

DISEÑO DE UN CONTROL ROOM

Franco Daniel Areco

Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Caseros, Buenos Aires, Argentina
email:francoareco53@gmail.com

Juan Martín Rucci

Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Caseros, Buenos Aires, Argentina
email:rucci45744@estudiantes.untref.edu.ar

Juan Almaraz

Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Caseros, Buenos Aires, Argentina
email:juan.almaraz097@gmail.com

Calquin Epullan

Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Caseros, Buenos Aires, Argentina
email:epullan44186@estudiantes.untref.edu.ar

El presente documento describe el diseño de un control room de tipo *ambechoic* para un estudio de grabación, el cual cuenta con espacio para un total de 5 personas trabajando en su interior. En el recinto se instala un sistema de monitoreo multicanal 3D y un sistema binaural. Adicionalmente se incluyen cálculos de tratamiento acústico y aislamiento para cumplir con la normativa de impacto de ruido de CABA. Los tiempos de reverberación obtenidos en las diferentes bandas de frecuencia lograron alcanzar los valores objetivo, manteniéndose dentro de las tolerancias establecidas por la AES. Por otro lado, se logra cumplir con las perdidas de transmisión deseada tanto en pared, piso y techo según las normas utilizadas.

Keywords: control room, ambechoic, aislamiento acústico, difusor

1. Introducción

Este informe aborda el diseño y acondicionamiento acústico de una sala de grabación ubicada en el barrio de Nuñez, Capital Federal, Argentina. El objetivo principal es cumplir con las normativas de aislamiento acústico, niveles de sonoridad y tiempos de reverberación necesarios para garantizar un entorno óptimo de trabajo y producción de audio en un área con niveles de ruido ambiental fluctuantes. Se consideran las regulaciones gubernamentales, como el Código de Edificación, la Ley 1540 y la normativa IRAM 4044, para asegurar el cumplimiento de los valores límite de ruido. Además, se aborda el acondicionamiento acústico y se evalúa el sistema de monitoreo 3D basado en la tecnología Dolby Atmos. Este informe ofrece una visión general de los procesos esenciales en la creación de un espacio acústico óptimo para el diseño de un control room.

2. Estado del Arte

El control room de una sala de grabación es el lugar donde se toman decisiones sobre lo grabado, por lo que se busca que sea acústicamente “transparente”, es decir, evitar la reacción de la sala ante los estímulos sonoros e influenciar en la crítica del operador.

No se cuenta con bibliografía de las condiciones de los primeros *control rooms*, sino tan solo con algunas descripciones y fotografías de los mismos dado que no se contaba con equipos de medición acústica y se reservaban para el uso en laboratorios [1].

En 1966, la BBC publica recomendaciones para la construcción de controles de estudios de *broadcasting* [2]. La misma pretende presentarse como una guía para el uso de absorbentes y así lograr control sobre el tiempo de reverberación en estudios. También en 1966, John Volkmann presenta un trabajo en el que se revisan los requisitos desde el punto del control de la energía reflejada temprana, de los componentes de energía directa y reverberante en el espacio del estudio [3].

A finales de los años 70, Don Davis y Chips Davis introducen el concepto de salas de control LEDE (Live-End, Dead-End) [4], las cuales se basan en algunos criterios psicoacústicos como el efecto Haas y los aspectos direccionales de la audición humana. Su geometría y distribución de materiales está diseñada para producir una zona libre de reflexiones tempranas (RFZ) alrededor de la posición de escucha. De este modo, el control room se divide en dos grandes áreas: la mitad delantera que será, en gran medida, absorbente, y la trasera, reflectante y con difusores.

A principios de la década de 1994, Tom Hidley desarrolló un nuevo principio para los diseños de salas de control denominado "Non-Evironment" [5]. La característica de este tipo de salas es buscar que, tanto la pared frontal de la sala de control, así como el suelo, sean lo más reflexivas posible. Las superficies restantes son tratadas buscando que sean de la mayor absorción posible. Los monitores son colocados al ras de la pared frontal a modo de búsqueda de que la misma sirva como una extensión del bafle y llevar así a los altavoces a una situación similar a una terminación anechoica.

En 2010, Petrović y Dadović presentan en su trabajo "*Diseño acústico de salas de control para la producción y reproducción estéreo y multicanal: un enfoque novedoso*" [6] un diseño denominado "Ambechoic" cuya base se centra en la aplicación de difusión y absorción de manera homogénea para lograr una transición fluida del sonido dentro del control room emitido por distintos tipos de sistemas de reproducción. Este diseño es en el cual se basa el presentado en este trabajo.

3. Marco Teórico

3.1 Diseño Ambechoic

Petrović y Dadović [6] llevaron a cabo la concepción de un diseño denominado "Ambechoic" para recintos de dimensiones reducidas, conocido como "Myroom". Su objetivo principal consistía en lograr una transición fluida en la reproducción de sonidos emitidos por diferentes tipos de sistemas de sonido, tales como estéreo, binaural y surround. Para ello, se basaron en la aplicación de dos principios fundamentales: el principio de difusión y el principio de absorción, implementados de manera homogénea en todas las superficies de reflexión, a excepción del suelo.

En lo que respecta a la difusión, se optó por el uso de difusores que operan en frecuencias por encima de 1 kHz. Esta elección se justifica debido a que en espacios pequeños, todas las superficies se encuentran en proximidad al oyente, y la distancia entre el oyente y los difusores debe ser al menos tres veces la longitud de onda más baja a diseñar [7]. Cabe señalar que la profundidad de los difusores está directamente relacionada con la frecuencia mínima de difusión efectiva, y que el tamaño de los mismos guarda una relación directa con su costo. Como resultado, surge una relación de compromiso entre el espacio disponible, las frecuencias en las que actúan los difusores y su coste económico.

En lo concerniente a las bajas frecuencias, específicamente aquellas por debajo de los 250 Hz, se busca lograr la máxima absorción posible con el fin de mitigar los efectos inducidos por los modos propios del recinto. Este enfoque sigue las pautas de los diseños denominados "no-ambientales". Sin la consideración de esta condición, la eficacia de la difusión sería insatisfactoria, ya que los modos propios del recinto crearían interferencias acústicas. Estas condiciones de diseño se ilustran en la Figura 1.

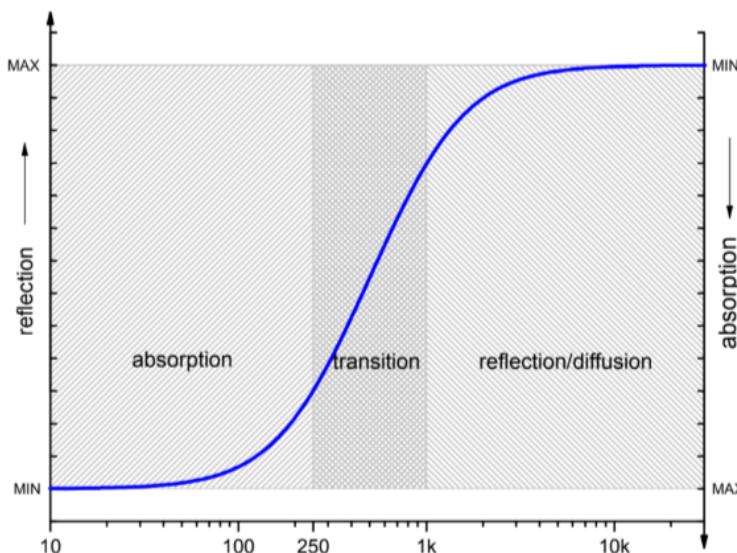


Figure 1: Condiciones iniciales del diseño de paredes y techos.

Como resultado de estos principios de diseño, en gran parte de la sala, los reflejos acústicos se encuentran al menos 20 dB por debajo del nivel del sonido directo. Desde la perspectiva del oyente, el sonido ya no proviene de un solo punto en la pared, sino de varios puntos a lo largo de la misma. Como consecuencia de esta distribución de las fuentes de sonido en lugar de reflejos fuertes y dispersos provenientes de paredes planas, se llenan los espacios entre reflexiones con una densa colección de reflexiones tempranas, aunque de baja intensidad. Estas reflexiones poseen una amplitud lo suficientemente reducida como para no tener un efecto significativo en la imagen estéreo.

Además, se observa una reducción en la "coloración" del recinto, debido al suavizado de la respuesta en frecuencia ocasionado por la multiplicidad de retardos en la llegada del sonido desde los difusores. Esta característica también contribuye a reducir los efectos de enfoque lejos de la posición de escucha óptima, dando lugar a una degradación más gradual del entorno de escucha fuera de la posición óptima.

3.2 Tiempo de Reverberación

El Tiempo de Reverberación (RT) se define como el período necesario para que la intensidad del sonido disminuya en 60 decibeles (dB) después de la interrupción de la fuente de sonido. Esta norma de medición, que utiliza una reducción de 60 dB como referencia, proporciona una métrica objetiva para evaluar las características acústicas de una sala.

El RT es esencial para la caracterización de la acústica de una sala, ya que influye en la calidad del sonido en diversas aplicaciones, como salas de conciertos, estudios de grabación y aulas.

Para obtener los tiempos de reverberación T_{30} y (T_{20} , se consideran rangos dinámicos de menos de 60 dB y se extrapolan a partir de T_{60} . T_{30} se define como el tiempo que tarda la curva de decaimiento del sonido en disminuir desde -5 dB hasta -35 dB por debajo del nivel inicial, mientras que (T_{20} se define como el tiempo que tarda en disminuir desde -5 dB hasta -25 dB.

Estos parámetros de tiempo de reverberación proporcionan una comprensión detallada de cómo se comporta el sonido en un espacio y son esenciales en el diseño y la evaluación de entornos acústicos para diversas aplicaciones. Este fenómeno se refleja claramente en la Figura 2, donde se observa la igualdad de estos parámetros cuando se cumple la condición de decaimiento lineal.

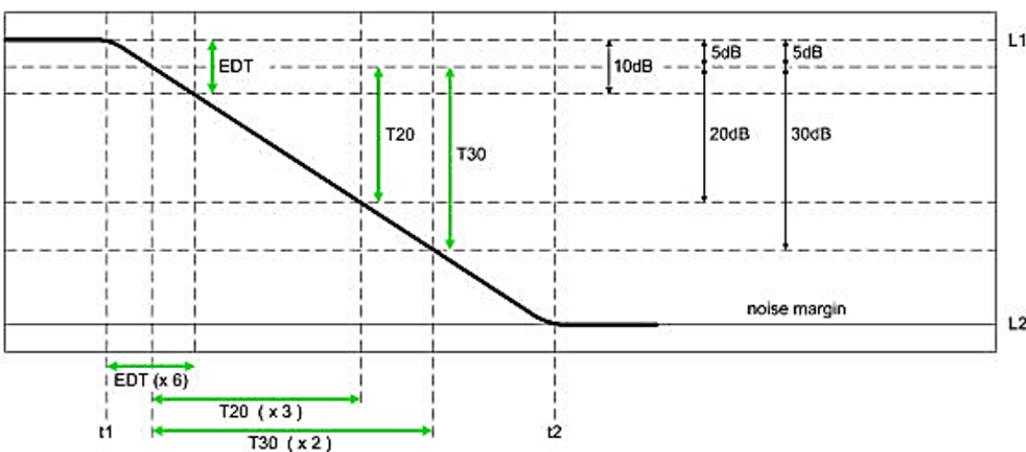


Figure 2: Tiempo de reverberación.

3.3 Aislamiento Acústico

Los niveles de ruido en la sala de control deben ser muy bajos, ya que se trata de un entorno de escucha crítico. Además, el sonido dentro del recinto no debe dañar los recintos vecinos. Considerando una sala de control como espacio de trabajo, se establece que el nivel de presión acústica no debe superar los 85 dBA. Por su parte, la Ley N° 1540 y su decreto reglamentario N° 740 establecen un nivel en salas de control de estudios de grabación de 110 dBA [8], aunque este no es un nivel realista para el ambiente de las salas de control. La estructura del estudio debe presentar un aislamiento acústico suficiente para tener un ambiente interior controlado del ruido de fondo y no contaminar las zonas vecinas. Las recomendaciones de la AES establecen que en cuanto a los entornos de escucha de las salas de control, lo ideal es que el ruido de fondo sea inferior a la curva NR10 [9]. Además, para garantizar los niveles de ruido adecuados en la sala de control, se recomienda utilizar la norma IRAM 4044 [10] y el código de edificación del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires [11]. Estas normativas establecen los requisitos y estándares de aislamiento acústico para los espacios de trabajo, asegurando un ambiente interior controlado y evitando la contaminación sonora en las zonas vecinas.

3.4 Ventilación

Se considera que una persona trabajando de manera normal emite entre 0.08 y 0.13 m³/h de CO₂ [8]. Esta emisión resulta en un aumento de la concentración de dióxido de carbono en un espacio cerrado. En el aire libre se estima que la concentración de CO₂ es de 400 ppm, y de acuerdo a la normativa (?), un máximo de 800 ppm es recomendable para un ambiente laboral. Por lo tanto, para el sistema de ventilación se deberá determinar la cantidad de renovaciones por hora necesarias del sistema de ventilación a fin de mantener la concentración de CO₂ por debajo del valor establecido. Además, se deberá tener en cuenta que la velocidad del aire dentro de los ductos de ventilación no produzca ruidos por turbulencia. Para determinar la concentración de CO₂ en un ambiente se utiliza la Ecuación 1.

$$c = \frac{q}{n \cdot v} \left(1 - \frac{1}{e^{nt}} \right) + (c_0 - c_i) \left(\frac{1}{e^{nt}} \right) c_i \quad (1)$$

donde:

c: concentración de dióxido de carbono en el ambiente en m³/m³

q: dióxido de carbono aportado al ambiente por una persona en m³/h

n: número de renovaciones por hora

V: Volumen del ambiente en m³

t: tiempo en horas

c_i : concentración de dióxido de carbono en la entrada de la ventilación en m^3/m^3
 c_0 : concentración de dióxido de carbono inicial en el ambiente en m^3/m^3

De esta manera, para una concentración por debajo de los 800 ppm, se debe obtener la cantidad de renovaciones por hora que resulta en ese valor de concentración de CO₂.

3.5 Difusores Unidimensionales QRD y su Diseño

El diseño de los difusores unidimensionales QRD se enfoca en la selección de parámetros críticos, que incluyen la elección de un número primo específico, una profundidad máxima de las ranuras y una determinada anchura. Este enfoque tiene como objetivo principal lograr una dispersión óptima del sonido en un rango de frecuencias específico, y esta optimización depende de la relación entre las dimensiones mencionadas.

En este contexto, se observa que la frecuencia más alta en la cual se logra una eficiente dispersión del sonido aumenta a medida que se reduce la anchura de las ranuras, mientras que la frecuencia más baja disminuye conforme se incrementa la profundidad máxima.

No obstante, es importante destacar que existe un límite en la relación entre la anchura y la profundidad de las ranuras. Ranuras estrechas y profundas pueden provocar una absorción acústica excesiva. Este límite práctico restringe el margen útil de frecuencias de los difusores unidimensionales QRD a aproximadamente tres octavas. Por encima de este rango, los difusores tienden a comportarse como superficies planas [12].

La secuencia numérica utilizada para definir la geometría de los difusores unidimensionales QRD se rige por la Ecuación 2:

$$S_n = n^2 \mod p \quad (2)$$

Donde: p es un número primo, n es un número entero que varía de 0 a $p - 1$, y \mod es la operación matemática módulo, que indica que cada valor de S_n se obtiene como el resto o residuo del cociente entre n^2 y p .

3.6 Teoría de las Frecuencias de Funcionamiento en Difusores Acústicos

Para determinar las frecuencias, se recurre a la teoría de números de M. Schroeder, que establece que la frecuencia máxima de funcionamiento del difusor se describe mediante la Ecuación 3, y la frecuencia mínima se expresa mediante la Ecuación 4.:

$$f_{\max} = \frac{c}{2w} \quad (3)$$

$$f_{\min} = \frac{c}{2d_{\max}} \quad (4)$$

Donde: c es la velocidad del sonido, w es el ancho de cada uno de los valores dentro de la secuencia del difusor, y d_{\max} es la altura máxima dentro de la secuencia.

4. Procedimiento

4.1 Diseño del control room

El diseño de un Control Room representa un elemento fundamental en la creación de entornos acústicamente óptimos y eficientes para la grabación, mezcla y producción de audio. Para este proyecto, se propone un método constructivo basado en estructuras de domos geodésicos como alternativa para evitar paredes paralelas y reducir la energía de los modos axiales.

Un domo geodésico es una estructura arquitectónica que se construye mediante la subdivisión de los triángulos formados en una esfera o un elipsoide, generando una cúpula con diversas formas y tamaños.

El diseño de Control Rooms se ha caracterizado históricamente por la búsqueda de soluciones que minimicen los problemas asociados a los modos acústicos, con el objetivo de crear espacios que ofrezcan una acústica precisa y controlada. La propuesta de utilizar domos geodésicos en lugar de salas rectangulares se basa en una serie de ventajas notables [13].

En primer lugar, los domos geodésicos destacan por su capacidad para encerrar un amplio volumen con la menor área de superficie posible. Esto es especialmente relevante para lograr una distribución eficiente de equipos y la disposición de altavoces y monitores.

La flexibilidad de diseño que ofrecen los domos geodésicos es otro aspecto destacado. La disposición de ventanas y la ausencia de soportes estructurales internos permiten una configuración personalizada del espacio interior, adaptada a las necesidades específicas del Control Room.

La versatilidad de los domos geodésicos en términos de construcción y sus beneficios acústicos notables abren un amplio espectro de posibilidades para futuras aplicaciones. El diseño y construcción de domos geodésicos no se limita únicamente a Control Rooms; más bien, esta propuesta podría considerarse como un método constructivo revolucionario con aplicaciones variadas.

Para ello, se aprovecharía la eficiencia energética de los domos, actuando como concentradores de luz y calor para prevenir la pérdida de calor del interior y permitir una ventilación óptima. La resistencia estructural de los domos geodésicos es otro factor significativo, ya que su forma geodésica distribuye las fuerzas de manera eficiente, lo que se traduce en una alta capacidad para resistir vientos, sismos y cargas de nieve. La aplicación del principio de tensegridad en la construcción de domos geodésicos contribuye a la estabilidad estructural, garantizando un entorno seguro y fiable para operaciones de grabación y mezcla.

Finalmente, su eficiencia en términos de espacio interno en relación con el costo de materiales los hace atractivos para una amplia gama de proyectos. En la Figura 3 se muestra el esquema del diseño.

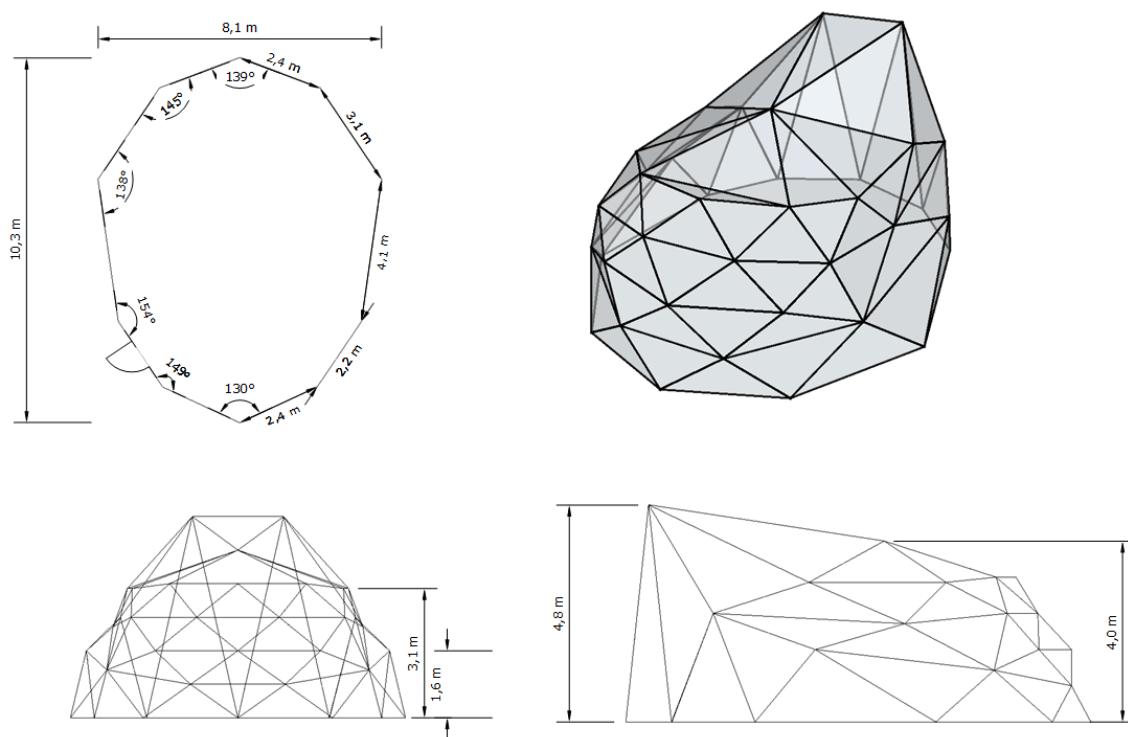


Figure 3: Esquema del diseño del control room propuesto.

4.2 Aislamiento acústico

La ubicación en donde se sitúa la sala de grabación es en Deheza, entre Arcos y Cuba en el barrio Nuñez, Capital Federal, Argentina. En el Anexo A1 se observa un mapa de la inmediación. Según el mapa de ruido emitido por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (CABA), la medición de ruido ambiental diurno en el lugar se emite un nivel que varía entre 50-55 dB. [14]

Por lo tanto, se tiene en cuenta la normativa de código de edificación [11], la Ley 1540 [8] y se utiliza la información de la normativa IRAM 4044 [10] con el fin de establecer valores límites de ruido aceptables en ambientes desocupados (sin personas), a través de los criterios Noise Criterion Curve y el Room Criteria Curve. En ella, se especifica el nivel necesario en la fachada y contra fachada del sistema, así como también, los niveles de aislamiento requeridos/recomendados para tabiques internos y externos, esto se observa en la Tabla 1

Table 1: Niveles de aislamiento requeridos/recomendados para tabiques internos según el Código de Edificación de CABA y la norma IRAM 4044.

Tabique interno	Aislamiento al ruido aéreo in situ R'w (dB)		
	CABA	IRAM 4044 -I	IRAM 4044 - II
Muros divisorios entre distintos propietarios	50	50	56
Muros divisorios internos de cada propiedad	38	35-42	41-48
Muros divisorios con locales ruidosos	55	54	60
Divisorios horizontales entre distintas propiedades	50	50	56

El nivel recomendable de escucha dentro del control room es de 70 - 85 dBC [15] ya que en estos niveles se tiene una sonoridad similar en un amplio rango de frecuencia, de acuerdo con las curvas de Fletcher-Munson. Por lo tanto, para determinar el nivel de aislamiento (TL) que se necesita entre los espacios linderos según la normativa utilizada, es lo que se observa en la Tabla 2

Table 2: Aislamiento necesario

Frecuencia [Hz]	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
NC - 20 [dB]	51	40	33	26	22	19	17	16
Nivel de escucha en el control room [dB]	85	85	85	85	85	85	85	85
Transmission Loss [dB]	34	45	52	59	63	66	68	69

Para lograr el nivel de aislamiento (TL) requerido, se utiliza el software de la empresa AFMG Soundflow, en donde este se utiliza para estimar los niveles de atenuación de las superficies compuestas.

En la implementación de aberturas destinadas a la mitigación de la transmisión de ruido, se optó por la utilización de la puerta acústica modelo A8, producida por la firma *Decibel*. Estas puertas, pertenecientes a la gama de productos Sistema Moduline, se caracterizan por su elevada eficiencia en la preservación de la calidad acústica del entorno en el que se instalan.

Cabe destacar que esta puerta acústica cuenta con una capacidad de atenuación sonora, expresada mediante el índice de Reducción de Ruido (RW), de 49 dB. Dicha cifra satisface los estándares y requisitos establecidos por las normativas pertinentes, como se detalla con mayor amplitud en el Anexo B4, donde se proporcionan detalles adicionales relacionados con sus propiedades técnicas y su conformidad con las regulaciones aplicables.

4.3 Ventilación

De la Ecuación 1, se establece que para el peor caso de emisión por persona de $0.13 \text{ m}^3/\text{h}$, en un ambiente con un volumen de 190 m^3 , con 5 personas trabajando en simultaneo en un período de 8 horas, se necesitan unas 9 renovaciones de aire por hora para encontrarse por debajo de las 800 ppm de concentración de dióxido de carbono recomendadas.

Para lograr 9 renovaciones de aire por hora, en un ambiente con un volumen de 190 m^3 , se requiere un equipo de ventilación con un flujo de aire de $1710 \text{ m}^3/\text{h}$. Es por esto que se optó por el equipo Mitsubishi MGPEZ 100-VJA, el cual cuenta con un caudal de aire de $2040 \text{ m}^3/\text{h}$. Toda la información del equipo se encuentra en su hoja de datos en el Anexo B1.

Luego, se determina la sección de los conductos utilizando como criterio una velocidad del aire no mayor a 2 m/s , para evitar ruidos por turbulencia. Un flujo de $1710 \text{ m}^3/\text{h}$, o $0.475 \text{ m}^3/\text{s}$, viaja a una velocidad de 2 m/s cuando el área del conducto es de 0.2375 m^2 . Por ello, se optó por conductos rectangulares de $700 \times 400 \text{ mm}$ (cuya sección es de 0.28 m^2), formados por paneles rígidos Climaver, cuya hoja de datos se encuentra en el Anexo B2 y B3.

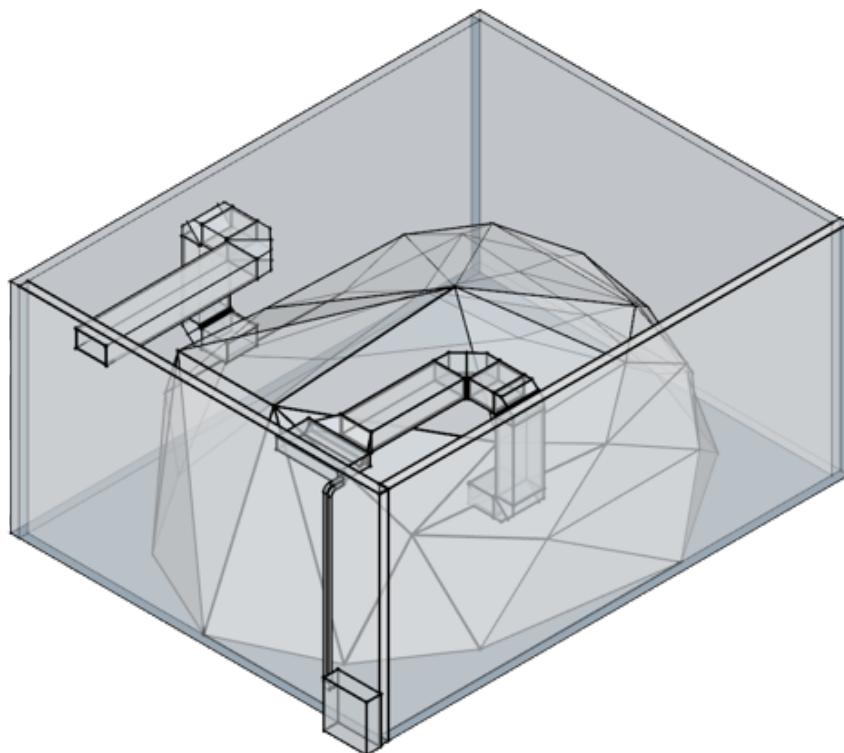


Figure 4: Sistema de ventilación con conductos aplicado al control room.

4.4 Acondicionamiento acústico

Las superficies difusoras se fundamentan en los principios de los difusores numéricos curvos y la optimización de secuencias numéricas para mejorar su rendimiento acústico. La búsqueda de secuencias numéricas adecuadas para los difusores se inicia con el objetivo de cumplir con la condición de producir un bajo Coeficiente de Autocorrelación de Cuadrados Finales (ACQF), lo que se traduce en una mayor eficacia en la dispersión de la energía sonora.

Para evaluar la idoneidad de las secuencias numéricas en términos de dispersión acústica, se emplea un software desarrollado en Matlab que calcula la autocorrelación de dichas secuencias, generando un valor de ACQF (Factor de Calidad de la Función de Autocorrelación). Cuanto menor sea el valor de ACQF, mejor será la secuencia en términos de dispersión. Este enfoque permite la selección de secuencias que optimicen el rendimiento del difusor, buscando un coeficiente menor a

0,3. Es importante destacar que se determinan las frecuencias específicas con las que se trabajará el difusor, en este caso, en un rango de 1 kHz a 5 kHz. Estas frecuencias se han elegido siguiendo la teoría de los números propuesta por M. Schroeder. Es importante resaltar que el ACQF obtenido supera el rendimiento de los difusores de tipo QRD7. Este avance es particularmente relevante, ya que al reducir el ACQF se logra una notable disminución en la uniformidad espacial del patrón de difusión. El resultado es una distribución coherente de las ondas sonoras a través de un amplio espectro de frecuencias.

La selección de las secuencias numéricas que cumplen con los requisitos de ACQF se realiza mediante un riguroso análisis asistido por un software desarrollado en Matlab, que examina la distribución de los valores generados. Se generan múltiples secuencias numéricas, y se elige una de cada conjunto que cumple con el criterio del ACQF.

Es esencial tener en cuenta que cada tipo de difusor puede requerir secuencias numéricas distintas para optimizar su desempeño.

Se empleó el software Reflex para analizar el coeficiente de scattering. Por último, se hace uso del software AutoCAD para la creación de los módulos de los difusores que previamente han sido simulados en Reflex. Utilizando el comando "SPLine," se efectúa la transformación de los módulos en perfiles curvos numéricos. Esta elección por módulos curvos numéricos es motivada por su capacidad para mejorar el desempeño, especialmente en altas frecuencias, donde el coeficiente de scattering tiende a aumentar significativamente. El resultado es una respuesta acústica más extendida en términos de la frecuencia mínima alcanzada, en comparación con las implementaciones previas.

4.5 Sistema de Monitoreo

Para el sistema de monitoreo 3D se optó por utilizar la tecnología Dolby Atmos, la cual permite generar una experiencia envolvente utilizando objetos sonoros que primero se renderizan en el espacio y luego se reproducen en los monitores. Para ello, Dolby recomienda un sistema 7.4.1, conformados por 7 monitores a la altura del punto de escucha, 4 monitores elevados y un subwoofer. El equipamiento utilizado se muestra en la figura 5, siendo estos los monitores Focal Alpha 80, Focal Alpha 50 y el subwoofer Adam T10s.



Figure 5: Sistema de monitoreo utilizado.

Para la ubicación de los monitores, se hizo uso de la herramienta provista por Dolby para establecer el posicionamiento de cada uno, junto con sus ángulos de inclinación vertical y horizontal. En la Figura 6 se puede ver una vista de planta y lateral del arreglo 7.4.1 en referencia al punto de escucha.

El punto de escucha del operador (círculo rojo) se establece a (una distancia) de la pared frontal, centrado en el ancho de la sala y a 1,2 m de altura. Los monitores frontales (en celeste) quedarán a la altura de escucha (1.20 m), y tendrán un ángulo de 30° con el eje central. El subwoofer (en violeta) irá posicionado en el piso, a 1.15 m en horizontal del monitor frontal. Los monitores de techo (en azul) estarán a 2 m de alto, los dos frontales a un ángulo horizontal de 48° y los dos traseros a 140°. Por

último los monitores del plano horizontal laterales tendrán un ángulo de 100° y los traseros tendrán un ángulo de 140°.

En la Figura 6 se puede ver una vista del sistema dentro del control room.



Figure 6: Vista del sistema de monitoreo desde el interior del control room.

5. Resultados

5.1 Análisis modal

Con el propósito de capturar y caracterizar el comportamiento acústico de la sala en cuestión, se ejecuta un análisis de frecuencias propias. Este análisis se basa en la metodología de elementos finitos y se efectúa mediante la utilización del software COMSOL Multiphysics.

La Figura 7 ilustra de manera gráfica estas tres frecuencias, las cuales corresponden a los primeros modos en cada uno de los ejes. Para una comprensión más detallada y completa de los modos propios presentes en la sala, se remite al Anexo A2, A3, A4 y A5, en el cual se proporcionan las representaciones gráficas correspondientes a la totalidad de los modos.

Las frecuencias que inciden directamente en el sweet spot, es decir, el punto de escucha, son aquellas en las cuales se identifica que el valor mínimo de presión sonora se localiza precisamente en dicho punto. Esto se manifiesta claramente en el caso de la frecuencia de 29 Hz. No obstante, existen situaciones en las cuales esta condición no se verifica, como se puede apreciar en las frecuencias de 21 Hz y 37 Hz. Por otra parte, en la frecuencia de 29 Hz, se ha constatado que el mínimo de la onda estacionaria se localiza de manera precisa en el punto de escucha crítica. Esta observación reviste gran importancia en el contexto del tratamiento acústico de la sala en cuestión.

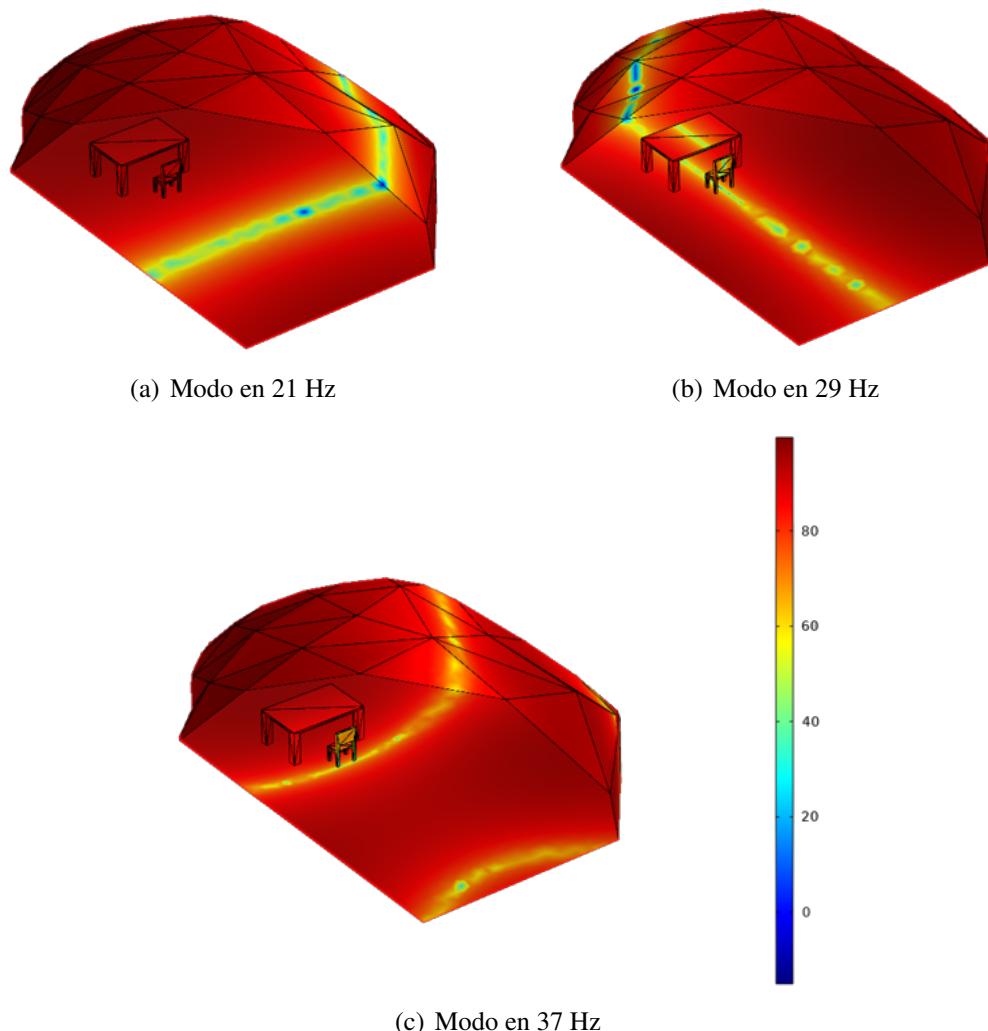


Figure 7: Nivel de presión sonora [dB] en las frecuencias de los modos de resonancia de la sala simulados en COMSOL Multiphysics.

Este fenómeno, en el que el mínimo de la onda estacionaria coincide con el punto de escucha crítica, es fundamental en la caracterización de los modos propios de la sala y su influencia en la calidad acústica del espacio. Estas situaciones, en las que la resonancia se concentra en el lugar donde se encuentra el oyente crítico, son de particular relevancia en el análisis y diseño acústico, ya que pueden afectar significativamente la percepción del sonido en el entorno y, por ende, la experiencia auditiva en dicho espacio. Este análisis se lleva a cabo hasta la frecuencia de Schroeder el cual es de 90 Hz.

5.2 Tiempo de reverberación

A partir del acondicionamiento acústico propuesto para el control room, se procede a simular una medición de tiempo de reverberación utilizando una fuente omnidireccional y 12 puntos de escucha. En la figura 8 se puede ver el TR obtenido por bandas de tercio de octava junto con su incertidumbre asociada. Este también se compara con el tiempo de reverberación objetivo, el cual es de 0.31 s, y con los límites de tolerancia establecidos por la AES.

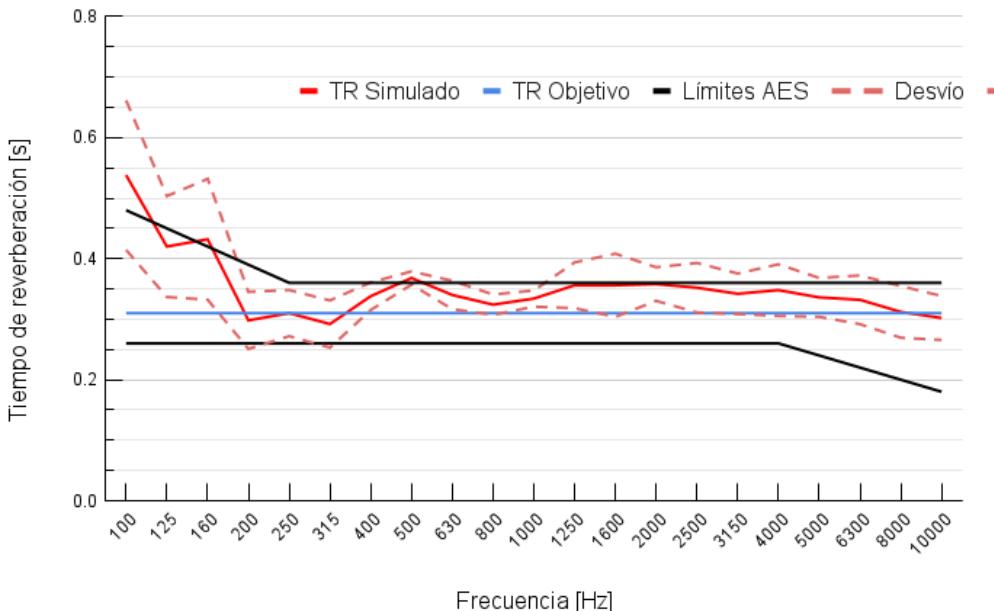


Figure 8: TR simulado con EASE.

Si se observa la curva roja correspondiente al TR promedio de las 12 posiciones, esta se encuentra prácticamente en su totalidad dentro de los límites establecidos, excepto por algunos puntos en 100, 160 y 500 Hz. Este resultado se consideró aceptable, ya que para reducir el tiempo de reverberación en baja frecuencia se requieren dimensiones de los resonadores que resultan irrealizables. Por encima de 1 kHz, el tiempo de reverberación se encuentra dentro de los límites establecidos, aunque la incertidumbre asociada por momentos los supera. Si se quisiera bajar el TR por encima de 1 kHz, se debería recurrir a la inclusión de material fonoabsorbente.

5.3 Aislación acústica

Con el objetivo de lograr el aislamiento acústico necesario en el control room, se ha planteado una aislación independientes para las paredes, el techo y el piso. Estos tres parámetros se combinan para formar una estructura tipo "box-in-box," lo que permite el desacoplamiento mecánico del recinto y, por lo tanto, mejora la eficiencia del aislamiento sonoro.

En cuanto a la estrategia de aislamiento para las paredes, se ha elegido una aproximación que consiste en tomar la pared estructural original, compuesta por ladrillos de 300 mm de espesor, y transformarla en un sistema masa-resorte-masa. Esta transformación se logra mediante la adición de una cavidad de aire de 50 mm de espesor y la colocación de una placa de yeso Durlock de 12.5 mm. Para evitar resonancias no deseadas en la cavidad y, al mismo tiempo, mejorar el rendimiento del aislamiento, se ha incorporado una capa de lana de mineral para Muros de Isover de 70 mm, seguida de una capa de Fonac Barrier de 4 mm, y finalmente, otra placa de yeso Durlock de 15 mm. La estructura resultante de este enfoque se representa en el Anexo A8. Las pérdidas por transmisión de las paredes se muestra en la Tabla 3

Table 3: Pérdidas por transmisión de las paredes exteriores e interiores.

Paredes	Frecuencia [Hz]						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de escucha [dB]	85	85	85	85	85	85	85
TL [dB]	51.58	49.09	89.49	119.96	144.14	184.15	198.9

Para abordar el aislamiento acústico en el techo de la sala, se ha optado por la instalación de un sistema de cielo raso flotante utilizando los hangers HANGER H-45 de la empresa C&M.

El diseño comienza desde el techo estructural original, que consiste en una losa de 110 mm de espesor. A partir de ahí, se incorpora una cámara de aire de 50 mm, seguida de una capa de lana mineral de la marca ISOVER con un espesor de 70 mm. Posteriormente, se añaden dos placas de yeso: una de 12.5 mm y otra de 15 mm, separadas por una capa de Fonac Barrier de 4 mm de espesor.

El diseño final se encuentra detalladamente representado en el Anexo A9. Las pérdidas por transmisión de en el techo se muestra en la Tabla 4

Table 4: Pérdidas por transmisión del techo.

Techo	Frecuencia [Hz]						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de escucha [dB]	85	85	85	85	85	85	85
TL [dB]	42.89	50.97	74.71	97.3	114.11	132.89	147.42

Para abordar el aislamiento acústico del piso de la sala, se ha optado por la utilización de antivibradores PAD-45, proporcionados por la empresa C&M. La construcción de esta sección del recinto implica la creación de una matriz de pads que actúan como soportes para el peso de las paredes, mientras que el techo está sostenido por los hangers mencionados previamente. Para asegurar que los antivibradores de piso se ubiquen de manera adecuada y que la carga se distribuya de manera eficiente, se construye una estructura de madera en forma de grilla, cuya altura es de 86 mm. Bajo esta estructura de madera, se dispone lana mineral de la marca ISOVER con un espesor de 70 mm.

Sobre esta estructura, los pads se fijan de manera estable, y encima se coloca una placa de yeso de ISOVER de 12.5 mm. Posteriormente, se construye un nuevo piso aislado del piso estructural original. En este proceso, se instala una membrana asfáltica de 4 mm, seguida de otra placa de yeso de 15 mm. Finalmente, se agrega un piso flotante de 10 mm de espesor con el propósito de proporcionar una terminación estética al piso.

El procedimiento descrito se ilustra de manera detallada en el Anexo A10, y ha sido diseñado con el objetivo de proporcionar un aislamiento acústico efectivo en el piso del recinto, lo que contribuye de manera significativa al control del entorno sonoro en la sala. Las pérdidas por transmisión el piso se muestra en la Tabla 5

Table 5: Pérdidas por transmisión del piso.

Piso	Frecuencia [Hz]						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de escucha [dB]	85	85	85	85	85	85	85
TL [dB]	46.67	71.96	93.94	114.71	133.12	147.06	169.18

En el Anexo C1, C2 y C3 se encuentra las pérdidas por transmisión de las paredes, techo y piso, en conjunto con los niveles trascendentes de inmisión a la sala de control y de la sala de control al exterior por bandas de octava. Los difusores se muestran en el modelo de la Figura

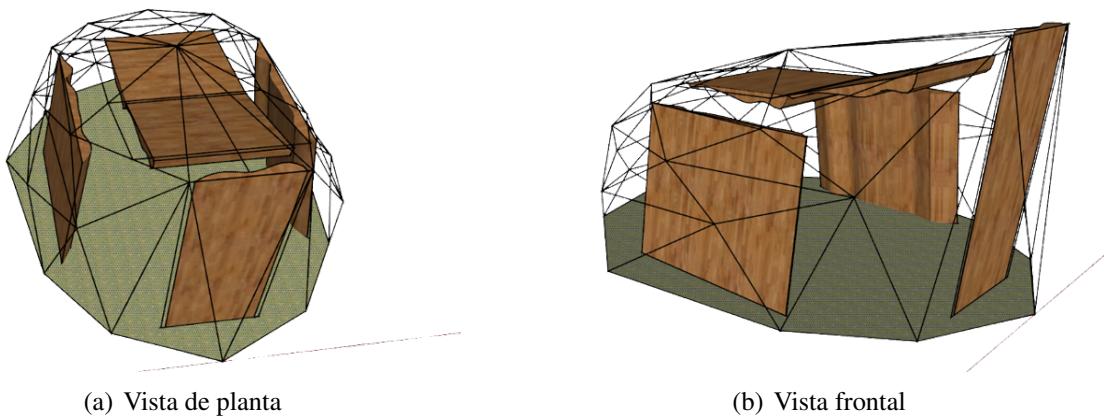


Figure 9: Difusores en el control room.

5.4 Acondicionamiento acústico

5.4.1 Revestimiento

El piso del Control Room estará cubierto con una alfombra. Este material no solo aumenta la comodidad en el espacio, sino que también reduce las reflexiones y la reverberación sonora, creando un ambiente de trabajo más controlado y preciso.

En las paredes laterales, el techo y la pared trasera del Control Room, se instalarán los difusores acústicos diseñados. Estos difusores minimizarán las reflexiones directas y reducirán los efectos de las ondas estacionarias.

En la parte frontal, detrás de la mesa de control, se instalarán difusores absorbentes específicos para las bajas frecuencias, asegurando una respuesta de frecuencia equilibrada y precisa.

5.4.2 Difusores

Los resultados de la adaptación específica de cada difusor se detallan en la Tabla 6, que presenta las secuencias numéricas utilizadas para cada caso individual.

Table 6: Secuencias de cada difusor y coeficiente ACQF.

Difusor	Celdas	ACQF	Secuencia
Lateral	10	0.2872	[5 9 5 6 6 7 6 2 9 3]
Superior	7	0.2578	[9 6 8 6 3 1 2]
Trasero	5	0.2374	[3 5 3 6 7]

Se emplea el software Reflex para analizar el coeficiente de scattering en relación a uno de los difusores laterales, cuyos resultados se presentan en la Figura 10. Los resultados correspondientes a los demás difusores se encuentran detallados en el anexo A12 y A14. En el anexo también se encuentran los esquemas del modelo para los difusores laterales en A11, difusores superiores en A13 y trasero en A15.

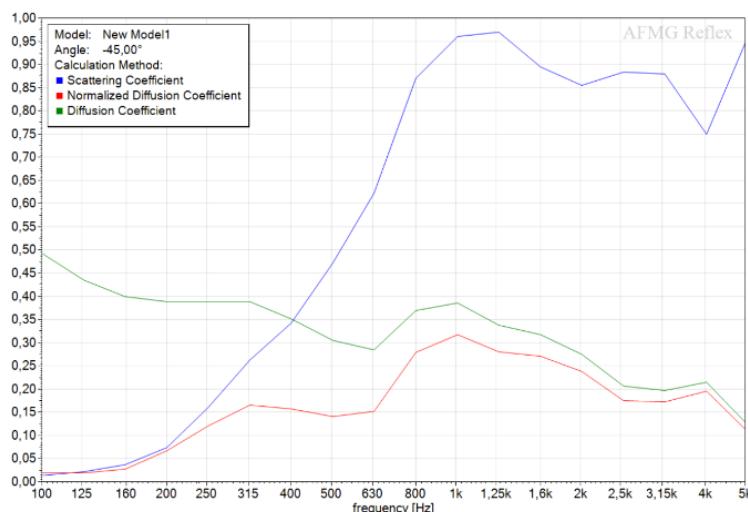


Figure 10: Coeficientes de scattering simulados en el software Reflex del difusor lateral.

Se obtuvieron valores esperados, en los cuales el coeficiente alcanza su punto máximo en proximidad a 1 kHz. Estos valores máximos se mantienen de manera consistente hasta los 5 kHz, con una notoria caída en torno a los 4 kHz, la cual podría potencialmente mejorar con la implementación de difusores curvos.

Es crucial destacar que la simulación en Reflex se lleva a cabo únicamente con difusores numéricos. No obstante, si los resultados de la simulación numérica se consideran aceptables, se considera también que la respuesta del difusor curvo será aún más beneficiosa en términos de dispersión.

Se exhibe el diseño final de los difusores desarrollados en SketchUp en el anexo A16.

6. Conclusión

Los resultados del diseño obtenidos en cuanto a aislación cumplen con las normativas establecidas por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, teniendo en cuenta tanto el ruido ambiental como el nivel de escucha dentro de la sala. A partir del diseño de difusores numéricos curvos y la inclusión de material absorbente de alta densidad, se logró obtener un tiempo de reverberación dentro de la sala que se encuentra prácticamente en su totalidad dentro de los límites establecidos por la AES. Además, el sistema de monitoreo propuesto y su ubicación cumple con los lineamientos sugeridos por Dolby para estudios con mezcla utilizando el sistema Dolby Atmos. Si se quisiera llevar a cabo este diseño, se debe prestar atención al análisis modal de la sala, ya que se encontraron modos en algunas frecuencias que pueden resultar problemáticas en el punto de escucha.

Además, el estudio de otros parámetros acústicos podría detectar problemas de diseño, ya que en el informe realizado solo se analizó el tiempo de reverberación objetivo. A su vez, la comparación Ambechoic con otras alternativas de diseño de control rooms, no solo en los resultados acústicos sino también en los costos de fabricación y tiempo de construcción, permitiría conocer si lo planteado es la mejor opción para lograr el objetivo.

Referencias

1. Jan Voetmann. Acoustic design of the sound control room – a view on the past 50 years. <https://www.voetmann-akustik.dk/50-Years-Of-Acoustic-Design---The-Sound-Control-Room>. Accessed: 2023-10-23.
2. C.L.S. Gilford; A.N. Burd & N.F. Spring. Data for the acoustic design of studios. *BBC Engineering Monograph No. 64 (British Broadcasting Corporation)*, 1966.

3. John E. Volkmann. Acoustic requirements of stereo recording studios. *JAES Volume 14 Issue 4 pp. 324-327*, 1966.
4. Don Davis & Chips Davis. The lede- concept for the control of acoustic and psychoacoustic parameters in recording control rooms. *JAES Volume 28 Issue 9 pp. 585-595*, 1980.
5. P. R. Newell; K. R. Holland & T. Hidley. Control room reverberation is unwanted noise. *Institute Of Acoustics Proceedings Vol,16 Part 4*, 1994.
6. Z. Davidovic and B. Petrovic. Acoustical design of control room for stereo and multichannel production and reproduction - a novel approach. *Audio Engineering Society Convention*, 129(8295):11, 2010.
7. P. Cox, T. J D'antonio. *Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application*. CRC Press, 2009.
8. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Ley 1540. <https://boletinoficial.buenosaires.gob.ar/normativaba/norma/67210#:~:text=El%20objeto%20de%20esta%20Ley,y%20vibraciones%20en%20el%20%C3%A1mbito>, 2004.
9. Multichannel surround sound systems and operations. *aestd1001.1.01-10*. Audio engineering society.
10. Norma IRAM. acústica. protección contra el ruido en edificios. requisitos de aislamiento acústico mínimo. método de medición y clasificación. cerramientos y aberturas, verticales y horizontales, 2015.
11. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Código de edificación. <https://buenosaires.gob.ar/desarrollourbano/nuevo-codigo-de-edificacion>, 2023.
12. Pablo Bongiovanni, Marcelo Cascino, and Marco Sanso. Análisis y diseño de difusores acústicos. *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba*, Mayo 2011.
13. Roberto Antonio Calluqueo Huenchuman. Estudio técnico en construcción de domo geodésico para cafetería, 2019.
14. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Mapa de ruido. <https://buenosaires.gob.ar/impacto-acustico/mapa-de-ruido>, 2023.
15. McDonough. Sweetwater - how loud should you mix? retrieved june. <https://www.sweetwater.com/insync/how-loud-should-you-mix/>, 2022.

Anexo

A. Imágenes

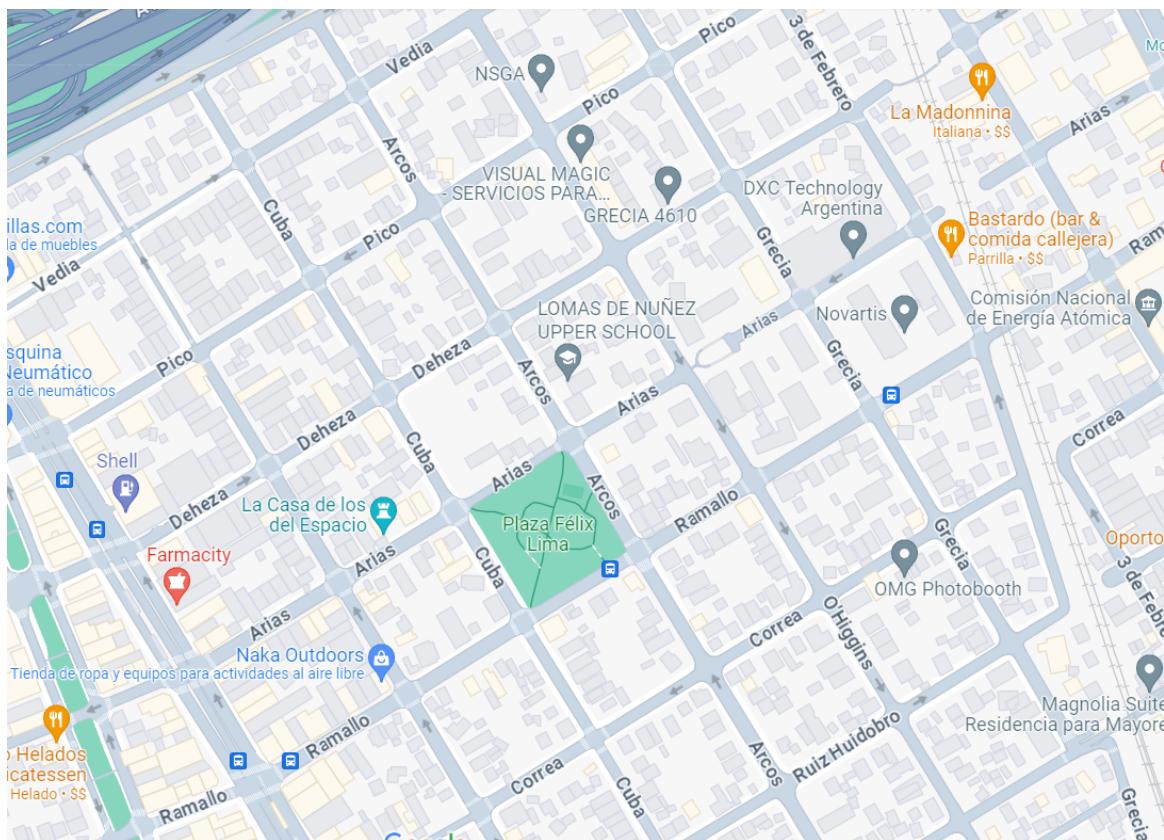


Figure A 1: Ubicación de control room.

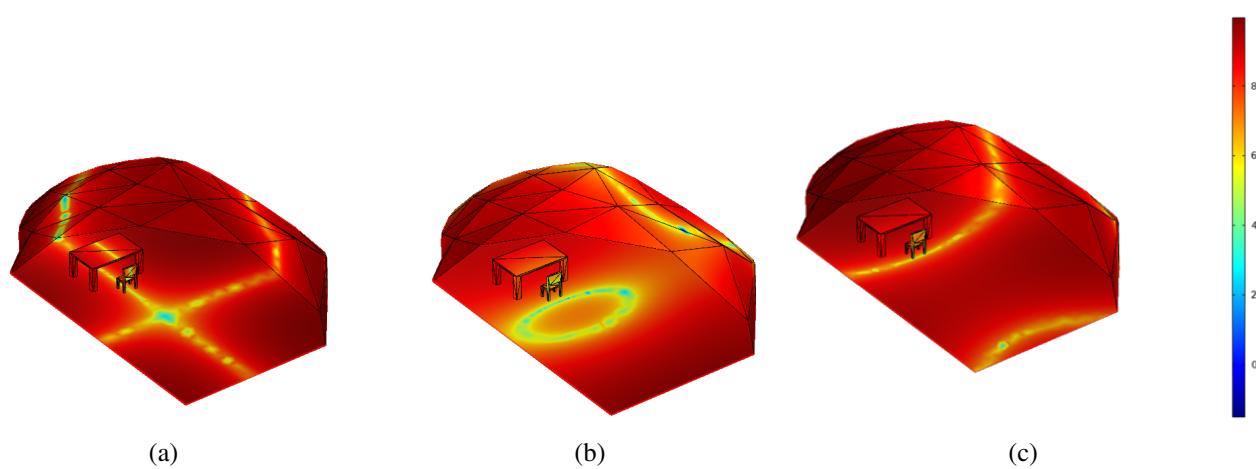


Figure A 2: Modos de resonancia de la sala simulados en COMSOL Multiphysics. En orden de izquierda-derecha: 40 Hz, 42 Hz y 49 Hz

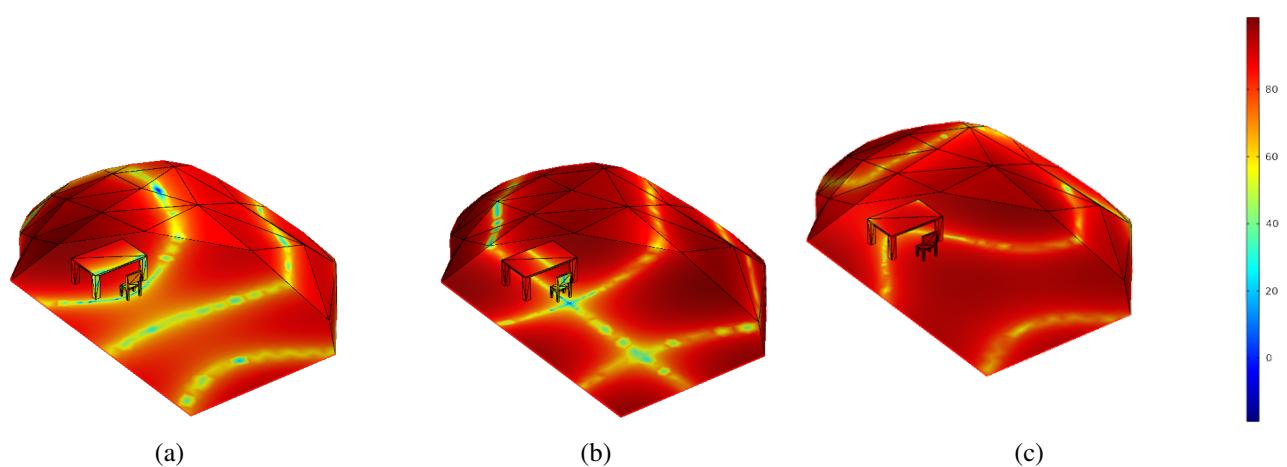


Figure A 3: Modos de resonancia de la sala simulados en COMSOL Multiphysics. En orden de izquierda-derecha: 53 Hz, 54 Hz y 60 Hz

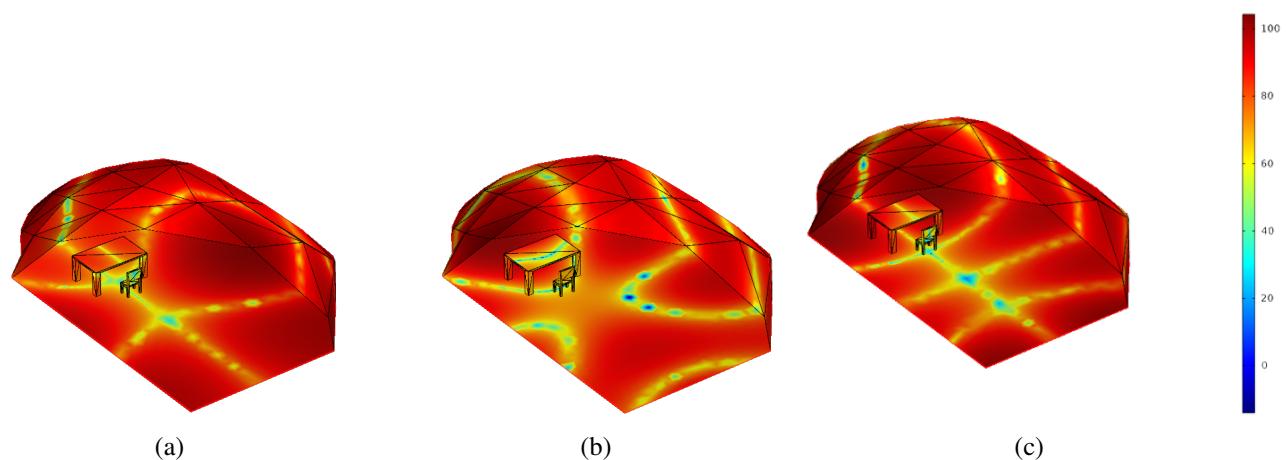


Figure A 4: Modos de resonancia de la sala simulados en COMSOL Multiphysics. En orden de izquierda-derecha: 64 Hz, 66 Hz y 69 Hz

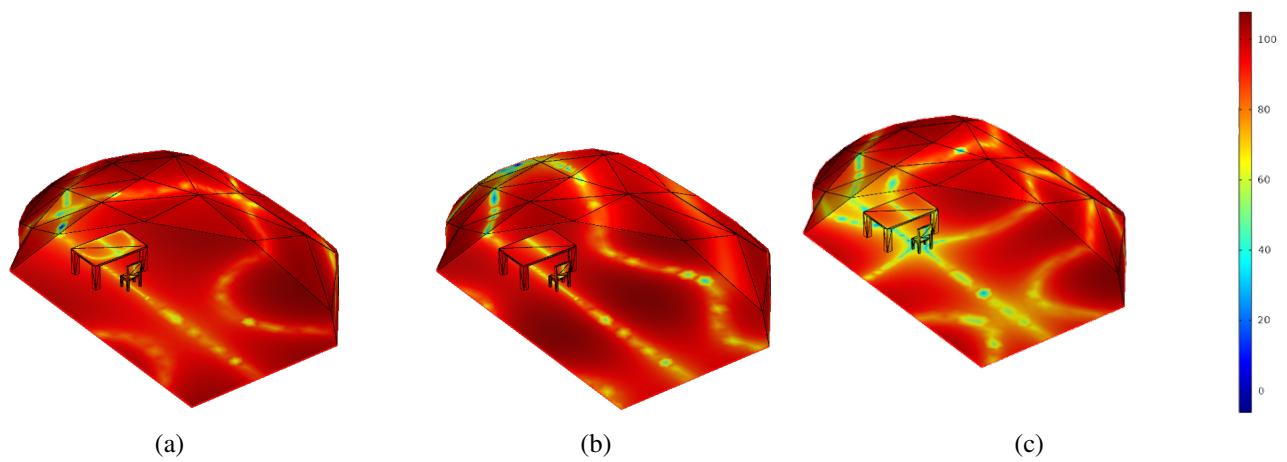
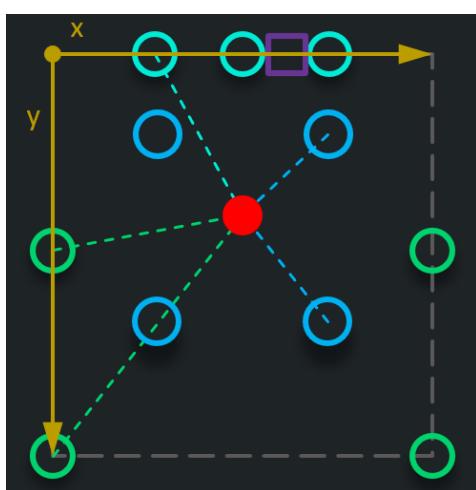
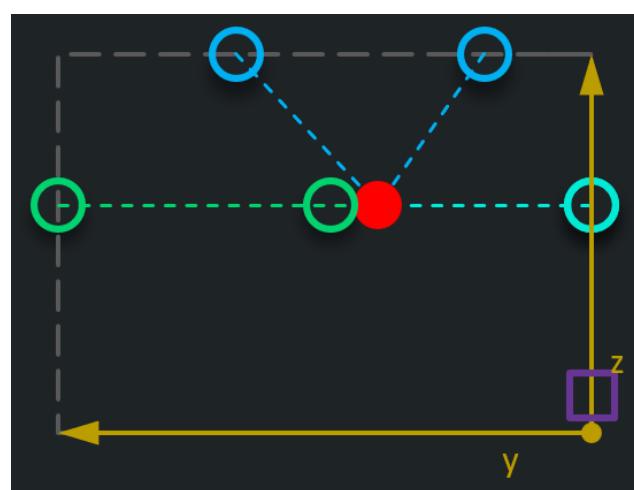


Figure A 5: Modos de resonancia de la sala simulados en COMSOL Multiphysics. En orden de izquierda-derecha: 75 Hz, 79 Hz y 87 Hz

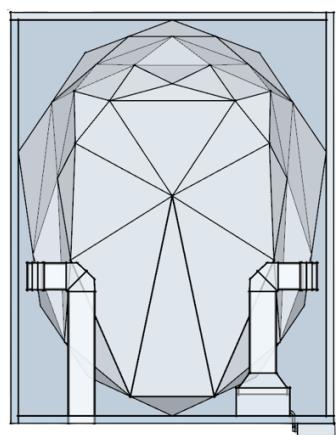


(a) Vista de planta

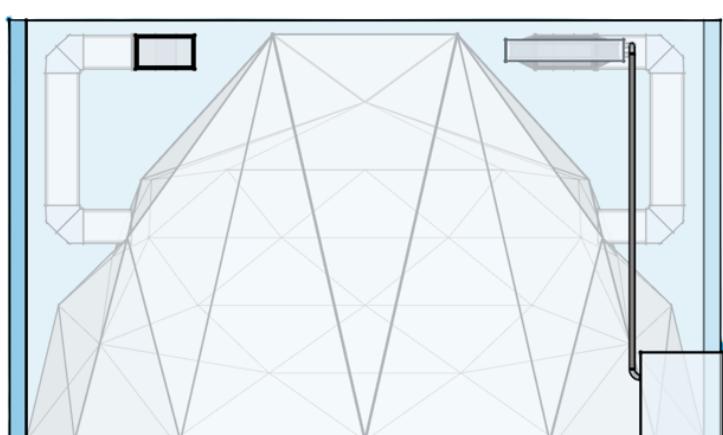


(b) Vista lateral

Figure A 6: Arreglo de monitores 7.4.1 para un sistema de Dolby Atmos.



(a) Vista de planta



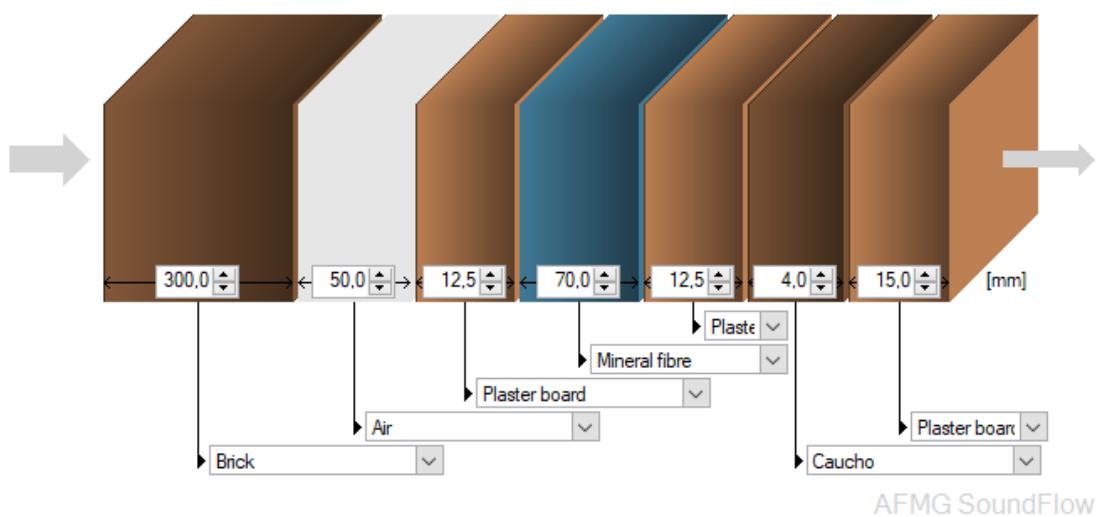
(b) Vista frontal

Figure A 7: Sistema de ventilación con conductos aplicado al control room.



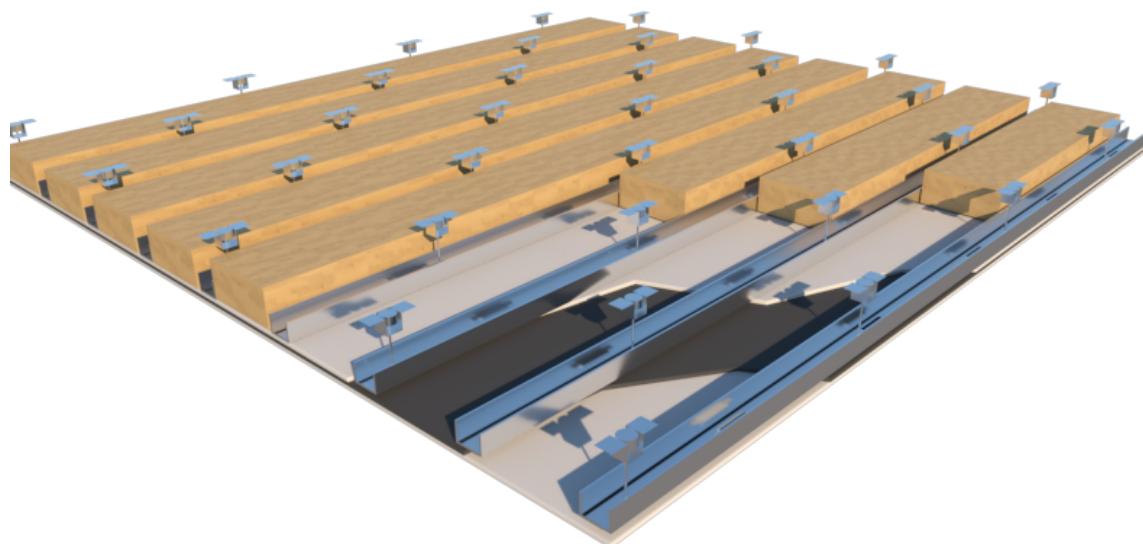
(a) Aislación de paredes

New Structure1*



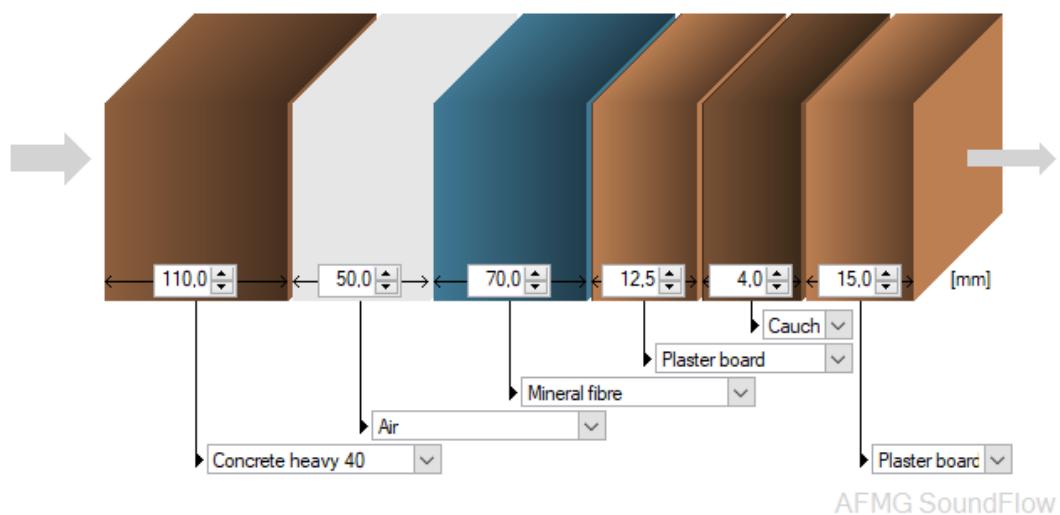
(b) Perdida por transmisión de las paredes simulado en el software Soundflow

Figure A 8: Aislación propuesta para paredes.



(a) Aislación de techo

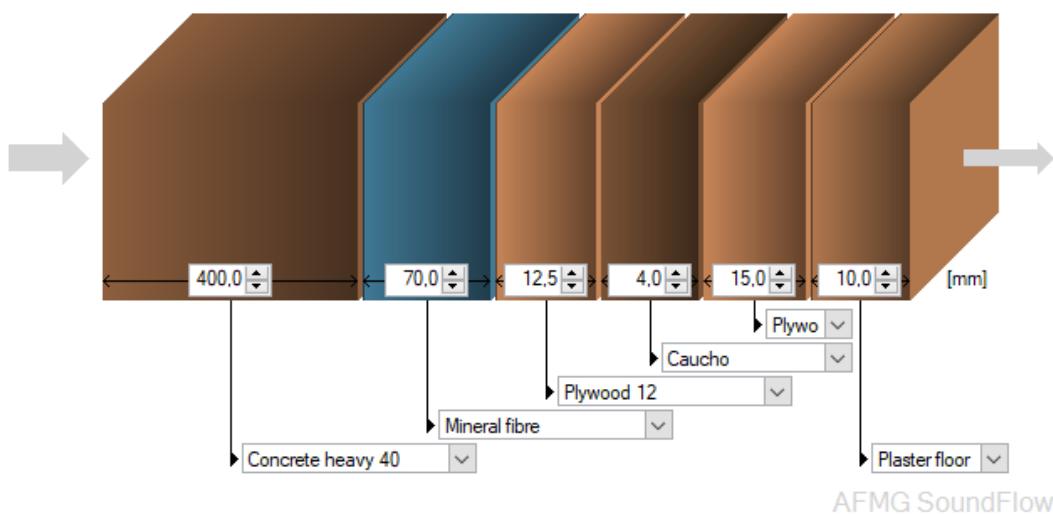
New Structure1*



(b) Perdida por transmisión del techo simulado en el software Soundflow

Figure A 9: Aislación propuesta para techo.

New Structure1*



(a) Aislación de piso



(b) Perdida por transmisión del piso simulado en el software Soundflow

Figure A 10: Aislación propuesta para piso.

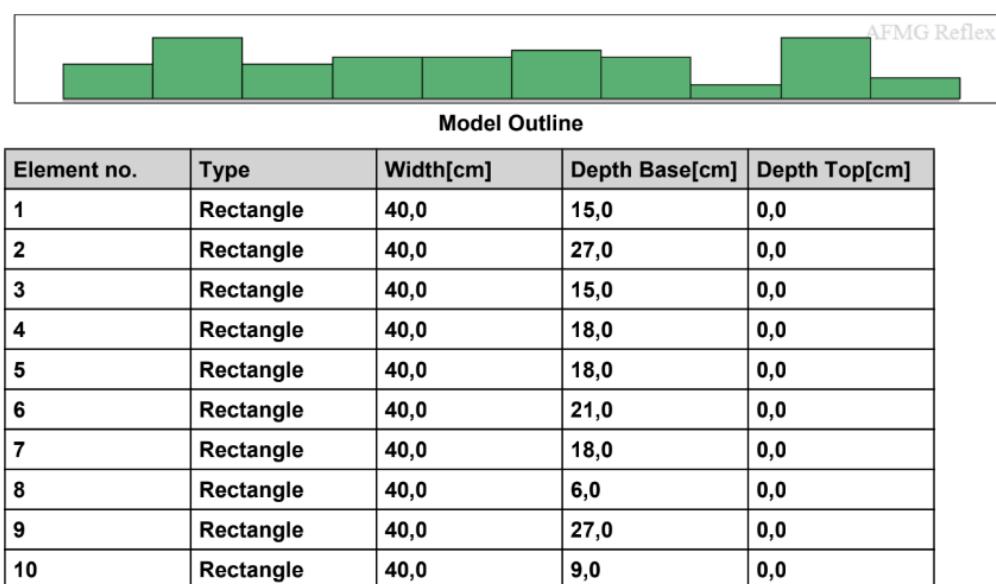


Figure A 11: Esquemas del modelo en el software Reflex de los difusores laterales.

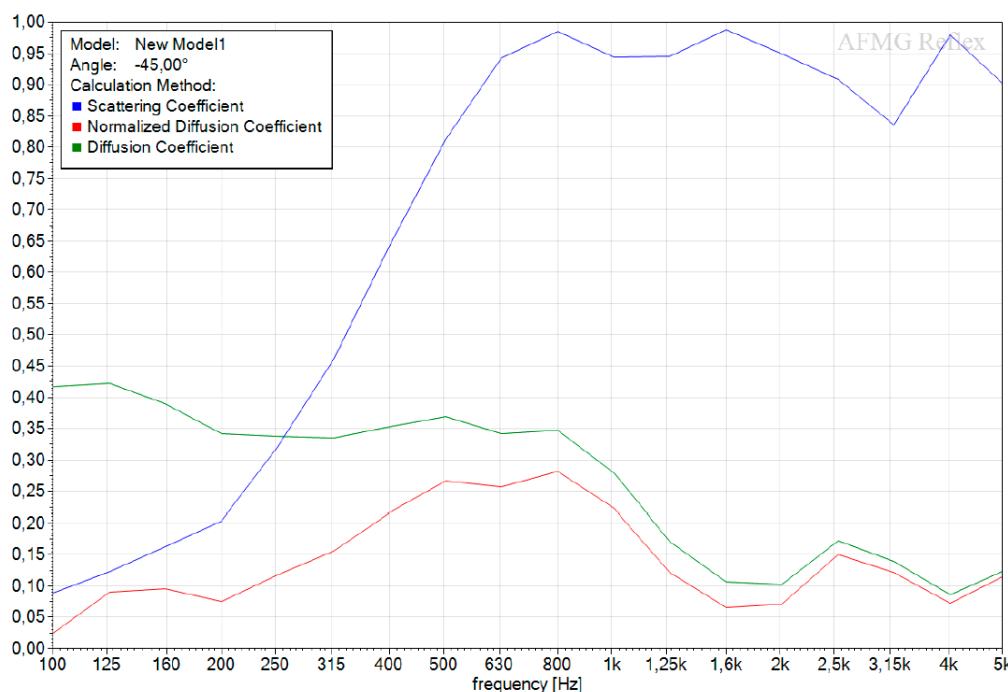


Figure A 12: Coeficientes de scattering simulados en el software Reflex de los difusores superiores.



Figure A 13: Esquemas del modelo en el software Reflex de los difusores superiores.

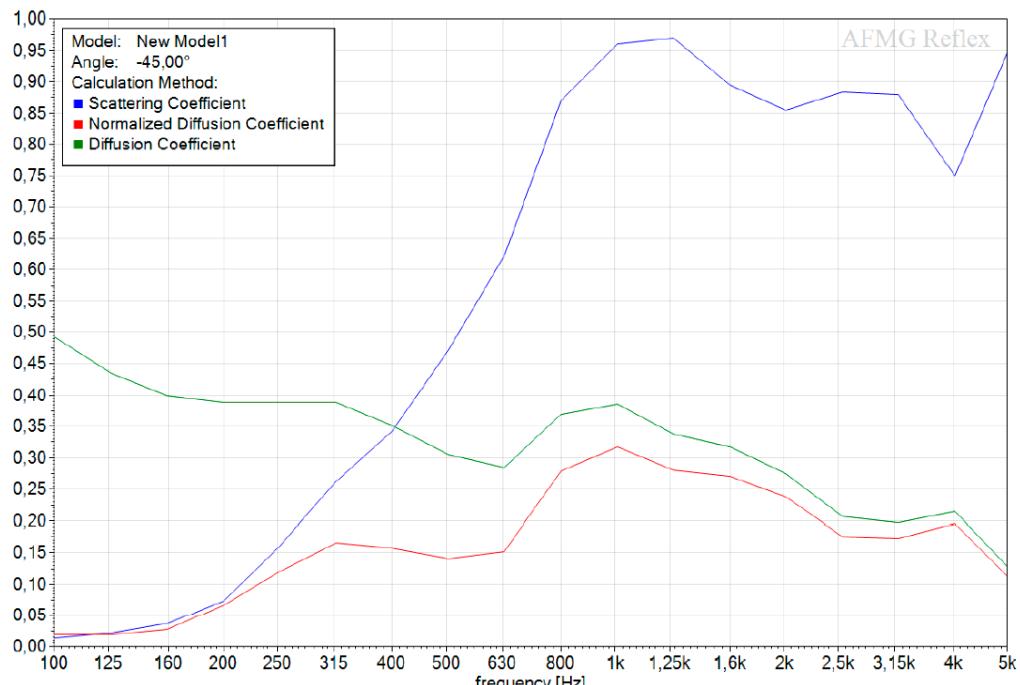


Figure A 14: Coeficientes de scattering simulados en el software Reflex del difusor trasero.

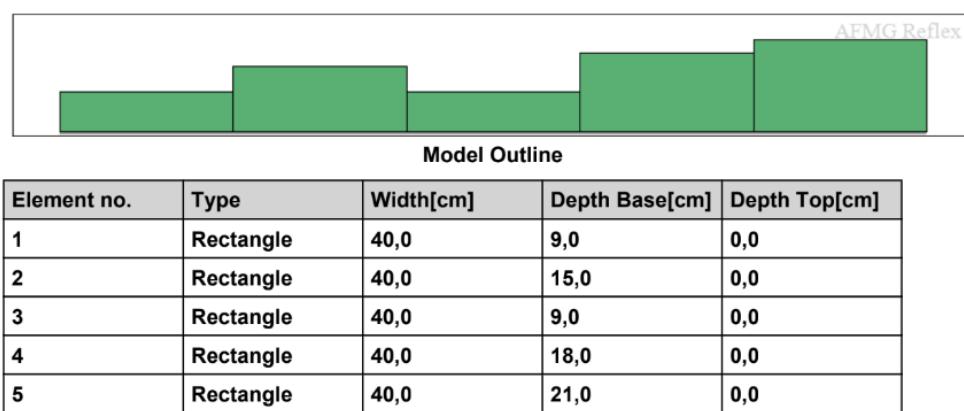


Figure A 15: Esquemas del modelo en el software Reflex del difusor trasero.

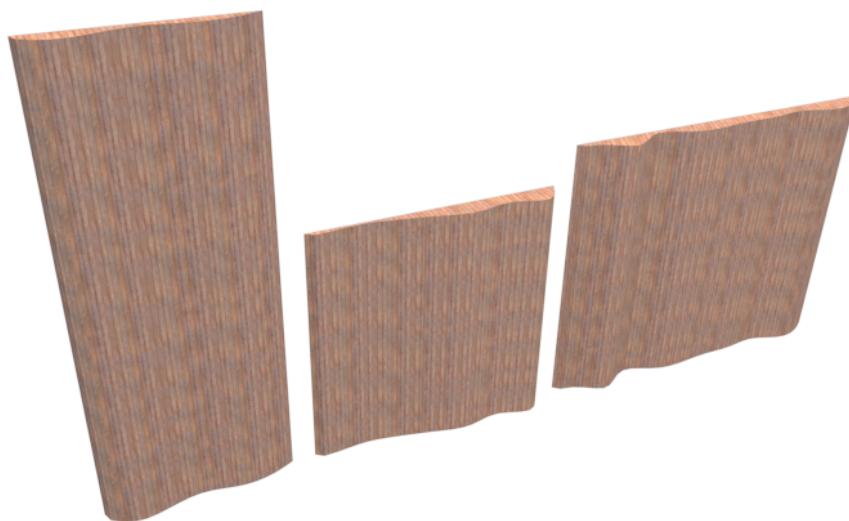


Figure A 16: Difusores desarrollados en SketchUp, a la izquierda el difusor trasero, en el centro el difusor de techo y a la derecha el difusor lateral.

B. Hoja de datos

MODELO		MGPEZ-100VJA	
Unidad interior		PEAD-SM100JA	
Unidad exterior		PUZ-SM100VKA	
Capacidad	Friñ Nominal (Mín-Máx)	kW	9,5 (4,0-10,6)
	Calor Nominal (Mín-Máx)	kW	11,2 (2,8-12,5)
Consumo Nominal	Friñ	kW	2,95
	Calor	kW	3,02
Consumo eléctrico anual*	Friñ	kWh/año	626
	Calor	kWh/año	2.865
Coeficiente energético	EER / COP		3,21 / 3,70
	SEER (Etiqueta)		5,3 (A)
	SCOP (Etiqueta)*		3,8 (A)
	Caudal de aire (B/M/A)	m ³ /min	24,0 / 29,0 / 34,0
	Presión Estática	Pa	35 / 50 / 70 / 100 / 150
Unidad Interior	Nivel sonoro (B/M/A)	dB(A)	29 / 34 / 38
	Potencia sonora	dB(A)	62
	Dimensiones al x an x fon	mm	250 x 1.400 x 732
	Peso	kg	39
	Caudal de aire	m ³ /min	79
	Nivel sonoro	dB(A)	51
	Potencia sonora	dB(A)	70
Unidad Exterior	Dimensiones al x an x fon	mm	981x1.050x330 (+40)
	Peso	kg	76
	Refrigerante R32	Pre-carga kg / PCA / TCO ₂ eq	3,10 / 675 / 2,09

Figure B 1: Hoja de datos del equipo de ventilación.

CLIMAVER

La innovación en conductos para aire acondicionado, calefacción y ventilación

↗ PRESENTACIÓN:

CLIMAVER es un sistema para la construcción de conductos autoportantes para aire acondicionado, Calefacción y Ventilación, a partir de un panel rígido de lana de vidrio de alta densidad, aglomerado con resinas termoendurecibles.

Todos los paneles Climaver están revestidos en su cara externa por un complejo de foil de aluminio reforzado, que actúa como barrera de vapor, y en su cara interna puede presentarse con un complejo de foil de aluminio liso CLIMAVER PLUS o velo de vidrio CLIMAVER PLATA.

↗ CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Dimensiones (m)		Espesor (mm)	Densidad (kg/m³)	Peso (kg/m²)
Ancho	Largo			
1.22	2.50	25	75	1.875

↗ CANTEADO:

En sus bordes largos presenta un **canteado** que facilita el ensamblado o encastre de los diferentes tramos de conductos, reduciendo así los tiempos de montaje.

En el canteado la densidad de la lana de vidrio es muy superior, lo que aumenta la rigidez de la unión y mejora el montaje.

↗ CONDICIONES DE TRABAJO:

Gama de Productos	Revestimiento Exterior	Revestimiento Interior	Máxima presión Estática	Velocidad Máxima del Aire	Temperatura Máxima
Climaver Plus	Complejo de foil de aluminio reforzado	Complejo de foil de aluminio liso	800 Pa 80 mm c.a	18 m(seg)	80º C
Climaver Plata	Complejo de foil de aluminio reforzado	Velo de vidrio	500 Pa 50 mm c.a	12 m(seg)	100º C



↗ CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Conductividad *Térmica (λ)	Resistencia *Térmica (R=d/λ)	** Permeancia al Vapor de Agua (Δ)	*** Resistencia al Vapor de Agua (Rv=1/Δ)
0.0275 kcal/(h.m.ºC)	0.91 (h.m.ºC)/kcal	0.013 gr/(m².día.mmHg.)	77 (m³.día.mmHg)/g
0.0320 W/(m.ºC)	0.78 (m².ºC)/W	4.13.10³ g/(m².h.kPa.)	242 (m².h.kPa)/g

* Propiedades referidas a 20ºC

** Propiedades correspondiente al revestimiento exterior

↗ RIGIDEZ DEL PANEL (según Norma UNE-EN 13403):

- Climaver Plata: Clase R2 ($90.000 \text{ N.mm}^2 \leqslant EI < 160.000 \text{ Nmm}^2$)
 - Climaver Plus: Clase R4 ($200.000 \text{ N.mm}^2 \leqslant EI < 300.000 \text{ N.mm}^2$)
- El = rigidez a la flexión del panel = modulo de elasticidad de Young (E) x momento de Inercia (I).

La gran rigidez de los paneles Climaver permite la construcción de mayores secciones de conductos sin la necesidad de utilizar refuerzos.

ISOVER
SAINT-GOBAIN

La aislación sustentable

Figure B 2: Hoja de datos del sistema de conductos Climaver.

CLIMAVER

SEÑALO
PRÁCTICO Y RÁPIDO

➤ cortar ➤ plegar ➤ engrapar ➤ encintar

➤ COMPORTAMIENTO AL FUEGO:

- Clasificación RE2, muy baja propagación de llama (Norma IRAM 11910)
- Clasificación B, s1-d0 Contribución muy limitada al fuego (según Euroclases)

Climaver brinda seguridad contra el fuego: no desprende gotas ni partículas encendidas. Mínima carga de fuego.

➤ ÍNDICE DE HUMOS:

- Nivel 1, Materiales que generan baja cantidad de humo: (según norma IRAM 11912).
 - s1, producción baja de humos (según Euroclases).
- Climaver no emite humos oscuros u opacos.

➤ ESTANQUEIDAD (según Norma UNE - EN 13403):

Clase C: Factor de fuga de aire $< 0,003 \times P_s^{0,65} (l/s)/m^2$

P_s = presión estática, en Pa.

Climaver reduce las pérdidas energéticas por filtraciones debido a su excelente estanqueidad.

➤ ENVEJECIMIENTO:

Los conductos Climaver han superado satisfactoriamente varios test de envejecimiento acelerado. El más conocido es el "Florida Test" basado en 21 ciclos de 8hs de duración con variaciones de humedad (de 18 a 98%) y temperaturas (de 25 a 55 °C).

➤ ABSORCIÓN ACÚSTICA:

- Absorbe los ruidos emitidos por los equipos
- Absorbe las transmisiones cruzadas de ruido entre locales
- Evita las vibraciones del sistema de conductos

Índice de absorción acústica					
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000
Coef. α (Sabine)					
Climaver Plata	0,03	0,16	0,72	0,94	1,00
Climaver Plus	0,02	0,08	0,64	0,47	0,60

Atenuación Acústica en tramo recto (dB/m)						
Sección (mm)	Producto	Frecuencia (Hz)				
		125	250	500	1000	2000
200 x 200	Climaver Plata	0,15	1,61	13,26	19,26	21
	Climaver Plus	0,09	0,61	11,24	7,30	10,27
300 x 400	Climaver Plata	0,09	0,94	7,73	11,23	12,25
	Climaver Plus	0,05	0,36	6,56	4,26	5,99
400 x 500	Climaver Plata	0,07	0,73	5,97	8,67	9,45
	Climaver Plus	0,04	0,28	5,06	3,28	4,62
400 x 700	Climaver Plata	0,06	0,63	5,21	7,57	8,25
	Climaver Plus	0,03	0,24	4,42	2,87	4,04
500 x 1000	Climaver Plata	0,05	0,48	3,98	5,78	6,30
	Climaver Plus	0,03	0,18	3,37	2,19	3,08



Bouchard y Enz (B1836AON) Llavallol • Pcia. Buenos Aires - Argentina
Tel.: (5411) 4239-5200 • 0800-222-ISOVER(4768) • www.Isover.com.ar

➤ ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN:

Los paneles Climaver Plus vienen embalados en cajas de cartón, 9 piezas por caja ($27,45 m^2$).

Las cajas se manipularán con cuidado y se estirarán en forma horizontal.

➤ MONTAJE:

El procedimiento de montaje de los conductos Climaver es similar al sistema tradicional con la ventaja, que por ser los conductos mucho más livianos, la operación resulta más rápida y sencilla.

➤ HERRAMIENTAS:

La fabricación de los conductos se realiza con un reducido número de herramientas de fácil manejo. No requiere ningún tipo de máquinas ni equipamientos como en el sistema tradicional.

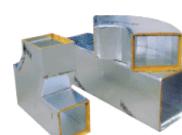


➤ SUSTENTABILIDAD:

La utilización de las lanas de vidrio hacen sustentables las construcciones. Mejora y disminuye sensiblemente los consumos de calefacción y refrigeración, dado que se minimizan las pérdidas de energía. En la fabricación de las lanas de vidrio se utiliza un 70% de vidrio reciclado.

➤ VENTAJAS:

Mayor eficiencia energética. Más económico que el sistema tradicional. Gran absorción acústica. Construcción rápida y sencilla. Fabricación de los conductos en obra. Conductos livianos. Facilidad de montaje. Menor costo de transporte. Mayor seguridad durante la fabricación y montaje. Excelente barrera de vapor. Altas velocidades de circulación de aire. Excelente comportamiento al fuego. Conductos fácilmente limpiables. No contribuye a la proliferación de mohos. Durabilidad. Cumple normas para conductos no metálicos para HVAC: UL-181 A-P (americano) y UNE EN - 13403 (europea).



ISOVER
SAINT-GOBAIN

La aislación sustentable

Figure B 3: Hoja de datos del sistema de conductos Climaver.

A8	
Frecuencia (Hz)	Índice de Reducción Sonora (dB)
63	22
125	21
250	39
500	53
1000	61
2000	59
4000	67

Rw	49
C	-5
Ctr	-13

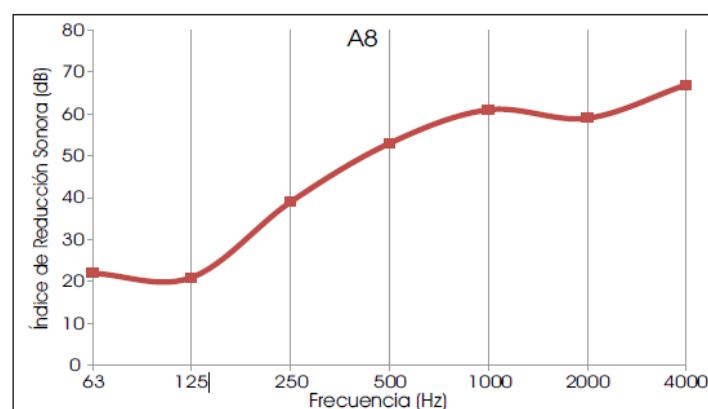


Figure B 4: Hoja de datos de la puerta acústica Decibel Modelo A8.

T10S

The T10S is a powerful yet compact active subwoofer, designed to extend the bass response of any nearfield studio monitor. However, the subwoofer's performance, features and connectivity are engineered specifically to complement ADAM Audio's T5V and T7V speakers.

Optimized for T-Series speakers

Equipped with a down-firing 10" woofer and a 130 W Class-D amplifier, the T10S' frequency response ranges from 28 Hz to 120 Hz and offers an impressive max. SPL of 104 dB. An internal adjustable two-channel crossover allows calibration of the bass signal and provides optimal performance of the total system. The options at the rear of the subwoofer allow for varied adjustments which compensate for room acoustics or they offer more control for satellites attached.

While reciting the T Series design language, the T10S is one of the most compact subwoofers in its class, which allows it to be easily integrated in any studio environment. The acoustic performance was optimized by four high grade flexible rubber feet that prevent the sound from exciting the floor and a spacious rear facing bass reflex port for an optimized airflow.

Basic technical data

- 10" Subwoofer
- Amp. Power RMS: 130 W
- 28 Hz - 120 Hz
- Max. peak SPL at 1 m: >104 dB
- 5 Year Warranty



Reviews & Testimonials

The T5V and T7V are great speakers in their own right, but the T10S sub brings them to life.

[Lewis Nock-Edwards / MIXDOWN Magazine]

The Adam Audio T10s is a solid and powerful subwoofer, which is more than able to extend the low-end of smaller and middle-sized monitoring setups.

[Felix Klostermann / bonedo.de]

In terms of size and performance, the compact and affordable T10S is sized to match and perfectly complements the T5V and T7V monitors.

[Anselm Goertz / Sound & Recording]

ADAM AUDIO GMBH
BERLIN, GERMANY

T +49 30-863 00 97-0
F +49 30-863 00 97-7

V01/21
INFO@ADAM-AUDIO.COM
WWW.ADAM-AUDIO.COM

ADAM AUDIO UK
EMAIL: UK-INFO@ADAM-AUDIO.COM

ADAM AUDIO USA INC.
EMAIL: USA-INFO@ADAM-AUDIO.COM



Figure B 5: Adam Audio T10s especificaciones.

ALPHA 80 EVO

Product sheet

Alpha 80 Evo has a 1" (25mm) Aluminium tweeter and a 8" (20cm) woofer with Slatefiber cone developed and manufactured in Focal's workshops in France. This monitor features excellent dynamics and neutrality in its tonal balance. Thanks to new technologies and features, Alpha 80 Evo is highly versatile. Alpha 80 Evo will suit perfectly producers seeking for high SPL levels as well as deep low-end extension.



Key points

- Excellent dynamics
- Wide dispersion enabling the same sound to be maintained throughout the entire room
- Slatefiber cone manufactured in France: sound neutrality, no distortion
- Identical tonal balance at both low and high volume
- Connect up to 3 audio sources
- Inserts for wall fastening
- Protective grills included

Type	Alpha 80 Evo Monitoring
Frequency response (+/- 3dB)	38Hz - 22kHz
Maximum SPL	106dB SPL (peak @ 1m)
Inputs Connectors	TRS: symmetrical 10kOhms XLR: symmetrical 10kOhms RCA: asymmetrical 10kOhms with compensated sensitivity
Medium and low frequency amplifier	80W
High frequency amplifier	35W
Automatic stand-by mode	After around 15 minutes of no use By signal detection >6mV
Power supply	100 - 240V~ (T2AL fuse/250V)
Connection	IEC socket and detachable power cable
Sensitivity	Adjustable, 0 or +6dB
Level midrange/bass (0 - 250Hz)	Adjustable, +/-6dB
Treble level (4.5 - 35kHz)	Adjustable, +/-3dB
Power on/off	On/off switch on the rear panel
Stand-by consumption	<0.5W
Views and controls	On and off LED - Stand-by LED
Woofer	8" (20cm) Slatefiber cone
Tweeter	25mm (1") with aluminium inverted dome
Construction	0.6" (15mm) MDF
Finish	Black vinyl and paint
Dimensions with 4 rubber feet (HxWxD)	15.35x11.65x13" (390x296x330mm)
Weight	21.6lbs (9.8kg)

Focal® is a Focal-JMLab® brand - www.focal.com - SCCG - v1 - 06/10/2021



Figure B 6: Focal Alpha 80 especificaciones.

ALPHA 50

Product Specification Sheet

Alpha 50, the most compact of the line, is equipped with a 1" (25mm) tweeter and a 5" (13cm) woofer. It features a 20W amplifier for the tweeter and a 35W amplifier for the woofer, and has a frequency response of 45Hz to 22kHz (+/- 3dB). It is perfectly adapted for confined spaces.



Key points

- Low directivity: keeps the same sound throughout the room
- Damping and rigidity: neutrality, no distortion
- Tonal balance is identical at low and high volumes; low sensitivity to the wall effects
- Connect up to 2 audio sources
- Optimal acoustic integration
- Reduced power consumption

Type	Monitoring Alpha 50
Frequency response (+/- 3dB)	45Hz - 22kHz
Power	55W (35W+20W)
Maximum SPL	103dB SPL (pic @1m)
Electronic section	
Inputs Connectors	XLR balanced 10kOhms RCA unbalanced 10kOhms with sensitivity compensation
LF amplifier stage	35W, class AB
HF amplifier stage	20W, class AB
Standby mode Standby	After about 30 minutes without using the monitor By signal detection >3mV
Activation of the monitor	
Power supply (The voltage can not be modified)	220-240V (fuse T500mA/250V) or 100-120V (fuse T1A/250V)
Connection	IEC inlet and detachable power cord

User controls	
Sensitivity	Adjustable, 0 or +6dB
LF shelving (0 - 300Hz)	Adjustable, +/-6dB
HF shelving (4.5 - 22kHz)	Adjustable, +/-3dB
Power ON/OFF	Switch on rear panel
Standby mode power consumption	< 0,5W
Indicators	Power ON/OFF LED - Standby LED
Transducers	
Woofer	5" (13cm) drive unit - Polyglass cone
Tweeter	1" (25mm) drive unit Aluminium inverted dome
Cabinet	
Construction	0.6" (15mm) MDF
Finish	Vinyl and Black painting
Dimensions with 4 rubber pads (HxDxW)	12.3x8.7x10.2" (313 x 220 x 258mm)
Weight	16.1lb (7.3kg)

Focal® is a trademark of Focal-JMLab® - www.focal.com - SCFG140228/1



Figure B 7: Focal Alpha 50 especificaciones.

C. Tablas

Tabla C 1: Nivel de emisión, TL y nivel trascendente de la sala de control sobre las paredes.

Paredes	Frequency [Hz]						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de escucha [dB]	85	85	85	85	85	85	85
TL [dB]	51.58	49.09	89.49	119.96	144.14	184.15	198.9
Nivel transmitido de interior a interiores/exterior [dB]	33.42	35.91	0	0	0	0	0
Ley 1540 de interior [dB]	38	38	38	38	38	38	38
Nivel máximo mapa de ruido [dB]	55	55	55	55	55	55	55
Nivel transmitido de exterior a interiores [dB]	3.42	5.91	0	0	0	0	0
NC-20 [dB]	51	40	33	26	22	19	17

Tabla C 2: Nivel de emisión, TL y nivel trascendente de la sala de control sobre el techo

Techo	Frequency [Hz]						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de escucha [dB]	85	85	85	85	85	85	85
TL [dB]	42.89	50.97	74.71	97.3	114.11	132.89	147.42
Nivel transmitido de interior a exteriores [dB]	42.11	34.03	10.29	0	0	0	0
Nivel máximo mapa de ruido [dB]	55	55	55	55	55	55	55
Nivel transmitido de exterior a interiores [dB]	12.11	4.03	0	0	0	0	0
NC-20 [dB]	51	40	33	26	22	19	17

Tabla C 3: Nivel de emisión, TL y nivel trascendente de la sala de control sobre el piso

Piso	Frequency [Hz]						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de escucha [dB]	85	85	85	85	85	85	85
TL [dB]	46.67	71.96	93.94	114.71	133.12	147.06	169.18
Nivel transmitido de interior a interiores/exterior [dB]	38.33	13.04	0	0	0	0	0
NC-20 [dB]	51	40	33	26	22	19	17

D. Questions

1. ¿Qué tipos de controles de estudio de grabación hay?

En la sección de *Estado del arte* se hace mención de diferentes tipos de controles que han surgido con el correr de los años.

2. En caso de no poder resolver un problema modal, ¿cómo se convierte un campo sonoro 3D a un campo sonoro en 2D? (de forma tal de eliminar las ondas estacionarias problemáticas de una de las dimensiones)

La generación de modos dentro de un recinto se debe a la presencia de ondas estacionarias o quasi-estacionarias. Esto es cuando una onda reflejada por una superficie se encuentra en fase con la onda incidente y se crean nodos de mínima presión y anti-nodos de máxima presión. Cuando la reflexión es total se da el caso de onda estacionaria, es decir que el coeficiente de reflexión es $R = 1$, por lo que para compartir un campo sonoro 3D a uno 2D, es necesario anular las reflexiones en uno de los sentidos. En otras palabras, habría que eliminar la reflexión, y por consiguiente, la onda estacionaria en una de las dimensiones, tratando la superficie de modo tal que su absorción sea total ($\alpha = 1$), consiguiendo un coeficiente de reflexión $R = 0$.

Producir una pregunta clara y simple relacionada con el tema bajo estudio, que no tenga una respuesta directa (ni en papers ni en libros), y que necesite de investigación concreta, realizable por el estudiante con equipamiento propio y/o de la universidad, en un tiempo no mayor a 6 (seis) meses.

¿Es posible diseñar un método constructivo especializado basado en la forma de domos geodésicos que maximice el control acústico en salas de grabación o control room, considerando la investigación detallada de las propiedades acústicas, como la absorción, difusión y aislamiento, con el objetivo de lograr un rendimiento comparable por ejemplo a las salas LEDE?