



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO ACÚSTICO Y ELECTROACÚSTICO PARA EL PLANETARIO DE
LA CIUDAD TURÍSTICA “MITAD DEL MUNDO”

AUTOR

JAIME RICARDO ARMAS ARMIJOS

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO ACÚSTICO Y ELECTROACÚSTICO PARA EL PLANETARIO DE LA
CIUDAD TURÍSTICA “MITAD DEL MUNDO”

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

Profesor Guía

Msc. María Bertomeu Rodríguez

Autor

Jaime Ricardo Armas Armijos

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Diseño acústico y electroacústico para el planetario de la Ciudad Turística "Mitad del Mundo", a través de reuniones periódicas con el estudiante Jaime Ricardo Armas Armijos, en el semestre 2018-1, 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".

María Bertomeu Rodríguez

Máster en gestión y evaluación de la contaminación acústica

CI: 1756773162

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Diseño acústico y electroacústico para el planetario de la Ciudad Turística "Mitad del Mundo", de Jaime Ricardo Armas Armijos, en el semestre 2018-1, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Jorge Páez Rodríguez

Máster 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.”

Jaime Ricardo Armas Armijos

C.I.: 1725295669

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida y la salud, a los docentes por formar parte de esta travesía universitaria, a mi hermano por sus palabras en momentos oportunos y a mis padres por darme la vida y el sustento a lo largo de mi carrera y formación profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a cada persona que formó parte de mi vida universitaria, docentes, amigos, colegas y a la persona que ha ocupado parte importante en mi corazón.

A mis tutores por colaborar con toda su sabiduría.

A mi novia que me apoyó incondicionalmente en esta travesía.

A mis padres por todo lo que han hecho por mí.

Esto es para ustedes.

RESUMEN

El planetario de la Ciudad Turística Mitad del Mundo es un emblema para el turismo del Ecuador por lo que este proyecto realiza un estudio acústico y electroacústico, mediante mediciones *in situ* y simulación aplicando normativas que evidencian la actual situación sonora del recinto. Los resultados muestran una curva de tiempo de reverberación muy homogénea con pequeñas variaciones alrededor de 1 segundo, por lo que el calor, brillo y vivacidad de la sala están dentro de los rangos óptimos para palabra. Por claridad e inteligibilidad los valores están por debajo de lo recomendado y al ser estos parámetros dependientes directos de un tiempo de reverberación que no se desea alterar, la solución más viable es el refuerzo sonoro. Se opta por altavoces de respuesta plana con ecualización para no excitar los modos propios de la sala y aumentar las altas frecuencias, creando así un escenario con mejores condiciones que las actuales. Concluyendo que el campo directo genera condiciones ideales para un ambiente sonoro destinado a palabra, resolviendo el problema sin alterar el tiempo de reverberación de la sala.

ABSTRACT

The Planetarium of the Mitad del Mundo is an emblem to tourism located in Ecuador. This project performs an acoustic and electroacoustic study, through measurements in situ and simulation applying regulations that show the current sound situation of the enclosure. The results show homogeneous reverberation time curve with small variations around 1 second. Brightness, bass ratio and liveliness of the room are within the optimal ranges for words. For clarity and intelligibility the values are below what is recommended and since these parameters are dependent directly from a reverberation time that it is recommended do not to alter. The most viable solution is reinforcement sound. Flat response loudspeakers with equalization it does not excite the room's own modes and increase the high frequencies. creating a scenario with better conditions than the current ones. Concluding that the direct field generates ideal conditions for a sound environment intended for speech, solving the problem without altering the reverberation time of the room.

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.2. Justificación	3
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Alcance.....	4
1.5. Objetivo General	4
1.5.1. Objetivos específicos	4
2. Marco Teórico	4
2.1. Reseña Histórica	4
2.2. Parámetros Acústicos	7
2.2.1. Sala de Conferencia.....	7
2.2.2. Modos propios	7
2.2.3. Criterios Temporales	8
2.2.4. Aislamiento acústico.....	13
2.2.5. Parámetros arquitectónicos.....	14
2.3. Software E.A.S.E.....	15
2.4. Refuerzo sonoro	15
2.4.1. Cadena electroacústica	15
2.5. Normativas	16
3. Metodología	17
3.1. Tiempo de reverberación:	17
3.1.1. Elección de los puntos de fuente y sonómetro	17
3.2. Inteligibilidad.....	18
3.2.1. Elección de los puntos de sonómetro	18
3.3. Modos Propios	19
3.4. Aislamiento	20
3.5. Levantamiento de Plano.....	20
3.6. Instrumentación.....	20
3.6.1. Amplificador AP602 y Fuente Omnidireccional BP012 CESVA	20
3.6.2. Sonómetro SC310 CESVA.....	22
3.6.3. Sonómetro NTi	22
3.6.4. TalkBox NTi.....	23
3.6.5. Láser Bosch GLM 50.....	23
3.6.6. Hoja de Campo.....	24
4. Obtención de Resultados	24
4.1. Modos Propios	24
4.2. Tiempo de Reverberación	26
4.3. Brillo (Br), Calor (BR) y Vivacidad (Tr_{mid}).....	30
4.4. Claridad C50	30
4.5. STI.....	32
4.6. Aislamiento	33
4.7. Ruido de Fondo.....	34

5. Simulación	36
5.1. Materiales	37
5.1.1. Paredes	37
5.1.2. Piso	38
5.1.3. Techo	39
5.1.4. Cúpula	39
5.2. Resultados obtenidos mediante el software E.A.S.E.	40
5.2.1. Tiempo de reverberación	40
5.2.2. Claridad	41
5.2.4. Focalización o teoría de rayos	43
5.2.5. Mapeo de Nivel de Presión Sonora (SPL) en sonido directo.	43
5.3. Comparativo entre medidas <i>in situ</i> y simulación	44
5.3.1. Tiempo de Reverberación	44
5.3.2. STI	45
6. Propuesta.....	46
7. Conclusiones y Recomendaciones.....	54
7.1 Conclusiones	54
7.2 Recomendaciones	55
REFERENCIAS.....	56
ANEXOS	59

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Dentro del marco del diseño acústico de locales existen varios factores que garantizan o limitan la calidad sonora. Por ejemplo: la inteligibilidad de la palabra no depende únicamente de la acústica del local, sino de otros factores como el tiempo de reverberación, la fidelidad de los altavoces, la calidad del procesado de audio, entre otros. Esta afirmación está directamente relacionada con los componentes del dominio mecánico, físico y eléctrico; en los cuales el sonido es procesado (digital) desde la fuente hasta el transductor (altavoz) que reproduce el sonido. Una vez que la onda sonora se encuentra viajando por el aire puede tener sumas constructivas o destructivas dependiendo la arquitectura del local y los materiales de construcción. Lo anteriormente dicho se encuentra fundamentada por Mapp (2016) quien en uno de sus estudios demostró que existe una pérdida de 10 a 15 decibeles en la señal reproducida por el altavoz en función de la señal previa a la reproducción.

La calidad acústica posee varios factores que modifican el producto final, en este caso el confort sonoro. El presupuesto, que puede ser analizado con criterios de costo-eficiencia, es una de las cuestiones fundamentales para la realización del proyecto. En base a este concepto se puede tener una buena calidad acústica y sonora tanto en la arquitectura del local como en la cadena electroacústica de reproducción de cine, como lo demostraron Hirvonen y Robinson (2016), quienes encontraron métodos de costo eficiencia que ahora son utilizados en el sistema Dolby Atmos.

La propagación sonora es un fenómeno físico que consta de un campo directo y un campo reverberante. En el campo cercano predomina la influencia de la fuente sonora, mientras que, en el campo reverberante, la contribución del recinto es mucho más notoria. Esta teoría se menciona por Erchapare (2010), quien en su trabajo describe los componentes del sonido directo.

El campo reverberante puede ayudar o perjudicar la inteligibilidad de la palabra, confort acústico, calidez, color tonal, etc. Es por esto que las salas o recintos orientados a espectáculos musicales, teatrales, salas de conferencia, entre

otros, deben tener un tratamiento acústico. La anterior afirmación es clave para el diseño sonoro de nuevos teatros, salones de eventos e incluso salas polifuncionales; ya que esto garantiza que acústicamente el recinto sea agradable para el público y asegura que el mensaje sea entregado al público de manera clara. Según Carrión (1998), cada sala debe tener un tratamiento especial dependiendo el uso que tendrá porque se debe conocer las características para salas musicales, verbales, etc.

Las salas de palabra son principalmente las más importantes en lo que acondicionamiento se refiere, destacando que el mensaje de estas salas es verbal se puede decir que es mucho más difícil distinguir las palabras en un ambiente sonoro poco controlado. Esto se debe a que la voz humana tiene un espectro frecuencial mucho más limitado que varios instrumentos musicales, por lo que tiene que llevar un mensaje verbal en menos rango de información, haciendo más difícil la asimilación del mismo si existe una pérdida de información o cancelación en frecuencias. Parraga y Garcia (2005), mencionan esta pérdida de información como claridad y especifican varios parámetros que aumentan esta cualidad en salas verbales. De la misma manera Vecci, et al. (2012), realizaron un estudio entre dos salones de clases, el uno tratado acústicamente a diferencia del otro, cuyos resultados evidenciaron que los estudiantes prefieren una sala con acondicionamiento acústico.

Si bien se han tratado los temas acústicos, existe una relación entre el campo estético de la sala y la apreciación subjetiva que el escucha tiene de la misma. Es decir, la estética está guiada a la apreciación subjetiva de la sala. Este fundamento es uno de los más cuestionados en el medio acústico ya que se trata de una relación sub-consiente de las personas al momento que ingresan en un salón de conciertos, eventos o palabra. Dicha relación está orientada psicológicamente a que las personas asocian la belleza con un buen comportamiento sonoro. Este antecedente se encuentra fundamentado en un estudio de Galiana et al. (2016) quienes determinaron que, para gran parte de las personas, las variables acústicas se encuentran directamente relacionadas con el campo visual, sin embargo, para los expertos especializados en temas de acústica y sonido, ambos aspectos son independientes.

Una vez implementado el acondicionamiento acústico, se aprecia la necesidad de un sistema de refuerzo sonoro con el fin de respaldar la fidelidad acústica y sonora que requiere un recinto de palabra. Principalmente, se debe asegurar que el efecto de procedencia sea lo más acertado posible para que el oyente tenga la capacidad de escuchar los sonidos reproducidos en el instante correcto, sin cancelaciones frecuenciales, sin retrasos y sobre todo en la dirección correcta (paneos). Esto asegura una alta calidad sonora en general de local sumando un excelente confort acústico y un buen nivel de presión sonora bastante fiel a su reproducción. Prieto (2011), explica el proceso de ajuste de delays y diseño de una cadena básica de cine con el fin de tener la reproducción más fiel posible.

En lo que respecta al marco de elaboración del proyecto, la exactitud de las mediciones se encuentra basada en metodologías descritas por las normativas de medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos y evaluación de la comunicación verbal. Esto se encuentra fundamentado por Boschi (2008).

1.2. Justificación

El planetario de la Ciudad Mitad del Mundo es uno de los recintos más antiguos para la historia de museos ecuatorianos con más de 25 años de antigüedad. Es por esto, que mucha de la arquitectura no toma en cuenta problemas acústicos como eco, un elevado tiempo de reverberación, problemas puntuales de focalizaciones, además de cancelaciones acústicas. Esto sumado a una ineficiente cadena electroacústica para reproducción de audio es el punto de partida para proponer soluciones al recinto en general, con el fin de entregar un sonido fiel acompañado de un buen confort acústico al finalizar el proyecto.

1.3. Hipótesis

Una vez finalizado el proyecto de titulación, se debe apreciar mediante las simulaciones que los problemas acústicos identificados en la etapa de medición deben estar solucionados. Entregando el confort acústico necesario para una sala de palabra con materiales y tratamiento acústico simulados. Por otro lado, la solución debe abarcar una correcta homogeneidad en la sala con la ayuda de refuerzo electroacústico, el plano de simulación indica que la mayor parte

del área de audiencia debe poseer altos índices de calidad y distribución sonora.

1.4. Alcance

El proyecto está orientado netamente en resolver los problemas acústicos encontrados en el Planetario, luego de la medición del Tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra, por lo que su locación será totalmente limitada al recinto en cuestión. En función de la metodología se utilizarán las normativas ISO 3382 (tiempo de reverberación) y la 9921 (inteligibilidad de la palabra), de esta manera se garantiza un alto control de calidad a todas las mediciones del ensayo. Finalmente, el análisis será cuantitativo en vista a la cantidad de mediciones se realizarán y consecuente a esto las simulaciones mostrarán los resultados con la solución de los problemas encontrados en la etapa de mediciones.

1.5. Objetivo General

Desarrollar una solución acústica y electro-acústica para el planetario de la Ciudad Mitad del Mundo mediante el uso de software de simulación especializado, realizando mediciones in situ del lugar para encontrar los problemas del recinto.

1.5.1. Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de planos del recinto para plasmarlo en los softwares de simulación.
- Medir el tiempo de reverberación y STI del local para tener los valores iniciales y un punto de partida en la simulación.
- Modelar con software especializado y evaluar los principales problemas del local.

2. Marco Teórico

2.1. Reseña Histórica

Como punto de partida de este trabajo de titulación es primordial conocer la importancia simbólica, cultural e histórica del lugar donde se realiza el proyecto.

La Mitad del Mundo es una parada indiscutible en cualquier visita al Ecuador, además de un pilar fundamental para el turismo del país, sus inicios datan a la época de los Quitus, quienes eran la cultura nativa en lo que actualmente se conoce como el Distrito Metropolitano de Quito, habitando la mayoría de los sectores aledaños a la ciudad incluidos sectores como Pomasqui y Calacalí.

Quito carece de ruinas elevadas ya que, por su geografía y cantidad de cerros como El Panecillo, El Cerro de Catequilla, entre otros. Los nativos no necesitaban montar templos de observación (astrológica) o fuertes para avistar posibles invasiones, saqueos, aproximación de mercaderes, etc.

Posteriormente los Caras, cultura originaria de la provincia de Manabí, conquistó a los Quitus, dando paso a una nueva cultura conocida como Quito-Caras, la cual adoraba a la luna, al sol y la Pachamama (Madre Tierra). Ellos utilizaron todas las elevaciones disponibles a su acceso para estudiar las estrellas.

Gracias a esta privilegiada ubicación, lograron según algunos historiadores determinar la forma de la tierra y que se encontraban en la mitad de ella. Prueba de este descubrimiento es que los Quito-Caras conocieron dos clases de rueda: "La de carácter sagrado o símbolo del movimiento de la Tierra y la de trabajo, lura o chipu, la cual habla de un trozo cilíndrico que permite pasar al otro lado del río" (Costales, P, A. El Árbol de Dios, 1968, p14).

Por otra parte, bordeando el siglo XVIII, el rey Luis XV ordena a la Academia de Ciencias de París resolver la incógnita que involucra la forma de la tierra. Entonces parten de Francia dos expediciones dirigidas a los rincones más extremos de la tierra: una a laponia o polo norte y otra a lo que actualmente se conoce como Ecuador. Su misión era medir un arco meridional y de esta manera determinar la forma de la tierra.

El 17 de mayo de 1735 parte la primera misión geodésica a cargo de Louis Godin, La Charles Marie de la Condamine y Pierre Bouguer además de sus ayudantes. Aparte como España debía autorizar esta misión, el rey Felipe V envió a los marinos Jorge Juan y Antonio de Ulloa como representantes de

España. Finalmente, todo el grupo se reuniría con el ecuatoriano Pedro Vicente Maldonado, completando así toda la misión.

El 9 de marzo de 1736 llegan a Ecuador y en junio del mismo año empiezan las mediciones en el extremo norte conocido como Caraburo (actualmente Yaruquí) y en el extremo sur Oyambaro con una distancia mayor a los 12 kilómetros. Desde 1736 hasta 1740 se realizaron las mediciones de los 32 triángulos en el callejón interandino desde Cochasquí hasta Tarqui en el sur de Ecuador utilizando la constelación de Orión como guía. Finalmente, en 1743 llegaron a la conclusión de que el arco meridiano era de $3^{\circ} 7' 11''$.

En 1936 con el apoyo del Comité Franco-ecuatoriano, el geógrafo ecuatoriano Dr. Luis Tufiño construyó el primer monumento a la Mitad del Mundo con una altura de 10 metros (actualmente ubicado en Calacalí), conmemorando los 200 años de la llegada de la primera Misión Geodésica. En 1979, se inicia la construcción del monumento de 30 metros de altura sin contar el globo terráqueo, y se apertura el resto de los niveles al público en 1985. Posteriormente, bajo el cargo del Dr. Patricio Romero y el Consejo Provincial se decide emprender un proyecto de ciudad turística comercial basado en la fachada de un pueblo típico colonial español. Su inició fue en 1981 pero se concretó en 1992 bajo la tutela de Osvaldo Hurtado.

Actualmente la Ciudad Turística Mitad del Mundo ofrece varios atractivos a sus visitantes, algunos que la han acompañado desde sus inicios y otros que se fueron añadiendo conforme pasaron los años.

Es aquí donde destaca una adquisición muy importante para el turismo del país, El Planetario de la Mitad del Mundo, un recinto cuadrado de 9 metros por 9 metros con una cúpula de 8 metros de diámetro, puesta en funcionamiento en el año 2003, con una capacidad de 60 espectadores, recubrimiento interior de madera y alfombra, paredes de bloque y concreto y material de yeso en su cúpula.

Posee un proyector alemán ZKP-2 marca Carl Zeiss Jenna, capaz de retratar todas las estrellas del cielo desde diferentes puntos referenciales, además de planetas, constelaciones, nebulosas, etc.

2.2. Parámetros Acústicos

2.2.1. Sala de Conferencia

El recinto planteado en este proyecto, específicamente se dedica a la expresión oral reproducida a través de un sistema de refuerzo sonoro, con breves fondos musicales y efectos sonoros inmersivos durante toda la presentación. Es por esto que la mayoría de los parámetros acústicos se enfocan en la inteligibilidad de la palabra, por ende, se debe lograr un buen nivel de presión sonora, un valor de inteligibilidad alto en casi todos los puntos de la sala, un valor de tiempo de reverberación acorde a una sala de palabra, un nivel de ruido de fondo bajo.

2.2.2. Modos propios

Los modos propios son el punto de partida para cualquier estudio acústico o de acondicionamiento, ya que todas las salas poseen estas frecuencias sea cual sea su arquitectura, en recintos regulares son mucho más presentes y fáciles de calcular como son los axiales (toma en cuenta un plano), tangenciales (toma en cuenta dos planos) y oblicuos (toma en cuenta tres planos). Estas frecuencias se conocen como la excitación que la arquitectura ejerce en el campo acústico, siendo muy problemáticos dependiendo el caso.

Para este proyecto de titulación, se evalúa una sala irregular, por lo que es primordial conocer el comportamiento de estas frecuencias en el rango espectral que posee el recinto, ya que pueden afectar valores de mediciones posteriores y son un punto que tratar en cualquier solución planteada en el recinto.

Esta característica de la sala influye en la coloración acústica que tiene en todo el espectro de frecuencias, siendo los modos más problemáticos los que se ubican en bajas frecuencias. Una ecuación determina el punto donde los modos propios son tan densos que tienden a ser planos y marcan el color tonal de la sala (Carrión, 1998). Está dictada de la siguiente manera:

$$f_{max} = \sqrt{\frac{Tr_{mid}}{V}} \text{ [Hz]}$$

(Ecuación 1)

2.2.3. Criterios Temporales

Este criterio se encarga de analizar cómo interactúa la sala conforme es su respuesta energética en tiempo y espacio, basándose en el periodo de tiempo en que la fuente corta la energía y esta decae. Dichos criterios son fundamentales para entender el comportamiento del recinto (Hidalgo, 2009). Algunos de ellos son:

2.2.3.1. Tiempo de Reverberación (Tr)

Existen varias definiciones acorde a este parámetro, algunas hacen similitud al comportamiento de la sala, otras hablan del color acústico que tiene el recinto, etc. Técnicamente se define al tiempo de reverberación como el periodo de tiempo que transcurre para que el sonido decaiga 60 dB después de que la fuente dejó de emitir (Moser & Barros, 2009). Esto depende de varios factores como el volumen de la sala, la absorción de los materiales de construcción, la reflexión existente como campo reflectante, entre otros.

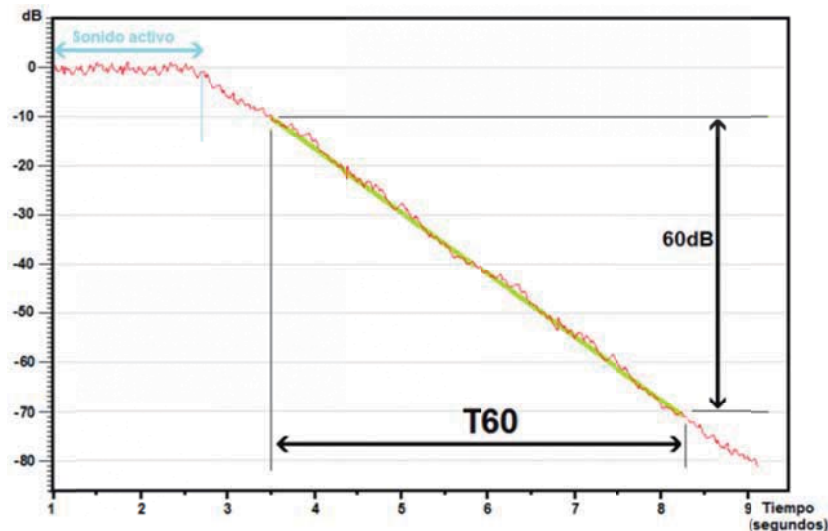


Figura 1. Gráfico de la teoría de tiempo de reverberación.

Tomado de Hispasonic, s.f.

Para el cálculo de este parámetro existen varios autores que han logrado acercarse bastante a la realidad con ecuaciones matemáticas en función del volumen, superficie de absorción medio de materiales, etc. Sabine es un claro ejemplo cuya ecuación ha permitido predecir el comportamiento de salas con bajo nivel de absorción (Ramón, 2015). En este proyecto de titulación se realiza la medida de tiempo de reverberación apegándose a la normativa ISO 3382 “Medición de parámetros acústicos en recintos” Parte 2: “Tiempo de reverberación en recintos ordinarios” (ISO 3382-2:2008), donde se describe todo el proceso a realizar, así como el equipamiento necesario y las restricciones existentes para garantizar un alto nivel de fidelidad en los resultados obtenidos.

2.2.3.2. Tiempo de Reverberación Medio (Tr_{mid})

Un valor promedio del tiempo de reverberación es el Tr_{mid} , el mismo que es un promedio existente entre las frecuencias de 500Hz y 1kHz dividido para 2. Este parámetro asume casi el mismo concepto que el anterior en lo que a física se refiere, es decir data al comportamiento acústico de la sala. Se representa en la siguiente ecuación:

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

(Ecuación 2)

2.2.3.3. Criterios Energéticos e Inteligibilidad

Por lo general, un orador es capaz de generar un nivel de presión sonora de aproximadamente 65 dBA con niveles pico que pueden variar entre 10 dBA, por lo tanto, su rango varía de los 55 a 75 dBA. El mensaje transmitido por palabras es rico en cierto rango de frecuencias como los 200 Hz a los 5 kHz, ciertamente el mayor contenido energético se encuentra de los 200 a 600 Hz.

Es necesario recordar que el mensaje hablado consta de vocales y consonantes, donde las vocales predominan en las bajas frecuencias y tardan unos 100ms en desaparecer, por otra parte, las consonantes se ubican en las

frecuencias altas y tardan unos 65 ms en desaparecer. Con esta referencia comprobada, se afirma que el 75% del contenido verbal está en las frecuencias de 1,2 a 4 kHz (Everest & Pohlman, 2009).

En lo que respecta a la palabra, la inteligibilidad es el parámetro más importante en diseño o acondicionamiento. Por lo tanto, es prioridad alcanzar altos niveles de STI (Speech Transmission Index) y así garantizar que el mensaje llegue a todos los puntos de la sala o área de audiencia. Muchas veces existen limitantes que, por motivos estructurales, culturales o presupuestarios, impiden alcanzar estos niveles de inteligibilidad proyectados. En estos casos se acude a la ayuda del refuerzo sonoro, que en función de crear un campo directo con presión sonora solventa estas falencias.

2.2.3.4. Ruido de Fondo

El ruido de fondo es una variante indeseada y problemática que a medida de su presencia puede ser un problema muy puntual en aislamiento y por ende en acondicionamiento. Este ruido puede provenir de varias fuentes, tanto internas (luces, ventilación, gente, etc) como externas (ruido de tráfico, ruido ambiental, etc). La evaluación de este factor se realiza acorde al criterio de “índice de la valoración de ruido”, que son curvas de presión sonora en función de frecuencias, y se clasifican conforme la utilización que se vaya a realizar en el recinto.

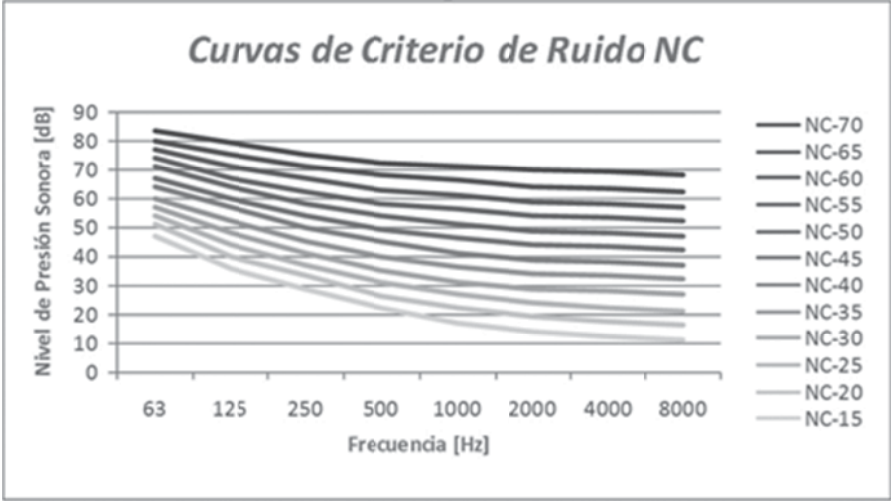


Figura 2 Curva de NC
Tomado de Bunker-Audio, 2012.

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

Figura 3. Valores de curvas NC
Tomado de elrincondelaudio.blogspot, s.f.



LA ACÚSTICA COMO CIENCIA
PRINCIPIOS FÍSICOS DEL SONIDO

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

Figura 4. Valores de curvas NC

Tomado de elrincondelaudio.blogspot, s.f.

De esta manera se puede determinar si el uso de la sala está acorde al ruido de fondo que la rodea.

2.2.3.5. Claridad C50

La claridad es un parámetro que básicamente resume el sonido útil, el mismo que se encuentra entre el sonido directo, las primeras reflexiones y el resto de decaimiento, algo muy parecido al ADSR en música, esto limitado en los primeros 50 ms. Según Hernández, este valor debe ser mayor a 2 dB para que el valor sea bien recibido, sino sería confuso (Hernández, 2013). Se puede destacar que este valor está directamente relacionado a la inteligibilidad, por lo tanto, mientras mayor sea este valor, la inteligibilidad del recinto será mucho mejor. Se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$C_{50} = 10 \log \left| \frac{\int_0^{50} P^2 dt}{\int_0^{\infty} P^2 dt} \right| [dB]$$

(Ecuación 3)

$$C_t = 10 \log \left(-1 + e^{\frac{13.8t}{T60}} \right)$$

(Ecuación 4)

Ambas ecuaciones son logarítmicas, solo que en la primera se utiliza valores energéticos acumulados y la segunda es en función del tiempo de

reverberación. Un valor más general de claridad es el Speech Average, el cual es un promedio en función de las frecuencias más puntuales en la voz humana. Se describe de la siguiente manera:

$$C50_{SA} = 0,15 * C50(500Hz) + 0,25 * C50(1kHz) + 0,35 * C50(2kHz) + 0,25 * C50(4kHz)[dB]$$

(Ecuación 5)

2.2.3.6. Speech Transmission Index (STI)

El STI es parámetro que permite asignar un valor entre 0 y 1 a la inteligibilidad de una sala, o puntos de una sala. La medición se realiza analizando la degradación de una señal portadora de ancho de banda modulada. Básicamente la idea es modular frecuencias que los seres humanos reproducen al hablar. El cálculo inicia con la función de transferencia modulada (MTF), ya que este es el factor de reducción del índice de modulación (m), finalmente se multiplica con la frecuencia de modulación (Fm). (León, Sendra, Navarro, & Zamarreño, 2007). Existen varias formas de calcular el STI, pero para este proyecto se utiliza el sonómetro NTi XL2, el cual realiza un promedio de muestras y entrega un valor de porcentaje con la utilización del TalkBox NTi, el cual envía la señal para hacer el cálculo.

2.2.3.7. Focalización

La focalización o eco es un retardo existente entre la emisión de sonido directo y reflexiones tardías, este periodo de tiempo debe ser relevante para que el subconsciente del escucha interprete estas reflexiones como un mensaje diferente al original (Navarro, 2013). La focalización por su parte puede centrarse tanto en un punto de la sala como en varios, para este recinto que posee una cúpula mucho mayor a la altura se puede predecir que la focalización se encontrará en el centro de la sala.

2.2.4. Aislamiento acústico

La pérdida de transmisión (TL) existente en la energía sonora, al atravesar una barrera física se realiza cuando el sonido choca con un material, ocasionando que este vibre, por ende, parte de la energía acústica se disipa a través de la

vibración como energía mecánica, resultando que la energía que atraviesa el obstáculo sea menor que la energía incidente.

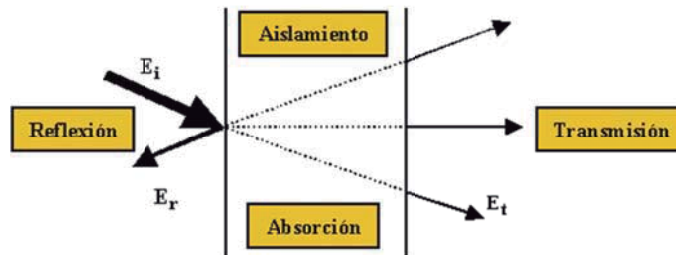


Figura 5. Gráfico de la teoría de pérdida de transmisión.

Tomado de Grupo Acústica, s.f.

El aislamiento acústico, es el parámetro de protección de un recinto contra la energía acústica indeseada del exterior, es decir, reduce las fuentes de ruido exteriores con la utilización de barreras físicas existentes entre la fuente de ruido y la sala. Para lograr un buen aislamiento, se puede considerar materiales reflectantes o absorbentes, de manera que la energía transferida sea mínima sin importar condiciones exteriores al recinto.

Para este proyecto de titulación se realiza un ensayo de aislamiento, propuesto en la pared con mayor incidencia de ruido, por lo que se requiere de la normativa ISO 140 – 4 “Medición de aislamiento acústico en los edificios y elementos de construcción. Medición in situ del aislamiento a ruido aéreo de locales” (ISO 140 – 4, 1998) y la ISO 717 – 1 “Evaluación del aislamiento acústico de los edificios y en los elementos de construcción. Aislamiento al ruido aéreo.”, (ISO 717 – 1, 1996).

2.2.5. Parámetros arquitectónicos

Para facilidad de interpretación y de descripción de la arquitectura del lugar, se ha planteado un sistema para identificar mejor los componentes arquitectónicos del recinto, además de ayudar con la parte geométrica en los cálculos de áreas de audiencia y volumen de la sala. En este trabajo se considera lo siguiente:

2.2.5.1. Longitudes:

- a. Largo del recinto (pared a pared)
- b. Ancho del recinto (pared a pared)

- c. Altura del recinto (piso techo)
- d. Altura de la cúpula (techo cúpula)

2.2.5.2. Áreas:

- a. Área de audiencia

2.2.5.3. Volúmenes:

- a. Volumen aproximado de la sala

2.3. Software E.A.S.E.

Las herramientas de simulación son útiles al momento de plasmar una idea en diseño o predecir el comportamiento de una sala en función de los materiales, arquitectura y área de audiencia. La herramienta E.A.S.E. nos permite simular el comportamiento que tiene la sala ya sea para compararlo con la realidad o asimilar una idea de solución antes de implementarla. Entre sus prestaciones se encuentra la capacidad de agregar distintos materiales con sus respectivos coeficientes de absorción, utilizar los disponibles en su base de datos y la opción de agregar sistemas de altavoces e interpretar su comportamiento de forma visual y arquitectónica.

2.4. Refuerzo sonoro

La idea principal del refuerzo sonoro es llevar al mayor espacio del área de audiencia al dominio de campo directo, ya que aquí se presentan las condiciones ideales hablando en parámetros acústicos.

2.4.1. Cadena electroacústica

Para exponer el contexto de una conexión electroacústica es importante conocer su funcionamiento, existen varios tipos de cadena, pero el proyecto está centrado en la condición de flujo de voltaje. Una cadena electroacústica es la conexión entre varios elementos que transforman el audio (dominio informático) en sonido (dominio energético), se compone a base de transductores electro-mecánico-acústicos que son los responsables de realizar el cambio de dominio.

Toda cadena necesita de una señal eléctrica, la misma que se encuentra discretizada en números binarios, esto se conoce como audio. Dicho campo binario envía flujos de voltaje entre 0 y 1 desde su fuente hasta un amplificador, quien se encarga de procesar esta señal y llevar del nivel de línea (0-10 voltios) a una etapa de potencia (+10 voltios), enviando una señal de eléctrica hasta un altavoz para su reproducción (Ortiz, 1992).



Figura 6. Cadena electroacústica básica.

Tomado de Everest, P (2009).

2.5. Normativas

En esta sección se describen las normativas y fundamento teórico utilizado para ensayo y cálculo de valores:

- Tiempo de reverberación:
 - ISO 3382 – 2 “Métodos utilizados para la medición del tiempo de reverberación. Recintos Ordinarios”.
- Aislamiento:
 - ISO 140- 4 “Medición de aislamiento acústico en los edificios y elementos de construcción. Medición in situ del aislamiento a ruido aéreo de locales”.
 - ISO 717 – 1 “Evaluación del aislamiento acústico de los edificios y en los elementos de construcción. Aislamiento al ruido aéreo.”.
- Inteligibilidad:
 - ISO 9921 - 4 “Evaluación de la comunicación verbal”.
- Modos Propios:

- Ferreira, S., Craver, A., Ramos, O., Tommasini, F. y Araneda, M. (2012). Identificación y análisis de modos propios de recintos a partir de sus respuestas impulsivas. Asociación Argentina de Mecánica Computacional, Argentina.

3. Metodología

3.1. Tiempo de reverberación:

La realización del ensayo se basa en responder a la metodología de la normativa ISO 3382 parte 2, ya que el uso que tiene la sala en cuestión responde mejor a la definición de usos ordinarios que la sala de espectáculos por no tener un escenario en específico. Además, entre los dos métodos incluidos en la norma, se aplicará el método de ingeniería debido a que se busca un alto nivel de precisión.

El ensayo conlleva a la toma de muestras de tiempo de reverberación utilizando el método de ruido interrumpido.

3.1.1. Elección de los puntos de fuente y sonómetro

Al seleccionar el método de ingeniería se van a utilizar 2 posiciones de fuente con 6 posiciones de micrófono, evitando la simetría entre las mismas.

La arquitectura del lugar permite solo 2 posiciones de fuente en las entradas, por lo que el muestreo con micrófonos se realiza a lo largo de las butacas de la sala de audiencia, tratando de abarcar con toda la sala. De la misma manera hace incidencia en los sectores que se aprecia pueden ser problemáticos para determinar su comportamiento con los resultados del sonómetro, estas muestras se toman en el centro de la sala y en las esquinas.

Cabe destacar que en las 2 posiciones de fuente, debido a la arquitectura del lugar no es posible respetar las distancias de separación entre fuente y superficies reflectantes, llegando una cercanía máxima de 45 cm, lo que es una desviación de la norma necesaria para realizar el ensayo.

Para la realización del ensayo se toman muestras en cada una de las posiciones, asegurando la veracidad con lo determinado por la norma. Una vez obtenidas las curvas de caída se harán los cálculos respectivos para acortar la curva promedio de tiempo de reverberación.

3.2. Inteligibilidad

El ensayo está basado en la normativa ISO 9921, específicamente en el anexo C, orientando a medir el STI, valor que define como inteligibilidad a las diferencias espectrales originales entre los sonidos verbales. Estas diferencias se pueden ser debido a ecualización, ruido máscara, ruido de fondo, o distorsiones temporales como ecos, reverberación, focalizaciones, etc.

Para llevar a cabo el ensayo se utiliza una señal que simula la voz humana trabajando con 7 bandas de octava (125Hz a 8kHz), la misma que fue reproducida a través del sistema de refuerzo sonoro existente en el recinto.

3.2.1. Elección de los puntos de sonómetro

La distribución de asientos en el recinto es simétrica, ya que la proyección se realiza en la cúpula, asemejándose a una pantalla de cine en el techo y la distribución de sillas en el suelo.

Con cerca de 60 butacas expandidas en un área de audiencia circular de tres filas de asientos, se seleccionan puntos tratando de abarcar toda la audiencia en la sala.

En las filas de asientos más exteriores se coloca el sonómetro cada 4 butacas.

En las filas de asientos ubicadas en el medio se coloca el sonómetro cada 3 butacas.

En las filas de asientos internas se coloca el sonómetro saltando una butaca.

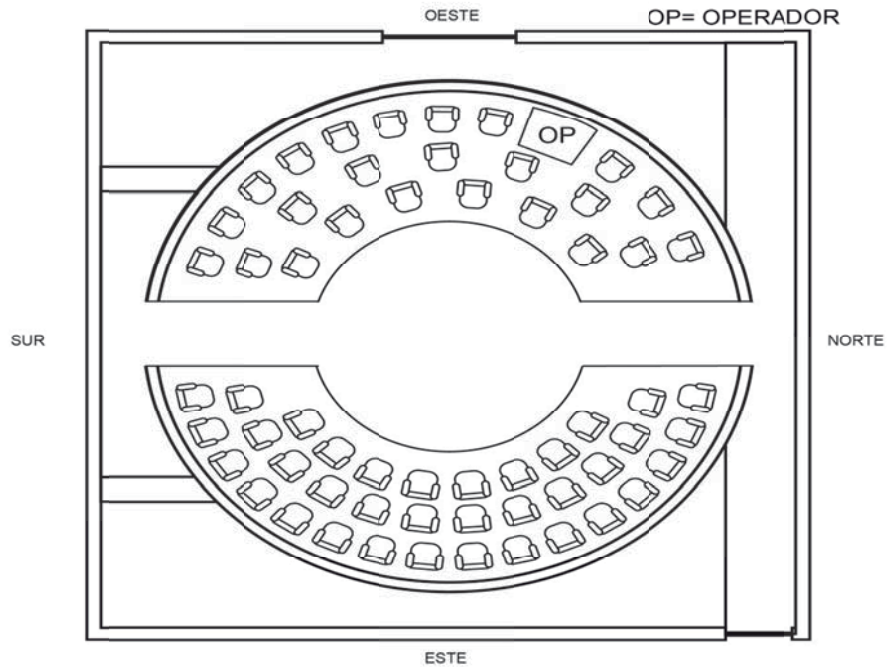


Figura 7. Distribución de las sillas en el recinto.

De esta manera se logra abarcar toda el área de audiencia midiendo en 23 de las 60 butacas disponibles, lo que nos da aproximadamente un 40% de muestreo en la sala.

3.3. Modos Propios

El ensayo de modos propios se realiza de manera experimental, ya que no existe una normativa que describa los pasos a seguir y las condiciones a tomar en cuenta para este ensayo en un recinto irregular.

Por lo tanto, se utiliza un documento de la Sociedad Argentina de Mecatrónica Computacional, donde se dictamina un ensayo planteado con ruido rosa, en el cual se excita una esquina del recinto y el sonómetro se colocará en la esquina más alejada a la fuente.

El sonómetro NTi mediante la función de Transformada Rápida de Fourier (FFT), calculará los modos propios de la sala.

Para este ensayo el rango espectral se tomó hasta los 200 Hz, ya que se calcula la frecuencia límite y efectivamente queda, como es habitual, por debajo de 200Hz.

3.4. Aislamiento

Para la realización, era motivo de estudio el obtener un valor de aislamiento acústico entre recintos (DnT) global, el ensayo es importante para asegurar que no hay intromisión de ruido de fondo.

La normativa utilizada fue ISO 140 - 4, que describe como realizar el ensayo de aislamiento para ruido aéreo, esta práctica fue realizada en las fachadas con mayor posibilidad de filtración por ruido de fondo: la sala de espera y la fachada norte del recinto.

Finalmente, la normativa ISO 717 - 1 explica como obtener los resultados en función de la medición realizada en las fachadas.

3.5. Levantamiento de Plano

Utilizando el medidor BOSCH GLM50 se realiza un levantamiento de plano en el recinto, es decir, tomando las distancias entre las paredes, distancia entre el suelo y el techo, distancia entre el suelo y la cúpula en la parte céntrica del recinto y finalmente el diámetro de la cúpula. Se aprecia mejor en la figura 19.

3.6. Instrumentación

3.6.1. Amplificador AP602 y Fuente Omnidireccional BP012 CESVA

Ambos equipos son utilizados para la creación de un campo difuso en la sala donde se realiza el ensayo, esto se realiza generando suficiente nivel para evaluar la caída de decibeles y así calcular el tiempo que demora dicha.

El amplificador genera un ruido rosa y para hacer esto se necesita de un tomacorriente con capacidad de 110 voltios, y la conexión entre el amplificador y la fuente se realiza mediante un cable *speack on*.

La fuente omnidireccional está construida con un dodecaedro compuesto de 12 altavoces, cuya estructura asegura la radiación omnidireccional, es decir se cuenta con una radiación esférica del sonido. Los altavoces BP012 tienen una potencia eléctrica máxima de 600 watts RMS entregando unos 123 dB de potencia acústica.



Figura 8. Amplificador AP602

Tomado de Cesva, s.f.



Figura 9. Fuente Omnidireccional BP012 CESVA

Tomado de Cesva, s.f.

Ambos sistemas se mantienen calibrados según normativas ISO que avalan su correcto funcionamiento como son:

Respecto al amplificador

CEI 60651 “Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones”.

UNE EN ISO 60804 “Sonómetros Integradores-promediadores”.

Respecto a la fuente

ISO 140 “Medición de aislamiento acústico en los edificios y de elementos de construcción”.

ISO 10140 “Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción”.

3.6.2. Sonómetro SC310 CESVA

El sonómetro CESVA cuenta con varias funcionalidades que permiten que el trabajo del ensayista disminuya, en este caso el sonómetro se utiliza para la toma de tiempo de reverberación.



Figura 10. Sonómetro Cesva C310.

Tomado de Cesva, s.f.

3.6.3. Sonómetro NTi

El sonómetro NTi, es conocido por tener una función de STIPA integrada, por lo que calcula este parámetro directamente sin la necesidad de cálculos posteriores. Además, cuenta con una función de FFT capaz de determinar el espectro entre 200Hz, 2kHz y 20kHz, lo cual es muy útil para la medición de modos propios.



Figura 11. Sonómetro NTi.

Tomado de NTi, s.f.

3.6.4. TalkBox NTi

El sistema Talkbox simula el espectro de la voz humana, ya que realiza la reproducción de señales que asemejan la voz humana, por ende, es una parte primordial para la medición de STIPA, además cumple con la normativa ISO 60268-16 Equipos para sistemas electroacústicos.



Figura 12. TalkBox NTi.

Tomado de NTi, s.f.

3.6.5. Láser Bosch GLM 50

El medidor laser entrega una facilidad para calcular la distancia existente entre todos los puntos realizados en este trabajo, tanto en el levantamiento de plano

como en la referencia de los puntos donde se ubicó el sonómetro para cada ensayo.



Figura 13. Laser Bosch GLM 50.

Tomado de Bosch, s.f.

3.6.6. Hoja de Campo

Con el fin de llevar un orden en registros se diseñó una hoja de campo donde se ingresan los valores como distancias y posiciones de micrófono y fuente, números de registros por cada muestra del ensayo *in situ* y arquitectura del lugar tanto en dimensionamiento como materiales de construcción.

Se encuentra disponible en los anexos.

4. Obtención de Resultados

4.1. Modos Propios

La medición se realizó con el sonómetro NTi, con una discretización de datos hasta los 200 Hz, obteniéndose la siguiente curva NPS-Frecuencia.



Figura 14. Función de transferencia de modos propios.

Se inicia con este análisis, ya que es el punto de partida de diseño a la hora estudiar cualquier parámetro acústico, esto se debe a que los modos propios son un problema que toda sala tiene, independientemente de sus características. Excitando ciertas frecuencias propias de la sala y generando problemas a la hora homogeneizar el espectro de la sala.

Como inicio de análisis se aplica la fórmula de la frecuencia corte de los modos propios, dictada por la siguiente ecuación:

$$f_{max} = 2000 * \sqrt{\frac{Tr_{mid}}{V}} \text{ [Hz]}$$

(Ecuación 6)

Donde se conoce que el volumen de la sala es de aproximadamente 312.3 m^3 y el Tr_{mid} se encuentra por 1 segundo. Resultando un valor de frecuencia máxima de 113,2 Hz.

Esto quiere decir que teóricamente, los modos propios afectan hasta los 113 Hz, ya que a partir de ese punto son tan densos que su coloración es prácticamente inexistente (Carrión, 1998).

En cuanto a la sala, el cálculo destacó un modo propio que se encuentra a los 68Hz con un NPS máximo de 89,9 dB con dos armónicos muy marcados a los 83 y 96 Hz con niveles de 84,1 y 83.5 dB respectivamente.

El cálculo podría ser útil si el uso de la sala fuera musical o existiera la necesidad de un rango espectral completo, ya que el recinto debe responder a los parámetros de salas de palabra, donde las frecuencias fundamentales de la voz se ubican a partir de los 200 Hz, y los modos propios no llegan a enmascarar las frecuencias medias o altas como se evidencia posteriormente en la curva de reverberación, por lo que el uso de trampas de bajos se determinará como correctivo de ser necesario conforme avance el estudio.

4.2. Tiempo de Reverberación

Para la obtención del tiempo de reverberación se centra en el T20, para esto se realiza un promedio general de todas las muestras por bandas de tercio de octava.

Tabla 1.

Tiempo de reverberación en función de la frecuencia.

Frecuencia	T20
50Hz	1,0
63Hz	0,9
80Hz	1,1
100Hz	1,0
125Hz	1,1
160Hz	1,0
200Hz	1,0
250Hz	0,9
315Hz	1,0
400Hz	1,2
500Hz	1,0
630Hz	1,0
800Hz	1,0
1kHz	0,9
1,25kHz	0,9
1,6kHz	1,0
2kHz	1,0
2,5kHz	1,1
3,15kHz	1,0
4kHz	1,1
5kHz	1,0
Promedio	1,0

Expuesta la incógnita de los modos propios, se puede descartar cualquier influencia de los mismos en el tiempo de reverberación, ya que la frecuencia máxima se encuentra muy por debajo de la primera frecuencia a tomar en cuenta por la normativa para tiempo de reverberación. Colocando un punto de partida para un valor global de T_r muy homogéneo, fluctuando alrededor de 1s en casi todas las frecuencias:



Figura 15. Gráfico de Tiempo de Reverberación medido.

Realizando un promedio simple por frecuencia en todas las caídas obtenidas, cabe destacar que existen varias muestras dentro de diferentes frecuencias que se pueden considerar valores atípicos, ya que los datos existentes tenían diferencias muy considerables, o se encontraban fuera del rango. Por lo que se eliminaron para que el índice de error sea mucho más bajo.

Este valor promedio de tiempo de reverberación (sala vacía) se encuentra encasillado dentro del rango óptimo para salas de palabra tal y como se describe en el siguiente cuadro:

Sala	TR (medio 1KHz y 500Hz) Sala Ocupada
Sala de Conferencias	0.7-1.0
Cine	1.0-1.2
Sala Polivalente	1.2-1.5
Teatro de Ópera	1.2-1.5
Sala de Conciertos (música de cámara)	1.3-1.7
Sala de Conciertos (música sinfónica)	1.8-2.0
Iglesia/Catedral	2.0-3.0
Locutorio de radio	0.2-0.4

Figura 16. Tabla de Parámetros acústicos.

Tomado de Noisess Ingeniería y Consultoría Acústica, s.f.

En este punto se debe mencionar que la absorción de las butacas puede afectar el tiempo de reverberación debido a la composición de sus materiales.

Material	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
Butaca tapizada con cuero desocupada	0,10	0,15	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23
Butaca tapizada con cuero ocupada	0.15	0,35	0,45	0,45	0,45	0,40	0,41

Figura 17. Tabla de Parámetros acústicos butacas vacías y ocupadas.

4.3. Brillo (Br), Calor (BR) y Vivacidad (Tr_{mid})

Se calculan con las siguientes fórmulas:

$$Br = \frac{Tr(125Hz) + Tr(250Hz)}{Tr(500Hz) + Tr(1kHz)}$$

(Ecuación 7)

$$BR = \frac{Tr(2kHz) + Tr(4kHz)}{Tr(500Hz) + Tr(1kHz)}$$

(Ecuación 8)

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

(Ecuación 9)

Tabla 2.

Parámetros acústicos calculados.

Brillo	Calor	Vivacidad (TR_{mid})
1,0	1,1	1,0

En cuanto a estos parámetros respecta la sala mantiene un comportamiento adecuado conforme dice la teoría, esto se debe a que cada uno de los parámetros calculados se encuentra dentro de los valores límite para su funcionamiento. Empezando por el calor cuyo rango respeta $1.10 \leq BR \leq 1.45$ para un $Tr_{mid} = 1,8s$ y en el cálculo muestra un valor de 1.10. Por otra parte, el brillo se encuentra en 1.0 mientras que la teoría dice $Br \geq 0.87$. Finalmente, la vivacidad exige un valor igual a 0,85 s y el valor calculado de la sala es de 1. En base a estos cálculos y comparaciones, se puede decir que si bien la sala está dentro de los límites se debe considerar que al momento de la medición se encontraba vacía, por lo que estos valores pueden cambiar con la presencia de público.

4.4. Claridad C50

En lo que claridad respecta se aplica la siguiente fórmula:

$$C_t = 10 \log(-1 + e^{\frac{13.8t}{T60}})$$

(Ecuación 10)

Tabla 3.

Cálculo de parámetro Claridad C50.

Frecuencia	T20	C50
50Hz	1,0	-0,1
63Hz	0,9	0,3
80Hz	1,1	-0,4
100Hz	1,0	0,1
125Hz	1,1	-0,4
160Hz	1,0	-0,3
200Hz	1,0	-0,3
250Hz	1,0	-0,2
315Hz	0,9	0,8
400Hz	1,0	0,1
500Hz	1,0	-0,2
630Hz	1,0	-0,2
800Hz	1,0	-0,2
1kHz	0,9	0,7
1,25kHz	0,9	0,4
1,6kHz	1,0	-0,2
2kHz	1,0	-0,2
2,5kHz	1,1	-0,3
3,15kHz	1,0	-0,3
4kHz	1,1	-0,5
5kHz	1,0	-0,2
Promedio	1,0	-0,1

Por tanto, los valores de C50 son muy bajos para una sala verbal, siendo el parámetro C50 > 2dB, para una buena claridad del recinto. Por lo tanto, no es buena y se pueden apreciar posibles causas conforme se finalice el análisis del proyecto.

4.5. STI

Utilizando el sonómetro NTi el cálculo es mucho más simple, entregando los valores de STI en cada punto del ensayo, por lo que se adjunta en una tabla con el resto de muestras.

Tabla 4.

Resultados y distribución del parámetro STI

Fila	Asiento	Laeq	STI
E1	1	79,1	0,58
E1	5	78	0,61
E1	9	78	0,58
E1	13	78,6	0,56
E1	18	79,2	0,57
O1	19	78,9	0,63
O1	21	80,5	0,56
O1	23	81,6	0,56
O1	25	81,1	0,53
O1	27	77,2	0,56
E2	29	77,8	0,58
E2	32	77,4	0,58
E2	35	78,5	0,54
E2	38	77	0,57
O2	40	79	0,54
O2	43	77,2	0,54
O3	46	78,4	0,5
O3	48	79,9	0,54
O3	50	78,3	0,56
E3	52	77,1	0,58
E3	54	76,3	0,59
E3	56	79,1	0,57
E3	58	79	0,57

E1: Fila Exterior Este

O1: Fila Exterior Oeste

E2: Fila Intermedia Este

O2: Fila Intermedia Oeste

E3: Fila Interna Este

O3: Fila Interna Oeste

Es aquí donde se encuentra el primer problema principal de la sala, el STI tiene valores muy regulares, con muy pocos que sobresalen como buenos, si bien es cierto que los resultados están sobre el límite de regular, para una sala de palabra el valor debería ser bueno que va desde $0,60 < STI < 0,75$, (ISO 9921, 2004). Esto puede ser muy puntual a la reproducción por los altavoces actuales de la sala, ya que el sistema de sonido está diseñado para satisfacer necesidades domésticas, más no ser un sistema de refuerzo sonoro para un recinto de este volumen, de estas características.

4.6. Aislamiento

Después de realizar las mediciones y los cálculos, se pueden apreciar varias observaciones acorde al aislamiento, la primera es que en vista de su arquitectura y materiales de construcción muy reflectantes, la mayoría de energía no se transfiere, sino que se refleja, teniendo una diferencia en casi todo el espectro de superior a 10 dB por frecuencia. Por lo que, en el cálculo del DnT no hubo la necesidad de aplicar la corrección descrita por la normativa entre el ruido de fondo y los niveles transferidos.

Otro punto a tomar en cuenta es que el nivel de aislamiento es bueno a bajas frecuencias, esto no quiere decir que descuide medias o altas frecuencias, sino que es mucho mayor el aislamiento en las frecuencias más difíciles de aislar que en las menos complicadas.

La pared estudiada es la barrera ESTE apreciable en la figura 7.

La curva de aislamiento o DNT es la siguiente:

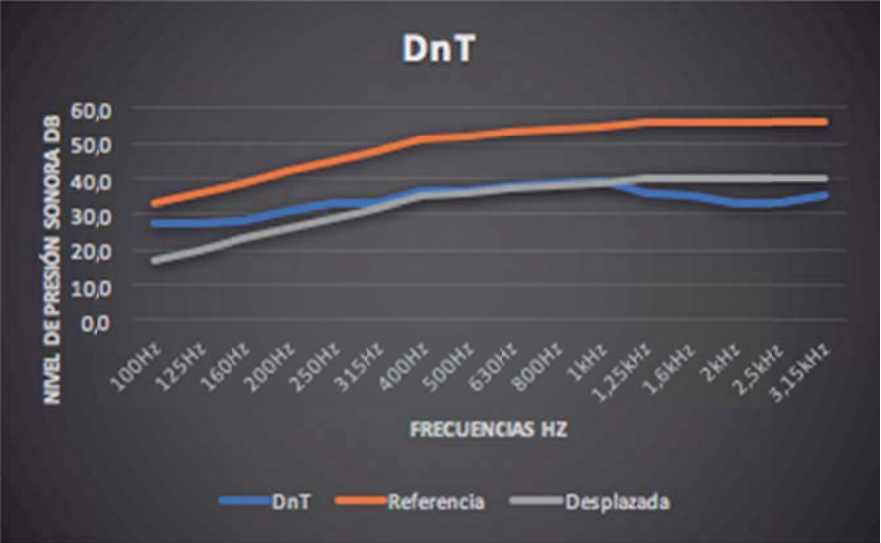


Figura 18. Gráfico de DnT.

El valor de DnT Global es 36 dB con un valor de corrección en curva desplazada de -16.

4.7. Ruido de Fondo

Para la obtención de ruido de fondo se trabaja con un promedio logarítmico para cada una de las muestras.

Tabla 5.

Ruido de fondo promedio en función de la frecuencia.

Frecuencia	RF Prom Log
100Hz	45,9
125Hz	46,6
160Hz	34,4
200Hz	38,4
250Hz	37,3
315Hz	41,7
400Hz	41,5
500Hz	40,6
630Hz	41,0
800Hz	40,6
1kHz	41,0
1,25kHz	40,8
1,6kHz	40,3
2kHz	38,7
2,5kHz	37,2
3,15kHz	35,9
4kHz	33,9
5kHz	31,8

Después de haber realizado el cálculo y en función de las curvas NC plasmadas se puede determinar que la curvatura está acorde a lo establecido con las salas de oradores, ya que el nivel máximo se encuentra de la siguiente manera:

Tabla 6.

Ruido de fondo obtenido en la sala.

RF	37	47	37	41	41	39	34	26
----	----	----	----	----	----	----	----	----

Respecto a las salas de oradores la teoría dicta que los niveles de ruido no pueden superar los valores de las curvas NC de 35 a 45 propuestos así:

Tabla 7.

Curvas Noise Criteria para salas de palabra.

CURVAS NC								
NC 35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC 40	64	56	50	45	41	39	38	37
NC 45	67	60	54	49	46	44	43	42

Finalmente, la curva de NC se ubica gráficamente de la siguiente manera:

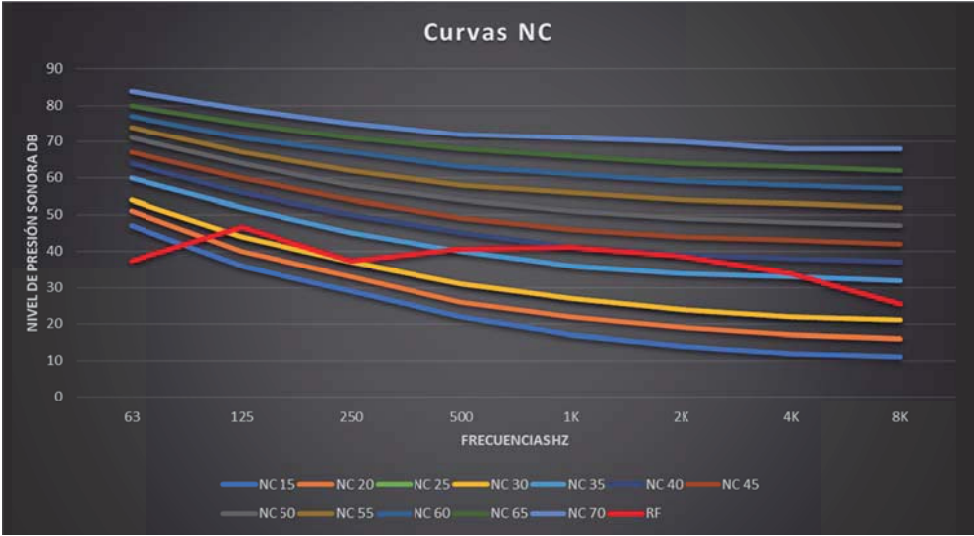


Figura 19. Gráfico de Curvas NC del recinto.

Por lo tanto, el ruido de fondo no supera los valores permitidos, tomando en cuenta que se midió la superficie más problemática, siendo la más cercana a una fuente de ruido en la sala de espera. No existe ruido de trafico cercano o posibles fuentes de ruido ya que las carreteras o locales posiblemente problemáticos se encuentra con una distancia mayor a los 50 metros.

5. Simulación

Un punto de partida para la simulación es conocer la arquitectura del recinto, así como sus materiales de construcción. Por lo que, se ha puesto en perspectiva los planos del recinto de la siguiente manera:

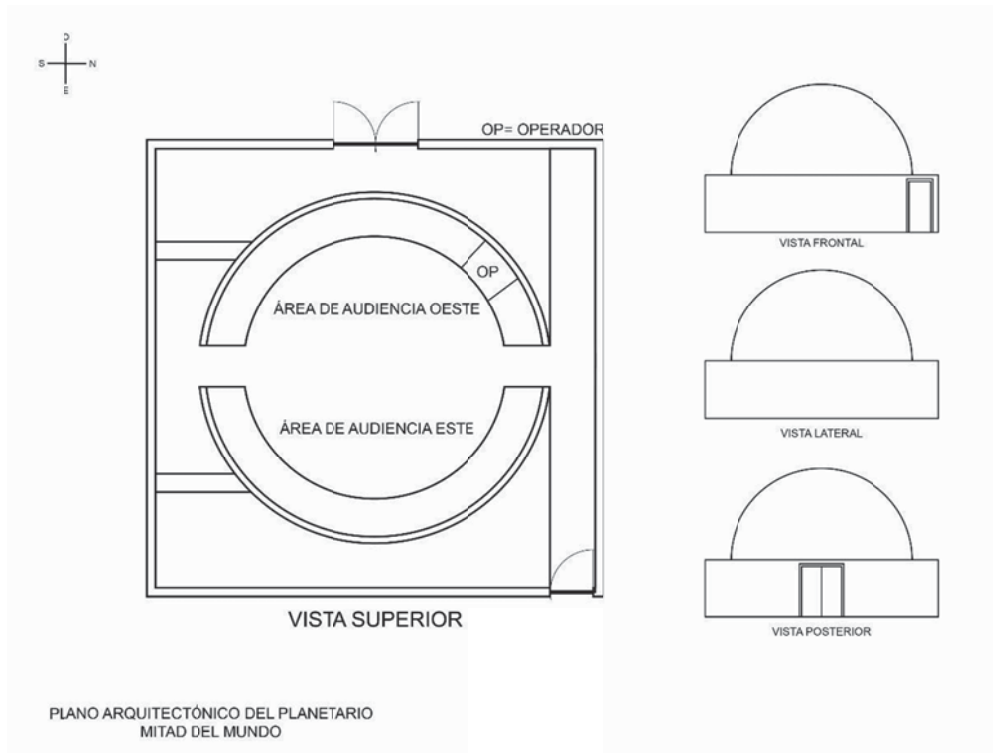


Figura 20. Gráfico de la distribución del recinto.

5.1. Materiales

Es necesario mencionar que los simuladores utilizan coeficientes de absorción medidos en condiciones de laboratorio, por lo que las condiciones de la simulación son ideales, sin tomar en cuenta humedad, velocidad del aire, detalle constructivo, etc. Aun así, se ingresarán estos valores la simulación es solamente una guía para conocer el comportamiento de una sala antes de implementar cualquier solución.

5.1.1. Paredes

Las 4 paredes del recinto están construidas de bloque de 25 cm de grueso y cemento, enlucidas de igual manera con cemento, y recubiertas con alfombra en su totalidad. Poseen paneles de madera laminado de 9mm con dimensiones de 1.80 x 0.55 metros distancias 20 centímetros entre ellas.

Tabla 8.

Tablas de absorción de materiales de pared.

Material	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
Pared	0,10	0,09	0,08	0,09	0,10	0,04	0,09
Alfombra	0,09	0,08	0,21	0,27	0,27	0,37	0,21
Madera	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06

5.1.2. Piso

El piso está constituido por baldosa en su totalidad, lo que entrega una superficie reflectante sino existiera el área de audiencia, la cual está conformada por 60 sillas de gamuza recubiertas con cuerina. Las sillas corresponden al 70% del piso.

Tabla 9.

Tablas de absorción de materiales del piso.

Material	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
Baldosa	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
Butaca tapizada con cuero desocupada	0,10	0,15	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23
Butaca tapizada con cuero ocupada	0,15	0,35	0,45	0,45	0,45	0,40	0,41

5.1.3. Techo

El techo por su parte es de concreto puro de 25 centímetro de grosor, bastante fuerte ya que debe sostener la cúpula, el techo es hueco en un 60% ya que posee la cúpula.

Tabla 10.

Tablas de absorción de materiales del techo.

Material	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
Pared	0,10	0,09	0,08	0,09	0,10	0,04	0,09

5.1.4. Cúpula

La cúpula posee una forma esférica con un radio de 4 metros, aportando casi el 45% del volumen total de la sala, está construida de concreto en la parte exterior y yeso fino en la parte interna.

Tabla 11.

Tablas de absorción de materiales de la cúpula.

Material	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
Yeso	0,30	0,20	0,05	0,02	0,02	0,02	0,07

5.2. Resultados obtenidos mediante el software E.A.S.E.

5.2.1. Tiempo de reverberación

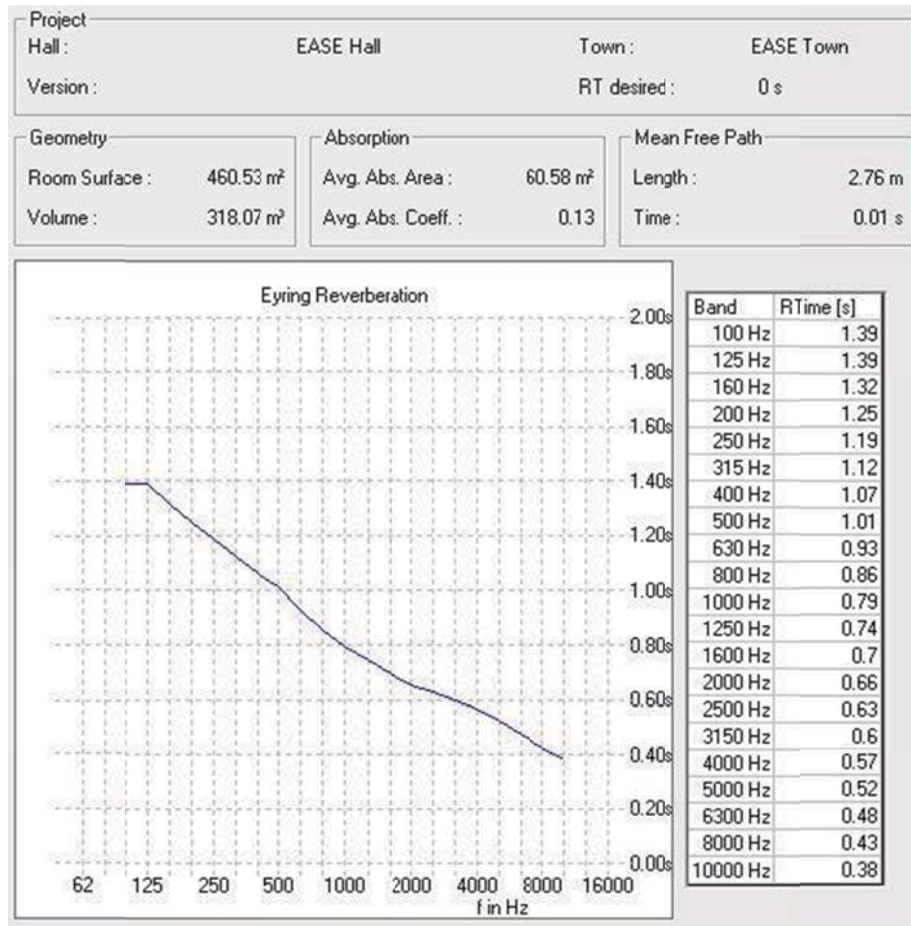


Figura 21. Gráfico de la simulación de Tiempo de Reverberación.

El tiempo de reverberación varía, no de manera significativa, pero destaca una curva diferente a la obtenida con las mediciones realizadas, como se observa en bajas frecuencias los valores son superiores a lo obtenido con un máximo de 0,4 segundos, mientras que en altas el valor es menor por unos 0,48 segundos.

5.2.2. Claridad

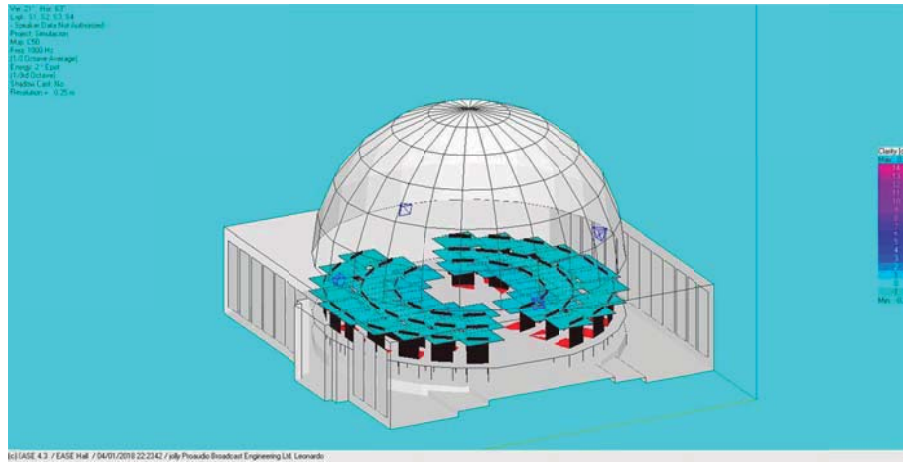
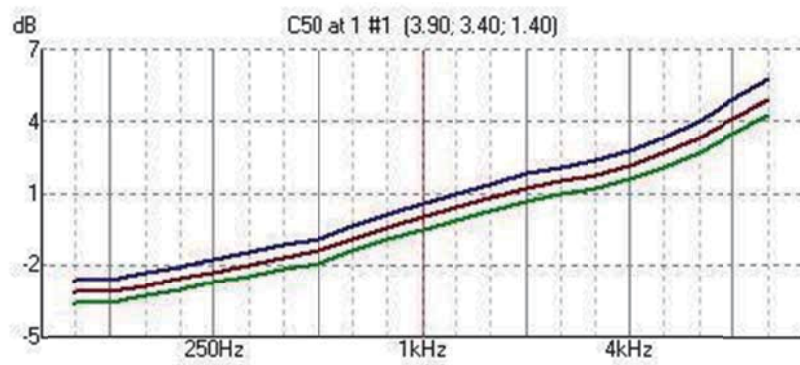


Figura 22. Gráfico de la simulación de C50 a 1 kHz.



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 04/01/2018 22:25:05 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. L

Figura 23. Gráfico de la simulación de C50 en función de la frecuencia.

Respecto al C50, los valores en frecuencias bajas siguen siendo malos sobre todo en las notas fundamentales de la voz, en el resto del espectro la claridad mejora en contrapunto con las mediciones.

5.2.3. STI

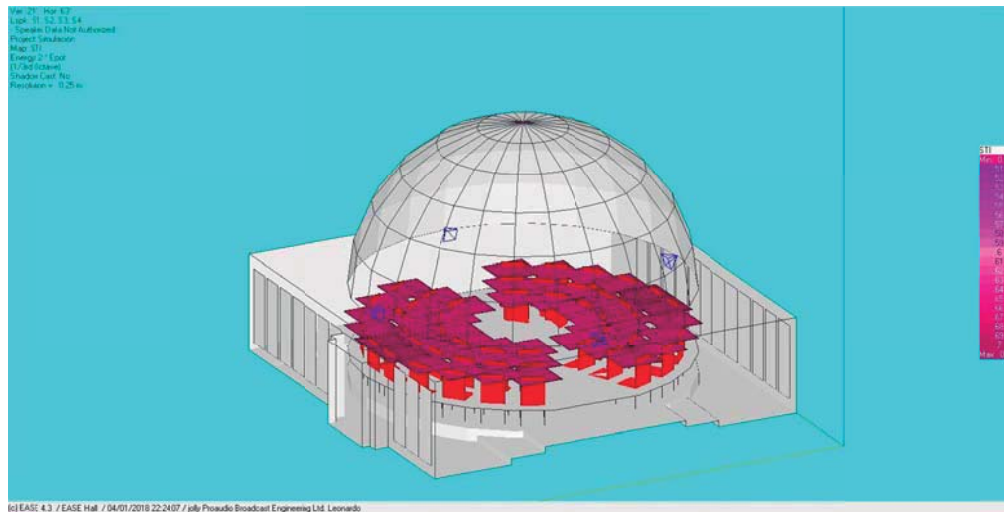
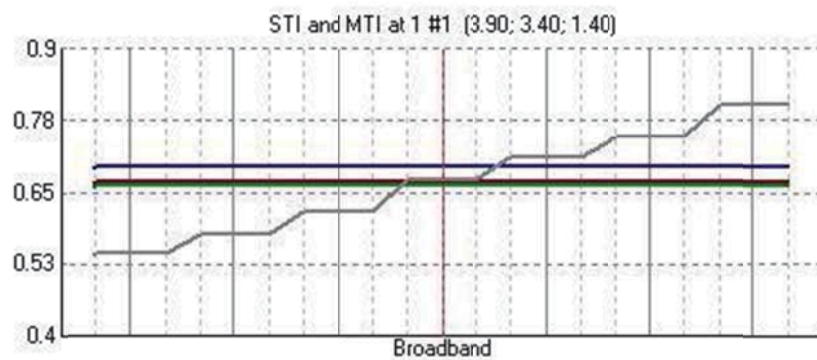


Figura 24. Gráfico de la simulación de STI.



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 04/01/2018 22:25:48 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. L

Figura 25. Gráfico de la simulación de STI en función de la frecuencia.

El STI simulado es casi 0,10 mayor que el medido, mostrando una clara deficiencia en la inteligibilidad de la sala. El parámetro BUENO domina el área de audiencia mientras que en la medición mandan valores regulares.

5.2.4. Focalización o teoría de rayos

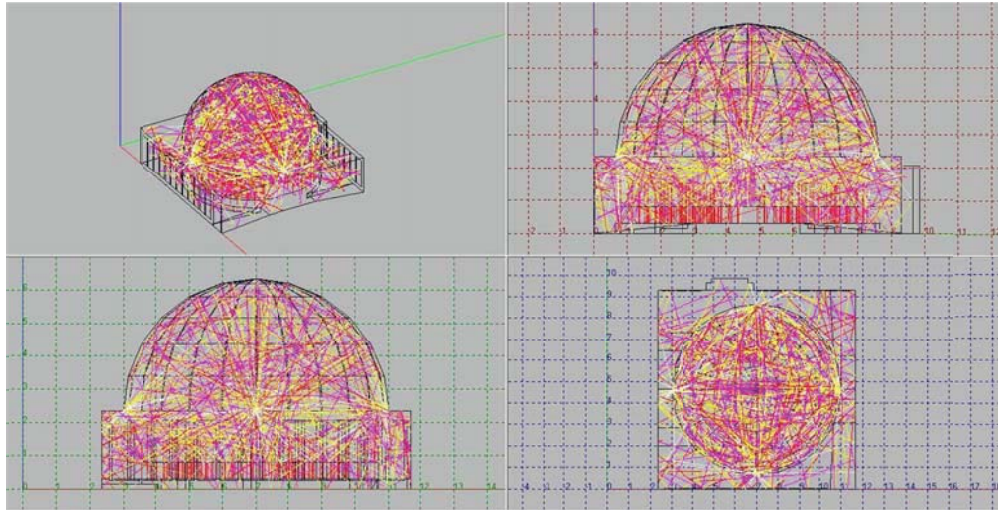


Figura 26. Gráfico de la teoría de rayos del recinto.

Al ser una cúpula la focalización se encuentra en todo el centro de la misma, haciendo que todos los rayos sonoros se dirijan hacia el punto cero, por tanto se puede adelantar que las áreas de audiencia no percibirán el problema.

5.2.5. Mapeo de Nivel de Presión Sonora (SPL) en sonido directo.

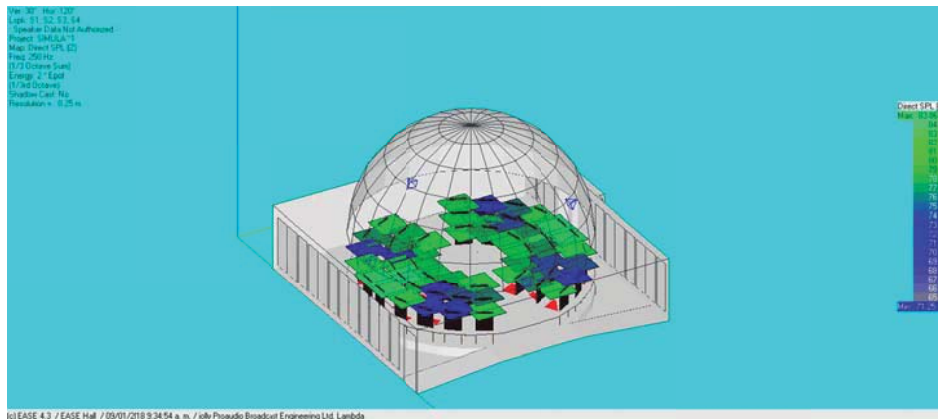


Figura 27. Gráfico del “mapping” de SPL a 250 Hz en sonido directo.

Mediante la figura se puede identificar que la sala carece de sonido directo distribuido por altavoces en ciertas zonas del recinto, esto se debe a la

ubicación de las áreas de audiencia y la ubicación de los altavoces. El mapeo se realiza a 250 Hz ya que es la frecuencia donde el problema es más notable.

5.3. Comparativo entre medidas *in situ* y simulación

5.3.1. Tiempo de Reverberación

Tabla 12.

Tabla comparativa de tiempo de reverberación.

Tiempo de Reverberación Medio (T_{rmid})		
Posición	Medición (s)	Simulación (s)
S1	0,98	1,40
S2	1,23	0,95
S3	0,96	3,50
S4	0,71	1,40
S5	1,04	2,30
S6	0,93	0,80
S1	0,84	0,80
S2	0,83	1,65
S3	0,90	1,70
S4	1,10	2,15
S5	0,99	0,95
S6	0,81	2,20
Promedio	0,94	1,65

En función de la tabla anterior se puede determinar una desviación entre las mediciones realizadas *in situ* y las simuladas con el software EASE, este margen de error se puede esperar ya que existe una diferencia al simular con parámetros ideales como los hace el software y medir en el recinto tomando en cuenta la temperatura, clima, etc. Estas desviaciones muestran una presencia de sectores en la sala que poseen un tiempo de reverberación elevado, algo que se contrasta con las mediciones *in situ* que indican una curva bastante homogénea en casi todos los sectores de la sala.

Posibles causas de estas desviaciones son la existencia de modos propios en la sala, aunque se puede descartar esta opción ya que la influencia puntual de estos modos se encuentra por debajo de 120 Hz.

Por lo que, una posible causa es la geometría del local, si bien en general el resultado de tiempo de reverberación es bueno, la geometría del local genera que en ciertos puntos de la sala existan problemas en ciertas frecuencias, debido a su paralelismo, homogeneidad entre paredes y distribución de materiales, estos factores sumados a la existencia de una cúpula enfoca sectores muy puntuales con medidas de tiempo de reverberación elevado teóricamente en la simulación.

Aquí se puede destacar que el tiempo de reverberación puede influenciar en los parámetros de claridad, etc. Pero para evitar estos inconvenientes se puede considerar la utilización de refuerzo sonoro, creando el campo directo que necesitan estos sectores, en la realidad del recinto puede ser ideal esta solución.

5.3.2. STI

Tabla 13.

Tabla comparativa de STI.

STI				
Asiento	Posición	Medición	Simulación	Propuesta
1	E1	0,58	0,63	0,73
5	E1	0,61	0,64	0,74
9	E1	0,58	0,64	0,75
13	E1	0,56	0,60	0,73
18	E1	0,57	0,59	0,72
19	O1	0,63	0,63	0,75
21	O1	0,56	0,64	0,76
23	O1	0,56	0,64	0,74
25	O1	0,53	0,60	0,75
27	O1	0,56	0,64	0,77
29	E2	0,58	0,65	0,76

32	E2	0,58	0,65	0,76
35	E2	0,54	0,65	0,78
38	E2	0,57	0,65	0,77
40	O2	0,54	0,64	0,74
43	O2	0,54	0,65	0,75
46	O3	0,5	0,65	0,75
48	O3	0,54	0,68	0,77
50	O3	0,56	0,66	0,78
52	E3	0,58	0,64	0,79
54	E3	0,59	0,65	0,78
56	E3	0,57	0,65	0,77
58	E3	0,57	0,63	0,79

En base a esta tabla se determina que el STI es muy parecido entre la simulación y la medición realizada *in situ*, destacando el problema puntual de inteligibilidad de la sala en la distribución actual de las butacas. Esto se resuelve en la propuesta, ya que en los valores simulados existe una mejora notable con la nueva distribución de altavoces.

6. Propuesta

Si bien los resultados entre las mediciones y la simulación ayudan a plantear una solución que no sea inmersiva y no altere el tiempo de reverberación actual de la sala, se necesita elevar los valores de claridad e inteligibilidad medidos y simulados. Adicional a esto se debe tener en cuenta los modos propios y su afectación en el espectro global del recinto, por tanto, el aumento de absorbente no es una opción, tampoco lo es un cambio geométrico por el uso de la sala, además se debe aprovechar que el ruido de fondo es bajo.

La propuesta para este recinto basándose en la simulación se obtienen mejores resultados aumentando el nivel de presión sonora que 6 altavoces son capaces de reproducir sonido en forma de una semiesfera, por lo que se deben apuntar al área de audiencia, utilizando un .

En contexto el sistema sonoro actual del recinto no está diseñado para cubrir un rango espectral completo, punto primordial para salas de palabra, ya que la voz humana necesita una reproducción con la menor alteración posible para

trasmitir el mensaje. Por lo que se selecciona el uso de altavoces de estudio cuya respuesta espectral es plana, aparte de que poseen una respuesta en frecuencia completa, su relación señal ruido es bastante elevada y son capaces de reproducir altos niveles de presión sonora sin llegar a la saturación.

En este punto se puede poner en una balanza el presupuesto de inversión del sistema sonoro, ya que existen dos valoraciones en calidad-precio, optando una opción más económica la adquisición de altavoces activos con salidas integradas que facilita su conexión. Se plantearán ambas soluciones:

6.1. Altavoces de estudio:

La cadena electroacústica se compone del computador – splitter – altavoces, escogiendo como altavoces a los KRK Rokit 5, altavoces de estudio con una ficha técnica:

Tabla 14.

Especificaciones técnicas altavoz KRK Rokit 5.

MAX Peak SPL	106 dB
Frecuency Response	45 Hz – 35 kHz
Dimensions (D x W x H):	9.06" (230mm) x 7.28" (185mm) x 11.10" (282mm)
Input Connectors:	Unbalanced RCA Balanced 1/4" TRS Balanced XLR

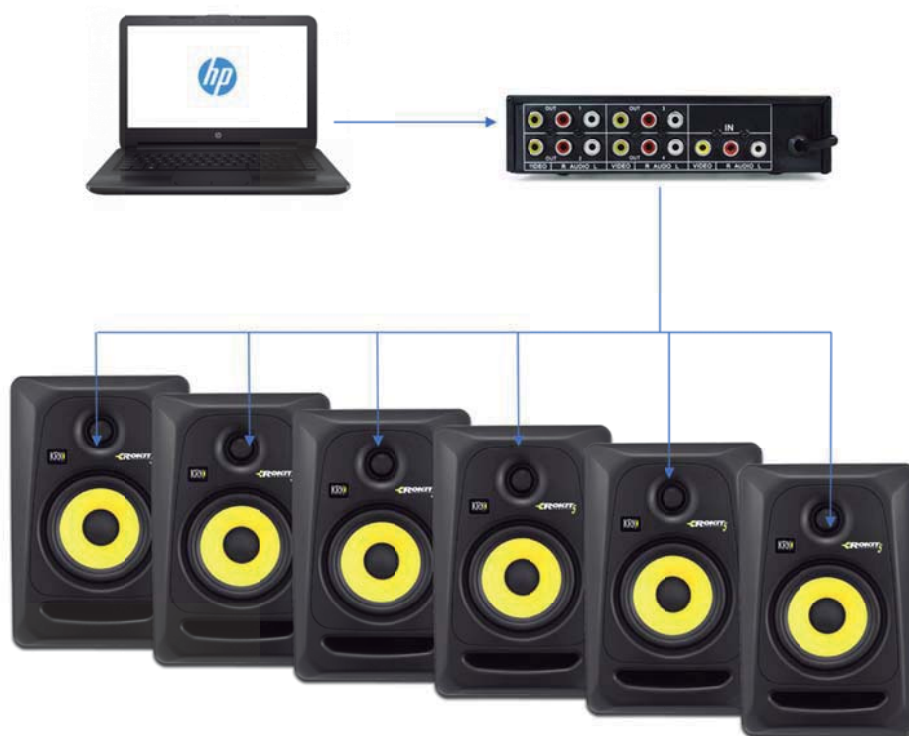


Figura 28. Cadena Electroacústica solución 1.

Esta primera solución está valorada alrededor de \$1900 dólares americanos con avalúo realizado en Amazon.com (sin tomar en cuenta el computador).

6.2. Altavoces Activos:

Tomando en cuenta el presupuesto existe en el mercado altavoces con una valoración más discreta, aunque su respuesta en frecuencia no sea plana, la relación entre el nivel de presión sonora asume esta falencia haciendo que la potencia llegue a todos los puntos de la sala.

La cadena electroacústica se compone por computador – altavoces, ya que estos tienen una salida que copia la señal de entrada, facilitando el conexionado y manejo de cables. Dichos altavoces poseen la siguiente ficha técnica:

Tabla 15.

Especificaciones técnicas altavoz activos.

MAX Peak SPL	106 dB
Frecuency Response	40 Hz – 19 kHz
Dimensions (D x W x H):	17.1 x 11.6 x 0.96 inches
Input Connectors:	Unbalanced RCA Balanced 1/4" TRS Balanced XLR



Figura 29. Cadena electroacústica solución 2.

Esta solución está avaluada por unos \$ 600 dólares americanos según Amazon.com.

Dicho lo anterior, los altavoces de estudio serán mucho más fieles en la reproducción de audio, pero la inversión es tres veces mayor que con los altavoces activos por lo que dependerá del presupuesto la selección de una solución u otra.

En cuanto a los modos propios de la sala, su importancia puede ser irrelevante ya que el uso de la sala confiere frecuencias sobre 150Hz, con leves momentos musicales que no destacan durante función del planetario. Se puede realizar una ecualización que no existe las frecuencias mencionadas y esto evita la adquisición de trampas de bajos, algo que cambiará el tiempo de reverberación de la sala. Para la ecualización se recomienda aplicar un filtro pasa altos con frecuencia de corte a los 100Hz, ya que las frecuencias graves necesitan un diafragma de mayor tamaño para ser reproducidas por lo que se estaría preservando la vida útil de los altavoces y se evitan la excitación de los modos propios de la sala. Esta ecualización se puede realizar en el mismo reproductor o aplicando software libre como Audacity, el cual permite dibujar la ecualización requerida como en el gráfico:

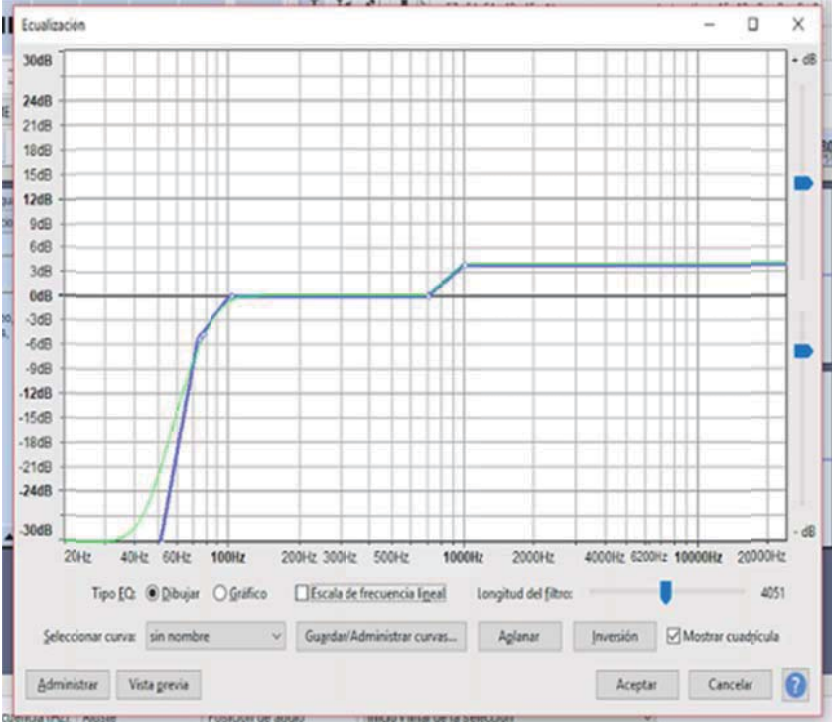


Figura 30. Gráfico de ecualización de la sala.

A continuación, se muestran los resultados simulados con la nueva distribución de altavoces, y sus parámetros mejorados:

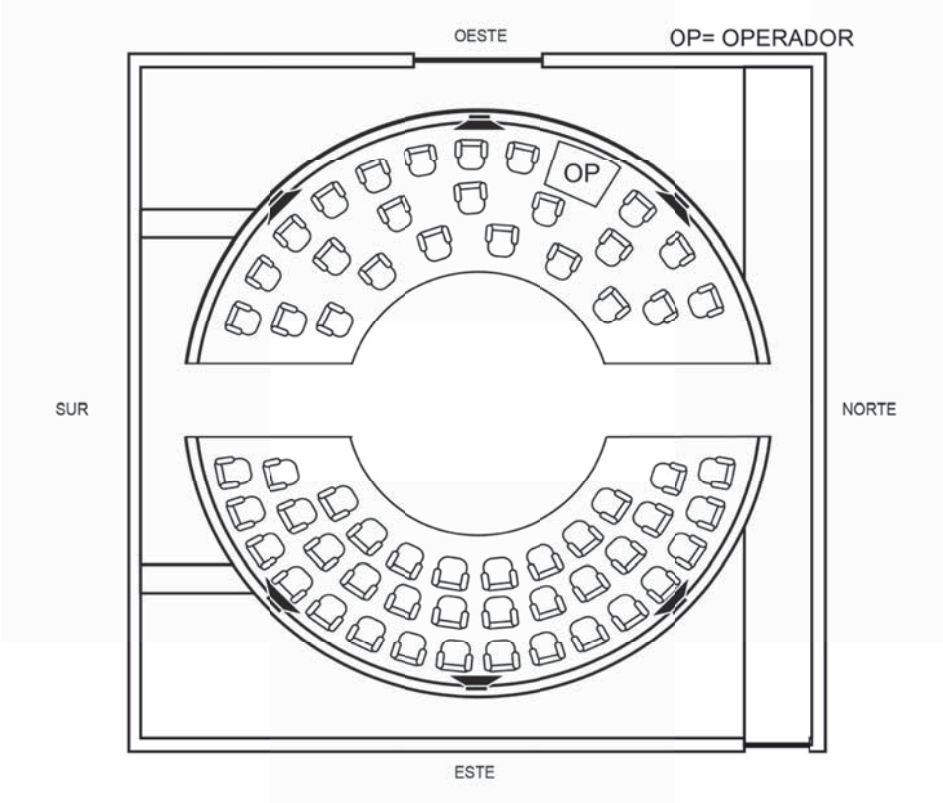


Figura 31. Distribución de la propuesta con 6 altavoces.

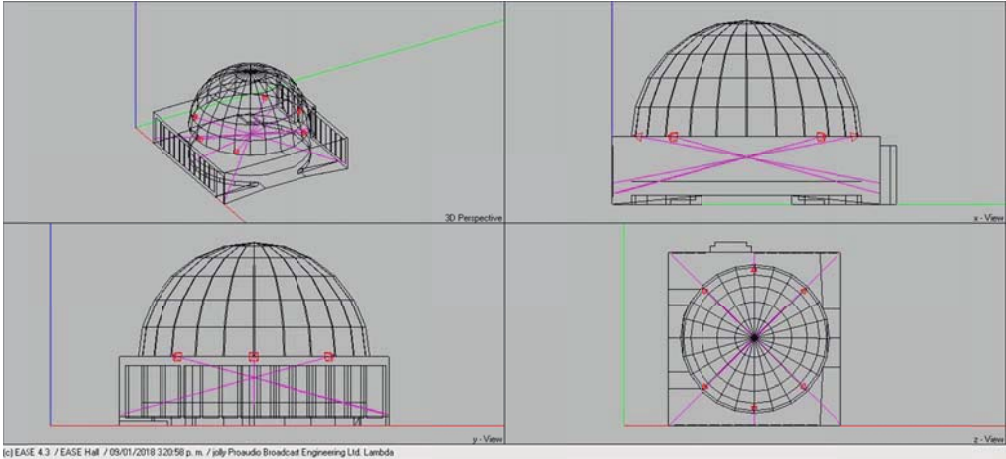


Figura 32. Simulación de la azimuth de la propuesta con 6 altavoces.

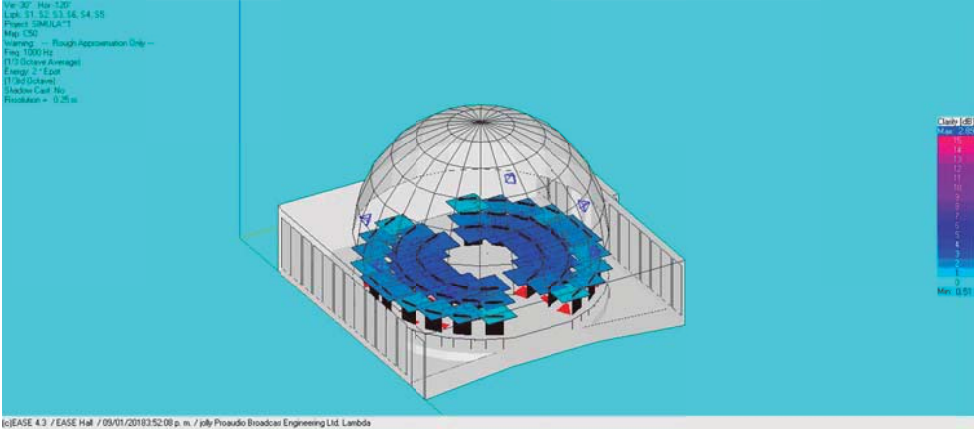


Figura 33. Simulación de C50 de la propuesta con 6 altavoces.

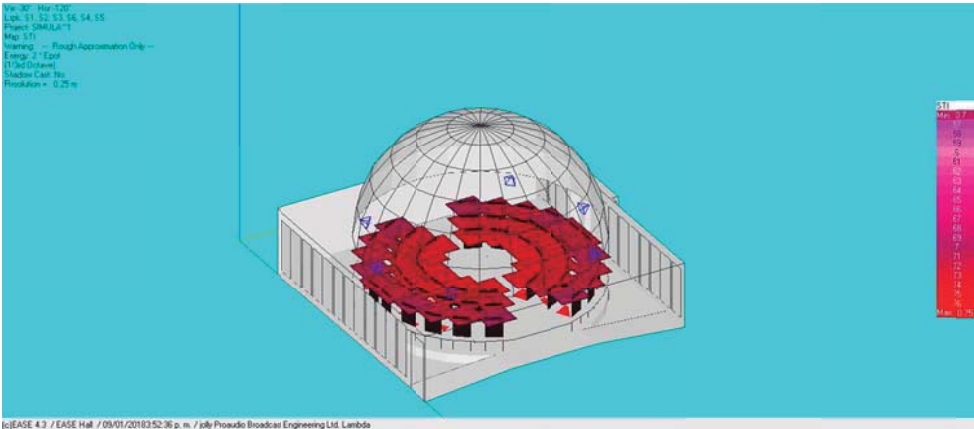
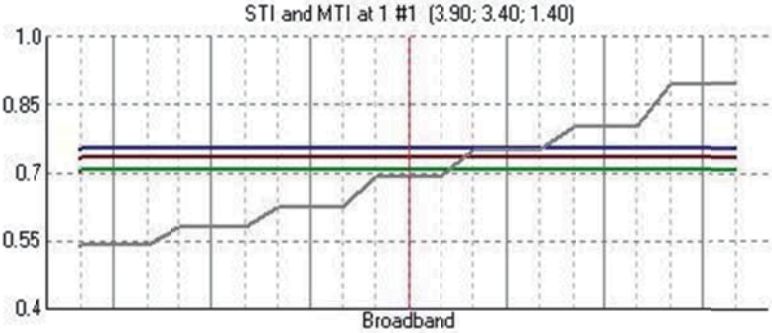


Figura 34. Simulación de STI de la propuesta con 6 altavoces.



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 09/01/2018 3:54:36 p. m. / jolly Proaudio Broadcast Engineering L

Figura 35. Simulación de STI en función de la frecuencia de la propuesta con 6 altavoces.

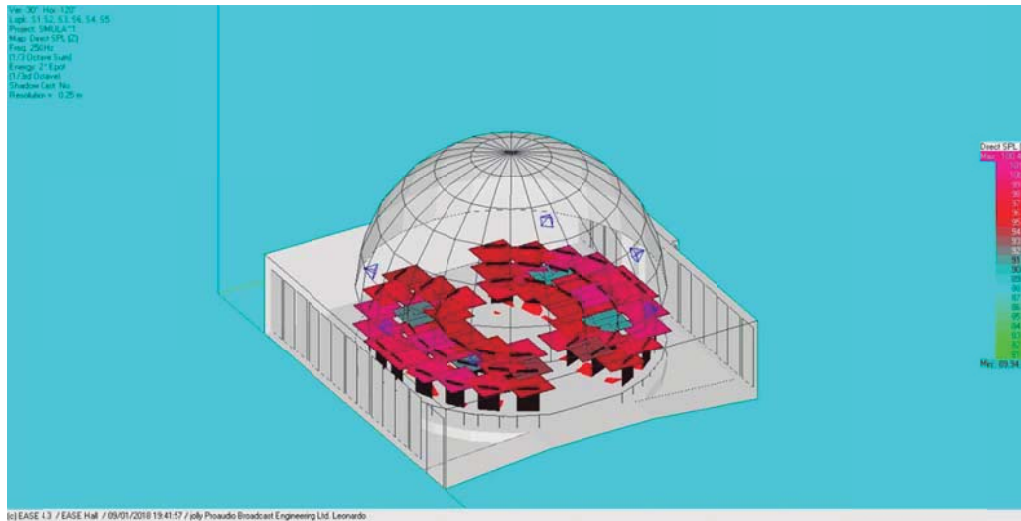


Figura 36. Simulación de mapeo de SPL con 6 altavoces.

Finalmente, el resultado es mejor que la situación actual de la sala, subiendo parámetros muy importantes como es el STI en casi 0,10 puntos, partiendo de valores como 0,65 hasta 0,75 y el C50 que tiene una mejora considerable superando los 2 dB en las zonas más problemáticas de la sala y 6 dB conforme avanza a zonas más céntricas, mientras que el SPL, reduce sus zonas problemáticas mejorando la distribución con los 6 altavoces.

Por otro lado, se observa en la simulación existe una focalización muy presente en el centro de la sala, sector que no posee audiencia y donde se ubica el proyector principal del planetario, la focalización proveniente de la cúpula puede ser tratada con pantalla de cine e incluyendo material absorbente, pero esto afectaría al tiempo de reverberación, algo que no es recomendable dadas los valores obtenidos. La focalización es de segundo orden en vista que los altavoces son muy directivos y están apuntados al área de audiencia, reflejando reflexiones de segundo orden con poca energía a la cúpula; esto es casi imperceptible eliminando la necesidad de difusores. Por lo que se sugiere preservar la cúpula intacta en vista que la afectación perceptivamente no existe por la lejanía de las áreas de audiencia al centro de la sala y la disposición de altavoces directivos, ocasionando que el sonido directo llegue primero al escucha y las reflexiones con menos energía se dirijan a la cúpula.

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

A lo largo de todo el estudio y en base a la teoría se podía asumir problemas muy puntuales en la arquitectura del recinto, al ser muy paralelo, con un volumen no muy elevado, y con una cúpula en su centro. La sumatoria de estas variantes es contradictoria en los resultados, ya que acústicamente el recinto posee un tiempo de reverberación homogéneo, con vivacidad, brillo y calor dentro de los límites óptimos para salas de palabra. Algo que es muy difícil de lograr, aportando un color muy puntual en la sala; en función de estos parámetros se podría decir que teóricamente la sala funciona para su cometido, pero se debe recordar que existen parámetros mucho más importantes a tomarse en cuenta como es la inteligibilidad o STI de la sala.

La distribución de la sala y su mezcla entre material absorbente y reflectante es ideal para un tiempo de reverberación muy difícil de lograr. En cuanto a la focalización se puede decir que está centrada en zonas donde no existen butacas o espectadores, es una focalización flotante de poca intensidad en alta frecuencia ya que se habla de una reflexión especular, siendo casi nula perceptivamente, si bien no es un problema muy importante el eco flotante puede afectar si se realiza una nueva distribución de asientos o butacas en el recinto.

Una vez realizado el estudio, destaca una falencia muy importante en claridad y STI, parámetros de inteligibilidad, mismos que están relacionados al tiempo de reverberación. En este punto resalta el refuerzo sonoro para suplir dichas falencias aportando con un campo directo mucho más puntual, donde la simulación ayuda a entender cómo se comportaría la zona con altavoces de respuesta plana y un SPL de 85 dB, lo que produce una mejora notable en dichos parámetros mejorando el STI en casi 0,10 puntos mientras que el C50 mejora de 2 a 6 dB dependiendo la ubicación del escucha. Estos parámetros son realizados con el software EASE, y las mejoras son notables cambiando la distribución de los altavoces de 4 a 6 y tratando de abarcar 2 semicírculos al lado este y oeste de la sala. Esta mejora es un punto inicial para cambiar el

modo en que público escucha las palabras del orador, y por tanto representa una mejora importante al recinto.

Finalmente, se puede decir que cada estructura posee puntos fuertes y puntos débiles, los que se reconocen con mediciones *in situ* o modelado en software, ambas herramientas tienden a dar un margen de error presente, en vista a la situación meteorológica, errores humanos, entre otros factores. Mientras que el software por su parte simula todo en condiciones ideales, algo que se da solo en situaciones de laboratorio, por tanto la simulación es una guía del factor real de la sala, y se usa para predecir en cierta parte el comportamiento que podría tener una solución antes de implementarla.

7.2 Recomendaciones

El planetario de la Ciudad Mitad del Mundo es un emblema para el turismo ecuatoriano, y una reliquia en su arquitectura como en su instrumentación. Un factor que debe ser tomado en cuenta es la distribución de asientos, ya que la acogida que tiene el recinto es muy alta en ciertas fechas del año. Esto puede necesitar la adición de sillas en un futuro, siendo muy puntual el estudio de las nuevas áreas de audiencia sobre todo en la parte céntrica del recinto. La situación puede ser problemática si se mueven las butacas de su situación actual, ya que el refuerzo sonoro debe ser reubicado de darse el caso. Otra situación problemática es la adición de nuevas sillas en la parte céntrica del recinto, zona actualmente desocupada, al entrar en la parte céntrica la cúpula ejerce una reflexión de segundo orden, que puede resultar molesta para el escucha.

La adición de materiales debe ser estudiada ya que se tiene un tiempo de reverberación muy homogéneo y se debería considerar de darse e caso la adición o cambio de materiales con el mismo coeficiente de absorción que los materiales actuales, en la misma distribución, así se puede asegurar que el tiempo de reverberación no se alteraría demasiado.

REFERENCIAS

- Boschi, C. (2008). Método para medir el tiempo de reverberación en recintos (No. 1). Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza. Recuperado el 23 de noviembre de 2017 de http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratoriodeacustica/Metodo_experimental_para_medir_el_TR60.pdf
- Carrión, A. (1998). Diseño acústico de espacios arquitectónicos (Primera Ed). Catalunya: Edicions UPC, Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado el 13 de diciembre de 2017 de <https://arqlemus.files.wordpress.com/2014/04/disec3b1o-acc3bastico-de-espacios-arquitectc3b3nicos.pdf>
- CESVA instruments, (2015). BP012 – Omni-directional Loudspeaker – CESVA instruments. Recuperado el 13 de diciembre de 2017 de <https://www.cesva.com/en/products/sound-sources/bp012/>
- CESVA instruments, (s.f.). AP602 – Amplificador para fuente omnidireccional - CESVA instruments. Recuperado el 13 de diciembre de 2017 de <https://www.cesva.com/es/productos/fuentes-de-ruído/ap602/>
- CESVA insstiuments, (s.f.). SC310 – Sonómetro y analizador de espectro. CESVA instruments. Recuperado el 13 de diciembre de 2017 de <https://www.cesva.com/es/productos/sonometros/sc310/>
- CESVA instruments, (s.f.). BP012 – Altavoz Omnidireccional. CESVA instruments. Recuperado el 13 de diciembre de 2017 de <https://www.cesva.com/es/productos/fuentes-de-ruído/bp012/>
- Costales, P y Costales, A. (1981). El quishnar o “Arbol de los Dioses” (Primera Ed). Quito: iADAP, Instituto Andino de Artes Populares.

- Echappare, M. (2010). ESTUDIO, SIMULACIÓN Y REFORMA ACÚSTICA DE LA “ASESORÍA ZABALA INNOVATION CONSULTING.” (Tesis de Pre-Grado) Universidad Pública de Navarra. Recuperado el 10 de octubre de 2017 de <http://academica-e.unavarra.es/handle/2454/3164>
- Everest, F. y Pohlmann, K. (2009). *Master Handbook of Acoustics*. New York, EEUU: Mc Graw Hill.
- Ferreira, S., Craver, A., Ramos, O., Tommasini, F. & Araneda, M. (2012). Identificación y análisis de modos propios de recintos a partir de sus respuestas impulsivas. Asociación Argentina de Mecánica Computacional, Argentina. Recuperado el 15 de diciembre de 2017 de <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4308/4234>
- Galiana, M., Llinares, C. y Page, Á. (2016). Impact of architectural variables on acoustic perception in concert halls. *Journal of Environmental Psychology*, 48, 108–119. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2016.09.003>
- Hernándezn M. (2013). *Acústica Fácil*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <https://prezi.com/mwnstie23e5t/5-parametros-acusticos-que-debes-conocer/>
- Hidalgo, D. (2009). Medición y análisis de parámetros acústicos en diez salas de concierto y teatros de Bogotá. Primeras jornadas regionales de Acústica (pag. 17). Rosario, Argentina: AdAA. Recuperado el 18 de noviembre de 2017 de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/44358.pdf>
- Hirvonen, T. y Robinson, C. (2016). Extended Bass Management Methods for Cost-Efficient Immersive Audio Reproduction in Digital Cinema. In *Audio Engineering Society Convention 140*. Recuperado el 15 de diciembre de 2017 de <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=18293>

- Mapp, P. (2016). Intelligibility of cinema and tv sound dialogue. In AES 141st Convention (p. 9632). UK. Recuperado el 10 de octubre de 2017 de <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=18436>
- Möser M. y Barros, J. (2009). Ingeniería Acústica. Berlin, Alemania: Springer-Verlag.
- Navarro, J. (2013). Focalización. Acústica y sonido. Recuperado el 23 de diciembre del 2017 de <http://acusticaysonido.com/?tag=focalizacion>
- Ortiz, L. (1992). Refuerzo Sonoro Base para el diseño. Recuperado el 23 de diciembre de 2017 de http://oa.upm.es/1367/1/MONO_LUIS_ORTIZ_BERENGUER_2002_01X.pdf
- Párraga, M., y García, T. (2005). EL RUIDO Y EL DISEÑO DE UN AMBIENTE ACÚSTICO. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, 8, 83-85. Recuperado el 23 de septiembre de 2017 de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/viewFile/6196/5396>
- Prieto, J. (2011). ESTUDIO ACÚSTICO DE LA SALA 25 DE LOS CINES KINÉPOLIS (Tesis de Pre-Grado). UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. Recuperado el 14 de septiembre de 2017 de https://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_262.pdf
- Ramón, F. (2015). Ecuación de Sabine [Mensaje en un blog]. Equaphon-University. Recuperado de <http://www.equaphon-university.net/ecuacion-de-sabine/>

UNE-EN ISO 140 – 1: (1998) Acústica: “Evaluación del aislamiento acústico de los edificios y en los elementos de construcción. Aislamiento al ruido aéreo.”. AENOR.

UNE-EN ISO 717 – 4: (1996) Acústica: “Medición de aislamiento acústico en los edificios y elementos de construcción. Medición in situ del aislamiento a ruido aéreo de locales”. AENOR.

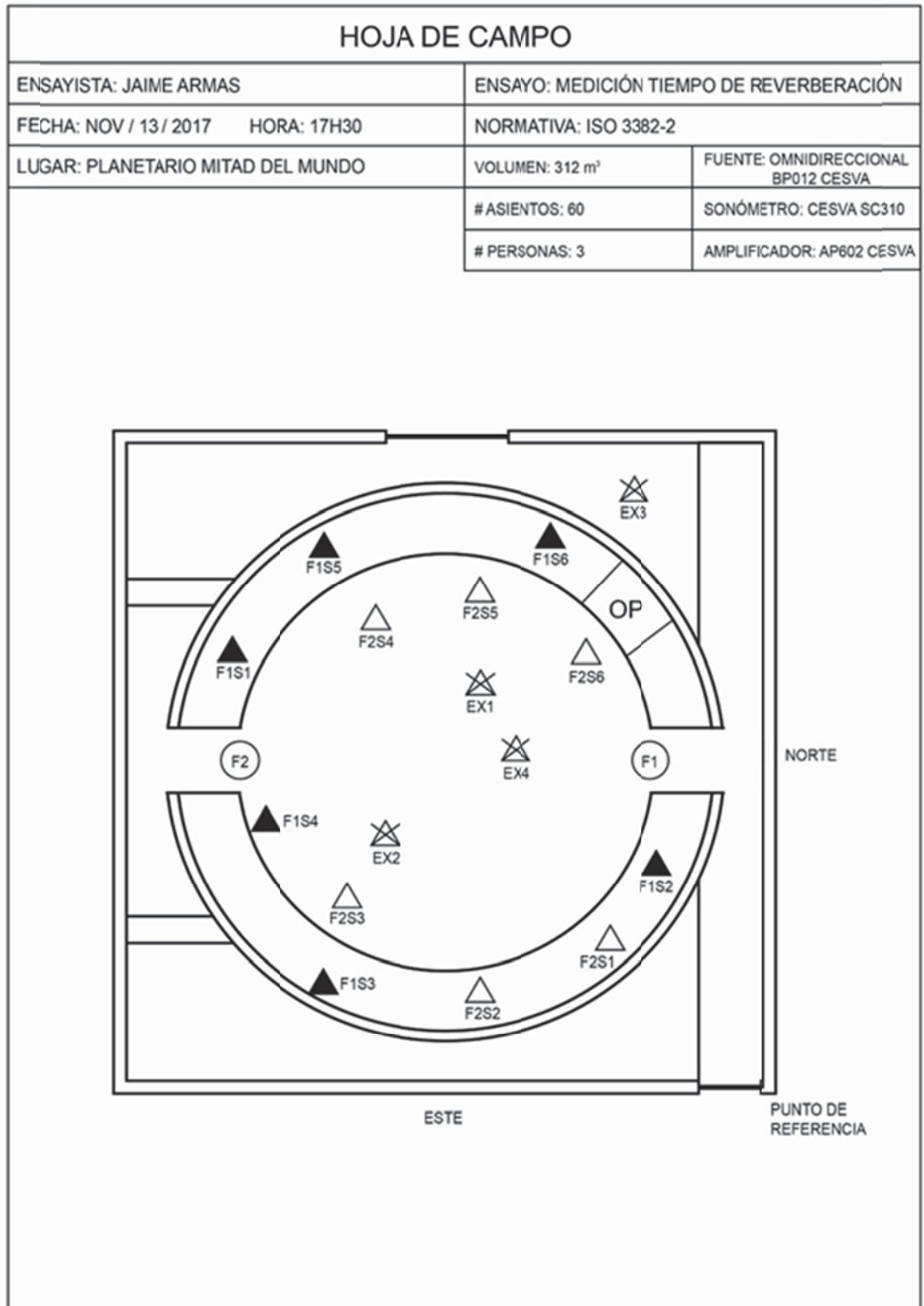
UNE-EN ISO 3382: (2001) Acústica: Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos. AENOR.

UNE-EN ISO 9921: (2004) Ergonomía: Evaluación de la comunicación verbal. AENOR.

Vecci, M., Horta, F. y Ferraz, R. (2012). Intelligibility assessment of speech in classrooms with and without acoustic conditioning through measured and simulated parameters. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, 2012, 5443–5454. Recuperado el 16 de octubre de 2017 de <https://lshss.pubs.asha.org/article.aspx?articleid=1780236>

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de Campo de medición de tiempo de reverberación.

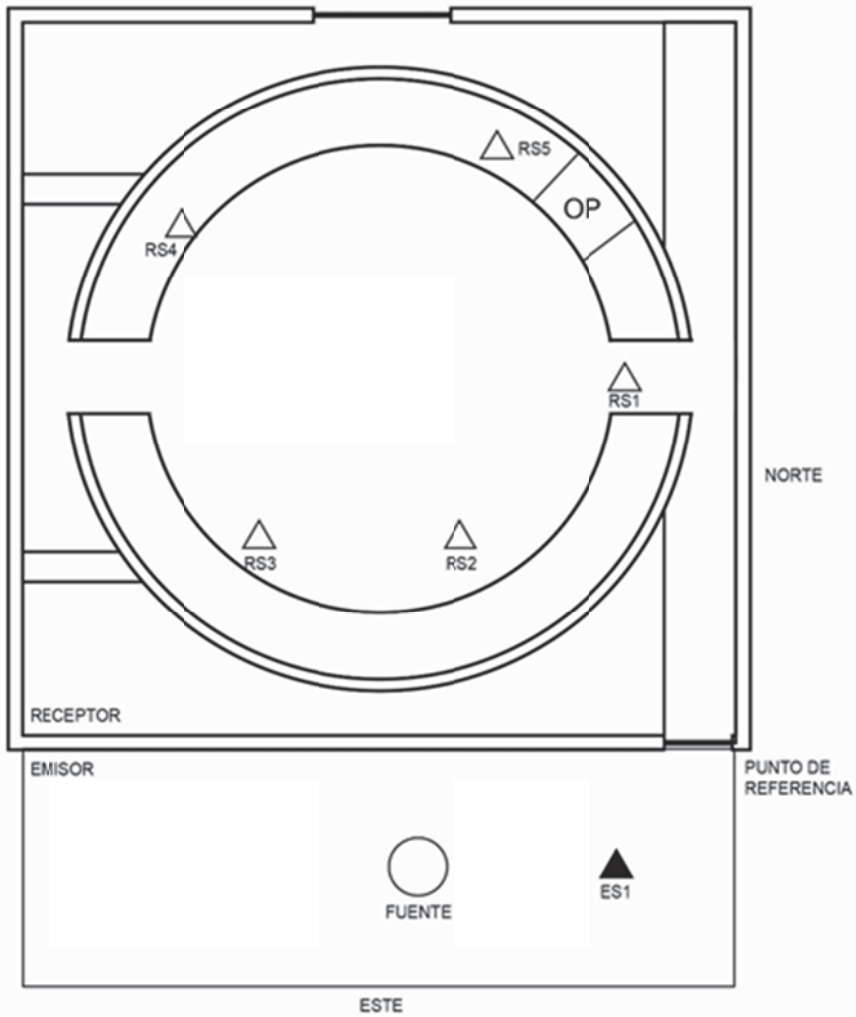


Nombre	Ubicación x	Ubicación y	Altura	Registro RF	Registro TR
F1	2.17 m	4.60 m	1.38 m	---	---
F2	6.68 m	4.61 m	1.38 m	---	---
F1S1	7.50 m	6.00 m	1.51 m	133	134
F1S2	1.50 m	3.00 m	1.41 m	135	136
F1S3	6.84 m	2.15 m	1.60 m	138	137
F1S4	7.00 m	4.25 m	1.45 m	139	140
F1S5	6.20 m	7.10 m	1.29 m	141	142
F1S6	3.14 m	7.53 m	1.57 m	143	144
F2S1	2.27 m	2.46 m	1.62 m	145	146
F2S2	4.00 m	1.30 m	1.50 m	147	148
F2S3	5.46 m	6.50 m	1.74 m	149	150
F2S4	6.33 m	3.00 m	1.30 m	151	152
F2S5	4.58 m	6.80 m	1.52 m	153	154
F2S6	2.49 m	6.31 m	1.36 m	155	156

Anexo 2. Hoja de Campo de medición de tiempo de reverberación.

HOJA DE CAMPO

ENSAYISTA: JAIME ARMAS	ENSAYO: MEDICIÓN DE AISLAMIENTO ACÚSTICO	
FECHA: NOV / 13 / 2017 HORA: 19H30	NORMATIVA: ISO 717-4	
LUGAR: PLANETARIO MITAD DEL MUNDO	VOLUMEN: 312 m ³	FUENTE: OMNIDIRECCIONAL BP012 CESVA
	# ASIENTOS: 60	SONÓMETRO: CESVA SC310
	# PERSONAS: 3	AMPLIFICADOR: AP602 CESVA



Nombre	Ubicación x	Ubicación y	Altura	Registro RF	Registro Lp
FUENTE	-3.50 m	-3.50 m	1.38 m	---	---
ES1	-2.05 m	-3.85 m	1.48 m	165	166
RS1	1.31 m	4.30 m	1.40 m	---	167
RS2	3.53 m	2.31 m	1.60 m	---	168
RS3	5.94 m	2.58 m	1.30 m	---	169
RS4	7.20 m	6.27 m	1.60 m	---	170
RS5	3.00 m	7.32 m	1.42 m	---	171

