uso: Sala de ensayo

Tipo de uso recomendado: control room

Tabla 17.

Resultado global de la sala E05

UDLA	CÓDIGO DE FICHA
TESIS: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN LAS SALAS DE ENSAYO DE LA ESCUELA DE MÚSICA UBICADAS EN LA SEDE GRANADOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	05

DATOS DE LA SALA

UBICACIÓN	Udla-Sede granados.
NOMBRE	E05
DIRECCIÓN	E12-41 y, Av. De los Granados & De Los Colimes
CIUDAD	Quito

FOTOGRAFÍA REFERENCIAL**DATOS TÉCNICOS**

Capacidad	6 personas
Volumen sala	66m ³
Superficie de la sala	109m ²

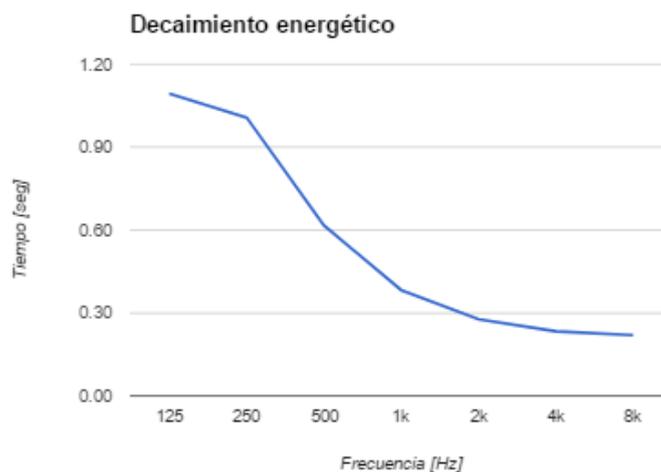
DIMENSIONES DE LA SALA

Altura (H)	2.4m
Ancho (W)	4.5m
Largo (L)	6.1m

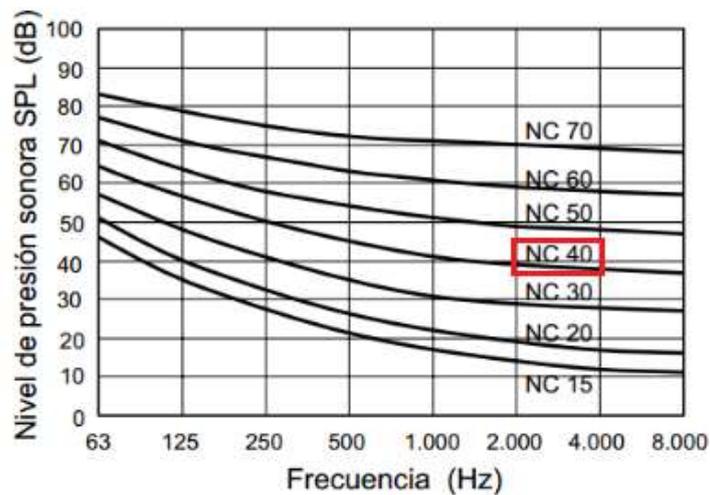


PARÁMETROS ACÚSTICOS

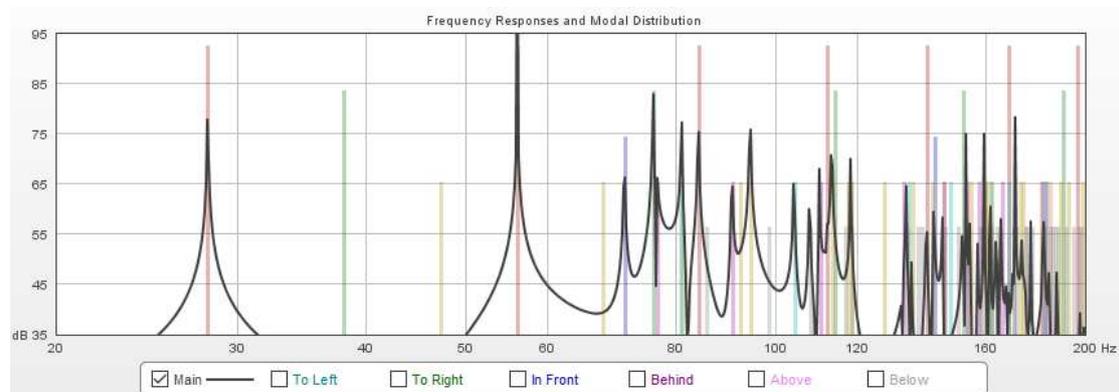
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	Calidez[seg]	2.46	
T60	[seg]	1.22	0.66	0.42	0.26	0.25	0.24	Brillo [seg]	0.69
C50	[dB]	2.18						RTmid [seg]	0.33
C80	[dB]	2.41						D50	62%



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Ruido de fondo	21,5	22,6	30,1	30,9	32,0	26,2



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Sabine	0.5	0.77	0.85	0.47	0.28	0.4
Araucarias	0.57	0.73	0.74	0.4	0.22	0.5



Frecuencia de Schroeder 191Hz

Distancia crítica 0.6m

ELEMENTOS DE LA SALA

Piso: alfombra delgada pegada al contrapiso, asientos, panel acústico doble sobre cámara de aire, puerta simple

Paredes: paredes de placas de Gypsum, vidrio pesado, poliuretano

Techo: Cielorraso + espacio de aire, losa liviana

OBSERVACIONES

Sistema de refuerzo sonoro SI

Tipo de uso: Sala de ensayo

Tipo de uso recomendado: Control room

Tabla 18.

Resultado global de la sala E06

UDLA	CÓDIGO DE FICHA
TESIS: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN LAS SALAS DE ENSAYO DE LA ESCUELA DE MÚSICA UBICADAS EN LA SEDE GRANADOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	06

DATOS DE LA SALA

UBICACIÓN	Udla-Sede granados.
NOMBRE	E06
DIRECCIÓN	E12-41 y, Av. De los Granados & De Los Colimes
CIUDAD	Quito

FOTOGRAFÍA REFERENCIAL**DATOS TÉCNICOS**

Capacidad	4 personas
Volumen sala	47.7m ³
Superficie de la sala	82.5m ²

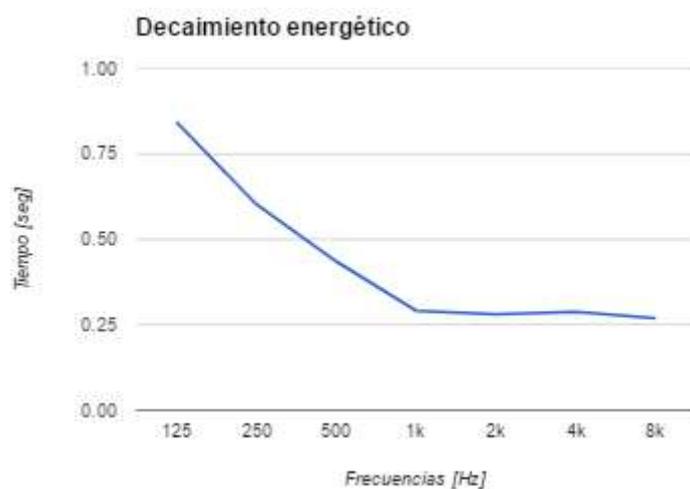
DIMENSIONES DE LA SALA

Altura (H)	2.42m
Ancho (W)	4.2m
Largo (L)	4.7m

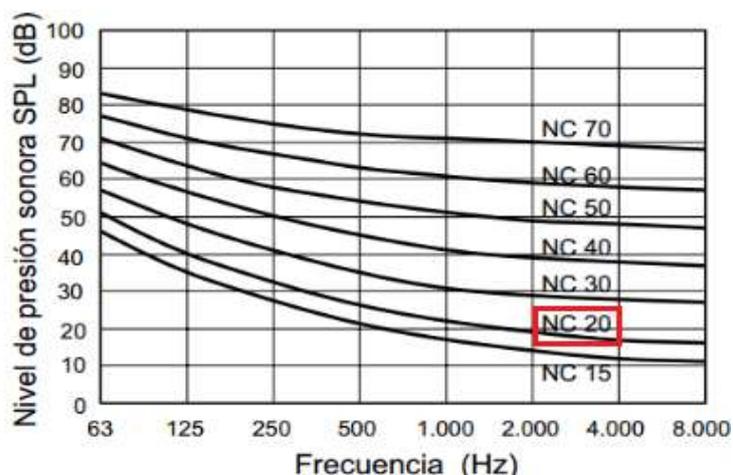


PARÁMETROS ACÚSTICOS

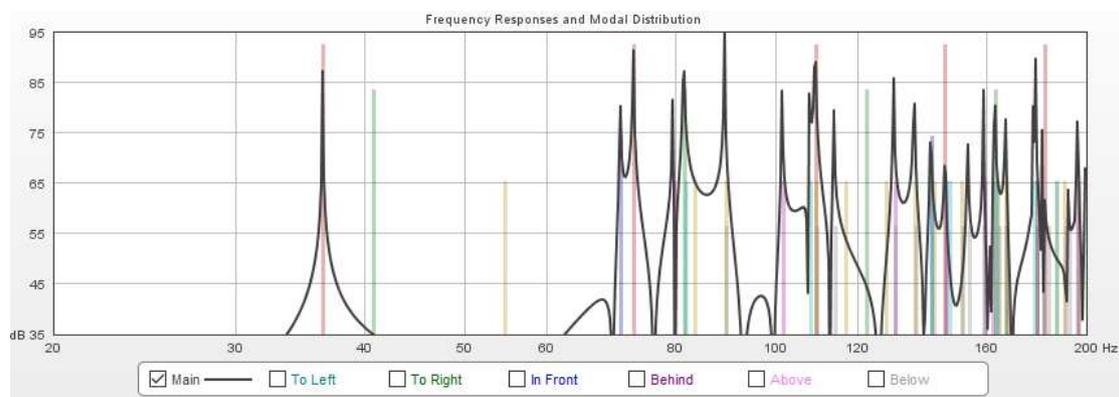
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	Calidez[seg]	1.81	
T60 [seg]	0.84	0.6	0.44	0.29	0.28	0.29	Brillo [seg]	0.97	
C50 [dB]	2.18							RTmid [seg]	0.29
C80 [dB]	2.41								
D50	63%								



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Ruido de fondo	12,4	13,2	15,5	17,8	20,3	20,4



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Sabine	0.27	0.36	0.48	0.35	0.2	0.2
Arau-Puchades	0.13	0.25	0.31	0.15	0.10	0.15



Frecuencia de Schroeder 224Hz

Distancia crítica 0.51m

ELEMENTOS DE LA SALA

Piso: alfombra delgada pegada al contrapiso, asientos, panel acústico doble sobre cámara de aire, puerta simple

Paredes: paredes de placas de Gypsum , vidrio pesado, poliuretano

Techo: cielorraso + espacio de aire, losa liviana
OBSERVACIONES
Sistema de refuerzo sonoro SI Tipo de uso: Sala de ensayo Tipo de uso recomendado: Control room

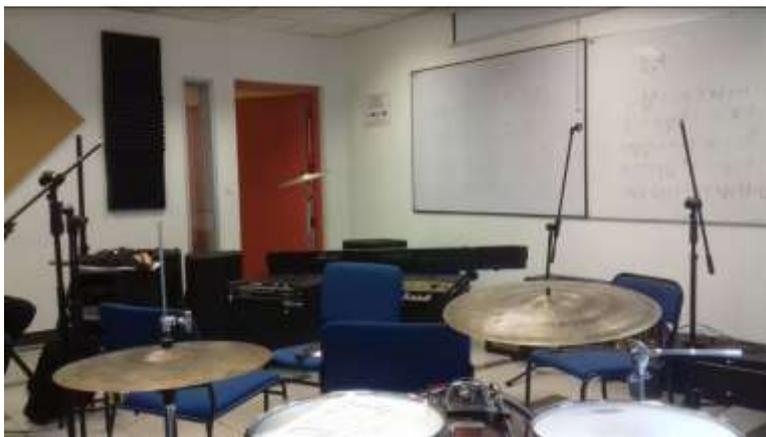
Tabla 19.

Resultado global de la sala E07

UDLA	CÓDIGO DE FICHA
TESIS: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN LAS SALAS DE ENSAYO DE LA ESCUELA DE MÚSICA UBICADAS EN LA SEDE GRANADOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	07

DATOS DE LA SALA

UBICACIÓN	Udla-Sede granados.
NOMBRE	E07
DIRECCIÓN	E12-41 y, Av. De los Granados & De Los Colimes
CIUDAD	Quito
FOTOGRAFÍA REFERENCIAL	



DATOS TÉCNICOS

Capacidad 8 personas
 Volumen sala 84.7m³
 Superficie de la sala 121.9m²

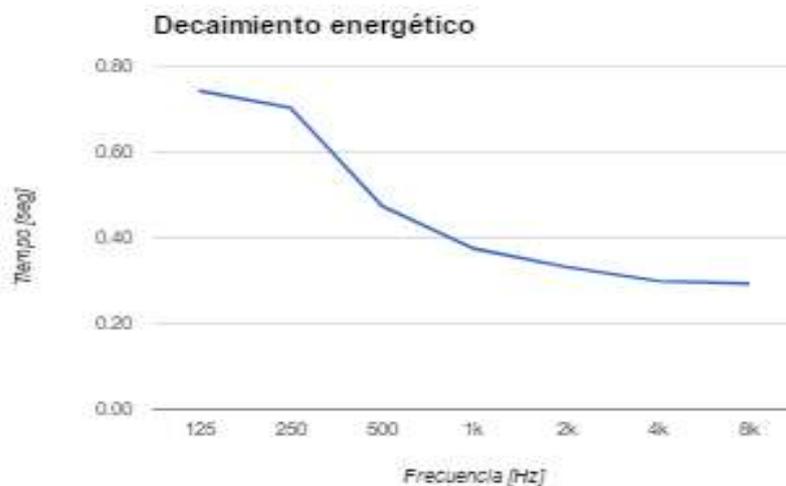
DIMENSIONES DE LA SALA

Altura (H) 2.8m
 Ancho (W) 4.8m
 Largo (L) 6.3m

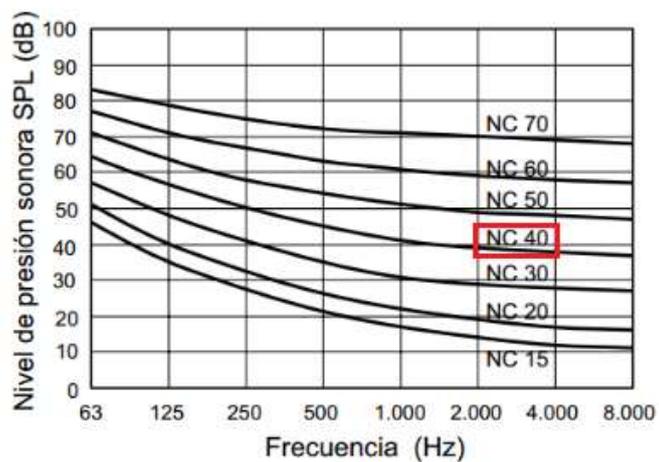


PARÁMETROS ACÚSTICOS

Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	Calidez[seg]	1.71	
T60	[seg]	0.74	0.70	0.47	0.38	0.33	0.3	Brillo [seg]	0.74
C50	[dB]	2.1						RTmid [seg]	0.42
C80	[dB]	2.4						D50	63 %



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Ruido de fondo	32.1	36.4	32.9	31.1	32.6	23.1



Frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Sabine	0.28	0.48	0.56	0.28	0.3	0.38
Arau-Puchades	0.23	0.42	0.5	0.24	0.28	0.32



5.2 Comparación de datos

El tipo de uso recomendado fue hallado en función del volumen y T60 según: AS2107,2000 DfES,2002 BB93,2003 OCPS,2003 ANSI S12.60 las cuales determinan el tipo de uso que se puede dar a las sala, no se consideran las curvas de ruido debido a que las mediciones se realizaron los fines de semana ya que existe problemas de ruido de fondo elevados entre ellos se pudo identificar un no correcto aislamiento, unión estructural, ruido excesivo en los alrededores. La capacidad del aforo se lo realiza mediante el autor McCue

debido a que tiene los valores más permisibles, sugiere 11m³ por músico. Para las salas E01 y E02 son multifuncionales por lo que se analizó el STI, las mismas que resultan de muy buena calidad para la inteligibilidad del habla, estas poseen dimensiones muy amplias por lo que el área de bolt no la recomienda para la ejecución sonora y razón por la cual la frecuencia de schroeder es menor que para el resto de salas, en salas de menor dimensión la frecuencia de schroeder tiene mayor influencia. La sala E03, E04, E05, E06 cumplen en gran medida con los valores recomendados en sus dimensiones de acuerdo al área de bolt (garantiza que las dimensiones de la sala se van acoplar con las frecuencias musicales) la frecuencia de schroeder se da alrededor de los 187hz, debido a la pequeña cantidad del espacio van hacer predominantes. En las salas de menor dimensión se produce un filtro peine en la respuesta modal debido a que no abarcan la longitud de onda entre las superficies, lo cual desemboca en suma y cancelación de ondas, como presentan los gráficos de la distribución modal.

5.3 Análisis de teoría estadística

La teoría estadística realiza predicciones de la reverberación de forma rápida, el cálculo del decaimiento logarítmico se realiza en base a datos de los coeficientes de absorción de los materiales que hay en el recinto y la superficie que ocupan Anexo 1, así como las variantes que cada autor presenta según la Ecuación (1) y la Ecuación (2). Para poder analizar los valores realizamos la comparativa y observamos la diferencia que existen entre las teorías de los científicos Sabine y Arau-Puchades.

E01

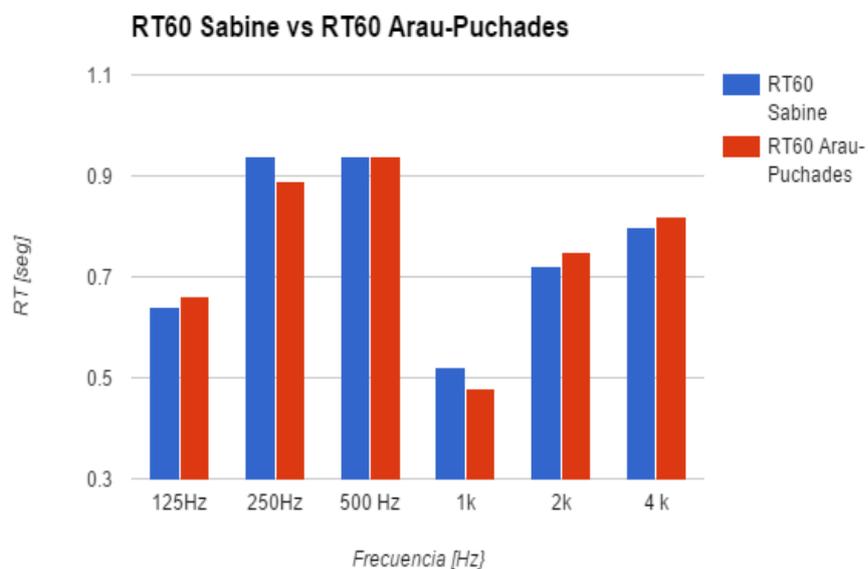


Figura 25. Comparación de datos estadísticos E01

E02

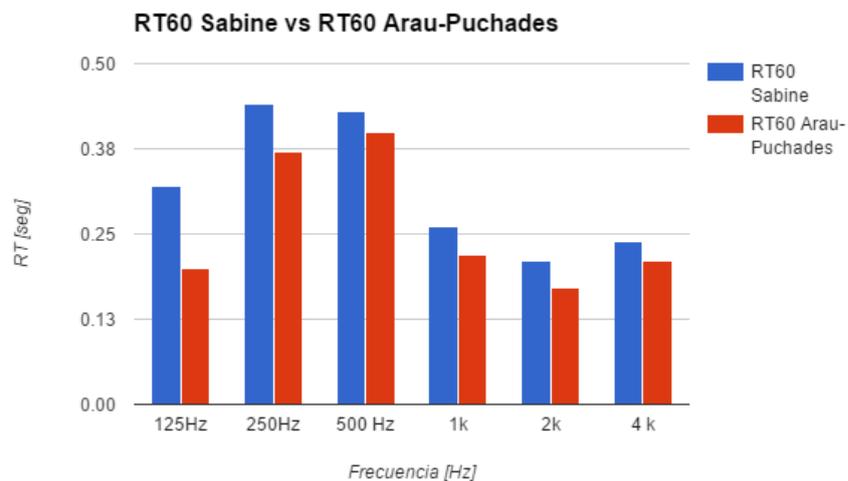


Figura 26. Comparación de datos estadísticos E02

E03

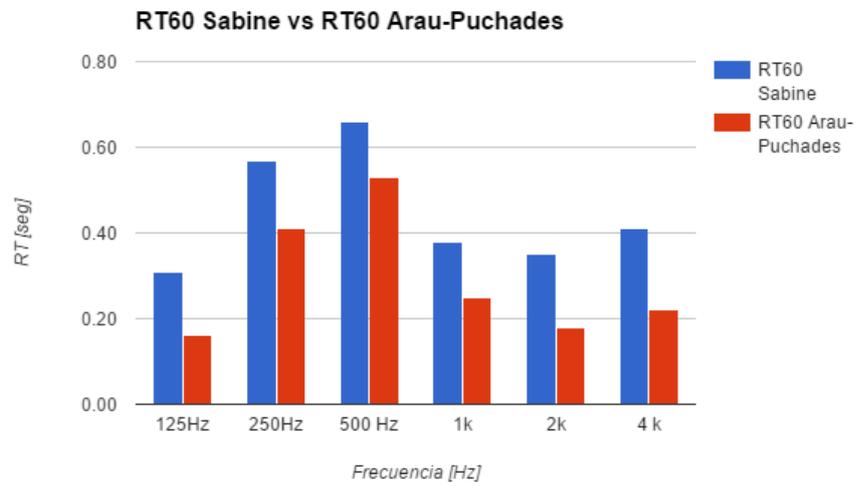


Figura 27. Comparación de datos estadísticos E03

E04

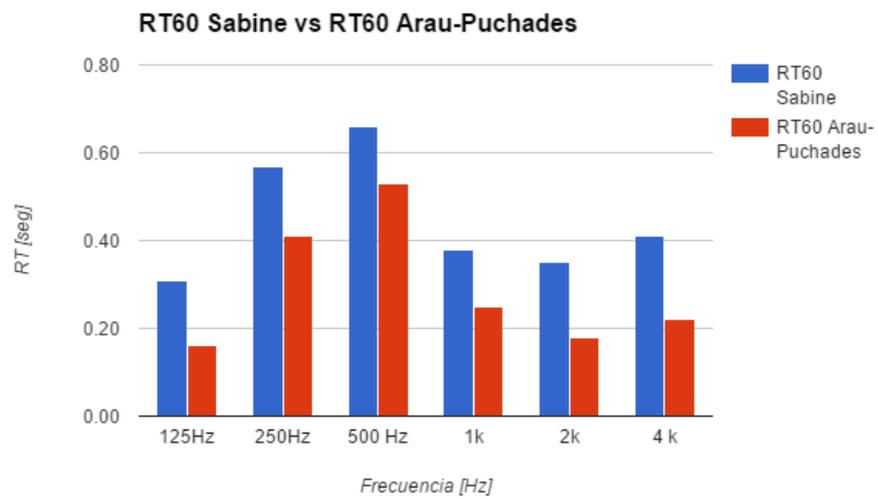


Figura 28. Comparación de datos estadísticos E04

E05

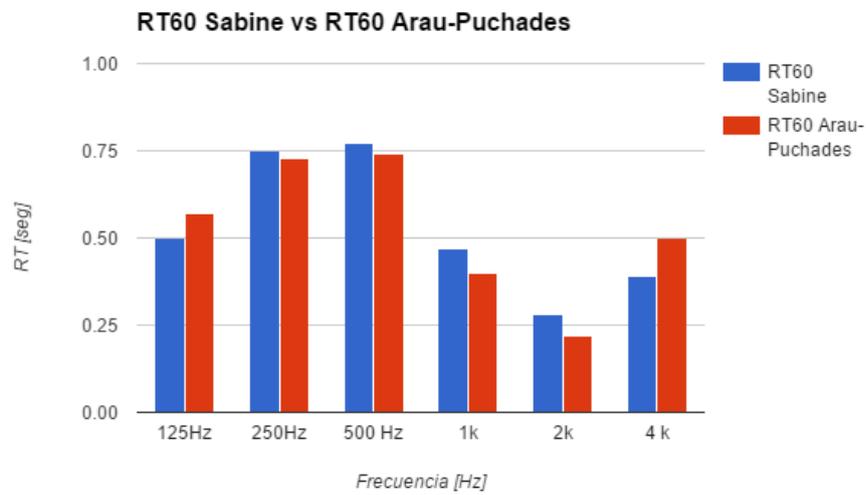


Figura 29. Comparación de datos estadísticos E05

E06

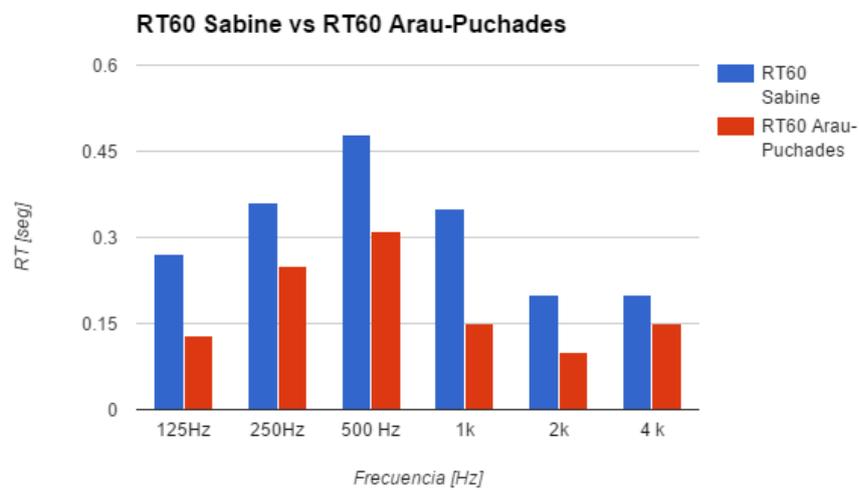


Figura 30. Comparación de datos estadísticos E06

E07

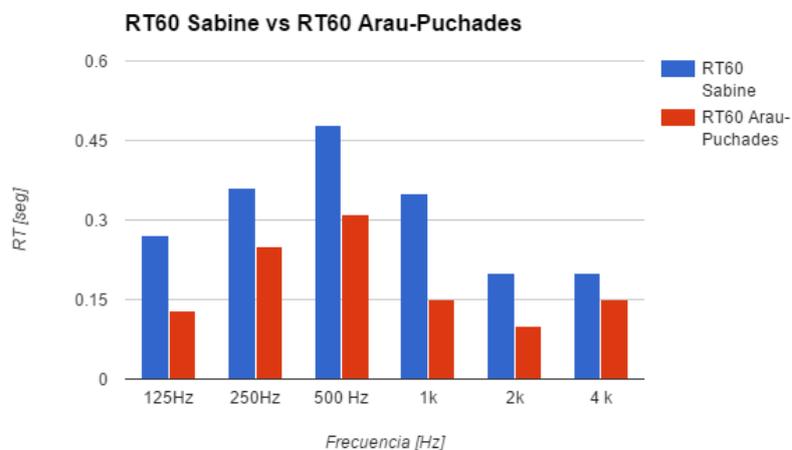


Figura 31. *Comparación de datos estadísticos E07*

Los resultados muestran que los valores según la ecuación de Arau -Puchades son menores, esto se debe a que en su ecuación considera la distribución de los materiales lo cual es beneficioso para las condiciones de campo difuso y por ende los resultados serán más apegados a la realidad. Sabine considera un campo difuso y en varios casos la salas no cumplen este requisito, por lo, además los coeficientes de absorción de los materiales no resultan precisos debido a que fueron medidos en salas reverberantes de acuerdo a la normativa ISO354. Los datos de Sabine se ven más afectados cuando se rompe la linealidad de campo difuso, en salas vivas sus datos son más convincentes.

Tabla 20.

Valores de la teoría estadística vs. teoría de campo

Frecuencia [Hz] vs % Error		125	250	500	1k	2k	4k
E01	Sabine/ Arau Puchades	18,99: 16.46	16.05 : 9.88	38.24: 38.24	14.75: 21.31	16.13 : 20.97	37.93 : 41.38
E02	Sabine/ Arau Puchades	59.49 : 74.68	44.3: 53.16	24.58: 29.82	44.68: 53.18	52.27 : 61.36	41.46 : 48.78
E03	Sabine/ Arau Puchades	74.17: 86.67	29.63: 49.38	34.69: 8.6	2.7: 32.43	9.37: 43.75	36.67: 26.67
E04	Sabine/ Arau Puchades	78.6: 53.8	36.36 : 35.7	4.7: 29.55	7.69: 37.5	28: 44.4	16.67: 25
E05	Sabine/ Arau Puchades	54.17: 47.71	25.74: 27.72	24.19: 19.35	23.68: 5.26	0: 21.4	69.57: 117.39
E06	Sabine/ Arau Puchades	67.8: 84.52	40: 58.33	9.09: 29.55	26.69: 48.28	28.57: 64.29	31.03: 48.280
E07	Sabine/ Arau Puchades	62.16: 62.16	31.43: 40	19.15: 6.36	26.3: 36.84	0: 6.67	16.67: 6.67

5.4 Análisis de mediciones de campo

Las mediciones de campo muestran las condiciones reales de la sala, ya que considera las anomalías físicas del recinto, la distribución real de los materiales. Uno de los problemas más notorios es el bajo aislamiento que presentan las aulas debido a la poca masa de las paredes y a la estructura no dividida entre estas, razón por la cual las mediciones no pudieron ser efectuadas en días rutinarios.

5.5 Análisis de teoría geométrica

Para llevar un mejor análisis se procede realizar trazos de luz en autocad, para todos los casos la luz es la energía primaria, la luz roja son las reflexiones de segundo orden y la luz amarilla es la reflexión de tercer grado. Refiérase al Anexo 3 para la explicación del proceso.

E01

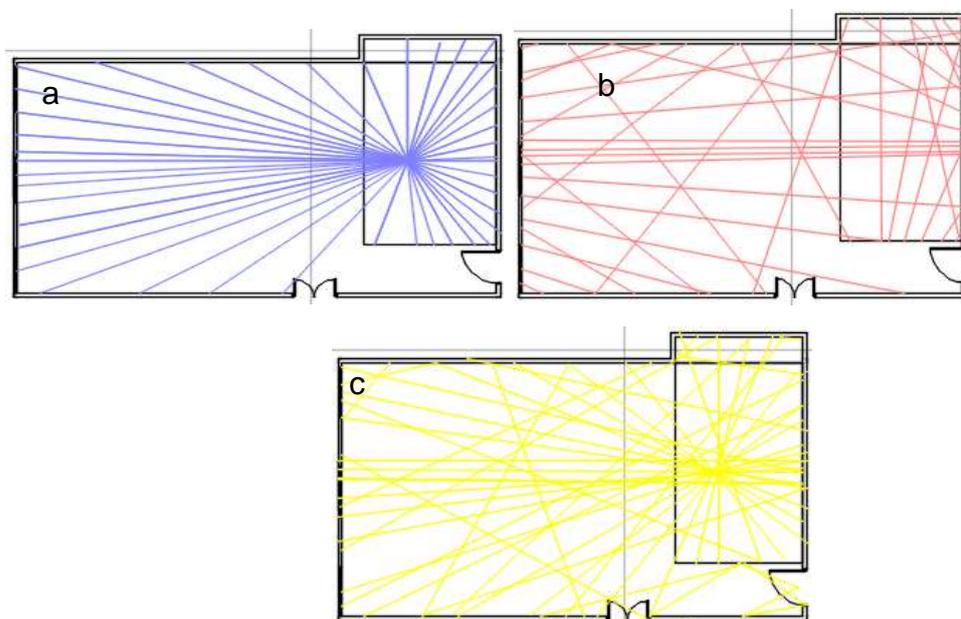
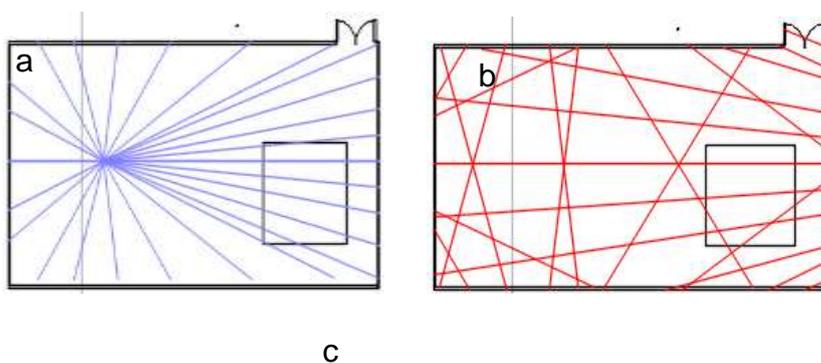


Figura 32. Análisis de la teoría geométrica sala E01

- a) Reflexiones primarias
- b) Reflexiones secundarias
- c) Cola reverberante

E02



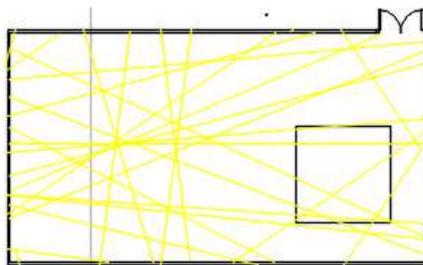


Figura 33. Análisis de la teoría geométrica sala E02

- a) Reflexiones primarias
- b) Reflexiones secundarias
- c) Cola reverberante

E03

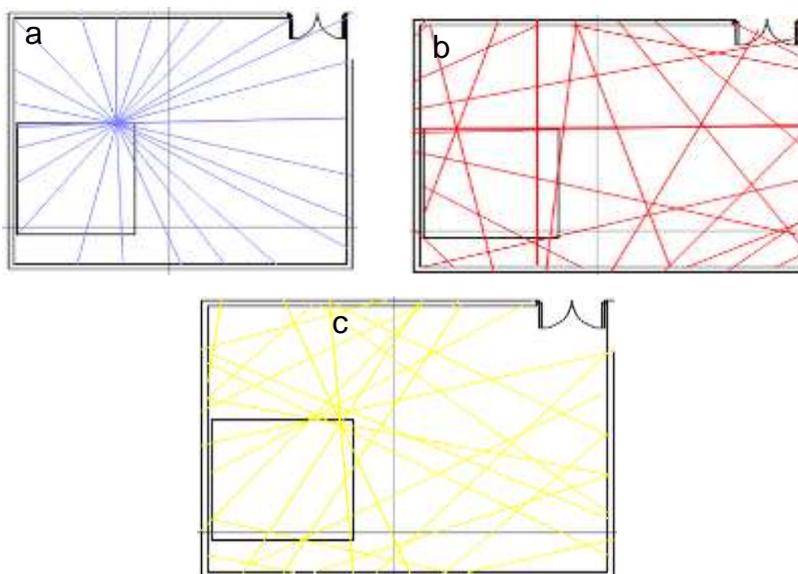


Figura 34. Análisis de la teoría geométrica sala E03

- a) Reflexiones primarias
- b) Reflexiones secundarias
- c) Cola reverberante

E04

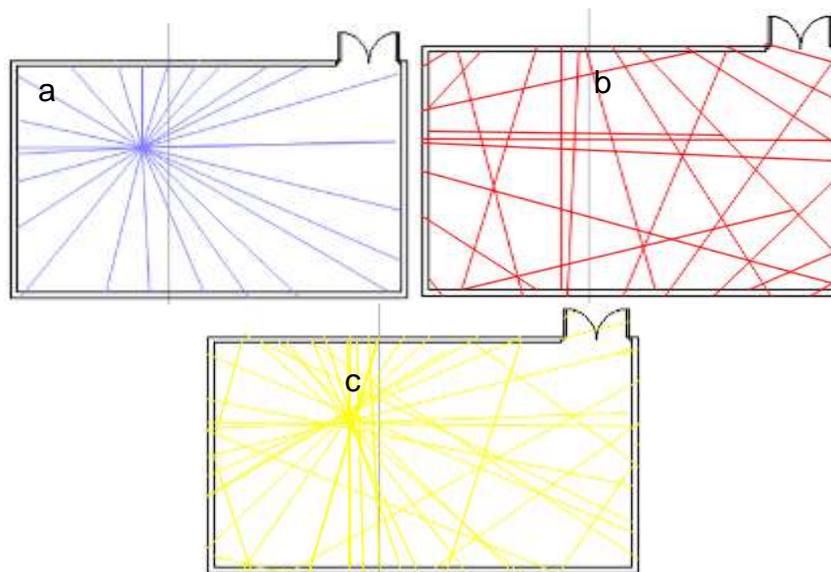


Figura 35. Análisis de la teoría geométrica sala E04

- a) Reflexiones primarias
- b) Reflexiones secundarias
- c) Cola reverberante

E05

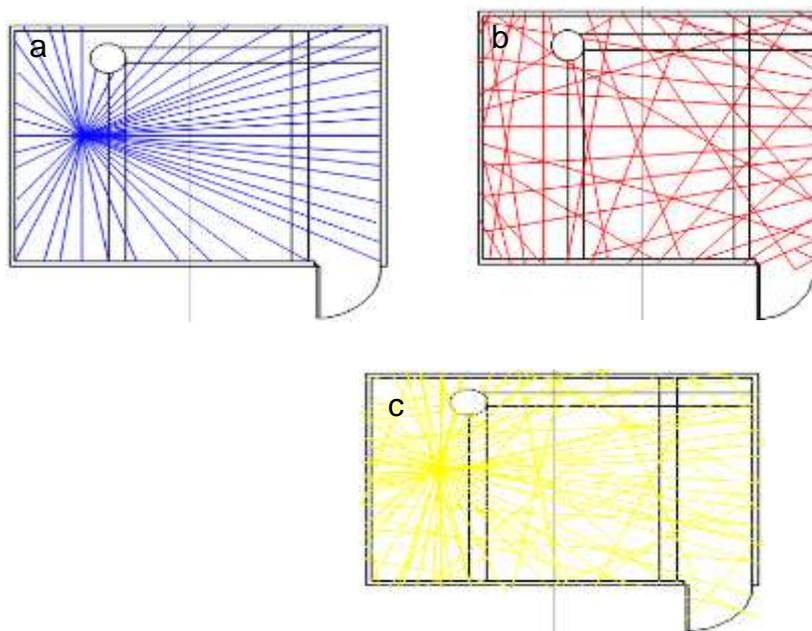


Figura 36. Análisis de la teoría geométrica sala E05

- a) Reflexiones primarias
- b) Reflexiones secundarias
- c) Cola reverberante

E06

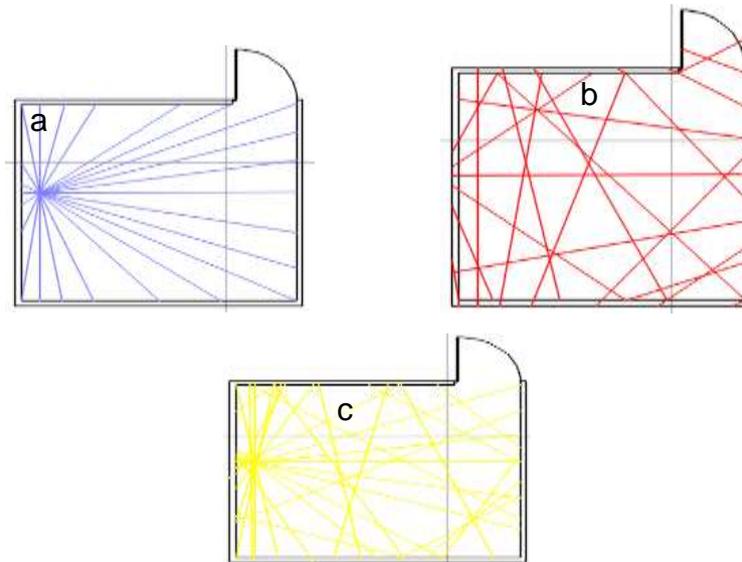


Figura 37. Análisis de la teoría geométrica sala E04

- a) Reflexiones primarias
- b) Reflexiones secundarias
- c) Cola reverberante

E07

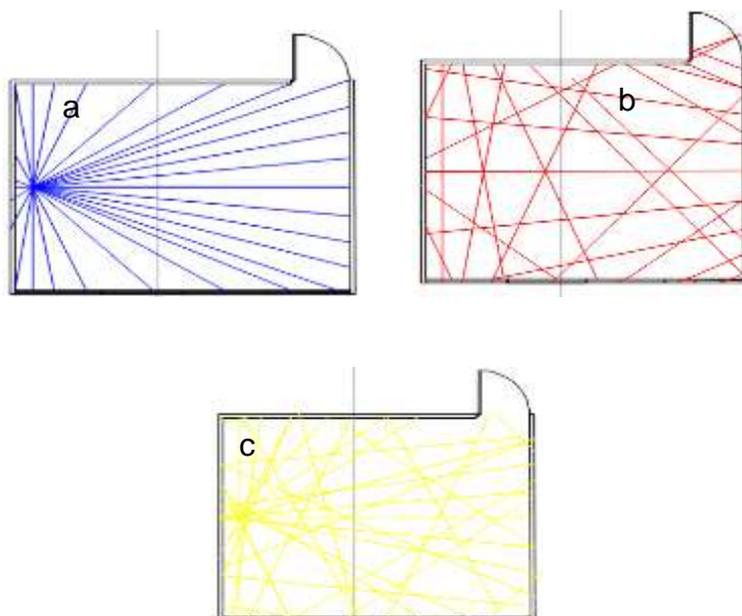


Figura 38. Análisis de la teoría geométrica sala E04

- a) Reflexiones primarias
- b) Reflexiones secundarias
- c) Cola reverberante

La teoría geométrica nos ayuda a visualizar las focalizaciones, excesos de energía su análisis es muy importante para poder distribuir de mejor manera el material acústico, atacando a las reflexiones indeseadas y observando donde puede actuar de mejor forma los materiales, con el fin de tener una sala con mayor equilibrio. El factor común en salas rectangulares es la acumulación de bajas frecuencias en las esquinas según los gráficos.

6. Conclusiones

La influencia de los modos normales son de predominancia en las salas E03, E04, E05, E06. Debido a sus reducidas dimensiones que presentan, la solución óptima es controlarlas mediante trampas de bajo, garantizando que van a funcionar solo en el rango de frecuencia de interés.

La diferencia de los valores entre la teoría estadística y de campo, no son fiables principalmente en bajas frecuencias, debido a que no consideran las anomalías y la influencia de los modos en la sala. En altas frecuencias el resultado se aproxima principalmente en gran medida con Arau-Puchades para salas secas y con Sabine para salas vivas. Arau- Puchades considera la distribución de los materiales en el espacio y es más fiable en las salas E03, E04, E05, E06. Mientras que Sabine da mejores resultados para las salas E01, E02, E07. Ver tabla 20

6.1 Recomendaciones

Para corregir valores de ruido de fondo y llegar a valores recomendados NC25 0 NC25, se puede lograr de dos formas, los elementos constructivos deben tener en gran medida peso entre más peso mayor aislamiento, para lo cual se debe analizar los puntos críticos en cada sala las cuales se manifiestan en : las puertas, las ventanas, los puntos que tienen unión estructural. La otra solución resulta desacoplar la estructura, aislando vibraciones mediante pisos flotantes o un cuarto dentro de un cuarto.

Según la teoría geométrica la acumulación de energía se encuentra en las esquinas, se debe eliminar las focalizaciones, ecos. El tratamiento acústico tiene que ser preciso para no perder la vivacidad de la sala, ya que en las salas E03, E04, E05, E06, E07 se tiene un mal equilibrio entre la calidez y la vivacidad.

REFERENCIAS

- Arau-Puchades, A. (2015). Conferencia dictada en ETSAB ARQUIT el 17 de marzo. *La arquitectura del sonido y la envolvente de los espacios*. Arau Acústica. Recuperado el 8 de mayo de 2017 de https://www.arauacustica.com/files/publicaciones/pdf_esp_59.pdf
- Byrne, D. (2012). *How music works*. Edingburgh-London: Canongate [versión electrónica] Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=d22UqerzutgC&oi=fnd&pg=PT5&dq=How+architecture+helped+music+evolve&ots=lfLq8qw7qW&sig=geBtinMY7qXclsV59apFmJoAyhw#v=onepage&q&f=false>
- Carrion, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. España: Ediciones UPC
- Kuttruff, H., y Mommertz, E. (2012). *Handbook of Engineering Acoustic*. Berlin: Editorial Springer.
- Ellison, S., y Schwenke, R. (2010). The case for widely variable acoustics. *In Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics. ISRA*. (pp. 29-31). Recuperado el 8 de junio de 2017 de http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICA2010/cdrom-ISRA2010/Papers/P3i.pdf
- ISO 3382:2009, Acoustics — Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. *International Organisation for Standardisation*, Geneva, Switzerland.
- Kendrick, P., Cox, T. J., Li, F. F., Zhang, Y., & Chambers, J. A. (2008). Monaural room acoustic parameters from music and speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(1), 278-287. Recuperado el 8 de mayo del 2017 <http://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/1.2931960>
- Osman, R. (2010). Designing small music practice rooms for sound quality. *In Proceedings of 20th International Congress on Acoustics*, Sydney, Australia. Recuperado el 8 de mayo de 2017 de

https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICA2010/cdrom-ICA2010/papers/p754.pdf

- Rizzi, L., Ghelfi, G., & Santini, M. (2016). Small-Rooms Dedicated to Music: From Room Response Analysis to Acoustic Design. In *Audio Engineering Society Convention 140. Audio Engineering Society*.
- Skålevik, M. (2012). Music Room Acoustics–Critical Parameters. *Proceedings of BNAM2012*, Odense. Recuperado el 8 de mayo de 2017 de http://www.tuneyourstudio.com/media/pubblicazioni/pub12_parigi_02.pdf
- Toma, N., Topa, M., Kirei, B. y Homana, I. (2010). Acoustic analysis of a room. *Acta Technica Napocensis*, 51(2), 14-19.
- Wes Lachot. (2007). Architectural and musical scales in sound room design. Wisconsin: *A lecture at Taliesin in Spring Green* Recuperado <http://weschlot.com/pub7.html>

ANEXOS

ANEXO 1

Material	Superficie total [m2]	Coef. Absorción					
		Frecuencias [Hz]					
		125	250	500	1k	2k	4k
Baldosa sobre hormigón	75.9	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Paredes de placas de Gypsum	115.8	0.03	0.09	0.04	0.05	0.04	0.03
Vidrio pesado	11.7	0.02	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Alfombra de escenario	16.6	0.13	0.06	0.13	0.2	0.46	0.7
Escenario de madera	33.5	0.09	0.09	0.08	0.09	0.1	0.07

Asientos sin ocupantes	13.5	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2	4	6	7	6	6
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
2	4	6	7	6	6									
Cortinas delgadas Vidrio	12.4	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>05</td> <td>11</td> <td>18</td> <td>3</td> <td>35</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	04	05	11	18	3	35
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
04	05	11	18	3	35									
Cortinas terciopelo fruncido en Escenario	30.1	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>07</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>66</td> <td>44</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	07	3	5	8	66	44
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
07	3	5	8	66	44									
Cielorraso + espacio de aire	75.9	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>1</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	12	1	05	05	05	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
12	1	05	05	05	05									
Panel acústico doble sobre cámara de aire	4.9	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5	3	2	1	1	1
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
5	3	2	1	1	1									

Material	Superficie total [m2]	Coef. Absorción Frecuencias [Hz]					
		125	250	500	1k	2k	4k
Baldosa sobre hormigón	48.7	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Paredes de placas de Gypsum	73.4	0.03	0.09	0.04	0.05	0.04	0.03
Poliuretano	35.3	0.03	0.15	0.21	0.45	0.95	0.85
Alfombra de escenario	4.6	0.13	0.06	0.13	0.2	0.46	0.7
Escenario de madera	4.6	0.09	0.09	0.08	0.09	0.1	0.07

Asientos sin ocupantes	16.5	<table border="1" data-bbox="775 300 1152 439"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>7</td><td>6</td><td>6</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2	4	6	7	6	6
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
2	4	6	7	6	6									
Lana de vidrio	48.6	<table border="1" data-bbox="775 580 1152 719"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>57</td><td>39</td><td>41</td><td>82</td><td>89</td><td>72</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	57	39	41	82	89	72
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
57	39	41	82	89	72									
Puerta doble	2.3	<table border="1" data-bbox="775 860 1152 999"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>07</td><td>3</td><td>5</td><td>8</td><td>66</td><td>44</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	07	3	5	8	66	44
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
07	3	5	8	66	44									
Cielorraso + espacio de aire	48.6	<table border="1" data-bbox="775 1140 1152 1279"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>12</td><td>1</td><td>05</td><td>05</td><td>05</td><td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	12	1	05	05	05	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
12	1	05	05	05	05									
Panel acústico doble sobre cámara de aire	4.6	<table border="1" data-bbox="775 1420 1152 1559"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>5</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5	3	2	1	1	1
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
5	3	2	1	1	1									

E03

Material	Superficie total [m2]	Coef. Absorción Frecuencias [Hz] <table border="1" data-bbox="772 412 1152 551"> <tr> <td>12</td> <td>25</td> <td>50</td> <td>1k</td> <td>2k</td> <td>4k</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	12	25	50	1k	2k	4k	5	0	0			
12	25	50	1k	2k	4k									
5	0	0												
Baldosa sobre hormigón	30.3	<table border="1" data-bbox="772 689 1152 828"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>03</td> <td>03</td> <td>03</td> <td>03</td> <td>02</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	02	03	03	03	03	02
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
02	03	03	03	03	02									
Paredes de placas de Gypsum	55.4	<table border="1" data-bbox="772 974 1152 1113"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>09</td> <td>04</td> <td>05</td> <td>04</td> <td>03</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3	09	04	05	04	03
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
3	09	04	05	04	03									
Lana de vidrio	30.3	<table border="1" data-bbox="772 1254 1152 1393"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>57</td> <td>39</td> <td>41</td> <td>82</td> <td>89</td> <td>72</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	57	39	41	82	89	72
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
57	39	41	82	89	72									
Alfombra de escenario	4.8	<table border="1" data-bbox="772 1534 1152 1673"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>06</td> <td>13</td> <td>2</td> <td>46</td> <td>7</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	13	06	13	2	46	7
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
13	06	13	2	46	7									
Escenario de madera	4.8	<table border="1" data-bbox="772 1814 1152 1953"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>09</td> <td>09</td> <td>08</td> <td>09</td> <td>1</td> <td>07</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	09	09	08	09	1	07
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
09	09	08	09	1	07									

Puerta doble (cambiar)	2.3	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>05</td> <td>11</td> <td>18</td> <td>3</td> <td>35</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	04	05	11	18	3	35
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
04	05	11	18	3	35									
Cielorraso + espacio de aire	30.3	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>1</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	12	1	05	05	05	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
12	1	05	05	05	05									
Asientos sin ocupantes	1.2	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2	4	6	7	6	6
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
2	4	6	7	6	6									

E04

Material	Superficie total [m2]	Coef. Absorción Frecuencias [Hz]												
		<table border="1"> <tr> <td>12</td> <td>25</td> <td>50</td> <td>1k</td> <td>2k</td> <td>4k</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	12	25	50	1k	2k	4k	5	0	0			
12	25	50	1k	2k	4k									
5	0	0												
Alfombra delgada pegada al contrapiso	24.4	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>04</td> <td>08</td> <td>20</td> <td>35</td> <td>40</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	02	04	08	20	35	40
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
02	04	08	20	35	40									
Paredes de placas de Gypsum	51.3													

		<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>09</td> <td>04</td> <td>05</td> <td>04</td> <td>03</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3	09	04	05	04	03
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
3	09	04	05	04	03									
Vidrio pesado	3.7	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>06</td> <td>04</td> <td>03</td> <td>02</td> <td>02</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2	06	04	03	02	02
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
2	06	04	03	02	02									
Poliuretano	15.2	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>45</td> <td>95</td> <td>85</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	03	15	21	45	95	85
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
03	15	21	45	95	85									
Puerta doble	2.4	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>09</td> <td>09</td> <td>08</td> <td>09</td> <td>1</td> <td>07</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	09	09	08	09	1	07
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
09	09	08	09	1	07									
Asientos sin ocupantes	1.7	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2	4	6	7	6	6
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
2	4	6	7	6	6									
Cielorraso + espacio de aire	24.4	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>1</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	12	1	05	05	05	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
12	1	05	05	05	05									
Lana de vidrio	24.4													

		<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>57</td> <td>39</td> <td>41</td> <td>82</td> <td>89</td> <td>72</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	57	39	41	82	89	72
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
57	39	41	82	89	72									

E05

Material	Superficie total [m2]	Coef. Absorción												
		Frecuencias [Hz]												
		<table border="1"> <tr> <td>12</td> <td>25</td> <td>50</td> <td>1k</td> <td>2k</td> <td>4k</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	12	25	50	1k	2k	4k	5	0	0			
12	25	50	1k	2k	4k									
5	0	0												
Alfombra delgada pegada al piso	28.5	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>04</td> <td>08</td> <td>20</td> <td>35</td> <td>40</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	02	04	08	20	35	40
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
02	04	08	20	35	40									
Paredes de placas de Gypsum	51.7	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>09</td> <td>04</td> <td>05</td> <td>04</td> <td>03</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3	09	04	05	04	03
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
3	09	04	05	04	03									
Asientos sin ocupantes	2.4	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2	4	6	7	6	6
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
2	4	6	7	6	6									
Poliuretano	24.6	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>45</td> <td>95</td> <td>85</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	03	15	21	45	95	85
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
03	15	21	45	95	85									

Cielorraso + espacio de aire	28.5	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>1</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	12	1	05	05	05	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
12	1	05	05	05	05									
Puerta simple	2.3	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>20</td> <td>06</td> <td>08</td> <td>10</td> <td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	15	20	06	08	10	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
15	20	06	08	10	05									

E06

Material	Superficie total [m2]	Coef. Absorción					
		Frecuencias [Hz]					
		12	25	50	1k	2k	4k
Alfombra delgada pegada al contrapiso	19.7	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Paredes de placas de Gypsum	46.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Asientos sin ocupantes	2	0.	0.	0.	0.	0.	0.

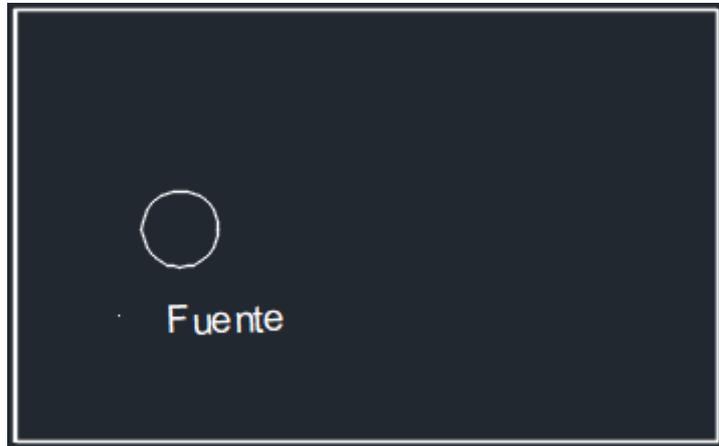
		<table border="1"> <tr> <td>2</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> </table>	2	4	6	7	6	6						
2	4	6	7	6	6									
Poliuretano	11.7	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>45</td> <td>95</td> <td>85</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	03	15	21	45	95	85
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
03	15	21	45	95	85									
lana de vidrio	19.7	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>57</td> <td>39</td> <td>41</td> <td>82</td> <td>89</td> <td>72</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	57	39	41	82	89	72
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
57	39	41	82	89	72									
Cielorraso + espacio de aire	19.7	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>1</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> <td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	12	1	05	05	05	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
12	1	05	05	05	05									
Puerta simple	2.3	<table border="1"> <tr> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> <td>0.</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>20</td> <td>06</td> <td>08</td> <td>10</td> <td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	15	20	06	08	10	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
15	20	06	08	10	05									

Material	Superficie total [m2]	Coef. Absorción Frecuencias [Hz]					
		125	250	500	1k	2k	4k
Baldosa sobre hormigón	30.24	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Paredes de placas de Gypsum	53.7	0.03	0.09	0.04	0.05	0.04	0.03
Vidrio pesado	13.4	0.02	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Poliuretano	3.6	0.03	0.15	0.21	0.45	0.95	0.85
lana de vidrio	30.2	0.57	0.39	0.41	0.82	0.89	0.72

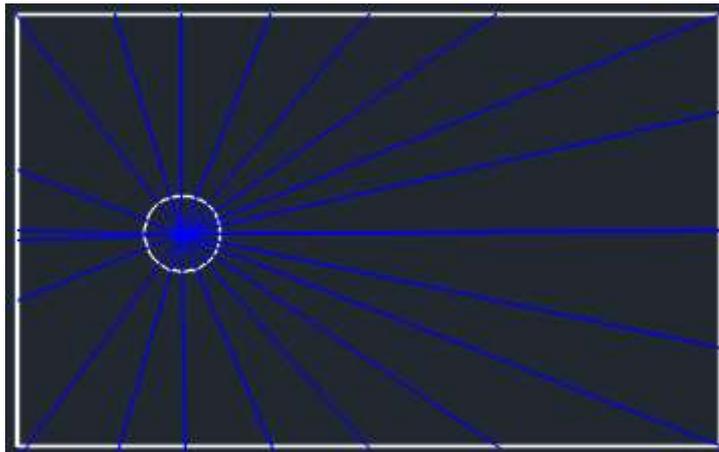
Asientos sin ocupantes	3	<table border="1" data-bbox="774 300 1152 441"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>7</td><td>6</td><td>6</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2	4	6	7	6	6
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
2	4	6	7	6	6									
Cortinas delgadas Vidrio	13.4	<table border="1" data-bbox="774 580 1152 721"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>04</td><td>05</td><td>11</td><td>18</td><td>3</td><td>35</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	04	05	11	18	3	35
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
04	05	11	18	3	35									
Absorsores suspendidos	6.7	<table border="1" data-bbox="774 860 1152 1001"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>2</td><td>55</td><td>64</td><td>84</td><td>66</td><td>9</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2	55	64	84	66	9
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
2	55	64	84	66	9									
Cielorraso + espacio de aire	30.2	<table border="1" data-bbox="774 1140 1152 1281"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>12</td><td>1</td><td>05</td><td>05</td><td>05</td><td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	12	1	05	05	05	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
12	1	05	05	05	05									
Puerta simple	2.3	<table border="1" data-bbox="774 1420 1152 1561"> <tr> <td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td> </tr> <tr> <td>15</td><td>20</td><td>06</td><td>08</td><td>10</td><td>05</td> </tr> </table>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	15	20	06	08	10	05
0.	0.	0.	0.	0.	0.									
15	20	06	08	10	05									

ANEXO 2

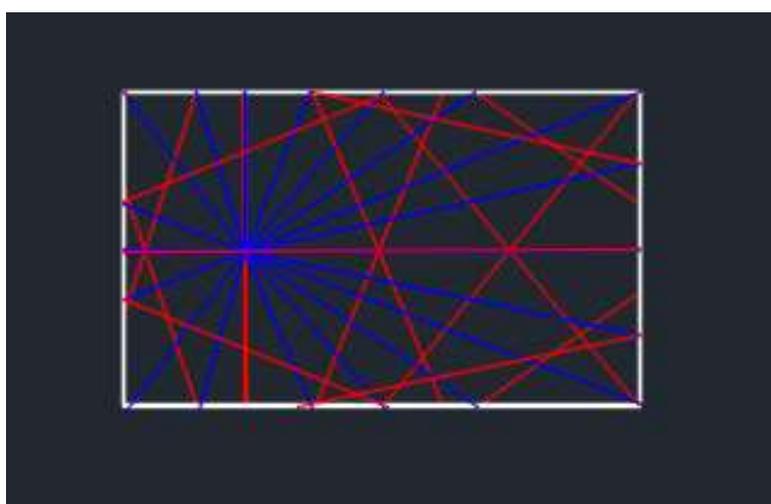
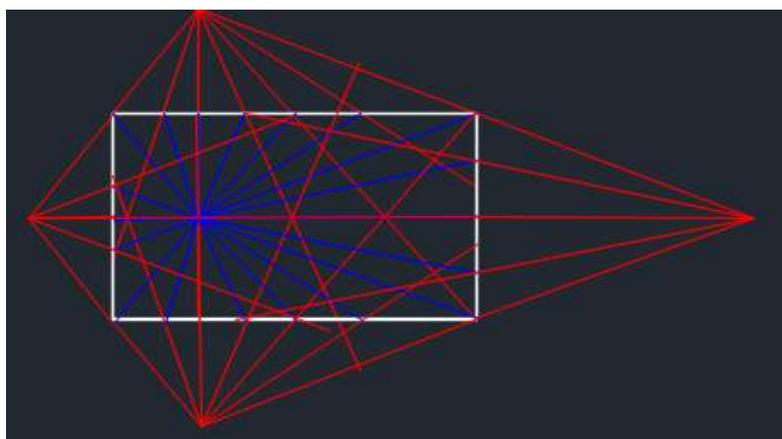
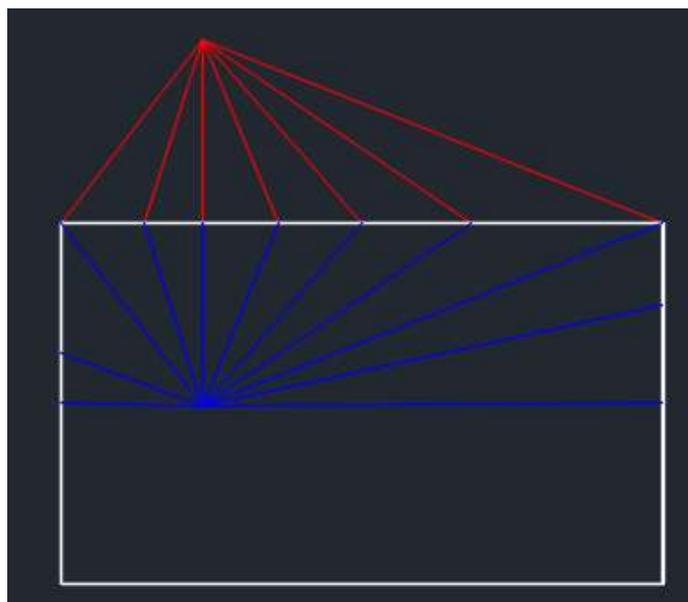
A continuación, se explica con un ejemplo el desarrollo de la teoría geométrica
Colocar la fuente sonora en el punto donde se produce el evento sonoro.



En el segundo paso se traza los rayos de luz primaria

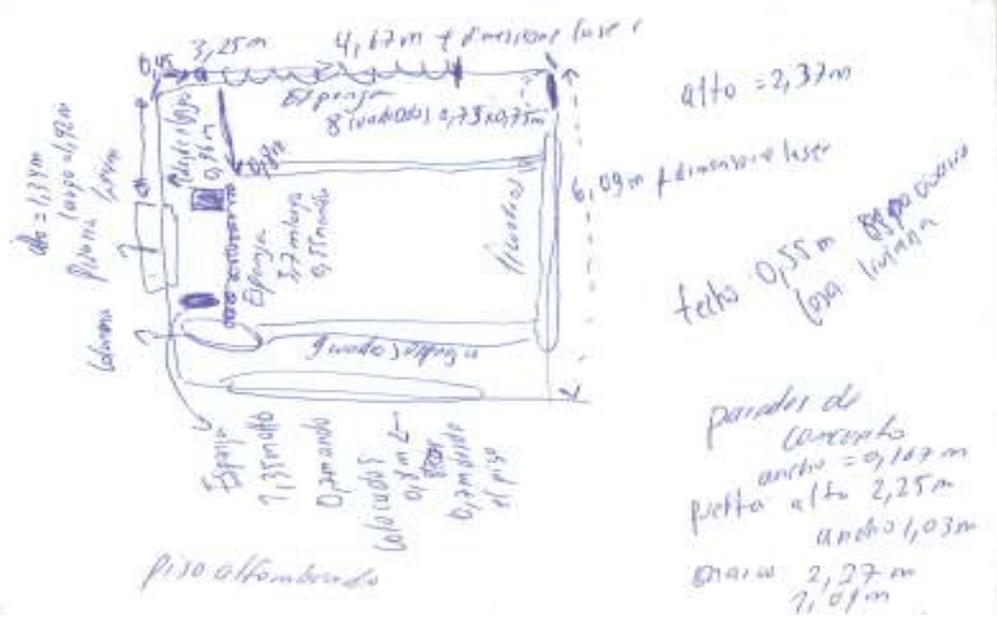
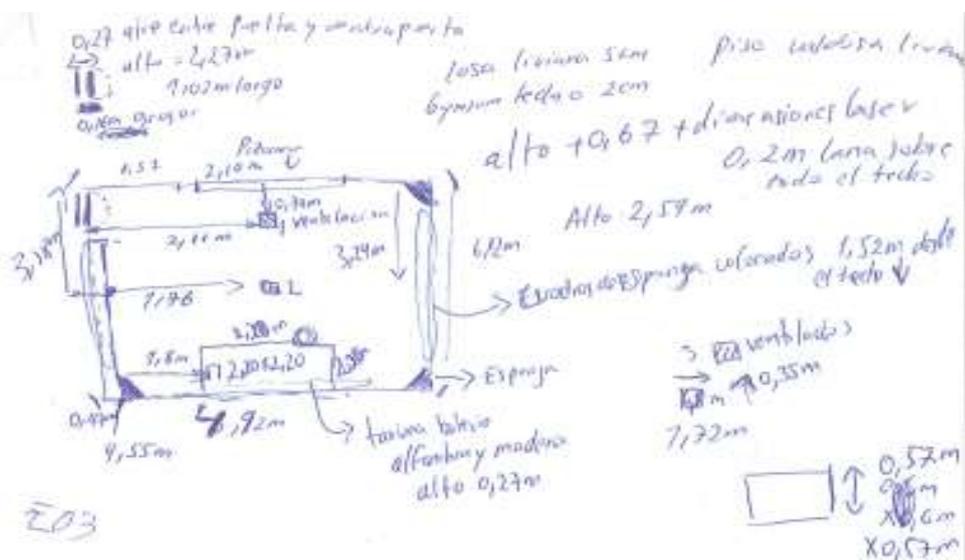


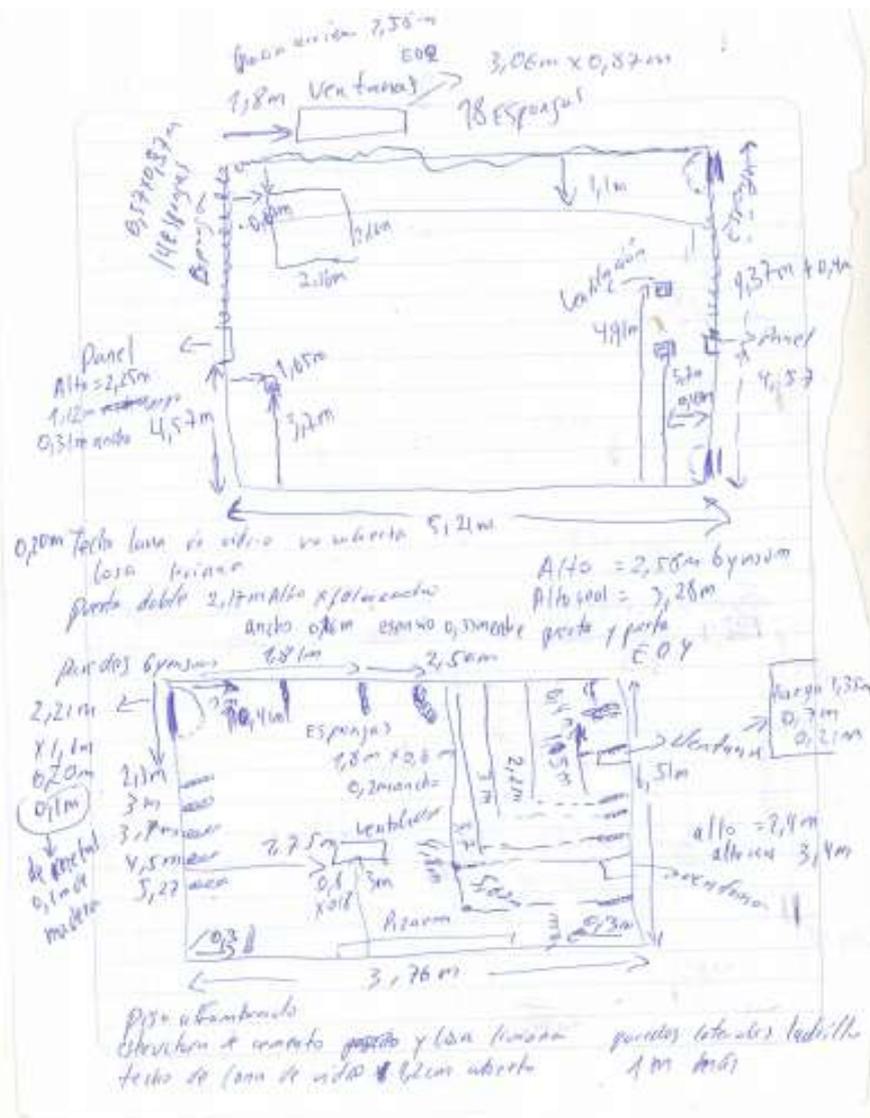
Se crea una fuente sonora fantasma similar a esta con el comando "mirror", el ángulo incidente es el mismo.



El mismo proceso se realiza para conseguir la cola reverberante.

ANEXO 3

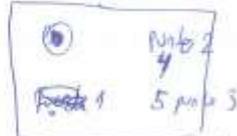




Fronte 1



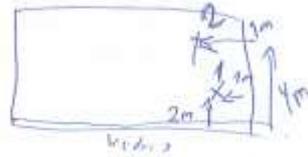
Fronte 2



punto 6 = punto 1

R1 al frente → 1,6 largo x 3,52 m
frente de vidua

Puntos Fronte 1



punto 3 = frente 2

posición 1

RF	000
RT	001
	002
	003

posición 2	RF	003
	RT	004
		005
		006
		007

posición 3

RF	008
	009
	010
	011

posición 4

RF	012
RT	013
RT	014
RT	015

posición 5

RF	016
RT	017
RT	018
RT	019

posición 6

RF	020
	021
	022
	023
	024

