XXXI ENCONTRO SOBRAC
SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA
Ouro Preto - MG 2026

Implementación de cabinas audiométricas *in situ* en entornos clínicos: casos de éxito en Santa Cruz, Bolivia.

Veizaga, Sergio.[1]; Moreno, Alejandro.[1]; Zeballos, Ignacio.[1]; Rolón, Sebastián.[1]; Camacho, Daniela.[1]

[1] Departamento de I+D+i ACÚSTICA Bolivia, sergio@acustica.bo, alejandro@acusticalatam.com, ignacio@acusticalatam.com, sebastian@acusticalatam.com, daniela@acusticalatam.com

Resumen

Las cabinas audiométricas son recintos de pequeña escala y alta exigencia acústica, cuyo desempeño depende del control del ruido de fondo, el aislamiento acústico y el acondicionamiento interior. Estos requerimientos suelen resolverse mediante sistemas prefabricados o modulares; sin embargo, su limitada disponibilidad en Bolivia, sumada al difícil acceso a componentes especializados, motivó el desarrollo de soluciones construidas integralmente *in situ*. Este trabajo presenta el diagnóstico, diseño, coordinación, ejecución y verificación acústica de dos cabinas construidas integralmente *in situ* en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. El objetivo fue analizar la aplicación de una estrategia constructiva común en casos con distintas condiciones funcionales y espaciales, considerando el ruido de fondo inicial, la atenuación requerida y el diseño de una envolvente acústica. La metodología comprendió el diagnóstico inicial, la comparación del ruido de fondo por bandas de tercio de octava con los límites de la ISO 8253-1 para pruebas con auriculares, la estimación de aislamiento requerido, el diseño y ejecución de soluciones desacopladas tipo *box in a box* y la verificación final del ruido interior. Los resultados evidencian que estas cabinas pueden alcanzar condiciones adecuadas cuando se articulan el diseño integral, la coordinación y el control de los encuentros críticos durante la ejecución.

Palabras clave: audiometría, aislamiento acústico, acondicionamiento, medición, verificación.

Implementation of Audiometric Booths in Clinical Environments

Abstract

Audiometric booths are small-scale spaces with stringent acoustic requirements, whose performance depends on background noise control, sound insulation, and interior acoustic treatment. These requirements are typically addressed through prefabricated or modular systems; however, their limited availability in Bolivia, together with restricted access to specialized components, motivated the development of solutions built entirely in situ. This paper presents the acoustic assessment, design, coordination, construction, and verification of two booths built entirely in situ in Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. The objective was to analyze the application of a common construction strategy to cases with different functional and spatial conditions, considering initial background noise levels, required noise attenuation, and the design of an acoustic enclosure. The methodology comprised an initial assessment, a comparison of background noise levels in one-third-octave bands against the limits established by ISO 8253-1 for tests conducted using earphones, the evaluation and construction of decoupled box in a box systems, and the final verification of interior noise levels. The results demonstrate that such booths can achieve suitable acoustic conditions when integrated design, multidisciplinary coordination, and careful control of critical junctions during construction are effectively combined.

Keywords: *audiometry, sound insulation, acoustic treatment, measurement, verification.*

1. Introducción

Las cabinas audiométricas requieren condiciones controladas de ruido de fondo para evitar el enmascaramiento de las señales utilizadas en la evaluación auditiva. Para las pruebas audiométricas por vía aérea con auriculares, la norma ISO 8253-1 [1] establece niveles máximos permisibles de ruido de fondo por bandas de frecuencia. Cuando estos límites son superados, el recinto no presenta condiciones adecuadas para determinar de manera confiable los umbrales auditivos.

Habitualmente, estos requerimientos se resuelven mediante cabinas prefabricadas o modulares, fabricadas bajo configuraciones estandarizadas y posteriormente transportadas o ensambladas en el establecimiento clínico. Sin embargo, la limitada disponibilidad de cabinas certificadas y de componentes especializados para sistemas modulares desmontables en Bolivia plantea la necesidad de desarrollar soluciones construidas *in situ*. Estas deben diseñarse a medida y compatibilizar el desempeño acústico con las condiciones espaciales, arquitectónicas y funcionales de programas clínicos previamente definidos.

El presente trabajo analiza dos cabinas audiométricas construidas *in situ* en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. En el primer caso, la cabina debía incorporarse en un espacio ya construido, donde fue posible medir directamente el ruido de fondo inicial; en el segundo, debía integrarse en un proyecto en proceso de construcción, por lo que se adoptó un ruido de fondo inicial de diseño estimado a partir de mediciones realizadas en entornos clínicos activos comparables. En ambos casos, estos valores se compararon por bandas de tercio de octava con los límites establecidos en la ISO 8253-1. La diferencia obtenida permitió estimar la atenuación mínima requerida y definir el objetivo para evaluar en Sonarchitect [2] distintas combinaciones constructivas de muros, piso y techo. Posteriormente, las soluciones fueron construidas y verificadas mediante la medición del ruido de fondo al interior de las cabinas.

El objetivo del estudio es analizar cómo esta metodología permitió diseñar, construir y verificar cabinas audiométricas *in situ* adaptadas a diferentes restricciones arquitectónicas, espaciales y funcionales. A partir de los dos casos, se presentan los criterios adoptados y las principales lecciones aprendidas para afrontar este tipo de proyectos en contextos donde el acceso a cabinas modulares certificadas es limitado.

2. Criterios acústicos aplicables a cabinas audiométricas

Esta sección expone las exigencias que fijan ese criterio, los principios de diseño que orientan su cumplimiento y los requisitos funcionales que condicionan el recinto.

2.1 Exigencias clínicas y normativas

La audiometría consiste en presentar tonos puros a niveles próximos al umbral del sujeto. Si el ruido del recinto de ensayo es suficiente, enmascara la señal y eleva artificialmente el umbral medido, de modo que el resultado deja de describir la audición del paciente y pasa a describir el ambiente en que fue evaluado [3]. Por ello la norma ISO 8253-1 establece que los niveles de presión sonora ambiental no deben superar los valores de su Capítulo 11, e identifica el ruido ambiental entre los parámetros que determinan la incertidumbre de la medición [1]. La norma ANSI S3.1-1999 lo formula de manera explícita: los niveles máximos permisibles de ruido ambiental (MPANL, *Maximum Permissible Ambient Noise Levels*) son aquellos que producen un desplazamiento del umbral inferior a 2 dB al ensayar a los niveles umbrales equivalentes de referencia [4].

De esta formulación se desprenden dos consecuencias. La primera es que el objetivo de diseño es espectral y no global: se especifica por bandas de octava o de tercio de octava entre 125 Hz y 8000

Hz. La segunda, más determinante, es que ese objetivo no es único: depende de si la prueba se realiza con oídos cubiertos o descubiertos, del tipo de transductor y del rango de frecuencias explorado. La Tabla 1 ilustra la magnitud de esa dependencia.

Tabla 1: Niveles máximos permisibles de ruido de fondo por banda de octava, rango de ensayo 250 Hz a 8000 Hz, en dB re 20 µPa. Adaptado de [4].

Frecuencia central [Hz]	Oídos cubiertos, supraaural	Oídos cubiertos, inserción	Oídos descubiertos
125	39,0	67,0	35,0
250	25,0	57,0	21,0
500	21,0	50,0	16,0
1000	26,0	47,0	13,0
2000	34,0	49,0	18,0
4000	37,0	50,0	11,0
8000	37,0	56,0	14,0

La diferencia entre columnas alcanza los 30 dB, magnitud equivalente a la de un sistema constructivo completo. La condición de oídos descubiertos, propia de la audiometría por vía ósea y en campo libre, es la más exigente y define el peor caso de diseño; además, los valores se ajustan cuando los umbrales se miden por encima o por debajo de 0 dB HL (*Hearing Level*) [4]. En consecuencia, el objetivo acústico de la cabina no lo fija el proyectista, sino el protocolo clínico previsto, que debe acordarse con el equipo audiológico antes de iniciar el diseño.

2.2 Principios de diseño: el sistema box in a box

El control del ruido se organiza sobre la fuente, el canal de transmisión y el espacio receptor [3]. En una cabina la fuente es el ambiente clínico circundante, de espectro continuo y con contenido apreciable en bajas frecuencias, y el canal de transmisión no se reduce al camino directo, sino que incluye caminos de flanco a través de los elementos constructivos que intercambian energía vibratoria [1]. El aislamiento de una partición simple responde a la ley de masas, según la cual la pérdida por transmisión crece 6 dB al duplicar la masa superficial o la frecuencia, conforme a la Ecuación (1) [5]

$$R = 20 \log(M f) - 47 \,, \tag{1}$$

en que R es el aislamiento acústico, en dB; M es la masa superficial, en kg/m^2; y f es la frecuencia, en Hz.

La Ecuación (1) explica por qué la partición simple resulta inviable: alcanzar los valores de la Tabla 1 en oídos descubiertos exigiría masas incompatibles con la capacidad portante y el área disponible. Por ello se adopta la partición doble, con dos hojas separadas por una cámara [1], que se comporta como dos masas unidas por un resorte, con frecuencia de resonancia según la Ecuación (2) [5]

$$f_0 = (c / 2\pi) \cdot [\, (\rho / d) \cdot (\, 1/m_1 + 1/m_2 \,) \,]^{1/2} \,, \tag{2}$$

en que c es la velocidad del sonido, en m/s; ρ la densidad del aire, en kg/m^3; d la separación entre hojas, en m; y m_1 y m_2 las masas superficiales de cada hoja, en kg/m^2. El criterio de diseño consiste en situar f_0 por debajo de la banda más baja de interés y emplear hojas de masa y rigidez distintas, para que sus frecuencias críticas no coincidan [3]. No obstante, no existe un procedimiento de cálculo del aislamiento de particiones dobles aceptado unánimemente, dada la cantidad de variables involucradas [3]; el cálculo constituye por tanto una estimación y no una garantía de cumplimiento.

Conviene distinguir la pérdida por transmisión de un elemento, $TL = 10 \log_{10}(1/\tau)$, donde τ es la relación entre la energía transmitida y la incidente, de la reducción sonora entre recintos, $NR = SPL_1 - SPL_2$. Ambas se expresan en dB, pero no son intercambiables: NR depende también de la transmisión por flancos, las fugas y la absorción del recinto receptor. La verificación para audiometría requiere comparar el ruido de fondo interior con los límites normativos aplicables a las condiciones de evaluación indicadas en la Tabla 1.

Sobre estos principios se define el sistema *box in a box*: un recinto interior desvinculado estructuralmente del edificio anfitrión mediante apoyos resilientes, sin contacto rígido con sus elementos portantes. Su propósito no es aumentar la masa, sino interrumpir los caminos de transmisión estructural y de impacto, que la Ecuación (1) no describe.

2.3 Acondicionamiento interior y requisitos funcionales del recinto

El interior requiere tratamiento absorbente por razones ajenas al aislamiento: es un volumen reducido, de comportamiento modal marcado en bajas frecuencias, en el que las reflexiones alteran el campo sonoro que llega al paciente. Ninguna norma de ruido ambiental máximo fija exigencias sobre el tiempo de reverberación, por corresponder al acondicionamiento y no al aislamiento [3], de modo que el proyectista debe fijar por sí mismo el criterio de absorción interior, sin un valor normativo de contraste.

A ello se suman requisitos funcionales que la propia norma audiométrica impone: cuando la prueba se conduce desde el exterior, el paciente debe vigilarse por una ventana o circuito cerrado de televisión, permanecer visible para el examinador pero sin ver las maniobras del audiómetro, disponer de renovación de aire y temperatura de confort, y estar cómodamente sentado y libre de distracciones [1]. Cada uno de estos requisitos perfora la envolvente: el visor, el conducto de ventilación, la puerta y el paso de instalaciones no son concesiones del diseño, sino condiciones de validez del ensayo. La bibliografía normativa señala además que la ventilación es una de las principales fuentes de ruido interno, y recomienda ubicar los balastos de iluminación fuera del recinto y disponer un piso que amortigüe los ruidos de impacto y arrastre [4].

3. Metodología

El trabajo se desarrolló mediante un enfoque técnico-aplicado basado en el estudio de dos cabinas audiométricas construidas *in situ*. La metodología comprendió cuatro etapas consecutivas: i) diagnóstico de las condiciones iniciales; ii) definición del objetivo de atenuación y diseño acústico; iii) ejecución de las soluciones seleccionadas; y iv) verificación del ruido de fondo interior. Posteriormente, ambos casos fueron analizados conjuntamente para identificar las principales lecciones aprendidas.

Durante el diagnóstico se analizaron las condiciones arquitectónicas, espaciales, funcionales y acústicas de cada emplazamiento. El ruido de fondo inicial $RFInicial(f)$ se determinó por bandas de tercio de octava: en el primer caso mediante mediciones realizadas en el espacio existente y, en el segundo, mediante una condición inicial de diseño estimada a partir de registros obtenidos en entornos clínicos activos comparables. Estos valores se compararon con los niveles máximos permisibles establecidos por la ISO 8253-1 para pruebas audiométricas por vía aérea con auriculares. La diferencia se adoptó como una estimación de la atenuación mínima requerida.

A partir de este objetivo se evaluaron en Sonarchitect [2] distintas combinaciones constructivas para muros, piso y techo. El aislamiento se consideró como el desempeño del sistema completo, incluidos puertas, visores, juntas e instalaciones, y no como el resultado independiente de un único elemento. Las soluciones seleccionadas se construyeron mediante una configuración desacoplada tipo *box in a*

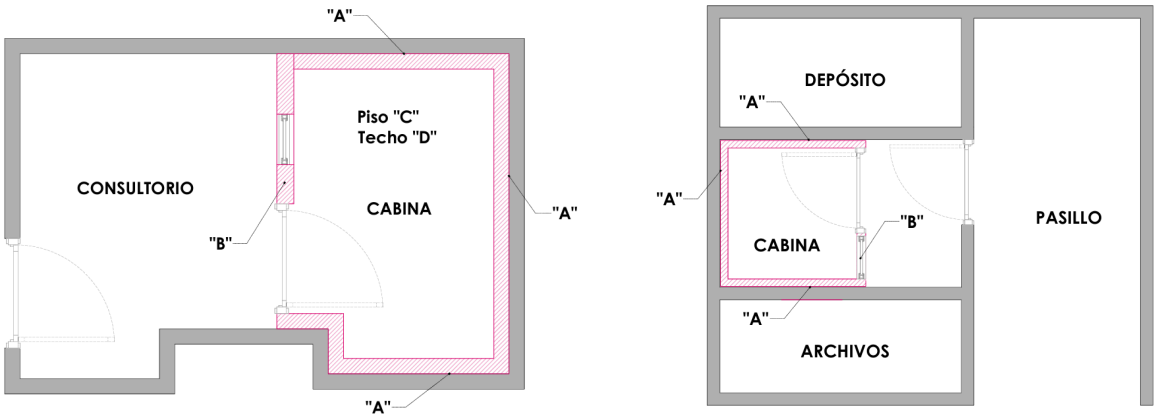
box, documentando las dificultades de ejecución y las decisiones adoptadas en encuentros, sellos, aberturas y perforaciones susceptibles de producir mermas respecto del desempeño previsto.

Finalmente, se midió el ruido de fondo interior de las cabinas terminadas por bandas de tercio de octava y se comparó con los límites de la ISO 8253-1. Esta comparación permitió verificar su aptitud acústica para la realización de pruebas audiométricas con auriculares, sin interpretar la medición final como una determinación directa del aislamiento acústico del conjunto. El análisis conjunto de ambos casos permitió reconocer la incidencia del diagnóstico, el diseño integral, la coordinación y el control de ejecución en el cumplimiento final.

4. Diagnóstico de las condiciones iniciales

El caso A correspondía a un consultorio existente dentro de una clínica en funcionamiento emplazada en una edificación en altura, con dimensiones en planta de 4,48 × 2,51 m, en el cual se proyectó una cabina de aproximadamente 2,00 × 2,47 m. La medición inicial, evaluada por bandas de tercio de octava tomando como referencia la ISO 8253-1, registró un nivel global de ruido de fondo de RFInicial (f) **32,4 dB** y evidenció excedencias en algunas frecuencias, por lo que el recinto no reunía las condiciones acústicas requeridas para las pruebas audiométricas. La principal condicionante consistió en resolver la envolvente acústica, particularmente con los sistemas de climatización y protección contra incendios como se muestra en la Figura 1. Asimismo, al ubicarse dentro de una torre, fue necesario considerar las colindancias verticales y las posibles fuentes de ruido procedentes de los espacios situados en los niveles superior e inferior para definir el desempeño requerido del piso y el techo.

El caso B se encontraba en proceso de construcción dentro de una clínica de una sola planta. El consultorio destinado a la intervención tenía dimensiones aproximadas de 2,90 × 1,77 m, dentro del cual se proyectó una cabina con un espacio interior útil de 1,50 × 1,50 m. Debido al estado de la obra, no fue posible realizar una medición inicial, por lo que se adoptó como condición conservadora de diseño un nivel global estimado de ruido de fondo RFInicial (f) **33,7 dB**, correspondiente al valor más elevado registrado en recintos hospitalarios activos con condiciones semejantes. Al no existir recintos ocupados en niveles superiores ni inferiores, el análisis de las fuentes de ruido se concentró principalmente en las colindancias laterales. La principal condicionante fue la limitada disponibilidad de espacio, que exigió evaluar distintas alternativas de distribución y compatibilizar el espesor de la envolvente acústica con los requerimientos mínimos de acceso, observación y funcionamiento.



(a) Caso Clínica A **(b)** Caso Clínica B.

Figura 1: Configuración espacial y colindancias relevantes de los recintos destinados a las cabinas audiométricas: (a) Caso A; (b) Caso B.

5. Definición del objetivo de atenuación y diseño acústico

A partir del diagnóstico, el objetivo de atenuación se determinó para cada caso comparando el ruido de fondo inicial RFinicial (f) con el nivel máximo permisible establecido por la ISO 8253-1 RFISO (f), en cada banda de tercio de octava. Cuando la condición inicial superó el límite normativo, la diferencia se adoptó como una aproximación de la atenuación mínima requerida; cuando se encontraba por debajo, el requerimiento se consideró igual a cero como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2: Atenuación acústica requerida para los casos A y B por bandas de frecuencia, calculada a partir de la diferencia positiva entre el ruido de fondo inicial y el límite establecido por la ISO 8253-1.

Frecuencia (Hz)	Límite ISO 8253-1 (dB)	A: RF inicial (dB)	A: Atenuación requerida (dB)	A: D_{nT} estimado (dB)	B: RF inicial (dB)	B: Atenuación requerida (dB)	B: D_{nT} estimado (dB)
63	52	2,84	0,00	21,7	9,99	0,00	22,8
80	48	3,89	0,00	24,9	7,03	0,00	25,4
100	43	6,87	0,00	25,4	11,12	0,00	27,4
125	39	13,37	0,00	21,9	11,29	0,00	28,5
160	30	13,61	0,00	27,1	13,14	0,00	29,8
200	20	17,05	0,00	23,7	17,58	0,00	29,0
250	19	17,15	0,00	32,2	18,57	0,00	29,6
315	18	18,29	0,29	34,7	20,28	2,28	33,9
400	18	21,26	3,26	33,2	21,63	3,63	36,5
500	18	20,54	2,54	38,2	24,86	6,86	38,5
630	18	20,77	2,77	40,0	25,21	7,21	37,2
800	20	20,28	0,28	42,9	22,46	2,46	39,6
1000	23	19,39	0,00	43,3	20,51	0,00	42,1
1250	25	19,57	0,00	44,3	19,96	0,00	43,5
1600	27	19,65	0,00	43,7	19,97	0,00	45,4
2000	30	19,75	0,00	42,5	20,32	0,00	46,9
2500	32	20,15	0,00	42,2	20,18	0,00	47,5
3150	34	20,23	0,00	41,9	20,33	0,00	47,2
4000	36	20,10	0,00	44,0	20,09	0,00	47,2
5000	35	19,97	0,00	48,5	20,02	0,00	47,2
6300	34	19,62	0,00	-	19,68	0,00	-
8000	33	18,90	0,00	-	18,98	0,00	-

Los valores obtenidos por frecuencia definieron el objetivo de diseño utilizado en Sonarchitect [2], donde se evaluaron distintas combinaciones de muros, piso y techo para las envolventes acústicas (Tabla 3 y Tabla 4). La solución se consideró adecuada cuando la atenuación proyectada del sistema completo fue igual o superior al requerimiento calculado en todas las bandas analizadas. Además, se incorporaron márgenes de seguridad para prever posibles mermas entre el desempeño estimado y el construido, asociadas principalmente a puertas, visores, juntas, encuentros y pasos de instalaciones.

Tabla 3: Aislamiento acústico estimado, el requisito de diseño y el margen resultante para el caso A.

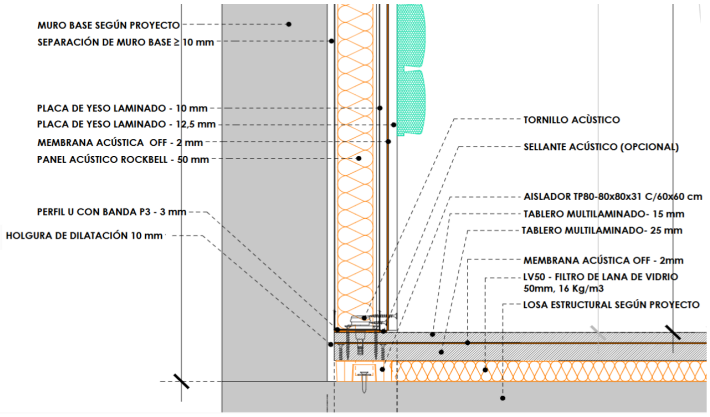
Recinto emisor	Ubicación	Tipología constructiva	R_w (dB)	$D_{nT,w}$ (dB)	Requisito (dB)	Margen (dB)
Pasillo	Mismo nivel	A	49	45	40	5
Cámara audiólogo	Mismo nivel	B	42	40	40	0
Espacio adyacente	Mismo nivel	A	49	45	40	5
Espacio adyacente	Mismo nivel	A	49	44	40	4
Espacio adyacente	Nivel superior	C	69	72	40	32
Espacio adyacente	Nivel inferior	D	66	64	40	24

Tabla 4: Aislamiento acústico estimado, el requisito de diseño y el margen resultante para el caso B.

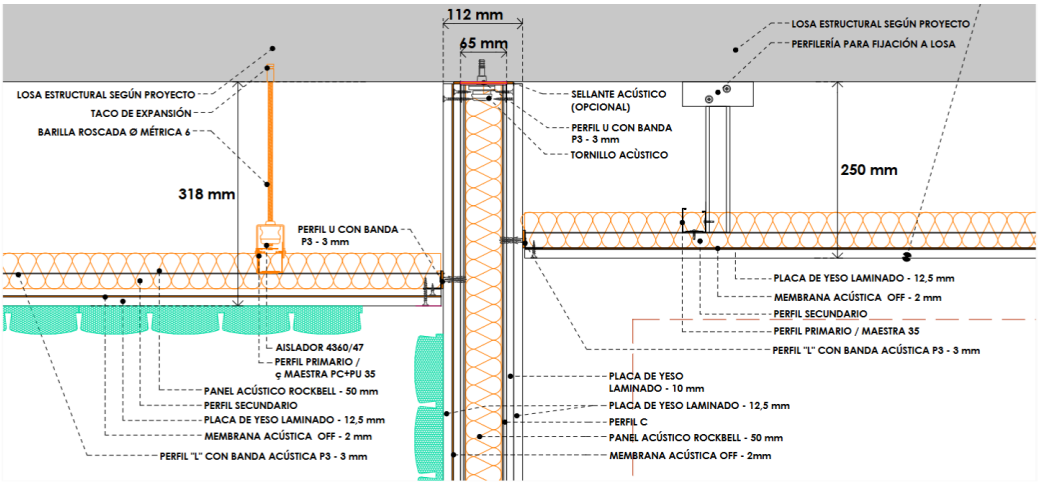
Recinto emisor	Ubicación	Tipología constructiva	R_w (dB)	$D_{nT,w}$ (dB)	Requisito (dB)	Margen (dB)
Depósito	Mismo nivel	A	49	51	40	11
Archivero	Mismo nivel	A	49	51	40	11
Cámara audiólogo	Mismo nivel	B	42	41	40	1

- **Tipología constructiva tipo A:** Compuesto por un muro conformado por ladrillo cerámico tipo seis huecos, revocado en ambas caras y un muro trasdosado acústico conformado por dos placas de yeso laminado de 10 y 12,5 mm de espesor, cavidad de aire rellena con panel de lana mineral de espesor ≥ 50 mm, 2 mm de membrana acústica de alta densidad, banda acústica perimetral y sellante acústico, con un índice total de reducción de $\boldsymbol{R_w \geq 49}$ **dB.**
- **Tipología constructiva tipo B:** Compuesto por un muro acústico conformado por dos placas de yeso laminado de 10 y 12,5 mm de espesor por lado y membrana acústica de 2 mm entre placas; cavidad de aire rellena con panel de lana de mineral de espesor ≥ 50 mm, con banda acústica perimetral y sellante acústico. Ventana de carpintería de PVC o aluminio con configuración de vidrio laminado 4+4.1/9/3+3.1 de tipo paño fijo y una puerta con doble sello hermético con un índice de reducción total de $\boldsymbol{R_w \geq 42}$ **dB.**
- **Tipología constructiva tipo C:** Compuesto por un techo acústico conformado por dos placas de yeso laminado de 10 y 12,5 mm de espesor, 2 mm de membrana acústica de alta densidad entre placas, cavidad de aire rellena con panel de lana mineral de espesor ≥ 50 mm con banda acústica y sellante perimetral. Techo suspendido por antivibratorios normalizados SE4360 modulados de acuerdo a capacidad dinámica. $\boldsymbol{R_w \geq 69}$ **dB.**
- **Tipología constructiva tipo D:** Compuesto por una losa casetonada y un sistema de piso suspendido conformado por dos placas fenólicas de 25 mm y 18 mm de espesor, colocadas de forma perpendicular entre ellas, con membrana acústica de alta densidad de 2 mm entre las placas fenólicas, apoyados en antivibratorios normalizados de megol tipo SE-TS80. Cavidad de aire rellena por lana mineral de baja densidad de al menos 30 mm de espesor. Reducción de ruido aéreo $\boldsymbol{R_w \geq 66}$ **dB.**

Finalmente, para ambos casos se seleccionó una configuración desacoplada tipo *box in a box*, construida integralmente *in situ* y adaptada a las condiciones espaciales, funcionales y constructivas de cada clínica (Figura 2). La selección no se basó únicamente en los índices de reducción acústica individuales de los cerramientos, sino en el comportamiento proyectado de la envolvente completa, procurando mantener la continuidad, el desacople y la hermeticidad necesarios para alcanzar el ruido de fondo interior exigido por la norma.



(a) Tipología B y D



(b) Tipología A y C

Figura 2: Detalles constructivos de las tipologías aplicadas para el desempeño de las cabinas audiométricas.

6. Ejecución

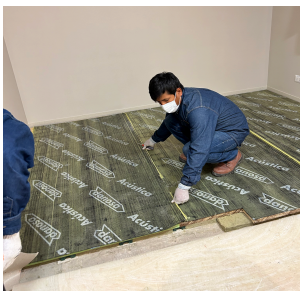
La ejecución de ambas cabinas siguió un procedimiento equivalente y compartió las mismas soluciones de detalle en los puntos críticos de la envolvente. A continuación se describe la secuencia constructiva por planos, indicando en cada caso la tipología de referencia definida en la sección anterior.

El desacople del piso se ejecutó en primer lugar, conforme a la tipología constructiva tipo D. Sobre la losa casetonada se distribuyeron los antivibratorios normalizados de megol de manera homogénea, con el fin de repartir uniformemente las cargas del conjunto. A continuación se cubrió toda la superficie con lana mineral de baja densidad y se colocó la primera placa fenólica (Figura 3), cuyas fijaciones se aseguraron sobre los propios antivibratorios para evitar la transmisión rígida entre el tornillo y la losa.

Sobre esta primera placa se adhirió la membrana acústica de alta densidad y, finalmente, se instaló la segunda placa fenólica en disposición perpendicular a la primera, de modo que las juntas de ambas capas no coincidieran y no se generara un puente acústico entre ellas.



(a) Tipología D - Clínica A.



(b) Tipología D - Clínica A.



(c) Tipología D - Cabina B.

Figura 3: Detalles constructivos de las tipologías aplicadas para el desempeño de las cabinas audiométricas.

El desacople de los muros se ejecutó conforme a la tipología constructiva tipo A. Las soleras se fijaron sobre los tableros fenólicos y sobre la losa mediante banda desacopladora y arandelas de goma en los puntos de anclaje, previendo una separación de al menos 1 cm respecto de los muros adyacentes. El interior de la estructura se rellenó con paneles de lana mineral y sobre ella se montó un cerramiento de doble placa de yeso laminado con una membrana acústica de alta densidad intercalada entre las placas como se muestra en la Figura 4.



(a) Tipología A - Clínica A.



(b) Tipología A - Clínica B.

Figura 4: Detalles constructivos de las tipologías aplicadas para el desempeño de las cabinas audiométricas.

El desacople del techo se ejecutó conforme a la tipología constructiva tipo C. En primer lugar se realizó el relevamiento de la posición de las velas de suspensión que sostienen el cielo, con una separación calculada previamente en función de la carga a soportar y de la capacidad dinámica de los antivibratorios normalizados. Instalada la subestructura, se colocó la doble placa de yeso laminado con la membrana acústica de alta densidad intercalada entre ambas y, por encima, se dispusieron los paneles de lana mineral de 50 mm de espesor como se muestra en la Figura 5.



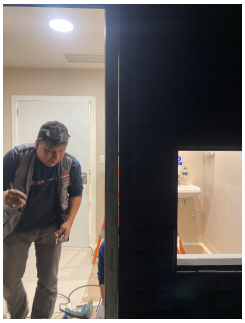
(a) Tipología B y C - Clínica A



(b) Tipología B y C - Clínica B .

Figura 5: Detalles constructivos de las tipologías aplicadas para el desempeño de las cabinas audiométricas.

Para garantizar el aislamiento acústico y evitar filtraciones en la puerta y el visor, su instalación exigió precisión dimensional, con una tolerancia inferior a 1 mm entre el marco y el vano. Se verificaron la escuadra, plomada y nivelación del vano o premarco, corrigiendo imperfecciones que dificultaran un ajuste uniforme (Figura 6). Tras el montaje, se comprobó la compresión uniforme del doble burlete de neopreno mediante el herraje de presión de la puerta y se inspeccionó visual y táctilmente la hermeticidad de los encuentros para evitar discontinuidades en la envolvente aislante.



(a) Tipología B y C.



(b) Tipología A y D.

Figura 6: Detalles constructivos de las tipologías aplicadas para el desempeño de las cabinas audiométricas.

Dos soluciones de detalle resultaron determinantes para el buen funcionamiento del sistema y merecen describirse por separado. La primera es la desvinculación de las fijaciones estructurales. En todos los anclajes de los elementos estructurales al piso y a la losa se interpuso una arandela de goma entre la

cabeza del tornillo y la superficie (Figura 7), con el fin de romper el contacto rígido y evitar que la fijación se convirtiera en un puente de transmisión estructural.



Figura 7: Desvinculación de los anclajes de los elementos estructurales.

La segunda es el encuentro entre muros en las esquinas, donde las placas de ambos cerramientos se intercalan para preservar la continuidad de la masa aislante, según se muestra en la Figura 8. La secuencia de montaje fue la siguiente:

- La primera capa del muro A atraviesa toda la esquina hasta alcanzar el final del espesor del muro opuesto.
- El montante del muro B se apoya directamente sobre la primera placa ya colocada del muro A.
- La primera capa del muro B se instala apoyada en su montante hasta topar con la cara de la primera placa del muro A.
- La segunda capa del muro A avanza y topa contra la superficie de la primera placa del muro B.
- La segunda capa del muro B cierra el encuentro, terminando a ras contra la segunda capa del muro A.

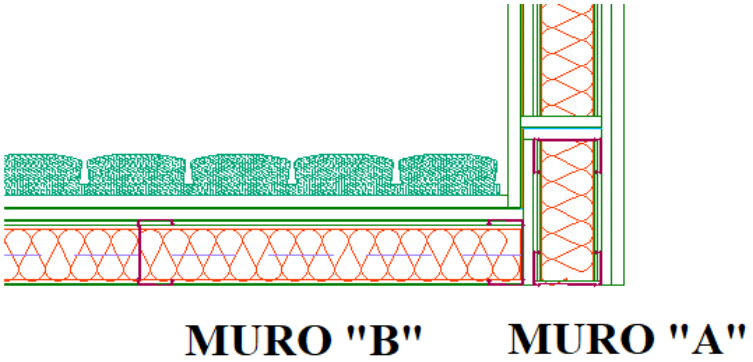


Figura 8: Detalle de encuentro entre muros en las esquinas.

Finalmente, en ambas cabinas fue necesario practicar un corte en el piso flotante para fijar un montante estructural sobre el cual se apoyó directamente el marco de la puerta (Figura 9). Esta decisión responde a un problema de distribución de cargas: de haberse fijado el marco directamente sobre el piso flotante, el peso concentrado de la puerta y su marco habría alterado la distribución homogénea de los aisladores elastoméricos, cargando de forma puntual una zona del sistema. Al transferir ese peso a un montante independiente, se preservó el funcionamiento uniforme del piso desacoplado y se evitó que un punto singular comprometiera el comportamiento del conjunto.

Para finalizar, la instalación del Caso B resultó más dificultosa que la del Caso A por lo reducido del espacio disponible, condición que complicó especialmente el montaje de los muros trasdosados. A esta restricción se sumó una diferencia de equipamiento entre ambos casos. En el Caso B fue necesario ejecutar un paso a través de la envolvente para conducir, desde el interior de la cabina hacia el exterior, el cableado de los dos transductores —el de conducción aérea y el de conducción ósea— y el del pulsador de respuesta del paciente. Para evitar que este paso se convirtiera en un puente

acústico, el orificio de entrada y el de salida se dispusieron con un desfase de 30 cm en altura, de modo que el recorrido del cableado no fuera recto y no ofreciera una trayectoria directa a la transmisión del sonido. En el Caso A esta perforación no fue necesaria, ya que el audiómetro empleado, de tecnología más reciente, operaba mediante conector de audio tipo *jack*.



(a) Montante estructural de puerta - Cabina A.

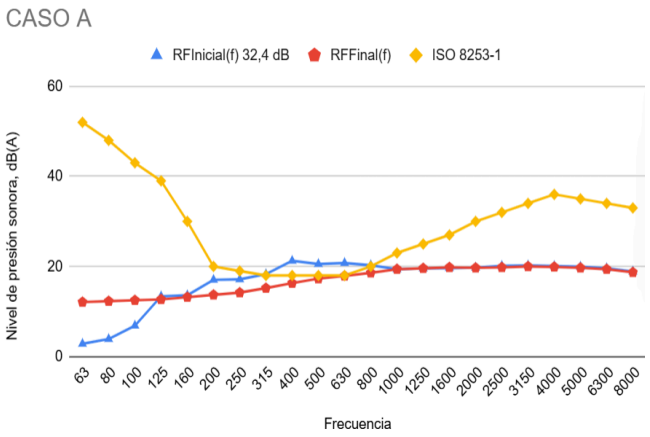


(b) Montante estructural de puerta - Cabina B.

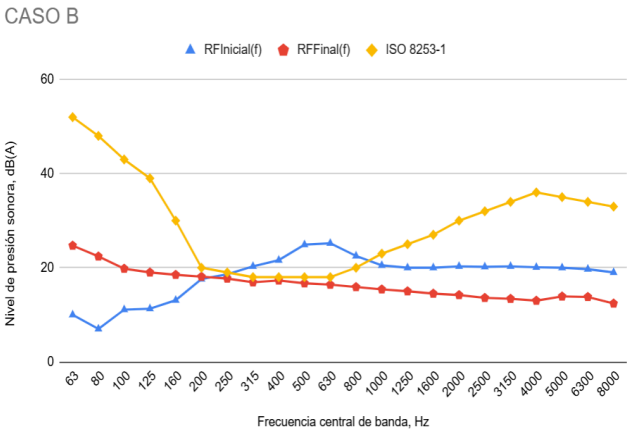
Figura 9: Detalles constructivos de las tipologías aplicadas para el desempeño de las cabinas audiométricas.

7. Resultados y verificación del desempeño acústico

La verificación se realizó comparando el ruido de fondo interior medido en cada cabina terminada con los niveles máximos permisibles de la ISO 8253-1 para pruebas audiométricas con auriculares como se muestra en la Figura 10. En el Caso A, la condición inicial superaba los límites normativos entre 315 y 800 Hz, con las mayores excedencias en 500 y 630 Hz; tras la ejecución, los niveles se redujeron a 17,3 y 17,9 dB(A), respectivamente. En el Caso B, cuya condición inicial correspondió a una referencia estimada de diseño, las mayores exigencias también se concentraron entre 315 y 800 Hz; las mediciones finales alcanzaron 16,7 dB(A) en 500 Hz y 16,4 dB(A) en 630 Hz. En ambos casos, el ruido de fondo final se mantuvo por debajo de los límites normativos en todas las bandas evaluadas.



(a) Caso A.



(b) Caso B.

Figura 10: Niveles RF medidos *in situ* en las cabinas A y B.

En algunas bandas de baja frecuencia, los niveles finales superaron las referencias iniciales, posiblemente por diferencias en las condiciones de operación de las clínicas y la contribución de equipos, sin que pudiera identificarse una fuente específica. No obstante, ambas cabinas construidas *in situ* presentaron niveles de ruido de fondo inferiores a los límites normativos considerados para las pruebas audiométricas. Los menores márgenes se registraron en 630 Hz para el Caso A y en 400 Hz

para el Caso B, lo que destaca la importancia de verificar el desempeño por bandas de frecuencia y cuidar la continuidad y hermeticidad de la envolvente durante la ejecución.

8. Conclusiones

Los casos estudiados evidencian la viabilidad de las cabinas audiométricas construidas integralmente in situ como alternativa frente a la limitada disponibilidad de soluciones prefabricadas o modulares en Bolivia. Las mediciones finales mostraron que ambas cabinas alcanzaron niveles de ruido de fondo compatibles con los límites establecidos por la ISO 8253-1 para pruebas audiométricas con auriculares, bajo las condiciones evaluadas.

La experiencia demuestra que este resultado no depende únicamente de la estimación mediante software ni de la especificación de los cerramientos, sino también de la adaptación de la solución a las condiciones espaciales, funcionales y acústicas del emplazamiento. En ambos casos, los requerimientos de la envolvente desacoplada no se contemplaron desde las etapas iniciales del programa arquitectónico, lo que hizo más compleja la resolución de accesos, instalaciones y encuentros críticos. En un escenario adecuado, el diseño acústico se integra desde el comienzo del proyecto, en la formulación del programa arquitectónico, previendo el espacio necesario para dicha envolvente y su compatibilidad con las necesidades funcionales y los demás sistemas.

En este proceso, la coordinación interdisciplinaria y el control de la ejecución resultan fundamentales para preservar el desacople y asegurar la hermeticidad de la envolvente, especialmente en puertas, visores, juntas y pasos de instalaciones. Asimismo, las posibles mermas entre el desempeño estimado y el construido justifican incorporar márgenes de seguridad durante el cálculo y la selección de los sistemas constructivos.

9. Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial

Durante la elaboración del artículo se utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa como apoyo en la redacción, traducción, organización del texto y revisión de la coherencia técnica. Los datos y resultados proceden del trabajo realizado por los autores, quienes revisaron y validaron el contenido final y asumen la responsabilidad de sus interpretaciones y conclusiones.

10. Agradecimientos

Se agradece a los clientes por su confianza y a los profesionales, especialistas y al equipo del Departamento de I+D+i por su colaboración y aporte técnico en el desarrollo de ambos proyectos.

11. Referencias

1. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 8253-1:2010 — Acoustics: Audiometric test methods. Part 1: Pure-tone air and bone conduction audiometry*. 2. ed. Ginebra, 2010.

2. SOUND OF NUMBERS S. L. SONarchitect ISO: software para el cálculo del aislamiento acústico en edificios según ISO 12354.

3. RODRIGUEZ-GUEVARA, J. P.; VÁSQUEZ-BERNAL, O. A. Acústica aplicada: bases teóricas para el diseño de cabinas audiométricas. In: *15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. Boca Raton, 2017. doi: 10.18687/LACCEI2017.1.1.62.

4. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. *ANSI S3.1-1999 (R2008) — Maximum permissible ambient noise levels for audiometric test rooms*. Nueva York: Acoustical Society of America, 1999.

5. TREVISO, A.; SMITH, M. G. Acoustic design of lightweight cabin walls for cruise ships. In: *Proceedings of ISMA2016 including USD2016*. 2016. p. 1767–1778.