

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y
COMPORTAMIENTO HUMANO**

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE
MONITOREO DE RUIDO”**

Realizado por:

RODRIGO VICENTE CAHUEÑAS CARO

Director del proyecto:

ING. PABLO DÁVILA

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Quito, 20 de agosto de 2018

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, RODRIGO VICENTE CAHUEÑAS CARO, con cédula de identidad # 1712279155, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Rodrigo Vicente Cahueñas Caro

C.C.: 1712279155

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE
CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO”

Realizado por:

RODRIGO VICENTE CAHUEÑAS CARO

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

ha Sido dirigido por el profesor

PABLO DÁVILA

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Pablo Dávila

DIRECTOR

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Los Profesores Informantes:

FRANZ GUZMÁN

HENRY CÁRDENAS

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



Franz Guzmán



Henry Cárdenas

Quito, 23 de Agosto de 2018

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y familiares por el incondicional apoyo en todos los proyectos y metas trazados en mi vida.

A ti querido lector, que este te trabajo te sea de utilidad y contribuya en la búsqueda de tus respuestas a lo largo del arduo camino del saber.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por el regalo de la vida!

A mi lugar de trabajo por permitirme y darme las facilidades para el desarrollo del presente proyecto, y por la confianza diaria dada a mis propuestas e ideas.

A mis profesores de la UISEK por haberme compartido sus conocimientos y por haber fomentado en mi persona una conciencia más humana.

A mis compañeros y amigos de la maestría con quienes compartí muchos momentos en esta importante etapa de mi vida.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

ÍNDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Objetivos	12
1.3 Justificación.....	13
1.4 Marco Teórico	14
CAPITULO II. MÉTODO	41
2.1. Tipo de estudio	41
2.2. Modalidad de investigación	41
2.3. Método	41
2.4. Población y muestra	42
2.5. Selección instrumentos de investigación.....	42
CAPITULO III. RESULTADOS	43
3.1 Presentación y análisis de resultados.....	43
3.2 Aplicación práctica.....	46
CAPITULO IV. DISCUSIÓN.....	62
4.1 Conclusiones	62
REFERENCIAS	66
ANEXOS.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles sonoros medidos en dBA; Decreto Ejecutivo 2393 Capítulo V, artículo 55, Numeral 7.....	3
(IESS, 1986).....	3
Tabla 2. Niveles máximos de emisión de ruido (LKeq) para fuentes fijas de ruido. Acuerdo Ministerial No. 028 (MAE, 2015).....	4
Tabla 3. Niveles máximos de emisión para fuentes móviles de ruido. Acuerdo Ministerial No. 028 (MAE, 2015).....	4
Tabla 4. Niveles máximos de presión sonora en tercios de octava para ambientes de test audiométrico – Norma ISO 8253 – 1 de 1989. (3R Brasil, 2010).....	10
Tabla 5. Niveles máximos permitidos de ruido ambiente en octavas y tercios de octava para pruebas audiométricas con los oídos descubiertos – Norma ANSI S3.1 – 1999 (ANSI, 1999).....	11
Tabla 6. Valores máximos de niveles de presión sonora en bandas de octava para salas de audiometrías – Normas OSHAS (Rodríguez, 2017).....	11
Tabla 7. Correcciones de la presión sonora según las curvas de valoración de la frecuencia. (Mondelo, 1994).....	19
Tabla 8: Coeficientes de absorción de distintos materiales y elementos absorbentes en función de la frecuencia. (Martín, 2014).....	40
Tabla 9. Resultados del monitoreo de ruido (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	44
Tabla 10. Comparación de los resultados de medición vs. Los niveles de referencia dados en la Norma ANSI S3.1 – 1999. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	46

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Tabla 11. Aislamiento efectivo de la Opción 1 de material acústico. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	49
Tabla 12. Aislamiento efectivo de la Opción 2 de material acústico. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	51
Tabla 13. Aislamiento efectivo de la Opción 3 de material acústico. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	51
Tabla 14. Especificaciones técnicas de las tres opciones de materiales absorbentes acústicos (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)	52
Tabla 15. Resultados de atenuación acústica para la Opción 1 de material con una ventana de vidrio. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	53
Tabla 16. Resultados de atenuación acústica para la Opción 2 de material con una ventana de vidrio. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	53
Tabla 17. Resultados de atenuación acústica para la Opción 3 de material con una ventana de vidrio. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	53
Tabla 18. Presupuesto de materiales. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)	59
Tabla 19. Presupuesto de Mano de obra. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	59
Tabla 20. Valor total del proyecto y el tiempo estimado de ejecución. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de Ponderación del Ruido (Mondelo, 1994).....	18
Figura 2. Expresión para el cálculo del nivel de presión acústica continuo equivalente en ponderación A (Mondelo, 1994)	20
Figura 3. Expresión para el cálculo del Nivel diario equivalente en ponderación A. (Mondelo, 1994).....	21
Figura 4. Expresión para el cálculo de medición del Nivel de Pico. (Mondelo, 1994).....	21
Figura 5. Expresión para el cálculo de corrección para el ruido de fondo. (Brüel&Kjær, 2000)	22
Figura 6. Propagación de las vibraciones sonoras. (COMPOSAN, 2015).....	24
Figura 7. Aislamiento acústico específico de un elemento constructivo. (COMPOSAN, 2015)	25
Figura 8. Aislamiento de una pared simple. (COMPOSAN, 2015)	27
Figura 9. Curvas para el cálculo de la pérdida por transmisión de dos superficies de materiales distintos. (Salgado, 2017).....	29
Figura 10: Amplitud de la onda de presión para algunas posibles ondas estacionarias entre dos paredes paralelas, cuando la longitud de onda es tal que la distancia entre las paredes es de 1, 2 y 3 semilongitudes de onda. (Martín, 2014).....	30
Figura 11: Esquema de un difusor de residuos cuadráticos. (Martín, 2014).....	32

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 12. Dependencia de la absorción de un material poroso con el espesor del mismo. La máxima velocidad de las partículas del aire se producirá a un cuarto de longitud de onda de la pared. (Martín, 2014)	35
Figura 13. Esquema del resonador de Helmholtz y algunos instrumentos musicales (ocarinas) que funcionan como un resonador de Helmholtz. Fotografía de las ocarinas por Asahiko cedida al dominio público. (Martín, 2014)	36
Figura 14. Distintos tipos de absorbentes acústicos que tienen su mayor absorción en distintas regiones del espectro acústico. (Martín, 2014).....	37
Figura 15. Representación de un panel perforado que se comporta como una serie de resonadores de Helmholtz (Martín, 2014).....	38
Figura 16. Representación de un panel perforado incluido en su interior un absorbente poroso para mejorar la respuesta en frecuencias. (Martín, 2014)	39
Figura 17. Gráfica del ruido ambiental monitoreado (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)	44
Figura 18. Resultado de la medición en bandas de octava 1 a 1. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	45
Figura 19. Bosquejo de la cabina a implementar (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	47
Figura 20. Relación de áreas S_2/S_1 ubicada en la gráfica acorde al valor calculado considerando las superficies de materiales empleados para la confección de la cabina. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	48
Figura 21. Ejemplo de cálculo de pérdida de aislamiento (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018). 50	
Figura 22. Ensamblaje de perfiles metálicos para conformar una pared de la cabina. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	55
Figura 23. Estructura del soporte inferior (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018).....	56

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 24. Ensamble de la puerta al marco frontal de la cabina (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)	57
Figura 25. Despiece total de la cabina (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)	58
Figura 26. Cabina completamente ensamblada. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)	58

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, Artículo 5:	69
ANEXO B. REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, Anexo III:	71
ANEXO C. Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, Anexo II:	73
ANEXO D. Reporte de medición generado en el Software NoiseTools	74
ANEXO E. Vistas geométricas y dimensiones físicas de las estructuras constitutivas de la cabina	75

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Se entiende por ruido a aquel sonido molesto e indeseado, inarticulado y confuso más o menos fuerte, capaz de interferir o impedir alguna actividad humana. Tanto en el ámbito industrial como ambiental el ruido constituye uno de los agentes físicos contaminantes más comunes. Así por ejemplo, según los datos estadísticos presentados en la Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo de la OIT, para el año de 1998 en los Estados Unidos más de 9 millones de trabajadores estuvieron expuestos diariamente a niveles de ruido medios de 85 decibeles ponderados A (dBA). Estos niveles de ruido son potencialmente peligrosos para la audición y pueden producir además otros efectos perjudiciales. Existieron aproximadamente 5,2 millones de trabajadores expuestos a niveles de ruido aún mayores en entornos de fabricación y empresas de agua, gas y electricidad, lo cual representó alrededor del 35 % del número total de personas que trabajaban en el sector de fabricación en Estados Unidos. (OIT, 1998)

Según esta misma fuente, una razón importante de la ausencia de programas de conservación de la audición y de control del ruido es porque lamentablemente este agente físico se lo suele aceptar como un “mal necesario”, o como una parte del negocio, un aspecto inevitable del trabajo industrial. El ruido peligroso no causa heridas o fracturas, y si los trabajadores pueden soportarlo los primeros días de exposición, podrían tener la sensación de “haberse acostumbrado”. Sin embargo, es muy probable que hayan empezado a adquirir una pérdida temporal de la audición, lo cual disminuye su sensibilidad auditiva durante la jornada laboral y que por lo general podría persistir por la noche. Esta pérdida auditiva luego avanzaría

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

silenciosamente, pues aumenta gradualmente a lo largo de los años, pasando por lo general inadvertida hasta alcanzar producir una discapacidad. (OIT, 1998)

El Departamento de Trabajo de Estados Unidos calculó que el 19,3 % de las personas que trabajaban en entornos de fabricación y empresas de agua, gas y electricidad estaban expuestas diariamente a niveles medios de ruido de 90 dBA o más, el 34,4 % a niveles superiores a 85 dBA, y el 53,1 % a niveles superiores a 80 dBA. Estas estimaciones deben ser bastante típicas para trabajadores expuestos a niveles peligrosos de ruido en otros países. Probablemente los niveles sean algo mayores en los países menos desarrollados, donde no se utilizan tanto los controles técnicos, y algo inferiores en países con programas de control del ruido más rigurosos, como los países escandinavos y Alemania. (OIT, 1998)

Muchos trabajadores de todo el mundo experimentan exposiciones peligrosas, muy por encima de los 85 o 90 dBA. Por ejemplo, el Departamento de Trabajo de Estados Unidos calculó que, sólo en las industrias de fabricación, casi medio millón de trabajadores se expusieron diariamente a niveles medios de ruido de 100 dBA o más, y más de 800.000 a niveles de entre 95 y 100 dBA. (OIT, 1998)

En lo concerniente a los niveles máximos de exposición (TLV's) al ruido en relación al tiempo, con el fin de reducir o mitigar las afectaciones de salud por exposición a este agente, la referencia normativa para el Ecuador en el ámbito laboral se especifica en el Decreto Ejecutivo 2393 "Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo", Capítulo V, Artículo 55 que especifica:

"6. (Reformado por el Art. 33 del D.E. 4217, R.O. 997, 10-VIII-88) Se fija como límite máximo de presión sonora el de 85 decibeles escala A del sonómetro, medidos en el lugar en donde el trabajador mantiene habitualmente la cabeza, para el caso de ruido continuo con 8 horas de trabajo. No obstante, los puestos de trabajo que demanden fundamentalmente

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

actividad intelectual, o tarea de regulación o de vigilancia, concentración o cálculo, no excederán de 70 decibeles de ruido.” (IESS, 1986)

“7. (Reformado por el Art. 34 del D.E. 4217, R.O. 997, 10-VIII-88) Para el caso de ruido continuo, los niveles sonoros, medidos en decibeles con el filtro "A" en posición lenta, que se permitirán, estarán relacionados con el tiempo de exposición según la siguiente tabla:” (IESS, 1986)

Tabla 1. Niveles sonoros medidos en dBA; Decreto Ejecutivo 2393 Capítulo V, artículo 55, Numeral 7
(IESS, 1986)

Nivel sonoro /dB (A-lento)	Tiempo de exposición por jornada/hora
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0.25
115	0.125

En relación a los niveles de ruido ambiental, la referencia normativa para nuestro medio se detalla en el Acuerdo Ministerial No. 028, Libro VI de la Calidad Ambiental, Anexo 2, numeral 4, que especifica lo siguiente:

“4.1 Niveles máximos de emisión de ruido para Fuente Fija de Ruido (FFR)

4.1.1 El nivel de presión sonora continua equivalente corregido, $L_{K_{eq}}$ en decibeles, obtenido de la evaluación de ruido emitido por una FFR, no podrá exceder los niveles que se fijan en la Tabla, de acuerdo al uso del suelo en que se encuentre.” (MAE, 2015)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Tabla 2. Niveles máximos de emisión de ruido (LKeq) para fuentes fijas de ruido. Acuerdo Ministerial No. 028

(MAE, 2015)

NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE RUIDO PARA FFR		
Uso de suelo	LKeq (dB)	
	Periodo Diurno	Periodo Nocturno
	07:01 hasta 21:00 horas	21:01 hasta 07:00 horas
Residencial (R1)	55	45
Equipamiento de Servicios Sociales (EQ1)	55	45
Equipamiento de Servicios Públicos (EQ2)	60	50
Comercial (CM)	60	50
Agrícola Residencial (AR)	65	45
Industrial (ID1/ID2)	65	55
Industrial (ID3/ID4)	70	65
Uso Múltiple	Cuando existan usos de suelo múltiple o combinados se utilizará el LKeq más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación. Ejemplo: Uso de suelo: Residencial + ID2 LKeq para este caso = Diurno 55 dB y Nocturno 45dB.	
Protección Ecológica (PE) Recursos Naturales (RN)	La determinación del LKeq para estos casos se lo llevara a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 4.	

“4.2 Niveles máximos de emisión de ruido para Fuente Móvil de Ruido (FMR)

4.2.1 El nivel máximo de emisión de ruido emitido por FMR, expresado en dB(A) no podrá exceder los niveles que se fijan en la Tabla.” (MAE, 2015)

Tabla 3. Niveles máximos de emisión para fuentes móviles de ruido. Acuerdo Ministerial No. 028 (MAE, 2015)

CATEGORÍA DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN	NPS MAXIMO (dBA)
	De hasta 200 c.c	80
Motocicletas	Entre 200 y 500 c.c.	85
	Mayores a 500 c. c.	86
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor.	80
Vehículos	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso no mayor a 3,5 toneladas	81
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso mayor a 3,5 toneladas.	82
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, peso mayor a 3,5 toneladas, y potencia de motor mayor a 200 HP.	85
	Peso máximo hasta 3,5 toneladas.	81
Vehículo de Carga:	Peso máximo de 3,5 toneladas hasta 12 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12 toneladas.	88

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Existen actualmente equipos sofisticados capaces de monitorear al ruido. Entre los instrumentos de medida del ruido cabe señalar a los sonómetros, los calibradores acústicos y los dosímetros. El instrumento básico es el sonómetro, que es un dispositivo electrónico que consta básicamente de un micrófono, un pre amplificador, y un circuito electrónico. Los sonómetros se clasifican por su precisión en Tipo 1 y Tipo 2. El Tipo 1 se emplea como patrón de referencia en los laboratorios de calibración o para realizar otras mediciones de precisión del nivel sonoro, mientras que el Tipo 2 es el medidor de uso general recomendado para monitoreos en el ámbito industrial o ambiental.

Los sonómetros actualmente incorporan filtros de ponderación que permiten el paso de la mayoría de las frecuencias pero que discriminan otras. El filtro más utilizado es el de ponderación A, desarrollado para simular la curva de respuesta del oído humano a niveles de escucha moderados. Los sonómetros ofrecen también diversas respuestas de medición: la respuesta “lenta”, con una constante de tiempo de 1 segundo; la respuesta “rápida” con una constante de tiempo de 0,125 segundos; y la respuesta “impulsivo” que tiene una respuesta de 35 ms para la parte creciente de la señal y una constante de tiempo de 1.500 ms para la parte decreciente de la señal. (OIT, 1998)

Pueden encontrarse especificaciones de sonómetros en normas internacionales, como la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) y el American National Standards Institute (ANSI). (OIT, 1998)

Para facilitar un análisis acústico más detallado, los sonómetros modernos disponen filtros de banda octava y de tercio de banda octava. Los sonómetros actuales son cada vez más pequeños y fáciles de manejar, al tiempo que aumentan sus posibilidades de medición. (OIT, 1998)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Para medir exposiciones a ruido variable o aleatorio, como las que se producen en ambientes de ruido intermitente o ruido de impulso, es mejor utilizar un sonómetro integrador ya que éste puede medir simultáneamente niveles de ruido equivalente, pico y máximo, así como calcular, registrar y almacenar varios valores automáticamente. El dosímetro es una modalidad de sonómetro integrado que puede llevarse en el bolsillo de la camisa o sujeto a la ropa del trabajador empleado para la evaluación de la exposición al ruido de un trabajador que no permanece siempre en el mismo lugar durante su jornada. (OIT, 1998)

Es importante asegurarse de que los instrumentos de medida del ruido estén siempre correctamente calibrados. Para ello hay que comprobar su calibración acústica antes y después de cada uso, además de realizar calibraciones electrónicas a intervalos apropiados. (OIT, 1998)

Estos equipos son indispensables para la evaluación acústica de un lugar o puesto de trabajo, ya que en base a un monitoreo se puede conocer los niveles de ruido presentes en el ambiente, a fin de compararlos con los valores límites de exposición determinando así si existiría o no un riesgo higiénico por ruido en ese lugar.

En relación a la normativa legal ecuatoriana para el monitoreo de ruido ambiental, en el Acuerdo Ministerial No. 028, Libro VI de la Calidad Ambiental, Anexo 2, numeral 5.2.6 Requisitos de los Equipos de Medición, se especifica que:

“Las evaluaciones deben realizarse utilizando sonómetros integradores clase 1 o clase 2, de acuerdo a la Norma de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 61672-1:2002, o cualquiera que la sustituya.” (MAE, 2015)

“Para verificar el correcto funcionamiento del sonómetro durante las mediciones, se utilizará un calibrador acústico que sea apropiado para el sonómetro. Se medirá el Nivel de Presión Sonora (NPS) del calibrador con el sonómetro antes y después de la medición, estos NPS deben constar en el informe de mediciones. El sonómetro podrá ser usado para la

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

medición solo si el NPS medido con el calibrador tiene una desviación máxima acorde al criterio del Servicio de Acreditación Ecuatoriano o el que lo reemplace.” (MAE, 2015)

“Los equipos de medición de ruido y sus componentes deberán estar en óptimas condiciones de funcionamiento y poseer los debidos certificados de calibración, emitidos por un laboratorio competente. Se recomienda que los certificados de calibración de los calibradores acústicos sean renovados cada año calendario y el de los sonómetros cada dos. No se permitirá la realización de mediciones con instrumentos cuyos certificados de calibración hayan caducado.” (MAE, 2015)

Las pruebas de calibración y verificaciones periódicas para los monitores de ruido se basan en la normativa IEC 61672 partes 1, 2 y 3. En las mismas se establecen las pruebas tanto eléctricas, como acústicas que se deben realizar para la calibración de estos instrumentos.

En rasgos generales, las pruebas eléctricas a las que se somete a los instrumentos consisten en simular señales de ruido a través de señales eléctricas sinusoidales para alcanzar los niveles de presión sonora establecidos como puntos de verificación. De esta forma se puede verificar la linealidad eléctrica del instrumento. Las pruebas acústicas en cambio se realizan con equipamiento capaz de generar señales de ruido sea a presión sonora fija y niveles de frecuencia variable, o viceversa. Esta prueba fundamentalmente permite evaluar la respuesta del micrófono acoplado a la parte electrónica del equipo.

Con el fin de tener una certeza de los resultados obtenidos de una medición de ruido empleando un monitor, se requiere que el mismo sea calibrado periódicamente en un laboratorio competente, que garantice que el error de las mediciones y la incertidumbre asociada a éstas se encuentren dentro del error máximo permitido. Dependiendo de los requerimientos del usuario, el Laboratorio de calibración deberá estar acreditado a la norma ISO 17025 Requisitos

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayos y Calibración, ante un ente local regulador.

En nuestro medio, el Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE), es el ente regulador que a nivel local acredita a los laboratorios tanto de ensayo como de calibración. Dentro de la base de datos de esta entidad, actualmente no se tiene registro de un laboratorio a nivel nacional habilitado para realizar calibraciones con acreditación ISO 17025 de equipos de monitoreo de ruido. Esto determina que los usuarios que requieran una calibración de este tipo para sus instrumentos, tengan que buscar opciones de laboratorios acreditados en el exterior. A nivel regional, el país más cercano para el acceso a este tipo de servicios es Colombia. Otros países opcionados son México, Estados Unidos, y países europeos como España o el Reino Unido. Esto determina que los factores costo y tiempo sean desfavorables para los usuarios, ya que el valor de una calibración acreditada en el exterior es bastante onerosa, pues a más del costo del servicio se deben considerar otros gastos como envíos e impuestos de nacionalización al retorno de los instrumentos. En relación al tiempo, todo el proceso que involucra la ida y retorno de un instrumento que va a calibración en el exterior oscila entre 45 a 60 días, tiempo en el cual a su vez se genera un lucro cesante para el usuario.

En vista de este panorama, y con el afán de contar con un laboratorio acreditado para la calibración de monitores de ruido a nivel local, un laboratorio de calibración de equipos de medición de riesgos laborales ubicado en la ciudad de Quito se encuentra actualmente en fase de desarrollo para aplicar ante el SAE a la acreditación de la Norma ISO 17025, en la magnitud de Acústica, considerando las variables de presión sonora y frecuencia para equipos de monitoreo de ruido. De esta manera, al mediano plazo cuando este Laboratorio cuente con la acreditación ISO 17025 ante el SAE, estará facultado para brindar la calibración acreditada de equipos de monitoreo de ruido, siendo beneficioso para los usuarios locales.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

En relación a las pruebas acústicas de calibración, se toma como referencia una señal acústica de 94 dBA y frecuencia de 1 kHz, generada por un calibrador acústico multifunción de clase 1 empleado como patrón. A continuación, manteniendo fijo el nivel de presión sonora en los 94 dBA se debe variar la frecuencia de la señal en los valores de referencia para bandas de octava en relación 1 a 1 (31.5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 12.5 kHz, 16 kHz). Si bien los pistófonos o calibradores acústicos que se colocan al micrófono del sonómetro, por diseño permiten un acople insonorizado, existen perturbaciones de ruido externas que podrían atravesar hacia el interior de este acople, y afectar o influir en los resultados de las mediciones tomadas durante las pruebas de calibración acústica, considerando además que el ruido a más de propagarse por el aire puede hacerlo también a través de los cuerpos, como por ejemplo la superficie de la mesa de trabajo.

Con el fin de reducir o eliminar las perturbaciones acústicas presentes en el ambiente, que podrían influir en la respuesta de los equipos bajo prueba, así como para tener un aseguramiento metrológico y garantizar la calidad de las mediciones acústicas realizadas durante la calibración, en el presente proyecto de titulación se pretende presentar el diseño de una cabina insonorizada para un laboratorio de calibración de equipos de monitoreo de ruido ubicado en la ciudad de Quito. Esta cabina tendrá las dimensiones adecuadas para permitir el ingreso de un técnico y disponer en su interior de una mesa de trabajo y equipos dedicados, que le permitan realizar las pruebas de calibración acústica aisladamente de la contaminación acústica externa.

Tomando como referencia a una cabina para pruebas audiométricas, la normativa aplicable para los requerimientos acústicos de este tipo de habitáculos, existen varias normas internacionales que establecen requerimientos acústicos concretos en parámetros como los niveles de ruido ambiente por banda de octava que se deben garantizar al interior de una cabina audiométrica. (Rodríguez, 2017)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Así por ejemplo, la norma ISO 8253 – 1 de 1989 que define los métodos para la realización de pruebas audiométricas, establece en el numeral 11 los niveles de ruido ambiente por tercio de octava que se deben garantizar al interior de una cabina insonorizada para aplicar audiometrías tanto por vía aérea como ósea. (Rodríguez, 2017)

En la Tabla 4 se presentan los niveles máximos de presión sonora en tercios de octava establecidos en la norma ISO 8253 – 1 de 1989 para ambientes de test audiométrico.

Tabla 4. Niveles máximos de presión sonora en tercios de octava para ambientes de test audiométrico – Norma ISO 8253 – 1 de 1989. (3R Brasil, 2010)

NPSs Máximos Permissíveis em dB																
Frequência	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
Via Aérea	27	26	26	26	26	28	31	33	35	38	40	42	44	43	42	41
Via óssea	21	19	17	16	16	15	15	15	16	16	14	12	10	12	17	23

De igual manera, la norma ANSI S3.1 – 1999 detalla los requerimientos con los que debe cumplir el ambiente sonoro al interior de la cabina insonorizada. En ésta se define los niveles máximos permisibles de ruido ambiente en una habitación para pruebas audiométricas. No obstante esta norma guarda similitud con la ISO en los rangos de frecuencia que establece para realizar la emisión de tonos del test; 125 Hz a 8.000 Hz, 250 Hz a 8.000 Hz y 500 Hz a 8.000 Hz. (Rodríguez, 2017)

En la Tabla 5 se presentan los niveles máximos permitidos de ruido ambiente en octavas y tercios de octava para pruebas audiométricas con los oídos descubiertos según esta norma ANSI.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Tabla 5. Niveles máximos permitidos de ruido ambiente en octavas y tercios de octava para pruebas audiométricas con los oídos descubiertos – Norma ANSI S3.1 – 1999 (ANSI, 1999)

Center Freq.	Octave Band ^a			One-Third Octave Band		
	125 to 8000 Hz	250 to 8000 Hz	500 to 8000 Hz	125 to 8000 Hz	250 to 8000 Hz	500 to 8000 Hz
125	29.0	35.0	44.0	24.0	30.0	39.0
250	21.0	21.0	30.0	16.0	16.0	25.0
500	16.0	16.0	16.0	11.0	11.0	11.0
800	–	–	–	10.0	10.0	10.0
1000	13.0	13.0	13.0	8.0	8.0	8.0
1600	–	–	–	9.0	9.0	9.0
2000	14.0	14.0	14.0	9.0	9.0	9.0
3150	–	–	–	8.0	8.0	8.0
4000	11.0	11.0	11.0	6.0	6.0	6.0
6300	–	–	–	8.0	8.0	8.0
8000	14.0	14.0	14.0	9.0	9.0	9.0

Finalmente la norma OSHAS define los niveles máximos de presión sonora permisibles al interior de una cabina para pruebas audiométricas. A diferencia de las normas antes citadas, esta última define valores de presión sonora generales por banda de octava, sin diferenciar los mismos según el tipo de prueba audiométrica o el rango de frecuencias en el cual se emitirán los tonos del test audiométrico. (Rodríguez, 2017)

Los valores de presión sonora que se definen en la OSHAS se plantean teniendo en cuenta los aspectos señalados por la ANSI en relación a los valores de presión que se deben garantizar al interior de una cabina para pruebas audiométricas. En la Tabla 6 se exponen los valores máximos de niveles de presión sonora en bandas de octava, según lo establecido en las OSHAS para salas de audiometrías. (Rodríguez, 2017)

Tabla 6. Valores máximos de niveles de presión sonora en bandas de octava para salas de audiometrías – Normas OSHAS (Rodríguez, 2017)

TABLE D-1- MAXIMUM ALLOWABLE OCTAVE-BAND SOUND PRESURE LEVELS FOR AUDIOMETRIC TEST ROOMS						
Octave-band center frequency (Hz)	500	1000	2000	4000	8000	
Sound pressure level (dB)	40	40	47	57	62	

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Ahora bien, ninguna de las normas antes mencionadas presenta lineamiento en relación a otras variables acústicas que se podrían tener en cuenta como el tiempo de reverberación máximo que se debería tener al interior de una cabina insonorizada. (Rodríguez, 2017)

Este tipo de aspectos se dejan por fuera de la normativa teniendo en cuenta que el aislamiento acústico se centra específicamente en aislar el ambiente sonoro interno de la cabina, del sonido o ruido ambiente presente al exterior a la misma. (Rodríguez, 2017)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar una cabina insonorizada en base al criterio de Niveles máximos permisibles de ruido ambiente en octavas para pruebas audiométricas, según lo establecido por la Norma ANSI S3.1 – 1999 “*Maximum Permissible Ambient Noise Levels for Audiometric Test Rooms*”, a fin de disponer de un espacio aislado del ruido ambiental presente en un Laboratorio de calibración de monitores de ruido.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Medir el ruido de fondo presente en el Laboratorio a fin de conocer los niveles de presión sonora que constituyen para este caso la fuente de contaminación acústica que se debería atenuar.
- Comparar los resultados obtenidos del ruido de fondo presente en el Laboratorio con los valores de referencia dados en la Norma ANSI S3.1 – 1999 sobre los niveles máximos permisibles de ruido ambiente en bandas de octava para pruebas audiométricas con los oídos descubiertos, para la correcta selección y establecimiento de los niveles de presión sonora a atenuar.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

- Seleccionar los materiales y establecer las formas geométricas de la cabina, en base a los resultados obtenidos de la atenuación del ruido de fondo según lo especificado en la Norma ANSI S3.1 – 1999.

1.3 Justificación

El monitoreo del ruido como un agente contaminante es una situación frecuente tanto en el ámbito industrial como ambiental. Para tal efecto se requiere el empleo de equipos profesionales debidamente ajustados y calibrados, a fin de que sus lecturas sean fiables y por ende consideradas como verdaderas al momento de analizarlas para una evaluación de riesgo por exposición al ruido. La calibración de estos instrumentos debe llevarse a cabo en un laboratorio competente y, dependiendo de los requerimientos legales, del usuario o de otros, dicho laboratorio deberá tener una acreditación a la norma ISO 17025 ante el organismo de regulación local.

En nuestro medio, actualmente no se dispone de un laboratorio acreditado para la calibración de equipos de monitoreo de ruido acorde a las normas IEC 61672 que especifican las pruebas a efectuar tanto eléctricas como acústicas para estos instrumentos, debiendo los usuarios buscar opciones de laboratorios acreditados en el exterior, lo cual se traduce en altos costos y largos periodos de tiempo en el traslado y retorno de los instrumentos. Por estas razones, un laboratorio técnico de la ciudad de Quito, dedicado a la calibración y mantenimiento de equipos de medición de riesgos ha decidido acreditarse ante el SAE a la norma ISO 17025 en la magnitud de Acústica para las variables de presión sonora y frecuencia respectivas a equipos de monitoreo de ruido. A su vez, posterior a la acreditación del laboratorio, como acción de mejora se pretende disponer de una cabina insonorizada para realizar las pruebas acústicas a los equipos, con el objeto de tener mediciones de calibración más exactas al eliminar cualquier fuente externa de ruido, lo cual implica un aseguramiento metrológico para la calidad

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

de los resultados emitidos por el laboratorio. Además que se estaría contribuyendo al desarrollo en el ámbito metrológico del país al contar con un laboratorio acreditado y que a su vez disponga de esta cabina insonorizada que aporte en la fiabilidad y garantía de los resultados presentados al usuario final, razones por las cuales se justifica el desarrollo del presente proyecto.

1.4 Marco Teórico

En la evaluación del riesgo por exposición al ruido los equipos de monitoreo cumplen un papel muy importante, pues los resultados obtenidos luego de una medición permitirán verificar al evaluador si los niveles de contaminación acuática se encuentran dentro o no de los valores límite permisibles de acuerdo a lo establecido en la normativa Legal vigente para cada país o región del mundo.

Según lo establecido en la normativa legal española, en el REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, Artículo 5 (ver ANEXO A), se establecen los Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción. A su vez, en este mismo Real Decreto, en el Anexo III se especifican los requisitos que deben cumplir los Instrumentos de medición empleados para el monitoreo del ruido ocupacional (ver ANEXO B).

Con respecto al ruido Ambiental, la legislación española en el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, por ejemplo en el Anexo II se especifican los objetivos de calidad acústica para áreas urbanizadas y espacios interiores (ver ANEXO C).

Para la realidad ecuatoriana, el Decreto Ejecutivo 2393 en el Capítulo V, Artículo 55 se especifican los valores límites de exposición al ruido para el ámbito laboral, mientras que en el Acuerdo Ministerial No. 028, Libro VI de la Calidad Ambiental, Anexo 2, numeral 4 se detallan

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

los niveles máximos de emisión de ruido tanto para fuentes fijas, como móviles. A su vez, en este Acuerdo Ministerial, en el Anexo 2, numeral 5.2.6 se especifican los requisitos de los Equipos de Medición para la evaluación del ruido ambiental así como el requerimiento de ser instrumentos que se encuentren con una calibración vigente con periodicidad anual para los calibradores acústicos y bianual para los sonómetros.

En relación a las características de los instrumentos de medición para la evaluación del ruido ocupacional y los requerimientos de calibración de los mismos, actualmente no se dispone de una referencia en la normativa legal vigente ecuatoriana.

Debido a las consecuencias de afectación a la salud humana causadas por la exposición al ruido, se requiere que los instrumentos destinados para la evaluación y monitoreo de este agente físico sean equipos profesionales de alta precisión y exactitud, con cumplimiento de especificaciones técnicas tanto de construcción como de operación determinadas y aprobadas universalmente por estándares reconocidos globalmente, como es el caso de las normas IEC o ANSI. Adicionalmente, es importante que estos equipos de monitoreo destinados para la evaluación higiénica del ruido sean calibrados periódicamente en base a las pruebas especificadas en las normativas IEC 61672, en Laboratorios competentes preferiblemente acreditados a la norma ISO 17025 ante un ente local regulador. Esto determina que las mediciones realizadas en un monitoreo de ruido son confiables y por ende acordes a la realidad del lugar o puesto de trabajo evaluado, lo cual permitirá al técnico realizar una evaluación del riesgo real, que determinará a su vez establecer las acciones de control correctas para su mitigación.

Conceptos Generales de Acústica

Se entiende por sonido la vibración mecánica de las moléculas de un gas, de un líquido, o de un sólido, como el aire, el agua, las paredes, etc., que se propaga en forma de ondas, y que

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

es percibido por el oído humano; mientras que el ruido es todo sonido no deseado, o que produce daños fisiológicos y/o psicológicos o interferencias en la comunicación. (Mondelo, 1994)

El sonido se puede caracterizar y definir mediante dos parámetros: presión acústica y frecuencia. (Mondelo, 1994)

La presión acústica, o sonora (p) es la raíz media cuadrática de la variación periódica de la presión en el medio donde se propaga la onda sonora. La unidad de medida de la presión acústica es el pascal ($\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$). También es usual la utilización, en lugar de la presión acústica, de la intensidad acústica, o sonora (I), cuya unidad de medida es el W/m^2 . (Mondelo, 1994)

La frecuencia (f) es el número de ciclos de una onda que se completan en un segundo y su unidad de medida es el hertz (Hz), que equivale a un ciclo por segundo. (Mondelo, 1994)

El oído percibe las variaciones periódicas de presión en forma de sonido cuando su frecuencia está entre los 16 y 16000 Hz aproximadamente, según la sensibilidad de las personas, y su presión acústica entre $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ y $2 \times 10^4 \text{ Pa}$ (en el caso de la intensidad acústica, su escala audible está entre $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$ y $10^4 \text{ W}/\text{m}^2$); este intervalo varía de acuerdo con el tipo de sonido, las características individuales, sexo, edad, fatiga, grado de concentración, etcétera. (Mondelo, 1994)

Por otra parte, es conveniente definir la potencia sonora, que es la energía total radiada por una fuente en la unidad de tiempo, y su unidad es el watt (W). (Mondelo, 1994)

Como se puede apreciar, la enorme amplitud de los intervalos que determinan la presión acústica y la intensidad acústica son notables y hacen poco práctico su uso, por ello se ha establecido emplear una unidad de medida que facilite su empleo, siendo ésta el decibelio (dB), unidad que refleja la presión acústica (y la intensidad acústica), y como herramienta matemática

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

que simplifica la escala de los valores de éstas, que a la vez es compatible con la sensibilidad del oído que percibe logarítmicamente el sonido. (Mondelo, 1994)

De ahí que se define el nivel de presión acústica L_p , con la siguiente expresión:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ (dB)}$$

En la que p es la raíz media cuadrática de la variación periódica de la presión del sonido investigado, y p_0 es la presión acústica tomada convencionalmente como patrón del sonido más débil que puede ser percibido por jóvenes normales (2×10^{-5} Pa). (Mondelo, 1994)

Con el fin de facilitar el análisis de los sonidos, se divide el intervalo de frecuencias audibles en bandas de frecuencias que se denominan según sus frecuencias centrales de cada banda, de la siguiente forma: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 y 8000 Hz. Estas bandas, llamadas bandas de octavas, a su vez pueden dividirse, para mayor precisión en el análisis, en tercios de bandas de octavas. (Mondelo, 1994)

Generalmente los sonidos no están constituidos por una sola frecuencia (sonido simple o tono puro), sino que su espectro está formado por múltiples frecuencias (sonidos complejos); este espectro, para el análisis del sonido, se puede descomponer mediante los filtros de un analizador de frecuencias. (Mondelo, 1994)

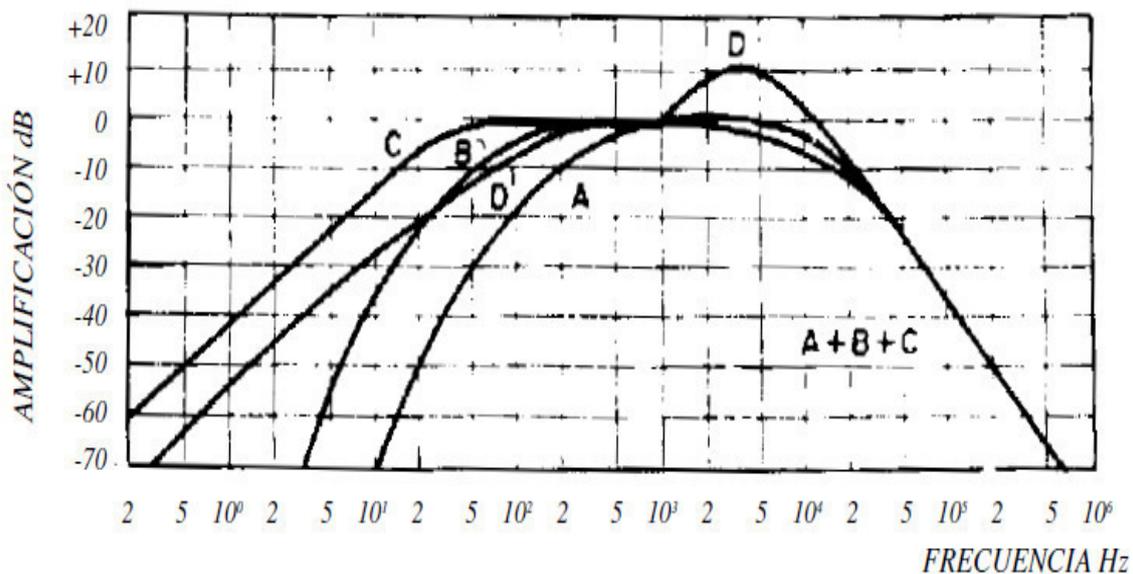
No es usual que las frecuencias de un sonido complejo posean la misma presión acústica. Así pues, los sonidos cotidianos presentes en la industria, en la vía pública, en el hogar, etc., son sonidos complejos, constituidos por muchas frecuencias, cada una de las cuales posee un nivel de presión acústica diferente y, además, variable en el tiempo. (Mondelo, 1994)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Curvas de ponderación

Las mediciones de sonido se pueden efectuar con diversos instrumentos, como son los sonómetros y los dosímetros. La diferencia de sensibilidad existente entre el oído humano y los instrumentos frente a las diversas frecuencias existentes, se supera mediante el uso de filtros, que más o menos logran simular la sensibilidad humana, siguiendo las curvas de ponderación. (Mondelo, 1994)

Figura 1. Curvas de Ponderación del Ruido (Mondelo, 1994)



Para ello, y según los objetivos que se persigan, además de la medición global del nivel de presión acústica, existen cuatro filtros que miden el sonido siguiendo dichas curvas de ponderación denominadas: A, B, C y D. En la Figura 1 se pueden observar dichas curvas, donde la curva A es la más próxima a la curva de sensibilidad del oído humano. En la Tabla 7 se pueden observar las equivalencias entre las curvas. (Mondelo, 1994)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Tabla 7. Correcciones de la presión sonora según las curvas de valoración de la frecuencia. (Mondelo, 1994)

Frecuencia en Hz	Trascuro relativo de frecuencia en dB			
	Curva A	Curva B	Curva C	Curva D
10	-70,4	-38,2	-14,3	
12,5	-63,4	-33,2	-11,2	
16	-56,7	-28,5	-8,5	
20	-50,5	-24,2	-6,2	
25	-44,7	-20,4	-4,4	
31,5	-39,4	-17,1	-3,0	
40	-34,6	-14,2	-2,0	-14
50	-30,2	-11,6	-1,3	-12
63	-26,2	-9,3	-0,8	-11
82	-22,5	-7,4	-0,5	-9
100	-19,1	-5,6	-0,3	-7
125	-16,1	-4,2	-0,2	-6
160	-13,3	-3,0	-0,1	-5
200	-10,9	-2,0	0	-3
250	-8,6	-1,3	0	-2
315	-6,6	-0,8	0	-1
400	-4,8	-0,5	0	0
500	-3,2	-0,3	0	0
630	-1,9	-0,1	0	0
800	-0,8	0	0	0
1000	0	0	0	0
1250	+0,6	0	0	2
1600	+1,0	0	-0,1	6
2000	+1,2	-0,1	-0,2	8
2500	+1,3	-0,2	-0,3	10
3150	+1,2	-0,4	-0,5	11
4000	+1,0	-0,7	-0,8	11
5000	+0,5	-1,2	-1,3	10
6300	-0,1	-1,9	-2,0	9
8000	-1,1	-2,09	-3,0	6
10000	-2,5	-4,3	-4,4	3
12500	-4,3	-6,3	-6,2	0
16000	-6,6	-8,5	-8,5	
20000	-9,3	-11,2	-11,2	

De manera que cuando se efectúa una medición utilizando el filtro A, el resultado se obtiene en decibeles A y se expresa: LpA, que convencionalmente recibe el nombre de nivel de presión acústica ponderado A, también denominado por muchos autores nivel sonoro o nivel acústico: LdB(A), para diferenciarlo del nivel de presión acústica Lp. (Mondelo, 1994)

Tipos de sonido en función del tiempo

El sonido puede ser de diferentes tipos según su comportamiento en el tiempo:

- Ruido continuo o constante, cuando sus variaciones no superan los 5 dB durante la jornada de 8 horas de trabajo. (Mondelo, 1994)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

- Ruido no continuo o no constante, cuando sus variaciones superan los 5 dB durante la jornada de 8 horas de trabajo. Este, a su vez, puede ser de dos tipos: intermitente y fluctuante. (Mondelo, 1994)

Ruido intermitente es aquel cuyo nivel disminuye repentinamente hasta el nivel de ruido de fondo varias veces durante el período de medición y que se mantiene a un nivel superior al del ruido de fondo durante 1 segundo al menos. (Mondelo, 1994)

Ruido fluctuante es el que cambia su nivel constantemente y de forma apreciable durante el período de medición. (Mondelo, 1994)

- Ruido de impacto o de impulso es el que varía en una razón muy grande en tiempos menores de 1 segundo, como son un martillazo, un disparo, etc. (Mondelo, 1994)

Existen normas establecidas para la medición del ruido según su tipo. El caso más sencillo es cuando el ruido es continuo, para lo cual sólo es necesaria la medición de éste (L_p). Pero cuando el ruido no es continuo, es necesario calcular el nivel de presión acústica continuo equivalente, que en el caso de ser medido con el filtro A, se expresará: $L_{Aeq,T}$ (Mondelo, 1994)

Figura 2. Expresión para el cálculo del nivel de presión acústica continuo equivalente en ponderación A

(Mondelo, 1994)

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right]$$

Siendo:

p_A = presión acústica ponderado A en pascales

p_0 = presión de referencia ($2 \cdot 10^{-5}$ pascales)

Muchas veces se hace necesario medir el nivel diario equivalente, $L_{Aeq,d}$, o el semanal,

$L_{Aeq,s}$.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 3. Expresión para el cálculo del Nivel diario equivalente en ponderación A. (Mondelo, 1994)

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8}$$

Siendo:

T = el tiempo de exposición al ruido del trabajador

En el caso de los ruidos de impacto, las mediciones se harán del nivel de pico, L_{MAX} (Mondelo, 1994)

Figura 4. Expresión para el cálculo de medición del Nivel de Pico. (Mondelo, 1994)

$$L_{m\acute{a}x} = 10 \log \left(\frac{p_{m\acute{a}x}}{p_0} \right)^2$$

Siendo: $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ N/m² (pascal)

Características del sonómetro para medir $p_{m\acute{a}x}$:
debe tener una constante de tiempo >100 μ segundos

Con un sonómetro IMPULSE y ponderación (A) según CEI 651

SI

dB(A) impulse <130 dB(A) \longrightarrow dBpico <140 dB

Ruido de fondo

El ruido de fondo constituye cualquier sonido indeseado que se produce de forma simultánea a la realización de una medida acústica, y que puede afectar al resultado de ésta.

Para evaluar el ruido de fondo, en primer lugar, se debe intentar minimizar la influencia de todas las fuentes de ruido ajenas a la materia de inspección.

A veces es necesario restar el ruido de fondo del Nivel de Presión Sonora (NPS) total. La corrección para el ruido de fondo puede hacerse restando el ruido de fondo ($L_{pbackground}$) del nivel de ruido total (L_{ptot}) usando la siguiente ecuación:

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 5. Expresión para el cálculo de corrección para el ruido de fondo. (Brüel&Kjær, 2000)

$$L_{presult} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{plot}}{10}} - 10^{\frac{L_{pbackground}}{10}} \right)$$

Si ΔL es inferior a 3 dB, el ruido de fondo es demasiado alto para una medida de precisión y el nivel de ruido correcto no se puede hallar hasta que el ruido de fondo haya sido reducido. Si, por otra parte, la diferencia es superior a 10 dB, el ruido de fondo puede ser ignorado. (Brüel&Kjær, 2000)

Aislamiento y Acondicionamiento Acústico

El aislamiento acústico es la capacidad que poseen los elementos constructivos para disminuir la transmisión del sonido. En general, se entiende por aislamiento al conjunto de procedimientos empleados para reducir o evitar la transmisión de ruidos de un local a otro y del exterior hacia un local o viceversa, a fin de obtener una calidad acústica determinada. (COMPOSAN, 2015)

El aislamiento depende de las propiedades de los materiales, de las soluciones constructivas empleadas y del contexto arquitectónico. (COMPOSAN, 2015)

El acondicionamiento acústico de un local consiste en controlar la energía sonora reflejada en las paredes del mismo para reducir la reverberación, mejorar las cualidades de escucha y disminuir el nivel sonoro medio global del local. (COMPOSAN, 2015)

Esto se consigue tratando las superficies interiores del recinto con materiales que permitan una difusión adecuada de la energía acústica en el interior del mismo. (COMPOSAN, 2015)

Cada local tiene características acústicas diferentes. Una de éstas es el tiempo de reverberación que se mide en segundos. El tiempo de reverberación es aquel requerido en un

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

espacio cerrado, para un sonido de una frecuencia o banda de frecuencia determinada, a fin de que el nivel de presión sonora dentro de él disminuya en 60 dB, después de haber cesado la fuente. (COMPOSAN, 2015)

Los materiales en acústica se pueden emplear para reducir el tiempo de reverberación de un recinto o bien como una barrera para reducir la intensidad del sonido que viaja de un punto a otro. En cuanto al primer tipo de estos materiales están los materiales absorbentes, dentro de los cuales los más importantes son los materiales porosos, que están contruidos por una estructura sólida dentro de la cual existen una serie de cavidades o poros intercomunicados entre sí y con el exterior. Entre los principales materiales porosos están las lanas de roca y las espumas de poliuretano. (COMPOSAN, 2015)

Ruido Aéreo y ruido de impacto

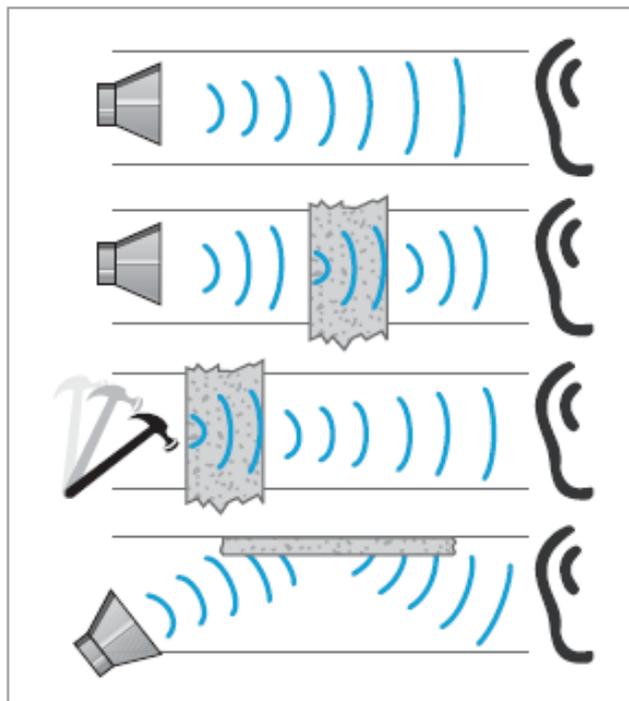
Las vibraciones sonoras se propagan por transferencia de energía de unas partículas a otras adyacentes que encuentren en su camino, ya sean del aire o elementos sólidos, por las siguientes vías: (COMPOSAN, 2015)

- Toda emisión sonora en un local hace vibrar el aire y el sonido se propaga directamente.
- Cuando las vibraciones chocan con las paredes, éstas entran a su vez en vibración, generando vibraciones nuevas en el aire del local adyacente.
- Cuando una pared está sometida a un golpe, vibra y genera vibraciones en el aire del local adyacente.
- Cuando las vibraciones sonoras rebotan en las paredes, se produce la reverberación de los sonidos.

En la Figura 6 se ilustra la forma de propagación de las ondas sonoras.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 6. Propagación de las vibraciones sonoras. (COMPOSAN, 2015)



Aislamiento Acústico al ruido Aéreo

Para conseguir un aislamiento acústico al ruido aéreo, se debe evitar que el medio transmisor del ruido (aire) circule libremente. (COMPOSAN, 2015)

Principalmente debe evitarse el camino de transmisión directa entre emisor y receptor mediante la colocación de barreras, pantallas, paredes etc.

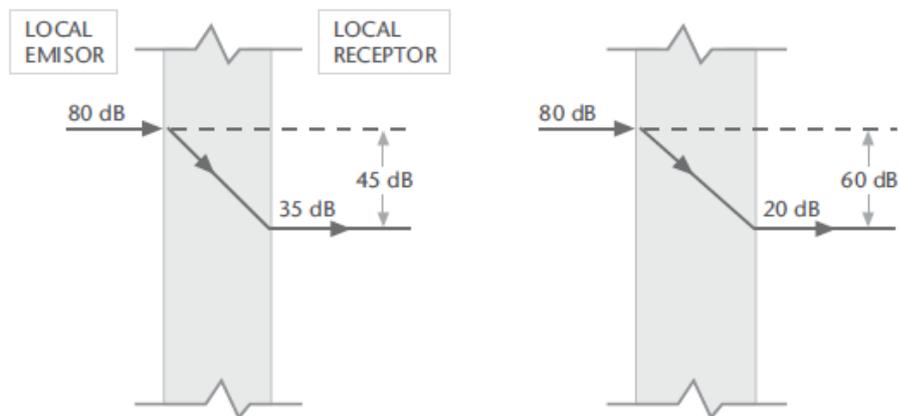
Para conseguir grandes aislamientos es importante incrementar la masa del paramento o pared de separación. A mayor masa, se conseguirá mayor aislamiento.

El cálculo de la energía acústica transmitida a través de una pared es muy simple, si se conoce el nivel de presión acústica del sonido incidente, así como el aislamiento acústico bruto normalizado del material, siendo la diferencia de estos dos valores la energía transmitida por la pared. (COMPOSAN, 2015)

En la Figura 7 se ilustra el aislamiento acústico de elementos constructivos.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 7. Aislamiento acústico específico de un elemento constructivo. (COMPOSAN, 2015)



Sin embargo, los ruidos generados en un recinto pueden penetrar dentro de los recintos próximos no solo a través de las paredes comunes, sino que también se transfieren sonidos a través de todas las otras paredes del recinto en el que está colocada la fuente sonora. Esta transmisión indirecta aparece como consecuencia de que si el elemento vibrante de una pared está conectado con otros elementos según la dirección perpendicular, estos elementos próximos alcanzan un estado de vibración que se propaga a lo largo de las paredes laterales, alcanzando al recinto que se desea aislar. (COMPOSAN, 2015)

Por tanto el aislamiento acústico total de un recinto se determina mediante el aislamiento acústico de todos sus límites, y depende del nivel de ruido existente en el exterior del recinto y del nivel de ruido máximo admisible (ruido creado en el interior del recinto debido a la actividad realizada en el mismo) en el interior de dicho recinto. (COMPOSAN, 2015)

Reducción del nivel sonoro

Se denomina reducción del nivel sonoro a la disminución en decibelios del nivel sonoro como consecuencia de un cambio en las características acústicas del recinto o de la fuente,

$$NR = 10 \log \frac{I_i}{I_f}$$

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Si la fuente sigue emitiendo dentro del recinto con la misma potencia y se han cambiado las características de las superficies, la reducción del nivel sonoro del campo reverberante será:

$$NR = 10 \log \frac{I_i}{I_f} = 10 \log \frac{R_f}{R_i}$$

Si los coeficientes de absorción promedio no son grandes, la reducción del nivel sonoro será aproximadamente:

$$NR = 10 \log \frac{I_i}{I_f} \approx 10 \log \frac{A_f}{A_i}$$

Si la fuente de sonido es externa y se han cambiado las superficies del recinto sin apenas cambiar la transmisión del sonido desde el exterior al interior, la reducción del nivel sonoro del campo reverberante será también:

$$NR = 10 \log \frac{I_i}{I_f} \approx 10 \log \frac{A_f}{A_i}$$

En el caso general, para calcular la reducción del nivel sonoro se deberá tener en cuenta todas las contribuciones a dicha reducción: acondicionamiento de las superficies internas del recinto, aislamiento del exterior y distancia a la fuente. (Martín, 2014)

Aislamiento de una Pared Simple

Se entiende por pared simple a aquella en la que los puntos que están sobre la misma normal no modifican su distancia mutua cuando la pared vibra. No tiene por qué ser homogénea, sino que puede estar formada por varias capas e incluso, puede contener también espacios vacíos. (COMPOSAN, 2015)

El aislamiento de una pared simple puede calcularse a partir de la Ley de la Masa, dada por la siguiente expresión:

$$R = 20 \log(M * f) - 43 \text{ (dB)}$$

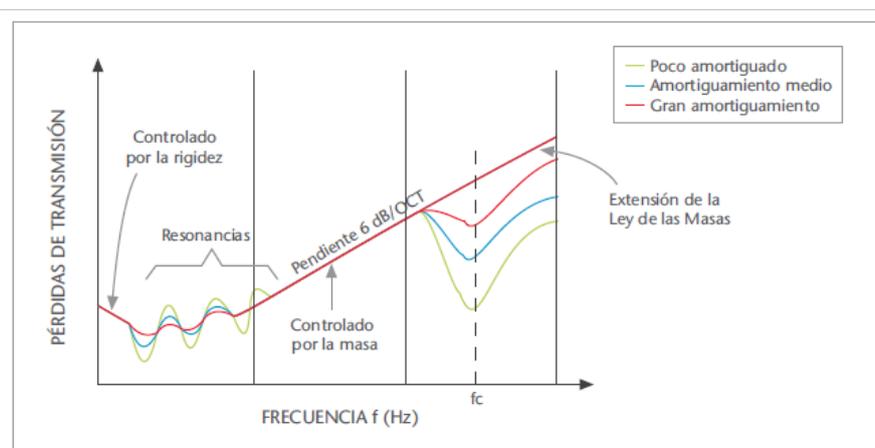
DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Siendo M la masa por unidad de superficie en kg/m^2 y f la frecuencia considerada.

De esta ley se deduce que para una frecuencia fija, el aislamiento aumenta en 6,0 dB cuando se duplica la masa. De igual manera, para una masa dada, el aislamiento crece 6,0 dB al duplicar la frecuencia. (COMPOSAN, 2015)

La Figura 8 muestra la forma de la curva en función de la frecuencia. Para el cálculo se ha considerado que las ondas acústicas inciden perpendicularmente sobre la pared. Si se efectuara el cálculo para todos los ángulos de incidencia, se obtendría un aislamiento menor. La diferencia entre los valores calculado y medido prácticamente se debe a la rigidez. Es decir que la ley de la masa se cumple siempre que las masas que forman la pared sean independientes, pero debido a la naturaleza elástica de los elementos, existe un ligue entre las masas. Esto determina que en una zona de frecuencias, alrededor de una frecuencia denominada de coincidencia f_c , la energía acústica incidente se transmite a través de los paramentos en forma de ondas de flexión, que al acoplarse con las ondas de presión del campo acústico, originan una importante disminución del aislamiento. (COMPOSAN, 2015)

Figura 8. Aislamiento de una pared simple. (COMPOSAN, 2015)



Así, para conseguir que cualquier elemento aproveche al máximo sus propias características aislantes a la presión sonora, es conveniente trabajar con espesores y densidades

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

superficiales de masa que consigan una frecuencia de coincidencia lo más elevada posible por encima de la que es necesario el aislamiento, aprovechando así todos los recursos que ofrece el control por masa. (COMPOSAN, 2015)

Resumiendo, el aislamiento acústico de una pared simple presenta tres zonas:

- Zona gobernada por la rigidez y resonancias propias de la placa.
- Zona gobernada por la Ley de la masa.
- Zona gobernada por la coincidencia de las ondas.

En la práctica, la ley de la masa no es experimental, sino aproximada, y se emplea para obtener una buena aproximación analítica del comportamiento acústico de una pared simple. (COMPOSAN, 2015)

Partiendo del conocimiento teórico de una pared simple y utilizando métodos empíricos y estadísticos, se ha logrado definir una curva que relaciona el nivel de aislamiento global de una pared en función de densidad superficial de masa. (COMPOSAN, 2015)

Pérdida por Transmisión compuesta

En general para las particiones de más un elemento, como por ejemplo pared, ventana y puerta, es necesario encontrar el índice de reducción equivalente R_{eq} , que con el área total del cerramiento produzca una reducción acústica igual a la que tendrán de forma combinada los materiales utilizados. (Estellés, 2005)

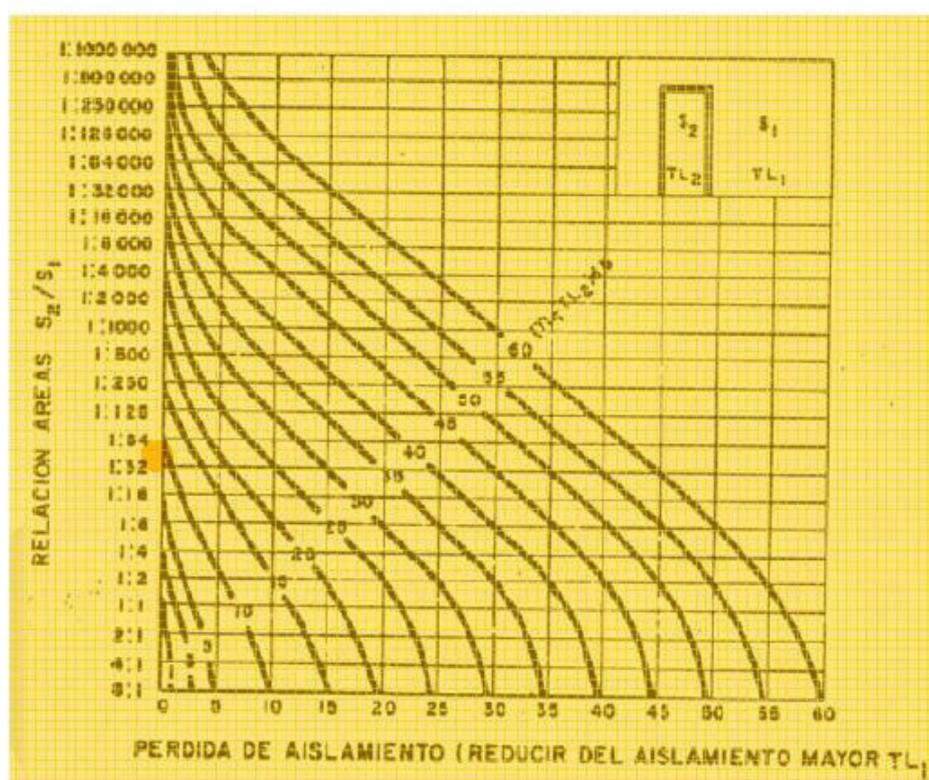
El R_{eq} se determina conociendo las pérdidas por transmisión R_i de los elementos componentes, así como las áreas S_i de los mismos. (Estellés, 2005)

En la Figura 9, en cambio se presenta las curvas para el cálculo de la pérdida por transmisión resultante al considerar dos superficies de materiales distintos.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 9. Curvas para el cálculo de la pérdida por transmisión de dos superficies de materiales distintos.

(Salgado, 2017)



Materiales acústicos y su disposición

Para acondicionar acústicamente un recinto es necesario combinar adecuadamente una serie de elementos. Los más importantes son las superficies reflectantes, las superficies difusoras, y los materiales y sistemas absorbentes. (Martín, 2014)

Cuando la onda acústica incide sobre una superficie, puede producirse absorción (en el sentido de acondicionamiento acústico) o reflexión. La reflexión en la superficie externa es reflexión regular o especular cuando se cumple la ley de Snell, es decir, cuando el ángulo de la onda reflejada es el mismo que el ángulo de la onda incidente. Esto ocurrirá cuando las irregularidades y la textura de la superficie sean mucho menores que la longitud de onda del sonido incidente, es decir cuando la superficie sea relativamente lisa. La reflexión será reflexión difusa cuando no se cumple la ley de Snell y el sonido es reflejado más o menos aleatoriamente

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

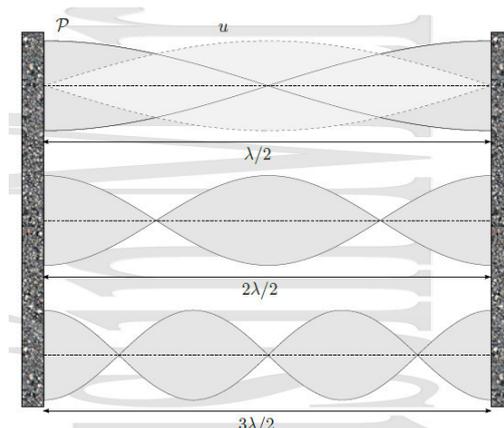
en todas las direcciones. Se producirá reflexión difusa cuando las irregularidades y la textura de la superficie sean del orden de la longitud de onda del sonido incidente, es decir, cuando la superficie sea rugosa en la escala del sonido incidente. Cuando la longitud de onda es mucho menor que las irregularidades, cada una de éstas se comportará en la práctica como una superficie lisa produciéndose reflexiones especulares en cada una de ellas, originándose una reflexión neta en distintas direcciones. (Martín, 2014)

La reflexión del sonido puede ser buena o mala. Por una parte puede hacer que el sonido resulte más agradable y que además refuerce zonas en las que el campo directo se hace pequeño. Sin embargo, también puede dar lugar a la formación de ondas estacionarias de forma que en algunas zonas ciertas frecuencias sufren un refuerzo mientras que en otras se produce una atenuación. Estas ondas aparecen para frecuencias tales que la distancia entre dos superficies paralelas es un múltiplo entero de semi longitudes de onda. Además de estas ondas estacionarias pueden producirse otras más complejas que implican un mayor número de reflexiones, pero que afectan mucho menos al sonido resultante. (Martín, 2014)

En la Figura 10 se muestra la amplitud de una onda de presión para algunas posibles ondas estacionarias entre dos paredes paralelas.

Figura 10: Amplitud de la onda de presión para algunas posibles ondas estacionarias entre dos paredes paralelas, cuando la longitud de onda es tal que la distancia entre las paredes es de 1, 2 y 3 semilongitudes de onda.

(Martín, 2014)



Reflectores acústicos

Los reflectores acústicos se utilizan para conseguir que el sonido reflejado refuerce al directo. Están diseñados especialmente para producir reflexiones (en particular primeras reflexiones) dirigidas hacia las zonas que deben ser reforzadas, mejorándose de esta forma la eficiencia acústica del recinto. Así, es frecuente colocar reflectores acústicos (denominados también tornavoces) detrás del escenario para reforzar el sonido saliente hacia los espectadores. (Martín, 2014)

No todos los tipos de salas ni todos los tipos de usos se benefician de la presencia de reflectores acústicos. En particular, éstos son útiles y en ocasiones necesarios, en recintos dedicados a la palabra (sin megafonía) y a la música no amplificada. (Martín, 2014)

La geometría de los reflectores puede ser tanto plana como curva y se construyen con materiales lisos no porosos y rígidos, intentándose que sean capaces de reflejar la mayor parte de la energía acústica incidente. (Martín, 2014)

Difusores acústicos

Un problema importante a resolver a la hora de acondicionar acústicamente un local, especialmente con salas de música, consiste en la creación de un campo sonoro muy difuso, de forma que el sonido sea envolvente. Para ello se requiere evitar en lo posible las ondas estacionarias y las reflexiones especulares en algunas superficies, evitándose los ecos intensos, y distribuir el sonido en la sala de una forma lo más uniformemente posible. (Martín, 2014)

Los difusores son un excelente complemento a los sistemas absorbentes, ya que disipan mucho menos energía y por tanto permiten atenuar ecos y ondas estacionarias manteniendo al mismo tiempo un recinto vivo. Frente a los reflectores tienen la ventaja de un reparto más uniforme del sonido, aunque cada uno tiene su uso. (Martín, 2014)

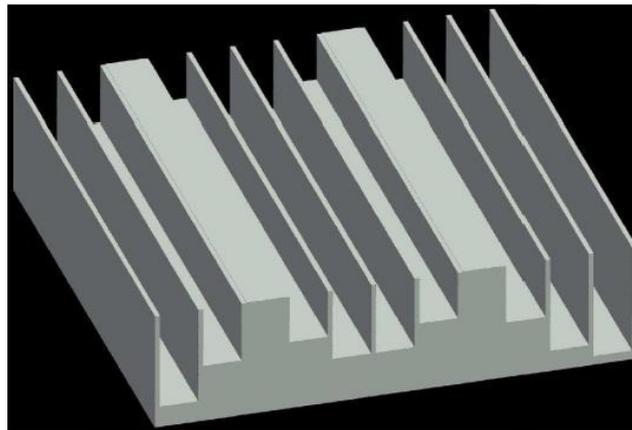
DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Para que un difusor alcance su máxima eficiencia se requieren diseños específicos en función de las frecuencias y de las salas para las que están proyectados. (Martín, 2014)

Existen sofisticados diseños de difusores acústicos optimizados para obtener un alto rendimiento. Quizás los más conocidos son los difusores de residuos cuadráticos de Schroeder, consisten en reflectores colocados en el fondo de acanaladuras a distintas profundidades. Los distintos valores de éstas hacen que la reflexión del sonido total se produzca con una serie de diferencias de fase (para cada rendija es el doble de la profundidad respecto de la onda entrante) que pueden intentar ajustarse de acuerdo con la denominada secuencia de residuos cuadráticos de un número primo para que el resultado tenga las propiedades direccionales deseadas. De esta forma, una superficie compuesta de elementos reflectantes se comporta como una superficie difusora. (Martín, 2014)

La Figura 11 representa el esquema de un difusor de residuos cuadráticos

Figura 11: Esquema de un difusor de residuos cuadráticos. (Martín, 2014)



A lo largo del tiempo se ha realizado una intensa investigación en este terreno y se han propuesto una serie de variantes en la secuencia a utilizar. Asa mismo, además del difusor unidimensional que se ha descrito, se han realizado difusores bidimensionales. Otros diseños incluyen una distribución semi aleatoria de superficies absorbentes y reflectantes o de

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

acanaladuras dentro de acanaladuras (de una forma inspirada en las estructuras fractales) para ser eficiente en un mayor rango de frecuencias. (Martín, 2014)

Materiales y sistemas absorbentes

La absorción acústica tiene lugar en último término mediante disipación de energía en forma de calor, asociada a procesos de fricción, que pueden estar o no asociados a una resonancia. (Martín, 2014)

Los sistemas absorbentes son esencialmente de dos tipos, absorbentes disipativos o porosos y resonadores. En los absorbentes porosos, cuando la onda acústica pasa por un medio poroso abierto, produce movimiento de las partículas de aire en el mismo, que fluyen a través de los micro canales del medio con un rozamiento similar al del movimiento de un fluido en una tubería, produciéndose disipación de energía. En el caso de resonadores habituales, se tiene un sistema del tipo masa – muelle formado por una cavidad que contiene aire y una masa que puede ser bien aire o un panel, disipándose energía en el movimiento. Existen dos tipos básicos de resonadores, los resonadores de Helmholtz y los resonadores de membrana. (Martín, 2014)

Absorbentes disipativos

En los materiales porosos o fibrosos la disipación de energía tiene lugar como consecuencia de las fluctuaciones de presión en la superficie del material que bombea aire hacia dentro y hacia fuera del mismo. El sonido se propaga a través de la red de poros interconectados de forma que por una parte la fricción viscosa del aire al moverse por los micro canales del material y el rozamiento entre las fibras del material que se muevan bajo la acción de la onda acústica producen disipación de energía de la misma en forma de calor. Por otra parte, las cavidades interiores que tengan una única boca actuarán como cavidades resonantes de forma similar al resonador de Helmholtz. (Martín, 2014)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Materiales porosos típicos son alfombras, cortinas y tejidos gruesos, lana mineral y fibra de vidrio y algunas espumas acústicas como las de poliuretano (las de estructura abierta de poros). Nótese que para que un material poroso sea eficaz es necesario que los microcanales estén interconectados y, por tanto, es necesaria una estructura abierta de poros. (Martín, 2014)

Para el caso de las cavidades internas, los materiales porosos serán más efectivos en la absorción de las altas frecuencias, en especial para longitudes de onda comparables al tamaño de los poros y menores. Sin embargo se produce también buena absorción para longitudes de onda mayores, ya que se tiene además el proceso de disipación de energía por flujo viscoso del aire a través de los microcanales, que es importante para materiales suficientemente gruesos. (Martín, 2014)

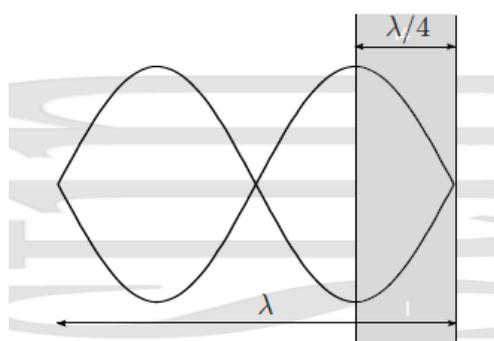
La efectividad global dependerá no sólo del material, sino además de la relación entre el espesor del mismo y la longitud de onda del sonido. En efecto, para que el absorbente poroso sea efectivo necesita estar en donde la velocidad de las partículas sea alta. Como la velocidad de las partículas en los límites rígidos del recinto es normalmente nula (aunque la presión sea máxima), se producirá poca absorción junto a esta superficie. Zonas del absorbente más alejadas de la superficie rígida darán lugar a mejores absorciones si están en una zona de elevado movimiento de las partículas, y por esto, será necesario tener un cierto espesor de absorbente. Para bajas frecuencias, de longitud de onda grande, puede ser necesario alejarse mucho de la pared rígida para encontrar el máximo de movimiento de las partículas. Por este motivo es difícil obtener buena absorción a bajas frecuencias con materiales porosos, ya que para ello debieran ser gruesos, además de buenos absorbentes. (Martín, 2014)

Para que a una frecuencia la absorción sea mínimamente eficaz debe cumplirse que el espesor del material sea al menos de una décima parte de la longitud de onda, mientras que para que sea muy eficaz debe ser de al menos un cuarto de longitud de onda. Dicho de otra forma,

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

la menor frecuencia que puede absorberse eficazmente en un material poroso debe tener una longitud de onda de como mucho 4 veces el espesor del absorbente, aunque si no pasa de 10 veces el espesor aún habrá una cierta absorción. Una fina capa de pintura absorbente no producirá apenas absorción. Por el contrario es posible obtener una mayor absorción simplemente colocando absorbentes porosos de forma adecuada fuera de las paredes. (Martín, 2014)

Figura 12. Dependencia de la absorción de un material poroso con el espesor del mismo. La máxima velocidad de las partículas del aire se producirá a un cuarto de longitud de onda de la pared. (Martín, 2014)



También hay que tener en cuenta el acabado de la superficie. De nada sirve tener un material grueso muy absorbente si la superficie se va a tratar con un acabado reflectante. En general el acabado ha de ser una película muy tenue esparcida mediante pulverización. (Martín, 2014)

Otro factor que hay que tener en cuenta es la reflexión que puede producirse en la superficie porosa externa del material absorbente. Si ésta es rugosa, se favorece la absorción de altas frecuencias, que son más propensas a tener reflexiones especulares múltiples con sus correspondientes absorciones en las propias irregularidades de la superficie. (Martín, 2014)

Cuando se quiere tener un recinto con un coeficiente de absorción próximo a la unidad para todas las bandas de frecuencia hay que cuidar además la forma de la superficie. Esto es lo que se hace en las cámaras anecoicas, donde la superficie se hace en forma de cuñas anecoicas,

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

actuando como una trampa acústica, ya que el sonido que incide sobre la superficie de una cuña pasa por una serie de reflexiones sucesivas entre ésta y las contiguas, con un gran aumento de la superficie efectiva y por tanto de la absorción. (Martín, 2014)

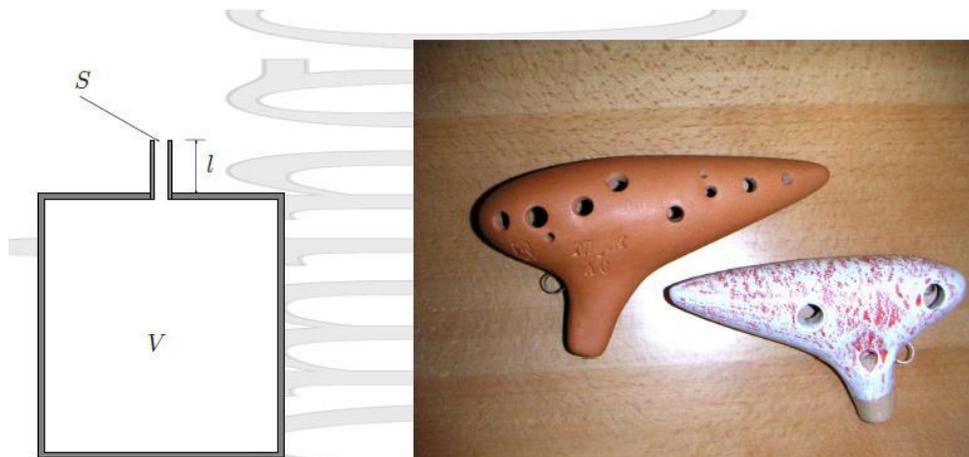
Resonadores de cavidad

Un resonador de Helmholtz está formado por una cavidad con una entrada en forma de cuello. Una botella de cristal vacía o semivacía es un ejemplo de resonador de Helmholtz. Cuando se sopla adecuadamente en su borde, el aire resuena a una frecuencia característica, dada por las dimensiones de la parte vacía de la botella y del cuello. (Martín, 2014)

Esta frecuencia es tanto mayor cuanto más llena se encuentre la botella, porque el volumen de aire en su interior es en este caso menor. El mismo fenómeno se observa silbando o en varios instrumentos musicales como la ocarina. Para que funcione bien las paredes de la cavidad deben ser razonablemente rígidas (al silbar tensamos la boca) y las dimensiones del resonador deben ser pequeñas comparadas con la longitud de onda del modo propio. (Martín, 2014)

Figura 13. Esquema del resonador de Helmholtz y algunos instrumentos musicales (ocarinas) que funcionan como un resonador de Helmholtz. Fotografía de las ocarinas por Asahiko cedida al dominio público. (Martín,

2014)



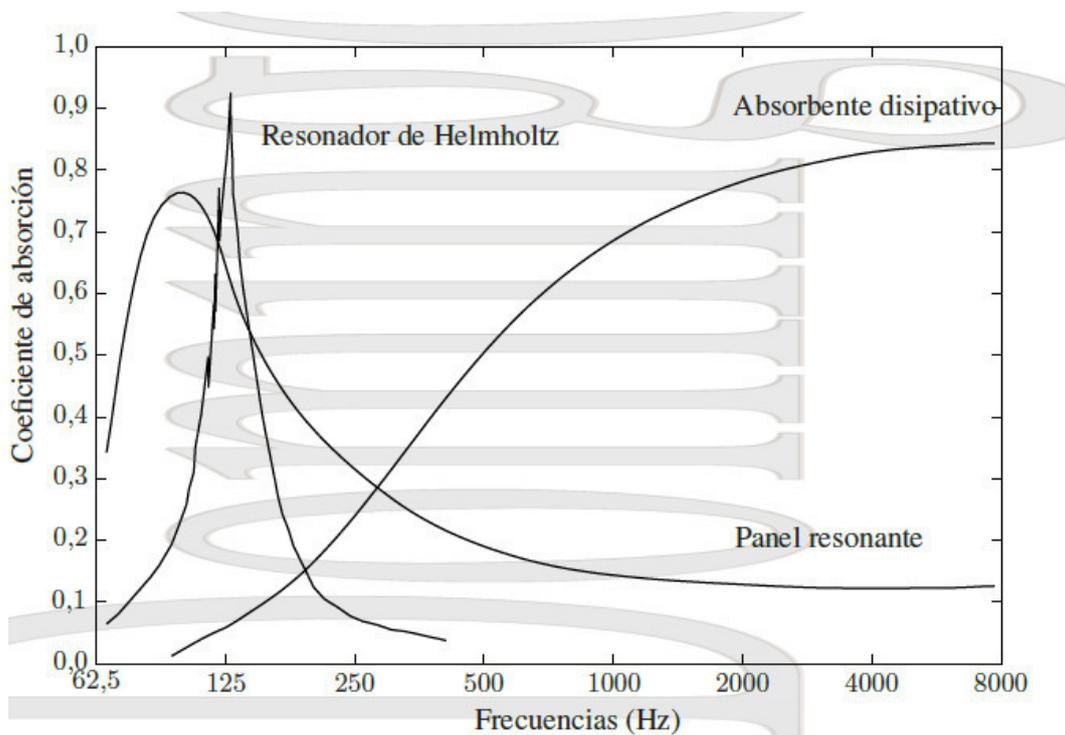
DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Estos resonadores pueden modelizarse como un sistema masa – muelle con una fuerza recuperadora. El aire dentro de la cavidad intenta expandirse al ser comprimido, por lo que se modeliza como un muelle, que hace oscilar a la masa de aire en el cuello del resonador. (Martín, 2014)

Absorbentes elásticos o de membrana

Cualquier panel flexible que oscila en respuesta al sonido incidente transmitirá parte de la energía sonora a la otra parte y por tanto el sonido reflejado disminuirá. Parte de la energía sonora se transforma en mecánica y térmica y otra se absorbe en el rozamiento de las partículas de aire en la cámara, entre el panel y la pared. (Martín, 2014)

Figura 14. Distintos tipos de absorbentes acústicos que tienen su mayor absorción en distintas regiones del espectro acústico. (Martín, 2014)



Estos absorbentes son más eficaces a bajas frecuencias, y es precisamente ahí donde la absorción es normalmente deseable y donde a menudo, ésta es la única forma de conseguirlo. En las frecuencias donde la absorción es baja, este tipo de paneles actúan como difusores.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

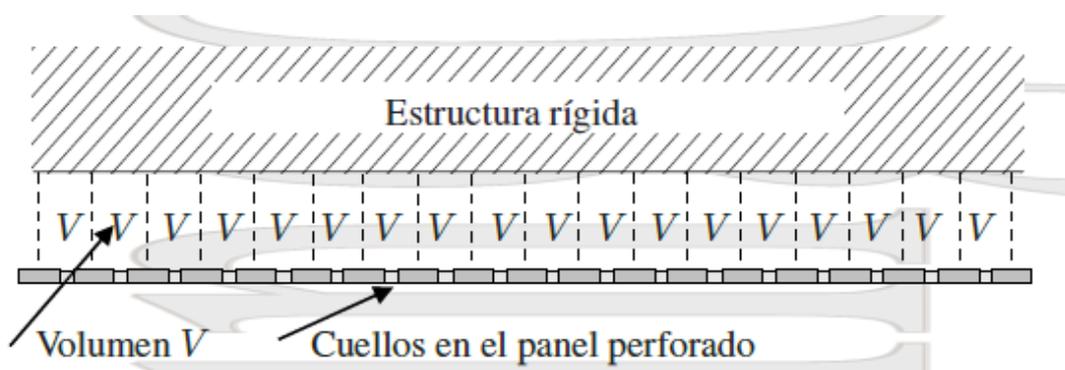
Nótese que existen distintas combinaciones de densidad superficial del panel y distancia a la pared que darán la misma frecuencia de resonancia. Sin embargo los sistemas no serán completamente equivalentes ya que cambiarán la intensidad y anchura de la resonancia. Por ejemplo, un panel ligero a una distancia más grande de la pared dará una resonancia más intensa y más estrecha que un panel más pesado y más próximo a la pared, aunque ambos tengan la misma frecuencia de resonancia. (Martín, 2014)

Sistemas mixtos

Otros sistemas combinan distintos tipos de absorbentes o con pequeñas modificaciones pasan a funcionar como otro tipo de absorbente. Éste es el caso de los paneles perforados como el que se muestra en la Figura 15, que en vez de oscilar como un panel se comporta como una serie de resonadores de Helmholtz con el orificio de cuello, cada uno de ellos de volumen V y longitud de cuello el espesor del panel. (Martín, 2014)

Figura 15. Representación de un panel perforado que se comporta como una serie de resonadores de Helmholtz

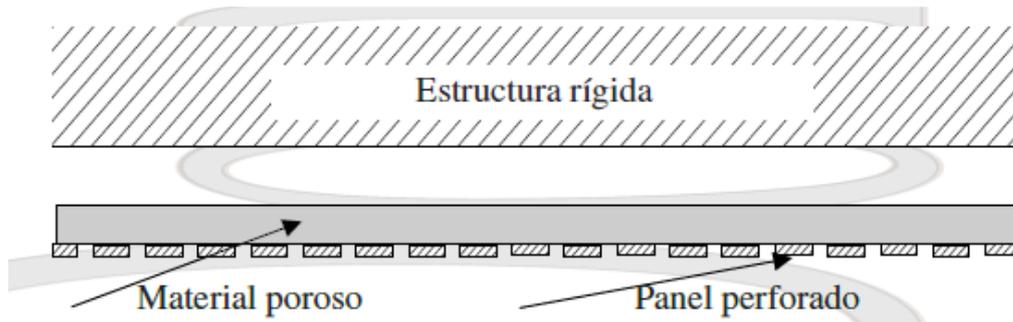
(Martín, 2014)



Tanto los resonadores de membrana como los resonadores de Helmholtz son muy eficaces, pero en un rango de frecuencias estrecho. Para aumentar el rango de frecuencias en el que el resonador es eficaz se puede combinar el resonador con un absorbente disipativo, como se muestra en la Figura 16 para el caso de un panel perforado. (Martín, 2014)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 16. Representación de un panel perforado incluido en su interior un absorbente poroso para mejorar la respuesta en frecuencias. (Martín, 2014)



La contrapartida es que la eficacia a la frecuencia de resonancia disminuye. Obsérvese en la figura anterior que el material absorbente se coloca desde la boca del resonador hacia el interior para cubrir la zona en la que la velocidad de las partículas es máxima. (Martín, 2014)

A la hora de estimar la eficiencia de un panel perforado combinado con un absorbente poroso es necesario tener en cuenta no sólo el tamaño de las perforaciones, el volumen equivalente de cada resonador y el tipo de absorbente poroso, sino que también es necesario tener en cuenta la densidad de perforaciones. En un panel con pocas perforaciones, el comportamiento será próximo al de una membrana resonante sin perforar, mientras que en un panel con muchas perforaciones el comportamiento será próximo al del absorbente poroso. (Martín, 2014)

Trampas de graves

Constituyen un caso particular de sistemas en general mixtos, las denominadas trampas de graves. En realidad las trampas de graves no añaden gran cosa a los sistemas absorbentes vistos, salvo que están optimizadas para tener especial absorción en las frecuencias bajas (graves) habitualmente asociadas a ondas estacionarias. (Martín, 2014)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Tabla 8: Coeficientes de absorción de distintos materiales y elementos absorbentes en función de la frecuencia.

(Martín, 2014)

Material	α a distintas frecuencias					
	125	250	500	1000	2000	4000
Hormigón liso sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón liso pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Hormigón basto	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Ladrillo no esmaltado sin pintar	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Ladrillo no esmaltado pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Vidrio ordinario (4 mm)	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Vidrio pesado	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cortina 338 g/m ²	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m ² fruncida al 50 %	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Cortina 475 g/m ² fruncida al 50 %	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
Terrazo	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	0,02
Linóleo, asfalto, caucho o corcho liso sobre hormigón.	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Parquet sobre hormigón	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Madera sobre listones	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Alfombra pesada sobre hormigón	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
Alfombra pesada sobre espuma de caucho	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73
Alfombra pesada sobre espuma de caucho con base de latex	0,08	0,27	0,39	0,34	0,48	0,63
Placa de yeso/escayola de 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Contrachapado de 1 cm	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Mortero, yeso o cal con acabado liso sobre baldosa o ladrillo	0,013	0,015	0,02	0,03	0,04	0,05
Mortero, yeso o cal con acabado rugoso sobre malla	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
Mortero, yeso o cal con acabado liso sobre malla	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
Superficie del agua (piscina)	0,008	0,008	0,013	0,015	0,02	0,025
Elemento	A (sab) a distintas frecuencias					
Asiento tapizado ocupado	0,60	0,74	0,88	0,96	0,93	0,85
Banco de madera ocupado	0,57	0,61	0,75	0,86	0,91	0,86
Asiento tapizado vacío	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70
Silla de madera o metal vacía	0,15	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30
Adulto de pie	0,25	0,35	0,42	0,46	0,50	0,50

Las trampas de graves son uno de estos sistemas absorbentes que actúan como resonadores, pero en un rango de frecuencias más amplio (a costa de una menor atenuación). Para ello rellenan parcialmente su cavidad hueca con materiales absorbentes. Estas trampas se colocan normalmente en las esquinas del recinto, donde la presión de las ondas estacionarias es máxima, y tras los altavoces. (Martín, 2014)

En la Tabla 8 se muestran los coeficientes de absorción de distintos materiales y elementos absorbentes en función de la frecuencia.

CAPITULO II. MÉTODO

2.1. Tipo de estudio

El presente proyecto constituye un estudio de tipo descriptivo en el que se presentará el diseño de una cabina insonorizada que se empleará para las pruebas acústicas de calibración de equipos de medición de ruido en un Laboratorio dedicado. Para ello se hará una evaluación de la contaminación acústica o ruido de fondo presente en la sala destinada para las pruebas de calibración de los equipos, a fin de determinar de esta manera los valores de ruido a atenuar en relación con los criterios dados por la Norma ANSI S3.1 – 1999 sobre los niveles máximos permisibles de ruido ambiente en bandas de octava para pruebas audiométricas con los oídos descubiertos, ya que esta condición resulta conveniente para realizar las pruebas acústicas de calibración en los monitores de ruido.

Una vez conocidos los niveles de ruido que deberían ser atenuados por la cabina, se procederá a la selección de materiales y diseño geométrico para el desarrollo de la cabina propuesta.

2.2. Modalidad de investigación

La investigación a realizar será de campo y consistirá en realizar un monitoreo de ruido en la zona de la sala en la que se ubicaría la cabina, a fin de evaluar los niveles de contaminación acústica presentes en el lugar y que la cabina debería aislar o atenuar, determinando conseguir en su interior el ambiente ideal para la realización de las pruebas acústicas en los equipos.

2.3. Método

Para la evaluación de la contaminación acústica se hará una medición de ruido empleando un sonómetro integrador clase 2 con opción de bandas de octava 1/1, con su

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

correspondiente calibrador acústico. Ambos dispositivos poseerán una calibración vigente a la fecha de realización de las mediciones para de esta forma garantizar la calidad de los resultados, y se seguirá la metodología o instrucciones dadas por el fabricante del equipo a fin de realizar de forma correcta el monitoreo.

Posterior a la medición, los datos almacenados en el sonómetro serán exportados a un software proporcionado por el fabricante del equipo, para realizar el respectivo análisis de los resultados, tanto en presión sonora como en frecuencia en bandas de octava 1/1.

2.4.Población y muestra

A fin de tener una estimación real de las variaciones del ruido en el recinto a evaluar, se realizará una medición de ruido, con una duración de 8 horas que constituye una jornada laboral.

2.5.Selección instrumentos de investigación

El sonómetro empleado para el monitoreo de ruido será el modelo CR:162C OPTIMUS RED de la marca CIRRUS RESEARCH PLC, y su correspondiente calibrador acústico clase 2 modelo CR:514.

La aplicación computacional empleada para análisis de las mediciones de ruido será el software NOISE TOOLS.

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1 Presentación y análisis de resultados

El monitoreo del ruido ambiental en la zona donde se ubicaría la cabina consistió en realizar una medición del ruido durante una jornada completa de 8 horas, empleando el equipo descrito en el Capítulo II.

El instrumento fue montado en un trípode a una altura aproximada de 1.20 metros, y dispuesto de forma horizontal, a fin de permitir que las señales acústicas incidan de forma perpendicular sobre la cápsula del micrófono, según lo especificado en la información técnica del equipo dada por el fabricante. (CIRRUS, 2013)

Además, el equipo montado en el trípode se posicionó hacia la parte exterior, que estaría al frente de la cabina, a fin de recibir las señales de ruido que incidirían sobre ésta. Previo al montaje del instrumento en el trípode, se realizó una calibración de campo empleando el calibrador acústico que dispone el equipo. En la Figura 16 se presentan unas fotografías del equipo durante el monitoreo.

Figura 16. Monitoreo de ruido ambiental en el Laboratorio (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Luego de culminado el monitoreo, la información contenida en la memoria del equipo fue descargada al computador a través del software NoiseTools. En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 9. Resultados del monitoreo de ruido (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

Tiempo 23/05/2018 09:15:38
Duración 08:12:08
Instrumento 053178, CR:162C

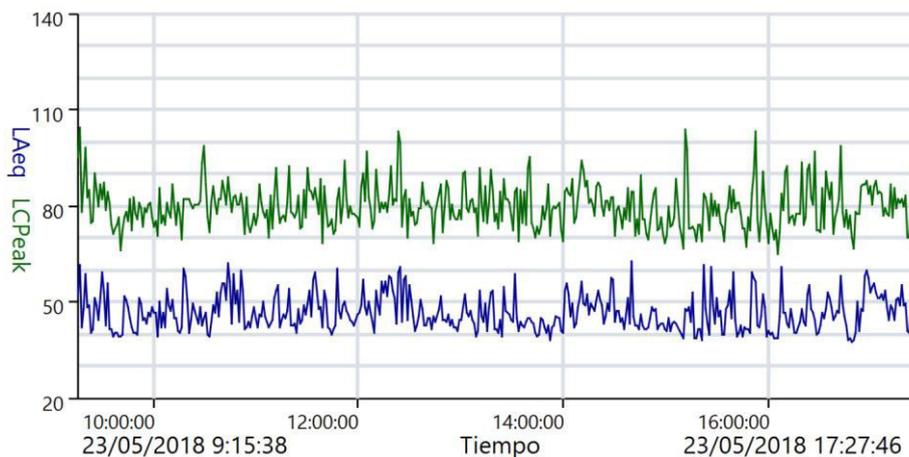
Calibración

Antes 23/05/2018 09:13 Offset 0,08 dB

Valores básicos		Exposición proyectada	
LAeq	50,8 dB	30 minutos	38,8 dB
LCPeak	104,4 dB	1 hora	41,8 dB
C-A	7,9 dB	2 horas	44,8 dB
LEX8	50,9 dB	4 horas	47,8 dB
LAFMax	85,9 dB	6 horas	49,6 dB
		8 horas	50,8 dB
		10 horas	51,8 dB
		12 horas	52,6 dB

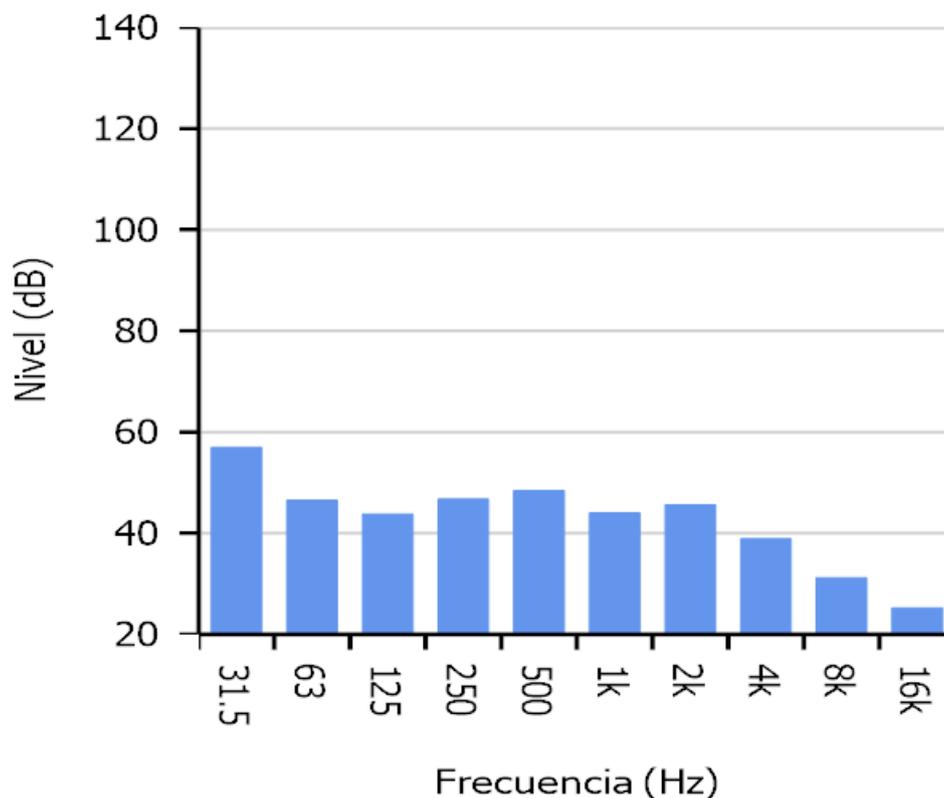
En la Figura 17 se presenta de forma gráfica el ruido ambiental registrado en el monitoreo, mientras que en la Figura 18 se presenta el resultado de la medición en bandas de octava relación 1 a 1.

Figura 17. Gráfica del ruido ambiental monitoreado (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 18. Resultado de la medición en bandas de octava 1 a 1. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



Frecuencia (Hz)	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000
Nivel (dB)	56,9	46,5	43,8	46,7	48,4	44,0	45,6	38,9	31,2	25,2

Como se puede apreciar en la información presentada, el ruido equivalente para las 8 horas de monitoreo alcanza un valor de 50.8 dB(A), registrando un pico en ponderación C de 104.4 dB. Además, al evaluar el criterio C – A y observar el resultado de las mediciones en bandas de octava, se aprecia que la característica del ruido registrado es de carácter grave, por tener la mayor componente de presión sonora a bajas frecuencias. Como se aprecia, el nivel de presión sonora presente en la zona de ubicación de la cabina es bajo, pero para la aplicación deseada se requiere atenuarlo aún más.

En el Anexo D se presenta el reporte de medición generado en el software NoiseTools.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Tomando en cuenta al criterio de diseño considerado para el desarrollo de la cabina propuesta, ésta debería atenuar al ruido ambiental a fin de conseguir niveles de ruido que estén dentro de lo especificado en la Norma ANSI S3.1 – 1999 que detalla los niveles máximos permisibles de ruido ambiente en bandas de octava para pruebas audiométricas con los oídos descubiertos, ya que esta condición resulta conveniente para realizar las pruebas acústicas de calibración en los monitores de ruido.

En base a ello, en la Tabla 10 se presenta cual sería la atenuación en decibeles que se debería lograr con la cabina, a fin de disponer en su interior un ambiente acústico que cumpla con los niveles de ruido deseados.

Tabla 10. Comparación de los resultados de medición vs. Los niveles de referencia dados en la Norma ANSI S3.1 – 1999. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Leq(dB)
L medido (dB)	43,8	46,7	48,4	44	45,6	38,9	31,2	53,23
ANSI S3.1 – 1999	29,0	21,0	16,0	13,0	14,0	11,0	14,0	30,18

Verificando estos valores se observa que para cumplir con lo especificado en la norma ANSI S3.1 – 1999, el ruido equivalente total atenuado que se perciba en el interior de la cabina a diseñar deberá ser máximo de 30 dB.

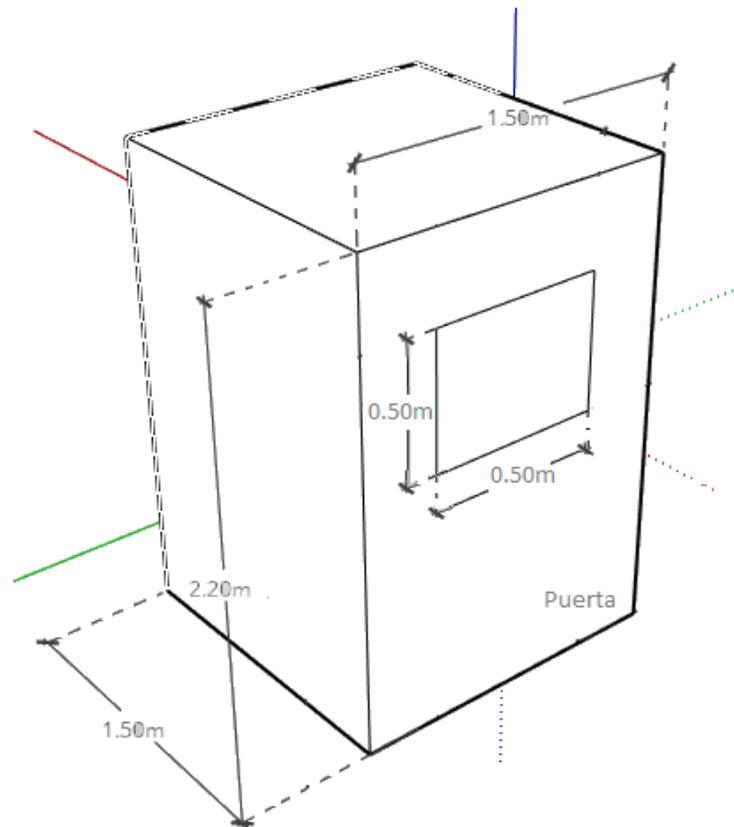
3.2 Aplicación práctica

Luego del correspondiente análisis de los resultados obtenidos, y establecida la referencia de presión sonora en bandas de octava por atenuar con la cabina, a continuación se presentan los cálculos para lograr el objetivo planteado.

En la Figura 19 se presenta un bosquejo de la cabina, a fin de definir sus dimensiones físicas, para el respectivo cálculo de las paredes.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 19. Bosquejo de la cabina a implementar (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



Las dimensiones propuestas se han establecido de acuerdo al espacio disponible en la zona del Laboratorio donde se ubicaría la cabina. A su vez, dichas dimensiones permiten un espacio suficiente como para que ingrese una persona con los equipos a realizar las pruebas de calibración acústica de los instrumentos.

Según las dimensiones dadas de la cabina, a continuación se presenta el cálculo de las superficies ocupadas por un material acústico absorbente y la ventana de vidrio, respectivamente.

Superficie determinada por las paredes, piso y techo del material absorbente:

$$S_m = 2(1,50 * 1,50) + 3(1,50 * 2,20) + [(1,50 * 2,20) - (0,50 * 0,50)] \text{ (m}^2\text{)}$$

$$S_m = 4,50 + 9,90 + (3,30 - 0,25) \text{ (m}^2\text{)}$$

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

$S_m = 17,45 \text{ (m}^2\text{)}$; a esta superficie se la denominará S1

Superficie determinada por la ventana de vidrio:

$S_v = 0,50 * 0,50 \text{ (m}^2\text{)}$

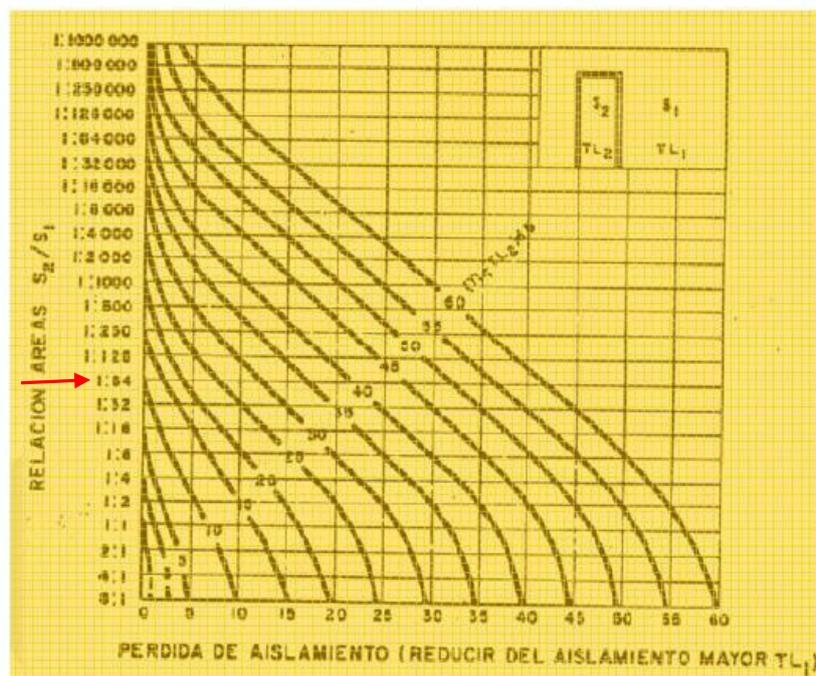
$S_v = 0,25 \text{ (m}^2\text{)}$; a esta superficie se la denominará S2

Luego de calculadas las áreas se establece a continuación la relación S2/S1:

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{0,25 \text{ m}^2}{17,45 \text{ m}^2} = 0.014$$

Este resultado permite establecer aproximadamente la relación de áreas dispuesta en el eje vertical de las curvas para el cálculo de la pérdida por transmisión que considera dos superficies de materiales distintos, mostrado en la Figura 9. Para el valor calculado S2/S1, corresponde aproximadamente la relación de áreas 1:64 dispuesta en la gráfica, esto se ilustra en la Figura 20.

Figura 20. Relación de áreas S2/S1 ubicada en la gráfica acorde al valor calculado considerando las superficies de materiales empleados para la confección de la cabina. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Luego de determinada la relación de superficies de los materiales a emplear para la confección de la cabina, se procede a la selección del material principal de acuerdo a sus características de constitución y propiedades de atenuación acústica en decibeles por bandas de octava.

A continuación se presentan tres opciones de material acústico aislante, y en base a las curvas de pérdida por transmisión por dos superficies de materiales distintos, se establece la pérdida de aislamiento causado por el elemento de menor superficie (vidrio), a fin de determinar el aislamiento efectivo en combinación con la ventana de vidrio, y se prueba con cada uno de ellos para verificar cuál de estas opciones cumple el mejor desempeño de atenuación acústica en relación al objetivo de atenuación planteado por los niveles máximos permisibles de ruido ambiente en bandas de octava para pruebas audiométricas con los oídos descubiertos dados por la Norma ANSI S3.1 – 1999.

- Opción 1: Panel absorbente Acústico 85 mm (Lámina de TECSOUND SY70 + Panel de yeso laminar + Panel de lana mineral + Panel de yeso laminar) en combinación con la ventana de vidrio de 6 mm. En la Tabla 11 se presenta el cálculo del aislamiento efectivo de la Opción 1 de material acústico.

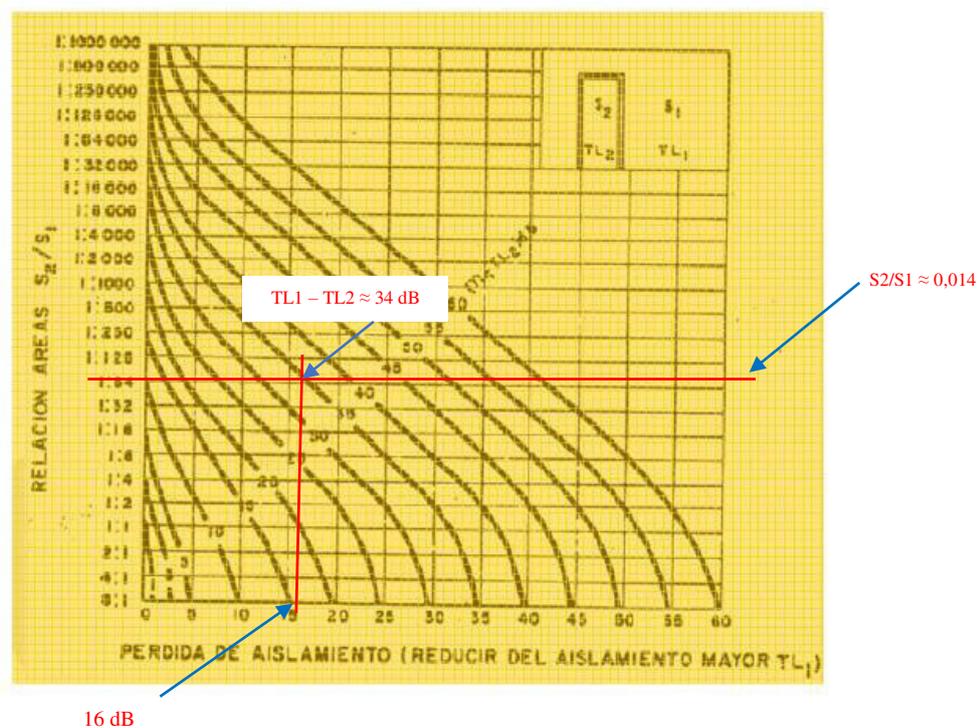
Tabla 11. Aislamiento efectivo de la Opción 1 de material acústico. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

FRECUENCIA (Hz)	Perdida por transmisión Material Opción 1 - TL1 (dB)	Perdida por transmisión Vidrio – TL2 (dB)	TL1 - TL2 (dB)	PÉRDIDA DE AISLAMIENTO (dB)	AISLAMIENTO EFECTIVO (dB)
125	26,9	11,0	15,9	3,0	23,9
250	37,2	24,0	13,2	2,0	35,2
500	46,0	29,0	17,0	4,0	42,0
1000	52,7	31,0	21,7	5,0	47,7
2000	60,4	26,0	34,4	16,0	44,4
4000	65,7	36,0	29,7	12,0	53,7

En la Figura 21 se presenta un ejemplo de la determinación de pérdida de aislamiento empleando las curvas para el cálculo de la pérdida por transmisión que considera dos superficies de materiales distintos.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 21. Ejemplo de cálculo de pérdida de aislamiento (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



Como se puede apreciar en el ejemplo representado en la figura, una vez ubicada la relación de superficies S_2/S_1 sobre el eje vertical, que para este caso corresponde a 0,014 aproximadamente, trazando una línea horizontal deberá intersectarse la respectiva curva que representa la diferencia $TL_1 - TL_2$, cuyo valor para el ejemplo corresponde aproximadamente a 34 dB para la banda de frecuencia de 2000 Hz. Como estas curvas se presentan en la gráfica en múltiplos de 5, la curva de interés para este cálculo se ubicará entre las curvas 30 y 35. Con ayuda de la cuadrícula dispuesta en el plano se deberá ubicar al punto más aproximado por donde pasaría la curva correspondiente a $TL_1 - TL_2 = 34$. A continuación, a partir de este punto, se deberá trazar una recta vertical hasta intersectar perpendicularmente al eje horizontal ubicando de esta forma la pérdida de aislamiento del material 1, que para este caso corresponde a 16 dB en la banda de frecuencia de 2000 Hz. De esta forma se procederá para establecer la pérdida de aislamiento en las demás bandas de frecuencia para completar la correspondiente tabla. En base a la pérdida de aislamiento para cada banda de frecuencia, se calculará a su vez el aislamiento efectivo producido por el material 1, restando el valor TL_1 menos la

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

correspondiente pérdida de aislamiento. Para el ejemplo planteado corresponde a 60,4 dB – 16 dB = 44,4 dB.

- Opción 2: Panel absorbente Acústico (Panel de yeso 12 mm + Espacio de Aire 90 mm + Panel de yeso 12 mm) en combinación con la ventana de vidrio de 6 mm. En la Tabla 12 se presenta el cálculo del aislamiento efectivo de la Opción 2 de material acústico.

Tabla 12. Aislamiento efectivo de la Opción 2 de material acústico. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

FRECUENCIA (Hz)	Perdida por transmisión Material Opción 2 - TL1 (dB)	Perdida por transmisión Vidrio – TL2 (dB)	TL1 - TL2 (dB)	PÉRDIDA DE AISLAMIENTO (dB)	AISLAMIENTO EFECTIVO (dB)
125	12,0	11,0	1,0	0,0	12,0
250	23,0	24,0	-1,0	0,0	23,0
500	32,0	29,0	3,0	0,0	32,0
1000	41,0	31,0	10,0	0,0	41,0
2000	44,0	26,0	18,0	3,0	41,0
4000	39,0	36,0	3,0	0,0	39,0

- Opción 3: Panel absorbente Acústico (AGLO PAI 40 – Revestimiento de aluminio con soporte de fibra de vidrio y espuma de poliuretano aglomerada de 150 Kg/m³ de densidad) en combinación con la ventana de vidrio de 6 mm. En la Tabla 13 se presenta el cálculo del aislamiento efectivo de la Opción 3 de material acústico.

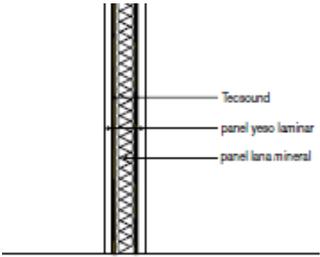
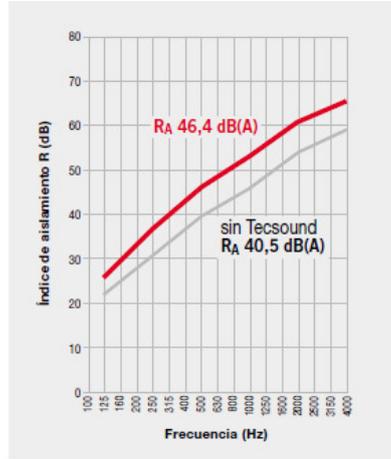
Tabla 13. Aislamiento efectivo de la Opción 3 de material acústico. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

FRECUENCIA (Hz)	Perdida por transmisión Material Opción 3 - TL1 (dB)	Perdida por transmisión Vidrio – TL2 (dB)	TL1 - TL2 (dB)	PÉRDIDA DE AISLAMIENTO (dB)	AISLAMIENTO EFECTIVO (dB)
125	18,0	11,0	7,0	0,0	18,0
250	12,0	24,0	-12,0	0,0	12,0
500	15,0	29,0	-14,0	0,0	15,0
1000	26,0	31,0	-5,0	1,0	25,0
2000	26,0	26,0	0,0	0,0	26,0
4000	38,0	36,0	2,0	0,0	38,0

A continuación en la Tabla 14 se presentan las especificaciones técnicas de las tres opciones de materiales propuestos como aislante principal para la confección de la cabina

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Tabla 14. Especificaciones técnicas de las tres opciones de materiales absorbentes acústicos (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

Nº	NOMBRE	MATERIAL / ESTRUCTURA DEL PANEL	PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN (dB)																					
1	RA 46,4 dB(A) (85 mm)	Lámina de TECSOUND SY70 Panel de yeso laminar Panel de lana mineral Panel de yeso laminar 	 <p>— Estudi Acústic H. Arau (España) — Estudi Acústic H. Arau (España)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frec.(Hz)</th> <th>125</th> <th>250</th> <th>500</th> <th>1000</th> <th>2000</th> <th>4000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R (dB)</td> <td>26,9</td> <td>37,2</td> <td>46,0</td> <td>52,7</td> <td>60,4</td> <td>65,7</td> </tr> <tr> <td>R (dB)</td> <td>21,8</td> <td>30,8</td> <td>39,2</td> <td>45,7</td> <td>53,3</td> <td>58,8</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>El presente ensayo ha sido realizado con un método de cálculo numérico que proporciona un resultado muy cercano al valor real de aislamiento.</i></p> <p>(Texsa, 2009)</p>	Frec.(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	R (dB)	26,9	37,2	46,0	52,7	60,4	65,7	R (dB)	21,8	30,8	39,2	45,7	53,3	58,8
Frec.(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000																		
R (dB)	26,9	37,2	46,0	52,7	60,4	65,7																		
R (dB)	21,8	30,8	39,2	45,7	53,3	58,8																		
2	Panel absorbente Acústico (114 mm)	Panel de yeso 12 mm Espacio de Aire 90 mm Panel de yeso 12 mm	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia (Hz)</th> <th>125</th> <th>250</th> <th>500</th> <th>1000</th> <th>2000</th> <th>4000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R (dB)</td> <td>12</td> <td>23</td> <td>32</td> <td>41</td> <td>44</td> <td>39</td> </tr> </tbody> </table> <p>(ThCoat, 2014)</p>	Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	R (dB)	12	23	32	41	44	39							
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000																		
R (dB)	12	23	32	41	44	39																		
3	AGLO PAI 40 (40 mm)	Revestimiento de aluminio con soporte de fibra de vidrio y espuma de poliuretano aglomerada de 150 Kg/m ³ de densidad 	<p>Pérdida de Transmisión (dB) AGLO PAI</p>  <p>— AGLO PAI20 con chapa — AGLO PAI40 con chapa</p> <p>(MECANOCAUCHO, 2015)</p>																					

Luego de determinado el aislamiento efectivo para cada opción de material presentado en combinación con una ventana de vidrio, se procede a verificar cuál de estas opciones sería técnicamente la más idónea para ser empleada en la implementación de la cabina propuesta. En

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

las Tablas 15, 16 y 17, respectivamente, se presentan los resultados de atenuación acústica en relación al ruido monitoreado en la zona del laboratorio donde se ubicaría a la cabina.

Tabla 15. Resultados de atenuación acústica para la Opción 1 de material con una ventana de vidrio. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	Leq(dB)
L medido (dB)	43,8	46,7	48,4	44,0	45,6	38,9	53,20
OPCIÓN 1 (dB)	23,9	35,2	42,0	47,7	44,4	53,7	55,32
RESULTADO (dB)	19,9	11,5	6,4	-3,7	1,2	-14,8	20,72

Tabla 16. Resultados de atenuación acústica para la Opción 2 de material con una ventana de vidrio. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	Leq(dB)
L medido (dB)	43,8	46,7	48,4	44	45,6	38,9	53,20
OPCIÓN 2 (dB)	12,0	23,0	32,0	41,0	41,0	39,0	45,43
RESULTADO (dB)	31,8	23,7	16,4	3	4,6	-0,1	32,55

Tabla 17. Resultados de atenuación acústica para la Opción 3 de material con una ventana de vidrio. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	Leq(dB)
L medido (dB)	43,8	46,7	48,4	44	45,6	38,9	53,20
OPCIÓN 3 (dB)	18,0	12,0	15,0	25,0	26,0	38,0	38,53
RESULTADO (dB)	25,8	34,7	33,4	19	19,6	0,9	37,55

Como se puede apreciar, la Opción 1 resulta ser técnicamente la más idónea a emplear para la confección de la cabina propuesta, pues permite una atenuación equivalente del ruido a 20,72 dB, estando inclusive por debajo de lo planteado por la norma ANSI S3.1 – 1999 que considera una atenuación equivalente del ruido a 30 dB, según el criterio de niveles máximos de ruido para pruebas audiométricas y presentado en la Tabla 10.

La Opción 2, si bien permite conseguir una atenuación equivalente del ruido a 33 dB, se encuentra fuera del criterio planteado por la norma ANSI S3.1 – 1999, mientras que la

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Opción 3 se muestra muy distante para el requerimiento establecido por esta norma que se ha tomado como referencia.

Propuesta Técnico – Económica para el desarrollo de la cabina.

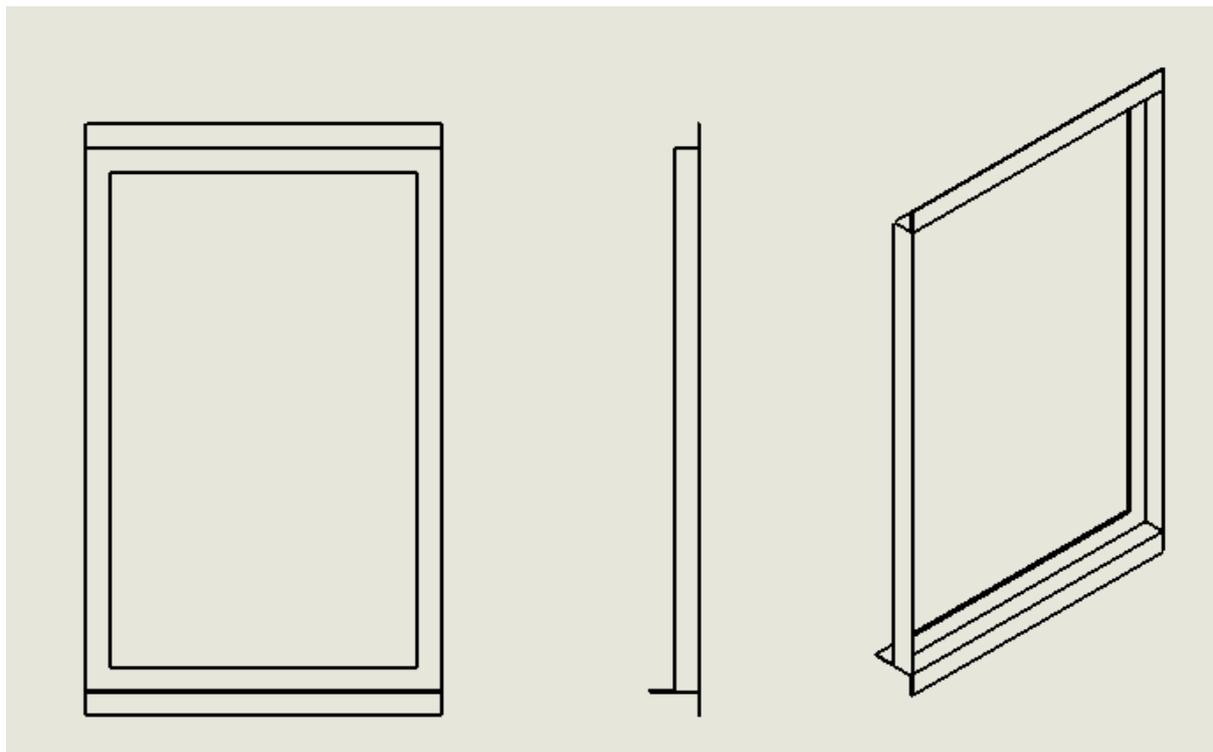
Luego de realizado la selección del material acústico a emplear y haber establecido las dimensiones físicas de la cabina, a continuación se presentan los criterios técnicos a considerar para la construcción de la misma, así como también un presupuesto referencial para su implementación.

En relación a los criterios técnicos para la construcción de la cabina, se considera una estructura metálica establecida con perfiles de hierro soldados que permitan la colocación y sostén de los paneles de material absorbente dispuestos en las paredes laterales y trasera, en la puerta, el techo y el piso. Se consideran perfiles angulares en “L” de 90 mm por 90 mm y 5 mm de espesor para conformación de las caras de la cabina y perfiles rectos de 90 mm y 5 mm de espesor para la conformación de sujetadores y bordes.

Mediante el ensamblaje de los perfiles, en cada cara de la estructura, techo y piso se establecerán los marcos en los que encajarán los paneles de material absorbente de manera íntegra, determinando así evitar que estos sean perforados o alterados físicamente al momento de su ensamblaje lo cual afectaría al desempeño acústico del conjunto. En la Figura 22 se presenta un ejemplo del ensamblaje de los perfiles para formar la estructura que conformaría una de las paredes la cabina.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 22. Ensamblaje de perfiles metálicos para conformar una pared de la cabina. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



Como se puede observar, esta estructura permite la colocación del panel absorbente íntegro en el marco que conforma la pared, y a su vez al ensamblarse con las otras estructuras de las demás caras adyacentes permite conformar los respectivos marcos para la colocación de los paneles del techo y el piso, respectivamente.

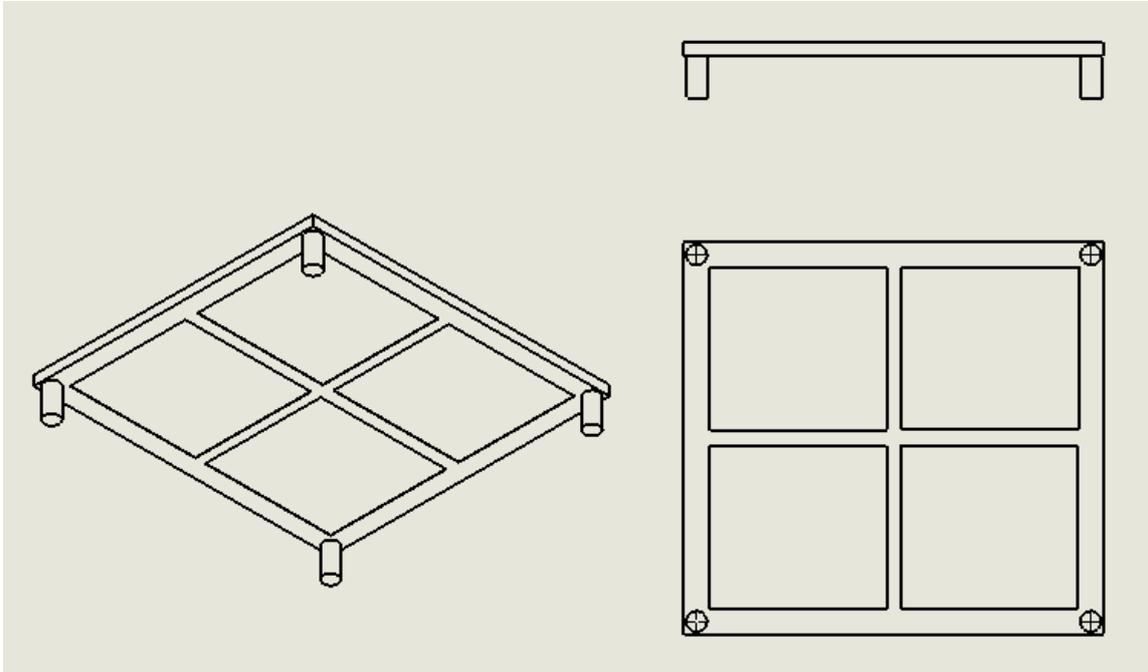
Además, en lo que corresponde al piso, a fin de que el panel absorbente no sea pisado, la estructura se ha diseñado para que éste sea dispuesto por debajo en un marco inferior y a su vez por encima de este marco se coloque un material rígido ideal para piso, como por ejemplo madera.

Para la sugestión del panel inferior, se ha dispuesto que una vez haya sido colocado, la estructura de la cabina se monte sobre un soporte con patas que permitirá además el aislamiento de contacto entre la cabina y el suelo del laboratorio, evitando de esta forma el ingreso de señales acústicas de vibración a través de la estructura. Debajo de las patas del soporte se ha

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

dispuesto colocar una capa de caucho que permitirá un mejor aislamiento acústico con la superficie de contacto. La figura 23 muestra la estructura del soporte inferior.

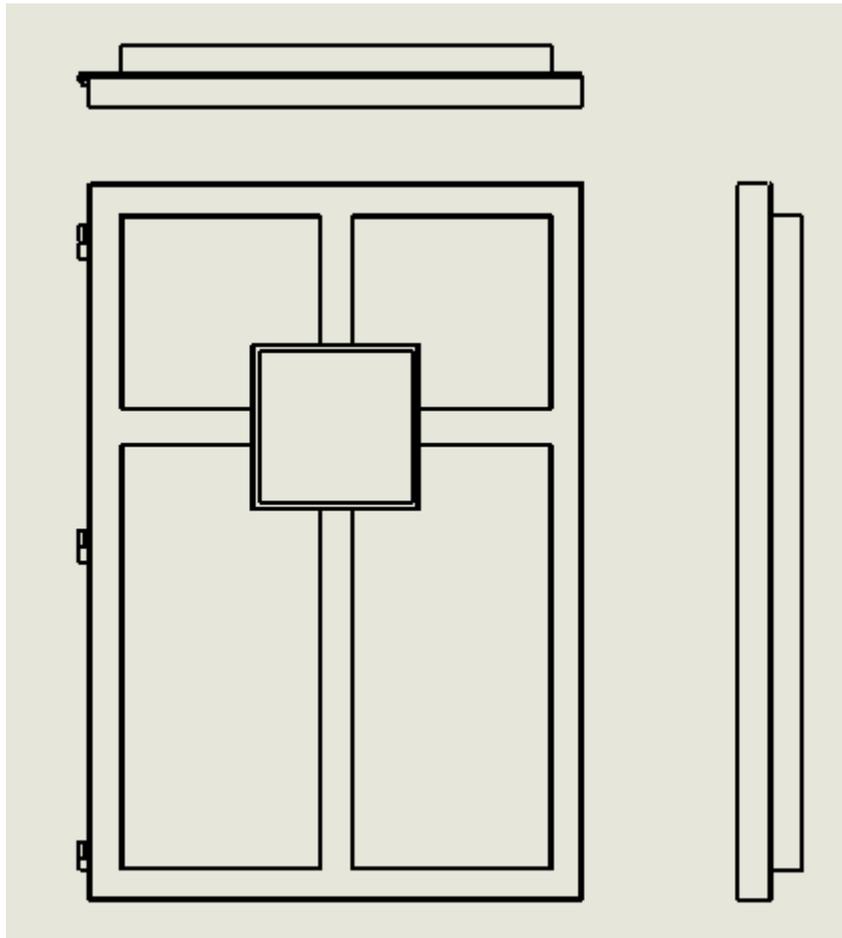
Figura 23. Estructura del soporte inferior (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



En lo que corresponde a la puerta de acceso a la cabina, se ha establecido que ésta conforme toda la cara frontal, de manera que al cerrarse se tenga una cobertura total de esta cara, evitando así cualquier fuga de ruido hacia el interior de la cabina ya sea por hendidias o por las juntas. Para ello se ha determinado que el marco de la puerta calce sobre el marco de la cara frontal de la cabina, que dispone a su vez en su contorno un empaque de caucho de 3 mm de espesor para determinar un sello entre la junta de estas dos estructuras. Para el aseguramiento de la puerta, se han colocado imanes en el perfil derecho del marco frontal de la cabina. En la figura 24 se presenta el ensamble de la puerta al marco frontal de la cabina.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 24. Ensamble de la puerta al marco frontal de la cabina (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



Adicionalmente, se indica que en el interior de la cabina se disponga de una toma de energía eléctrica para la conexión de una lámpara y/o equipos que podrían ser necesarios. El cableado de esta toma se realizará de modo que no se genere ninguna hendidura o perforación en los paneles aislantes, evitando de esta forma generar puntos de ingreso de contaminación acústica hacia el interior de la cabina.

El diseño geométrico que se presenta de la cabina ha sido desarrollado en el software Solid Works 2014, dedicado para el diseño de piezas mecánicas. A continuación, en la figura 25 se presenta un despiece total de la cabina, mientras que en la figura 26 se presenta a la cabina completamente ensamblada. En el Anexo E se presentan las vistas geométricas y dimensiones físicas de cada estructura constitutiva de la cabina.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Figura 25. Despiece total de la cabina (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

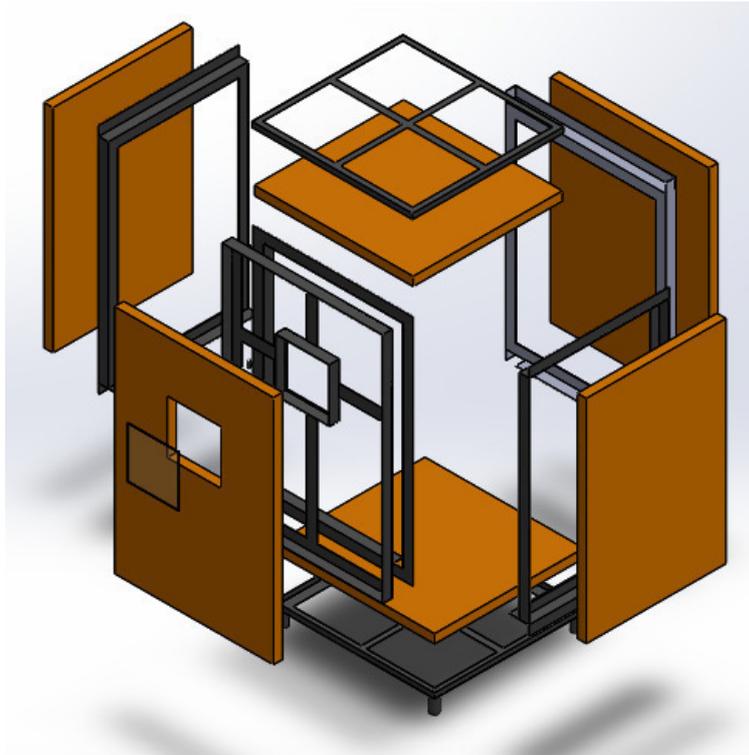
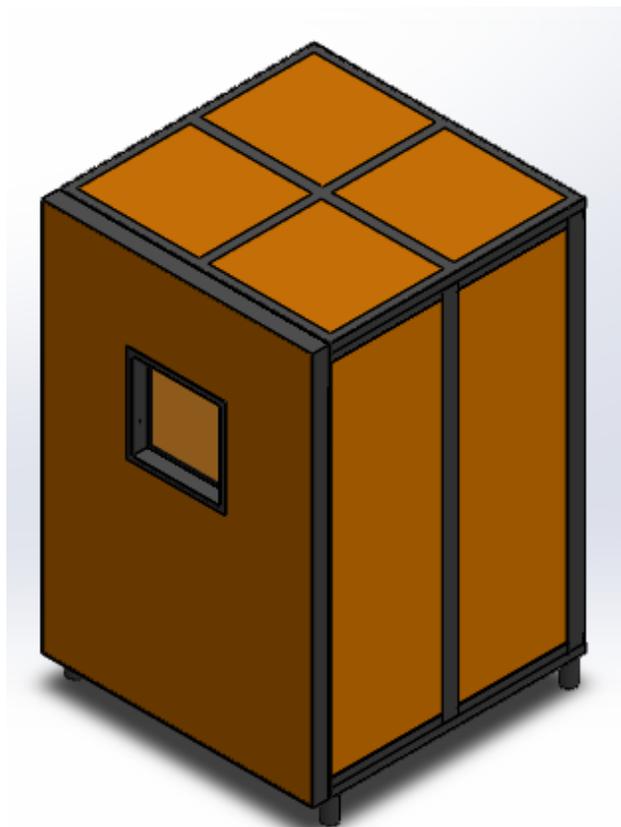


Figura 26. Cabina completamente ensamblada. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)



DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Con respecto al establecimiento del presupuesto referencial para la implementación de la cabina propuesta, se considera como material acústico aislante a la Opción N° 1 conformada por un panel absorbente Acústico de 85 mm constituido por una Lámina de TECSOUND SY70 + Panel de yeso laminar + Panel de lana mineral + Panel de yeso laminar, y como material para la estructura a los perfiles de hierro descritos en los criterios técnicos. En base a ello, en la tabla 18 se presenta el detalle del presupuesto para los materiales requeridos, mientras que en la tabla 19 se presenta el detalle del presupuesto para la mano de obra. En la tabla 20 se muestra el valor total del proyecto y el tiempo estimado de ejecución.

Tabla 18. Presupuesto de materiales. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

PRESUPUESTO DE MATERIALES							
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD REQUERIDA	UNID.	DIMENSIONES COMERCIALES	CANT.	PRECIO UNIT. (USD)	PRECIO TOT. (USD)
1	PERFIL DE HIERRO ANGULAR	50,40	m	90mm x 90mm x 6m	9	25,00	225,00
2	PERFIL RECTO DE HIERRO	28,73	m	90mm x 6m	5	15,00	75,00
3	LAMINA TECSOUND SY70	15,50	m ²	Rollo de 5,05 m x 1,22 m = 6,16 m ²	3	30,00	90,00
4	PANEL DE YESO LAMINAR	31,00	m ²	Panel de 1,20m x 2,50m = 3m ²	11	21,00	231,00
5	PANEL DE LANA MINERAL	15,50	m ²	Paquete de 16u (c/u de 1,35m x 0,6m = 0,81m ²)	2	85,00	170,00
6	EMPAQUE DE CAUCHO	7,50	m	Rollo de 10m	1	15,00	15,00
7	VIDRIO PARA VENTANA de 6mm	0,25	m ²	Panel de 0,5m x 0,5m x 6mm	1	30,00	30,00
8	PATAS DE CAUCHO	4,00	u	unidades	4	5,00	20,00
9	PANEL DE MADERA PARA EL PISO 50 mm	1,75	m ²	Tablón de pino 3,96m x 0,195m = 0,772m ²	3	20,00	60,00
10	CONSUMIBLES VARIOS	N/A	N/A	N/A	1	100,00	100,00
SUBTOTAL							1016,00

Tabla 19. Presupuesto de Mano de obra. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA Y TRANSPORTE					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA MANO DE OBRA	CANT.	PRECIO UNIT. (USD)	PRECIO TOT. (USD)
1	CORTE DE PERFILES	Horas	16	20,00	320,00
2	SUELDA DE PERFILES	Horas	32	30,00	960,00
3	ENSAMBLAJE DE PERFILES Y PUERTA	Horas	16	30,00	480,00
4	CORTE Y COLOCACION DE PANELES	Horas	32	30,00	960,00
5	OTROS	Horas	8	10,00	80,00
6	TRANSPORTE	flete	1	100,00	100,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA					2900,00

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Tabla 20. Valor total del proyecto y el tiempo estimado de ejecución. (Autor: Rodrigo Cahueñas, 2018)

SUBTOTAL MATERIALES	1016,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA	2900,00
VALOR TOTAL DEL PROYECTO	3916,00

TIEMPO ESTIMADO DE EJECUCIÓN	15 Días
-------------------------------------	----------------

Como requisitos para la construcción de la cabina, se establece que la estructura deberá ser confeccionada y ensamblada en un taller de metal mecánica de precisión con personal calificado para garantizar la suelda y acople preciso de las estructuras, evitando de esta manera la presencia de grietas o hendiduras por las cuales podrían ingresar perturbaciones acústicas. De igual manera, el corte y colocación de los paneles aislantes acústicos deberá ser realizado por personal calificado que garantice un adecuado manipuleo de estos materiales y una adecuada instalación. Para el transporte de la cabina desde el taller hacia su punto de ubicación final, se requiere que se lo haga en un vehículo que permita una adecuada sujeción de la estructura, a fin de evitar cualquier deformación o averías.

Como recomendaciones de mantenimiento se indica realizar una revisión periódica del empaque de sello entre la puerta y la estructura, así como también del estado de las patas de caucho. Se recomienda indicar al personal a cargo de la cabina acerca del límite de personas que podrían ingresar a la cabina (máximo una persona), de no arrimarse o apoyar objetos sobre los paneles ni tratar de alterar el estado de los mismos al querer colocar cualquier tipo de mobiliario o accesorios por medio de clavos, tachuelas o cualquier elemento corto punzante.

Con la implementación de esta cabina el Laboratorio conseguiría disminuir considerablemente o prácticamente eliminar la componente de incertidumbre de medición asociada a la presencia de ruido de fondo o contaminación acústica presente en el local de ensayos o pruebas, lo cual incide de forma directa sobre la calidad y confiabilidad de los resultados emitidos. A su vez, el mencionado Laboratorio a más de ser el único existente a nivel

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

local, sería además el único con disposición de un ambiente acústicamente controlado para la realización de pruebas de calibración de equipos de monitoreo de ruido, lo cual da un valor agregado a la fiabilidad y credibilidad de los resultados entregados al usuario final de los instrumentos. Estas consideraciones justifican la viabilidad para la implementación del diseño propuesto, que para la mencionada organización no correspondería una inversión económica difícil de cubrir. Por otra parte, la recuperación de esta inversión podría programarse al mediano plazo de 2 años, considerando el paulatino incremento de solicitudes de servicios en este periodo de tiempo por parte de los clientes.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN

4.1 Conclusiones

En este trabajo de investigación se ha presentado el diseño de una cabina insonorizada enfocada para la realización de pruebas de calibración acústica de monitores de ruido, lo cual constituye una aplicación dirigida al ámbito metrológico. Si bien no se dispone, o no se tiene acceso a una normativa específica que detalle los requisitos y características acústicas que debería cumplir una cabina insonorizada dedicada para la calibración de instrumentos, se ha tomado como referencia los criterios de la norma ANSI S3.1 – 1999, concerniente a los valores máximos permisibles de ruido ambiente para recintos audiométricos, y en particular para las pruebas audiométricas realizadas con ambos oídos descubiertos, considerando que las condiciones ambientales dadas para esta prueba médica son acordes o permiten garantizar un ambiente adecuado para la realización de pruebas acústicas en los equipos a calibrar, de una forma aislada a perturbaciones de ruido externo.

La implementación de la cabina insonorizada desarrollada en este proyecto permitiría contribuir de forma positiva en la mejor calidad de los resultados emitidos por el laboratorio que brinda el servicio de calibración para los equipos de monitoreo de ruido, pues al mantener un recinto acústicamente controlado se logrará disminuir o eliminar la componente de incertidumbre de medición asociada a la presencia de contaminación acústica presente en el lugar.

Al realizar la medición del ruido de fondo en la zona del laboratorio donde se ubicaría la cabina insonorizada se pudo evidenciar que en este sitio a pesar de aparentar ser un lugar con presencia de ruido bajo para la percepción de las personas, de todas maneras ha existido niveles de ruido en el orden de los 50 dB, lo cual si es una condición de ruido considerable para los

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

instrumentos, más aun considerando el criterio de la norma tomada como referencia, que establece que el ruido ambiente ideal para las pruebas debería estar en el orden de los 30 dB.

En relación a los antes mencionado, al comparar los resultados obtenidos del monitoreo del ruido de fondo con los niveles máximos de ruido permitidos por la norma de referencia, y al constatar que actualmente en la zona del laboratorio donde se ubicaría la cabina se posee una condición ambiente de ruido más alto de lo permitido, es una justificación adicional para la viabilidad de la construcción de la cabina desarrollada en este trabajo en el corto o mediano plazo.

Los criterios de referencia tomados de la norma ANSI S3.1 – 1999 y la evaluación del ruido ambiental en el sitio de ubicación para la cabina fueron los aspectos fundamentales que contribuyeron para el dimensionamiento y selección de los materiales absorbentes del ruido.

En relación al dimensionamiento físico de la cabina, el factor que determinó su tamaño fue la disponibilidad de espacio en la zona del laboratorio. En base a ello se establecieron las medidas de largo, ancho y profundidad de la cabina tratando de maximizar el espacio interno disponible a fin de que en su interior se pueda albergar a un técnico ubicado en una mesa de trabajo que le permita realizar cómodamente las respectivas pruebas en los instrumentos. Si se hubiese contado con un método o norma para el dimensionamiento físico de la cabina se hubiese justificado mejor su tamaño optimizando así los recursos técnicos y económicos.

El método empleado para establecer la atenuación acústica de la cabina se basó en establecer relaciones de áreas entre 2 tipos de material acústico aislante, tomando en cuenta que la cabina desarrollada a más de estar conformada por paneles de material absorbente dispone además de una ventana de vidrio por la cual podrían ingresar componentes de ruido hacia el interior. Lo interesante de este método es que al considerar las relaciones de áreas toma en cuenta a su vez la dimensión total de la cabina estableciéndose una relación entre tamaño y

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

absorción acústica, así como también las pérdidas de atenuación acústica generadas por el material menos absorbente, que para este caso sería el vidrio. Por otra parte, este método no sería adecuado, o se complicaría si se pretendiera establecer el diseño de un modelo que disponga más de dos tipos de materiales acústicos absorbentes.

La disponibilidad en el mercado de materiales acústicos aislantes que presenten en su información técnica la atenuación al ruido en decibeles por bandas de octava resultó ser escasa, más aun en opciones de materiales que permitan una atenuación acústica en el orden de decenas de decibeles. Además, se ha observado que para obtener atenuaciones altas de ruido no sería recomendado emplear un panel compuesto de un solo material, sino uno conformado por una combinación de capas de materiales cada uno con sus propiedades acústicas particulares. Esta técnica ayuda además a reducir considerablemente el grosor del panel absorbente y darle en ciertos casos mejores propiedades de resistencia a los esfuerzos mecánicos.

Para la constitución física de la cabina se ha propuesto una estructura metálica conformada por el ensamble de perfiles de hierro. El diseño propuesto determina que la mayoría de la superficie de hierro dispuesta quede cubierta por los paneles de material absorbente, a fin de en la práctica estimar no desviarse considerablemente del valor calculado de atenuación efectiva de ruido desarrollado en el tercer capítulo de este escrito. Una forma de realizar el cálculo del margen de error y por ende la validación del diseño propuesto consistiría en, luego de implementada la cabina realizar un monitoreo de ruido en su interior, a fin de comparar esos resultados con los valores de atenuación efectiva presentados en la tabla 15.

Para efectos prácticos de aislamiento, entre el acople de la puerta y el borde frontal de la cabina se ha dispuesto la colocación de un empaque de caucho, considerando que este material elástico permitirá un sello acústico en el acople, consiguiendo de esta forma evitar el ingreso de contaminación acústica al interior de la cabina por las hendiduras determinadas en las

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

juntas. De igual manera, se ha dispuesto la colocación de una capa de caucho en las patas del soporte que sostiene a la cabina, para conseguir en cambio un aislamiento de las vibraciones de ruido que podrían ingresar por los puntos de contacto con el suelo.

La implementación de este proyecto le permitiría al Laboratorio ser actualmente el único presente en Ecuador con disponibilidad de un ambiente acústicamente controlado para la realización de pruebas de calibración de equipos de monitoreo de ruido, lo cual le determinaría mantener una exclusividad en el mercado local.

El hecho de disponer en el mercado local de un Laboratorio que brinde el servicio de calibración de monitores de ruido permitiría a los usuarios conseguir un ahorro en los recursos de dinero y tiempo, pues el tiempo de un servicio demandaría un período estimado de 10 días hábiles, versus 45 a 60 días que se requieren normalmente para servicios de este tipo en el exterior; y con respecto a los costos, las tarifas de servicios serían mucho más convenientes para los usuarios, por el mismo hecho de que ya no se incurría en los gastos adicionales de impuestos y fletes de envíos.

Finalmente, se pretende que este trabajo permita una contribución al desarrollo metrológico a nivel local en lo referente a las pruebas de verificación y calibración acústica de monitores de ruido, logrando así mantener un nivel de confiabilidad en los resultados emitidos por el laboratorio y la certeza de los usuarios de que los resultados arrojados por sus instrumentos en los monitoreos realizados son confiables y apegados a la realidad, lo cual repercutirá directamente en sus acciones de control a tomar para proteger a sus trabajadores expuestos a ruido que es un agente físico muy común en nuestro ámbito laboral.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

REFERENCIAS

3R Brasil, T. A. (Enero de 2010). Medición de Cabina Audiométrica "in situ" según la ISO 8253-1. Río de Janeiro, Brasil.

ANSI, A. N. (3 de Agosto de 1999). ANSI S3.1-1999 Maximum Permissible Ambient Noise Levels for Audiometric Test Rooms. USA.

Beranek, L. (1969). Acústica. Buenos Aires, Argentina.

Brüel&Kjær, S. &. (2000). Ruido Ambiental. España.

CIRRUS, R. P. (Abril de 2013). Manual del usuario Sonómetros Optimus. Reino Unido.

COMPOSAN. (2015). Manual Aislamiento Acústico. España.

España, M. d. (11 de Marzo de 2006). REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. España.

España, M. d. (26 de Julio de 2012). Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. *Referencia: BOE-A-2007-18397*. España.

Estellés, D. R. (Octubre de 2005). Aislación Acústica. Montevideo, Uruguay.

IESS, I. E. (Noviembre de 1986). DECRETO EJECUTIVO 2393 - REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO. Ecuador.

MAE, M. d. (13 de Febrero de 2015). ACUERDO MINISTERIAL No. 028 - LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL. Ecuador.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Martín, D. A. (Marzo de 2014). Apuntes de Acústica. España.

MECANOCAUCHO, A. (2015). Planchas de AISLAMIENTO ACÚSTICO Catálogo general. España.

Mondelo, P. (Septiembre de 1994). Ergonomía 1 Fundamentos. Barcelona.

OIT, O. I. (1998). ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Ginebra.

Rodriguez, G. J. (Julio de 2017). Acústica Aplicada: Bases teóricas para el diseño de cabinas audiométricas. Boca Ratón, USA.

Salgado, F. (Junio de 2017). Higiene Industrial II. Curvas para el cálculo de la pérdida por transmisión resultante al considerar dos superficies de materiales distintos. Quito, Ecuador: UISEK.

Texsa, S. (Marzo de 2009). TECSOUND sistemas de aislamiento acústico para obra nueva y rehabilitación. España.

ThCoat. (Febrero de 2014). Aislantes Acústicos para evitar el ruido y la vibración en el sector naval.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

ANEXOS

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

ANEXO A. REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, Artículo 5:

Artículo 5. Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción:

1. A los efectos de este real decreto, los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción, referidos a los niveles de exposición diaria y a los niveles de pico, se fijan en:

a. Valores límite de exposición: $L_{Aeq,d} = 87$ dB(A) y $L_{pico} = 140$ dB (C), respectivamente;

b. Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción: $L_{Aeq,d} = 85$ dB(A) y $L_{pico} = 137$ dB (C), respectivamente;

c. Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción: $L_{Aeq,d} = 80$ dB(A) y $L_{pico} = 135$ dB (C), respectivamente.

2. Al aplicar los valores límite de exposición, en la determinación de la exposición real del trabajador al ruido, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por los trabajadores. Para los valores de exposición que dan lugar a una acción no se tendrán en cuenta los efectos producidos por dichos protectores.

3. En circunstancias debidamente justificadas y siempre que conste de forma explícita en la evaluación de riesgos, para las actividades en las que la exposición diaria al ruido varíe considerablemente de una jornada laboral a otra, a efectos de la aplicación de los valores límite y de los valores de exposición que dan lugar a una acción, podrá utilizarse el nivel de

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

exposición semanal al ruido en lugar del nivel de exposición diaria al ruido para evaluar los niveles de ruido a los que los trabajadores están expuestos, a condición de que:

a. el nivel de exposición semanal al ruido, obtenido mediante un control apropiado, no sea superior al valor límite de exposición de 87 dB(A), y

b. se adopten medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo asociado a dichas actividades. (España M. d., 2006)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

ANEXO B. REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, Anexo III:

ANEXO III. Instrumentos de medición y condiciones de aplicación

1. Medición del Nivel de exposición diario equivalente (LAeq,d)

Sonómetros: Los sonómetros (no integradores – promediadores) podrán emplearse únicamente para la medición de Nivel de presión acústica ponderado A (LpA) del ruido estable. La lectura promedio se considerará igual al Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A (LAeq,T) de dicho ruido. El Nivel de exposición diario equivalente (LAeq,d) se calculará con las expresiones dadas en el punto 4 del anexo 1.

Los sonómetros deberán ajustarse, como mínimo, a las especificaciones de la norma UNE-EN 60651:1996 para los instrumentos de «clase 2» (disponiendo, por lo menos, de la característica «SLOW» y de la ponderación frecuencial A) o a las de cualquier versión posterior de dicha norma y misma clase.

Sonómetros integradores – promediadores: Los sonómetros integradores-promediadores podrán emplearse para la medición del Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A (LAeq,T) de cualquier tipo de ruido. El Nivel de exposición diario equivalente (LAeq,d) se calculará mediante las expresiones dadas en el punto 4 del anexo 1.

Los sonómetros integradores – promediadores deberán ajustarse, como mínimo, a las especificaciones de la norma UNE-EN 60804:1996 para los instrumentos de «clase 2» o a las de cualquier versión posterior de dicha norma y misma clase.

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

Dosímetros: Los medidores personales de exposición al ruido (dosímetros) podrán ser utilizados para la medición del Nivel de exposición diario equivalente (LAeq,d) de cualquier tipo de ruido.

Los medidores personales de exposición al ruido deberán ajustarse a las especificaciones de la norma UNE-EN 61252:1998 o a las de cualquier versión posterior de dicha norma.

2. Medición del Nivel de pico (Lpico)

Los sonómetros empleados para medir el Nivel de pico o para determinar directamente si se sobrepasan los límites o niveles indicados en el artículo 4 deberán disponer de los circuitos específicos adecuados para la medida de valores de pico. Deberán tener una constante de tiempo en el ascenso igual o inferior a 100 microsegundos, o ajustarse a las especificaciones establecidas para este tipo de medición en la norma UNE-EN 61672:2005 o versión posterior de la misma. (España M. d., 2006)

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

ANEXO C. Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, Anexo II:

Anexo II. Objetivos de calidad acústica

Tabla A. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes. Real Decreto 1367/2007 (España M. d., 2012)

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L _d	L _e	L _n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	(2)	(2)	(2)

(1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a), del artículo 18.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

(2) En el límite perimetral de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas acústicas colindantes con ellos.

Tabla B. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales. Real Decreto 1367/2007 (España M. d., 2012)

Uso del edificio	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		L _d	L _e	L _n
Vivienda o uso residencial	Estancias	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Hospitalario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

(1) Los valores de la tabla B, se refieren a los valores del índice de inmisión resultantes del conjunto de emisores acústicos que inciden en el interior del recinto (instalaciones del propio edificio, actividades que se desarrollan en el propio edificio o colindantes, ruido ambiental transmitido al interior).

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

ANEXO D. Reporte de medición generado en el Software NoiseTools



Informe de resumen de medición

Nombre Medición ruido ambiente - Laboratorio

Tiempo 23/05/2018 9:15:38

Duración 08:12:08

Instrumento 053178, CR:162C

Calibración

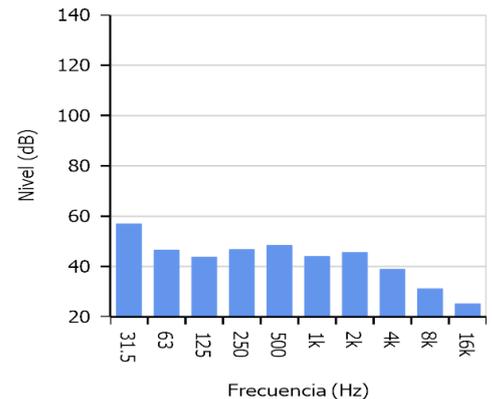
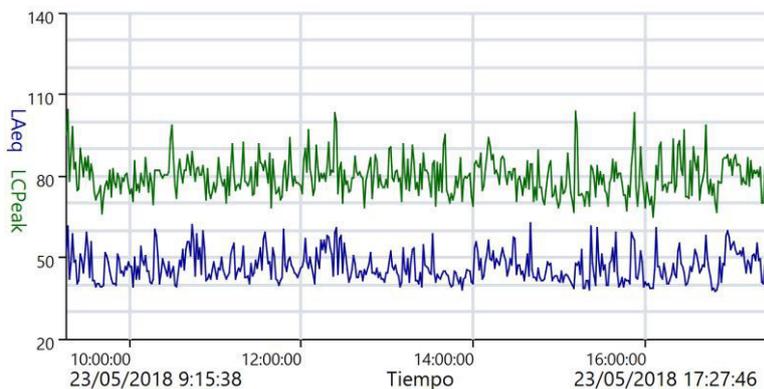
Antes 23/05/2018

Offset 0,08

Después

Offset

Valores básicos		Exposición	
LAeq	50,8 dB	30 minutos	38,8 dB
LCPeak	104,4 dB	1 hora	41,8 dB
C-A	7,9 dB	2 horas	44,8 dB
LEX8	50,9 dB	4 horas	47,8 dB
LAFMax	85,9 dB	6 horas	49,6 dB
		8 horas	50,8 dB
		10 horas	51,8 dB
		12 horas	52,6 dB



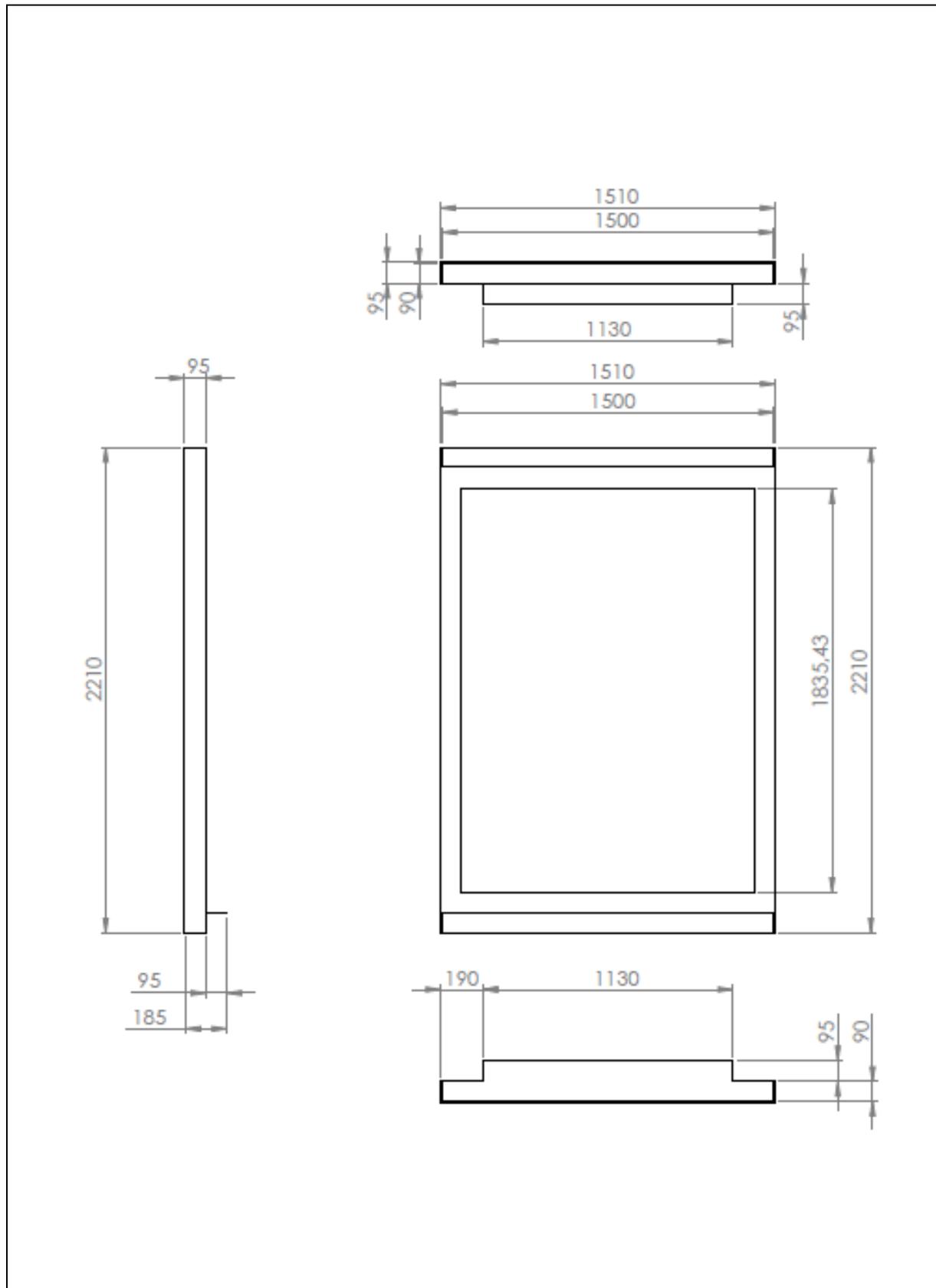
ReportId



DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

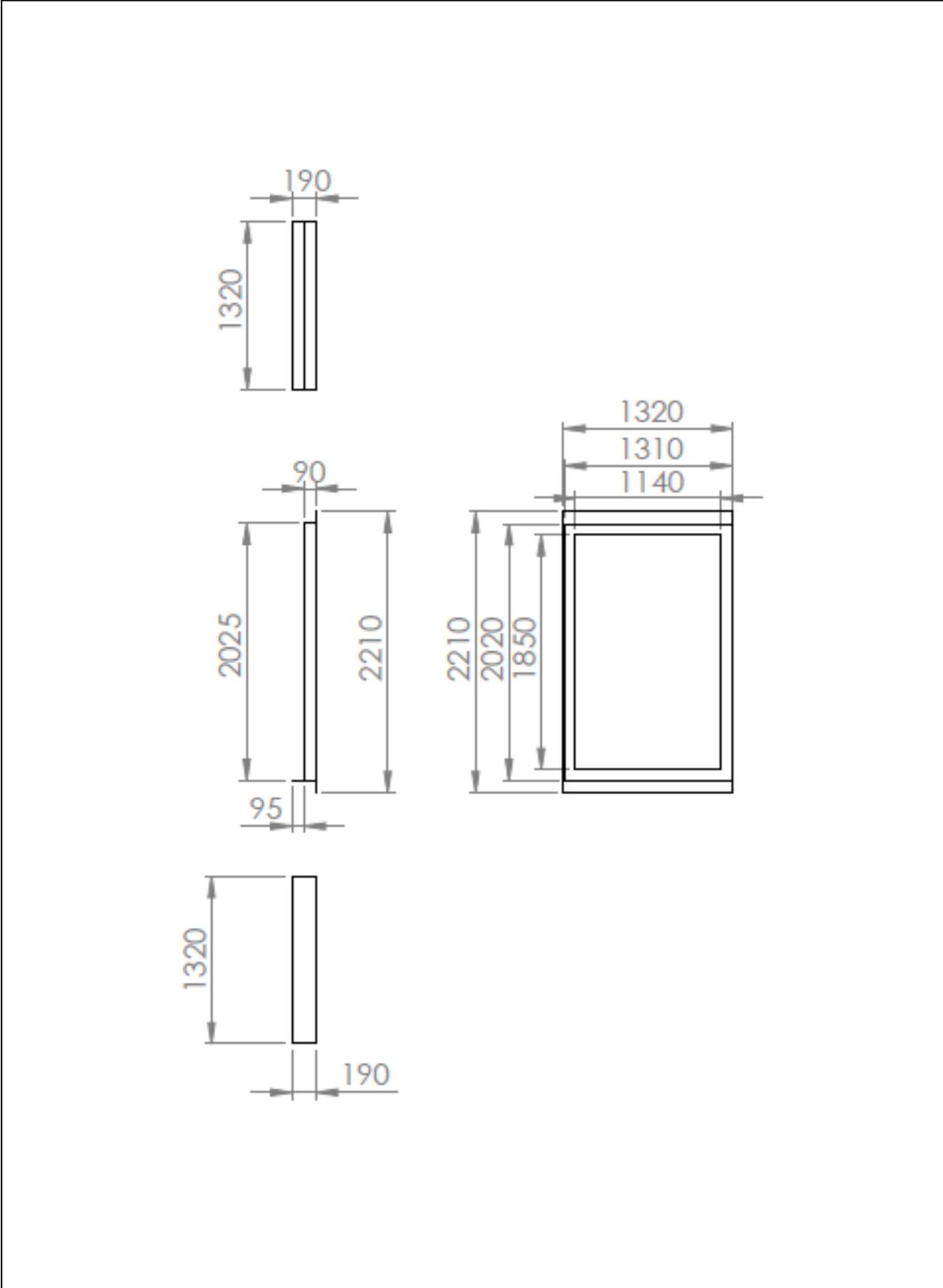
ANEXO E. Vistas geométricas y dimensiones físicas de las estructuras constitutivas de la cabina

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



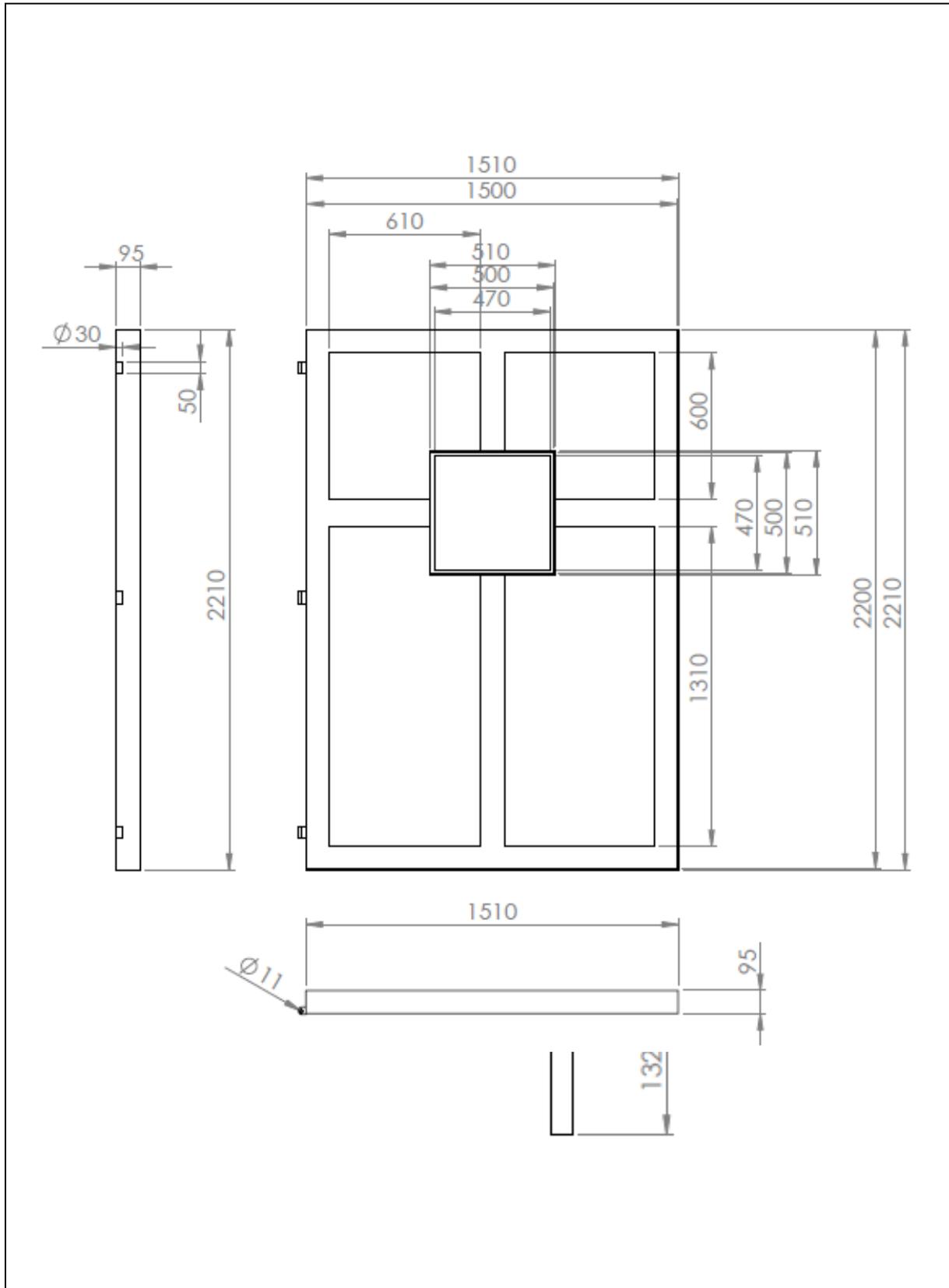
NOMBRE PIEZA:	ESTRUCTURA POSTERIOR	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



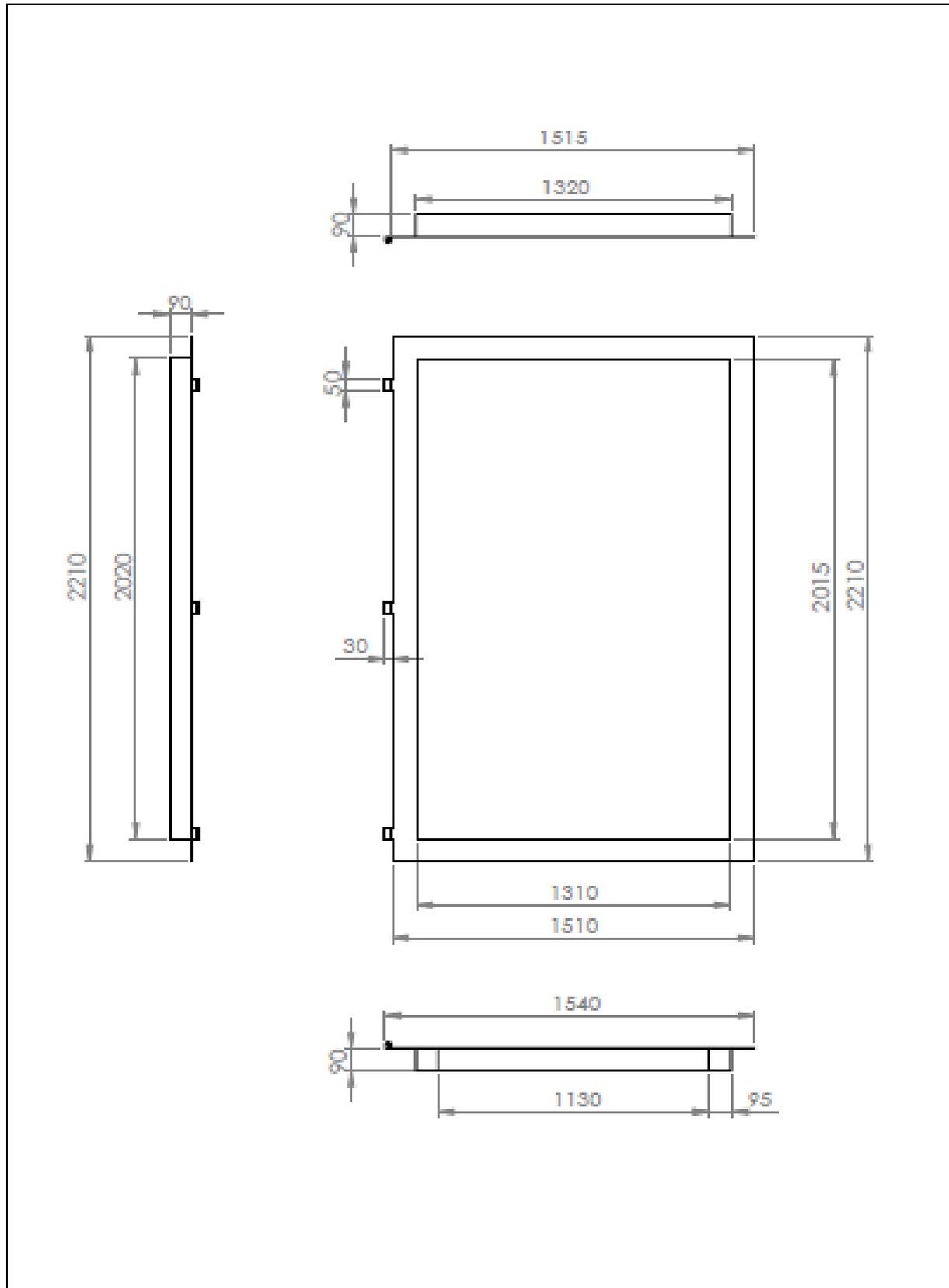
NOMBRE PIEZA:	ESTRUCTURA LATERAL DERECHA	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



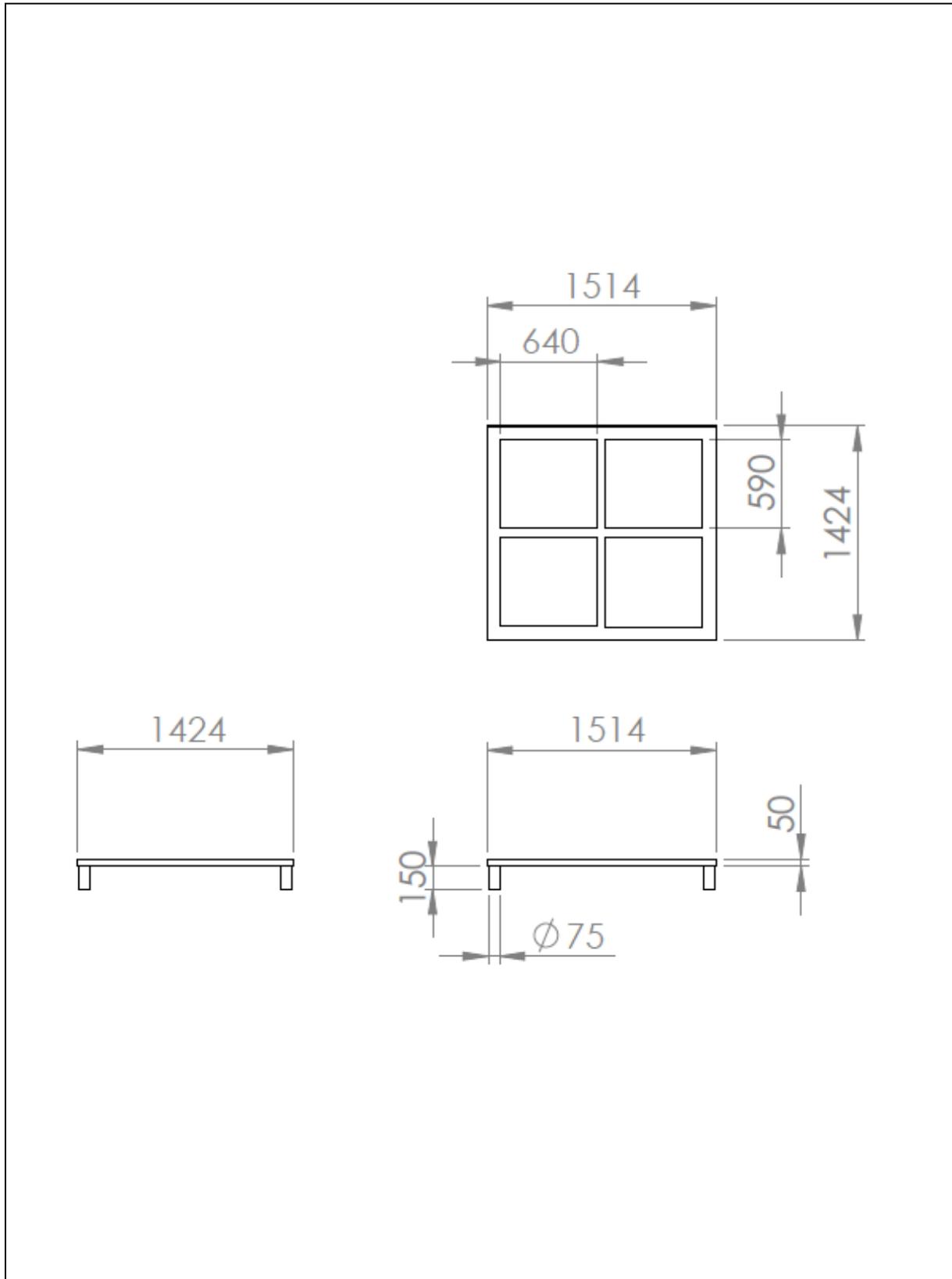
	ESTRUCTURA		DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA	
NOMBRE PIEZA:	PUERTA	TEMA:	UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE	
NOMBRE PIEZA:	LATERAL IZQUIERDA	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA	
	RÓDRIGO		EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	CAHUENAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1
REALIZADO POR:	CAHUENAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



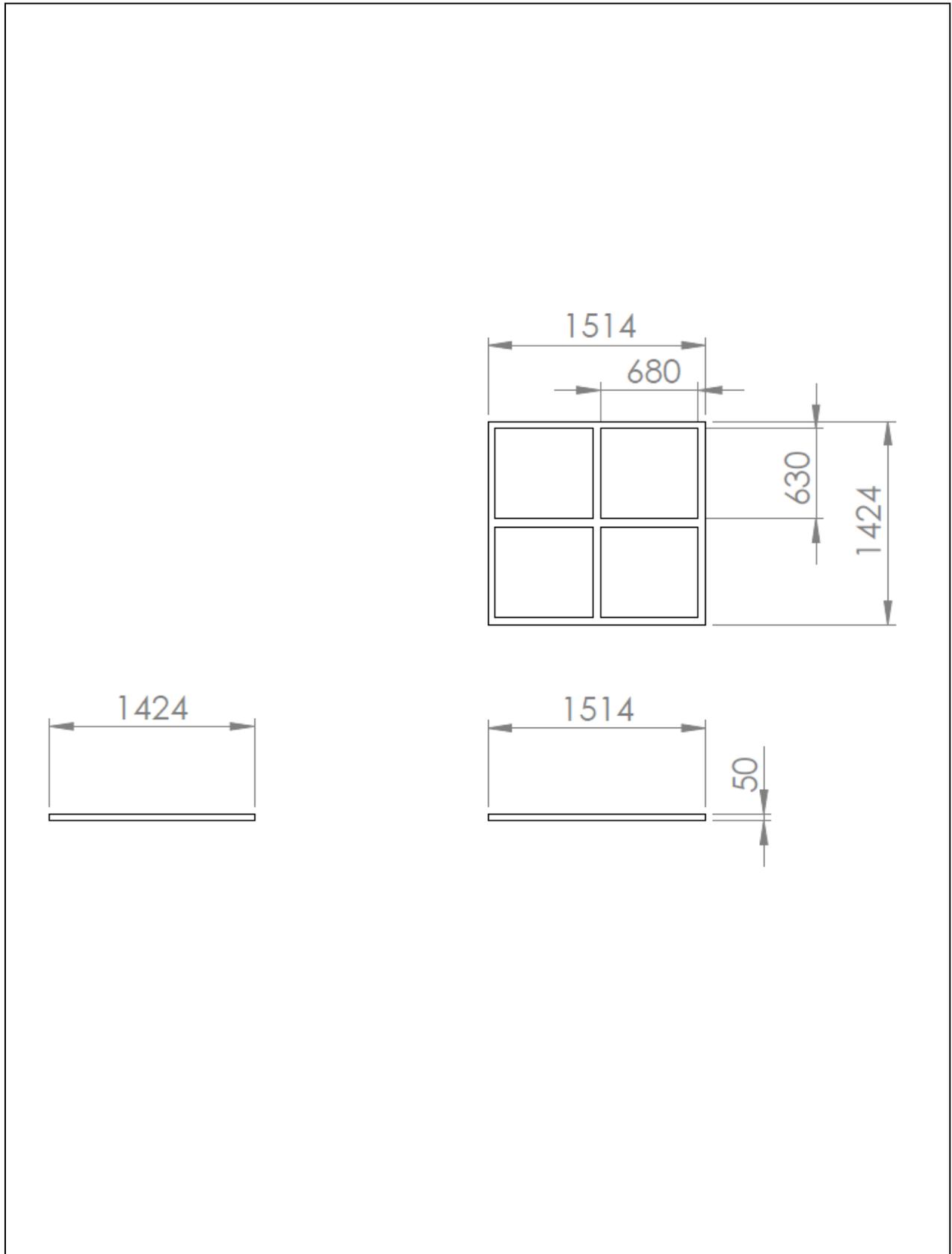
NOMBRE PIEZA:	ESTRUCTURA FRONTAL	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



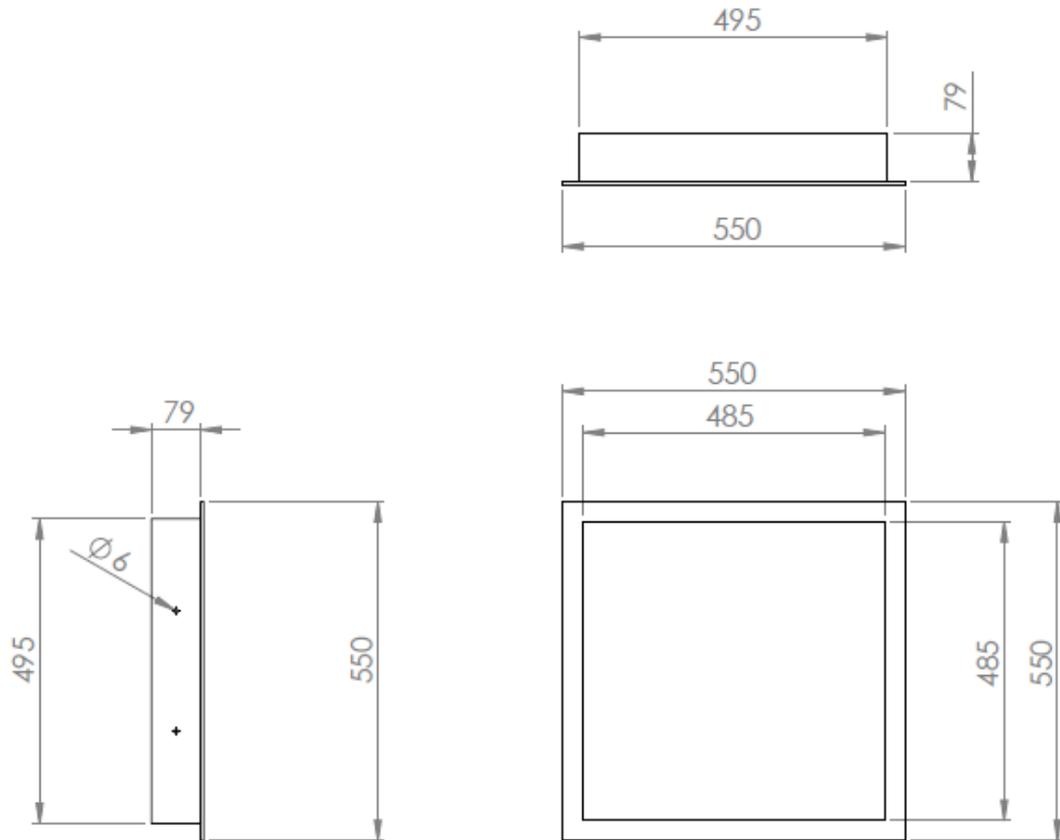
NOMBRE PIEZA:	BASE INFERIOR	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



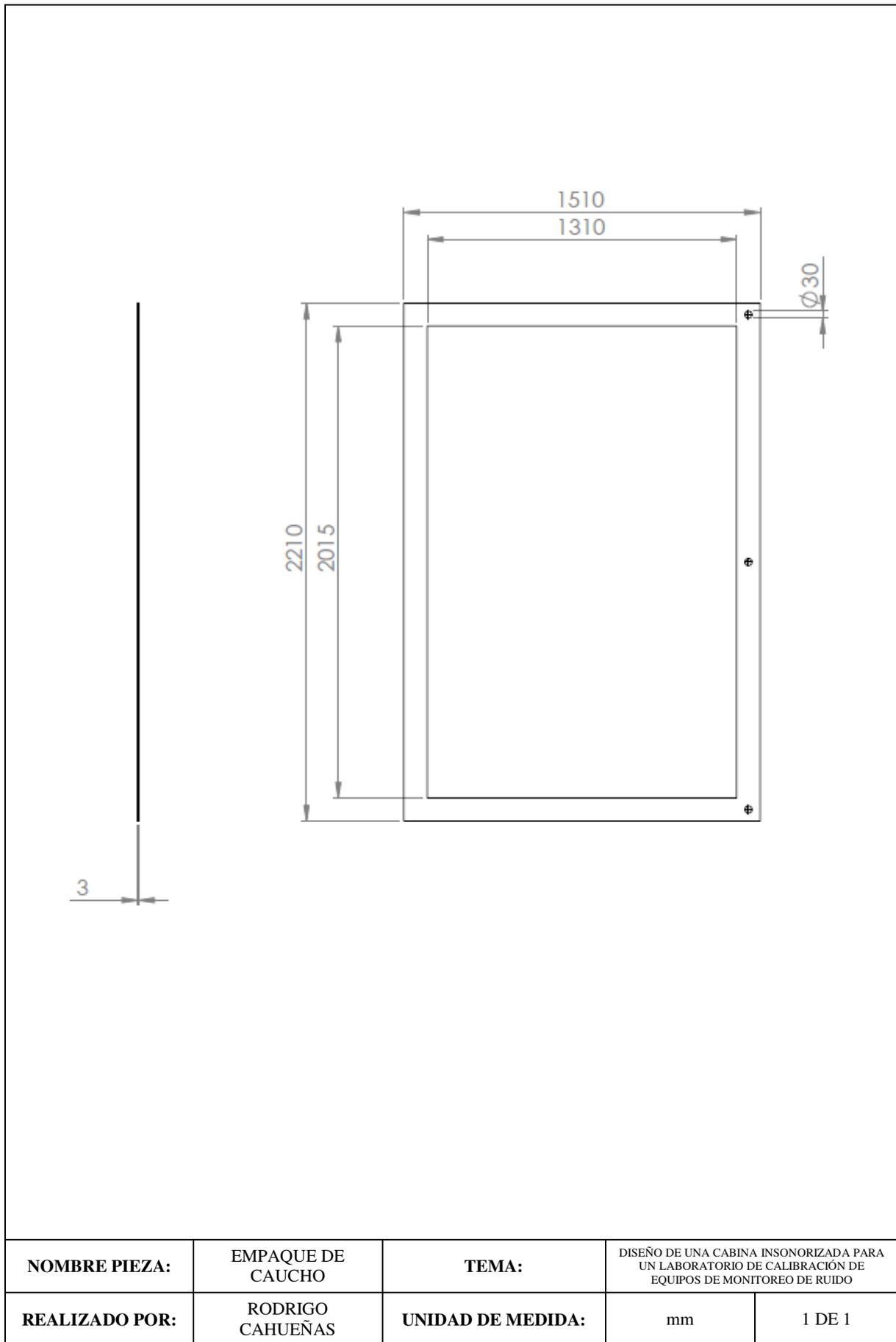
NOMBRE PIEZA:	TAPA SUPERIOR	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

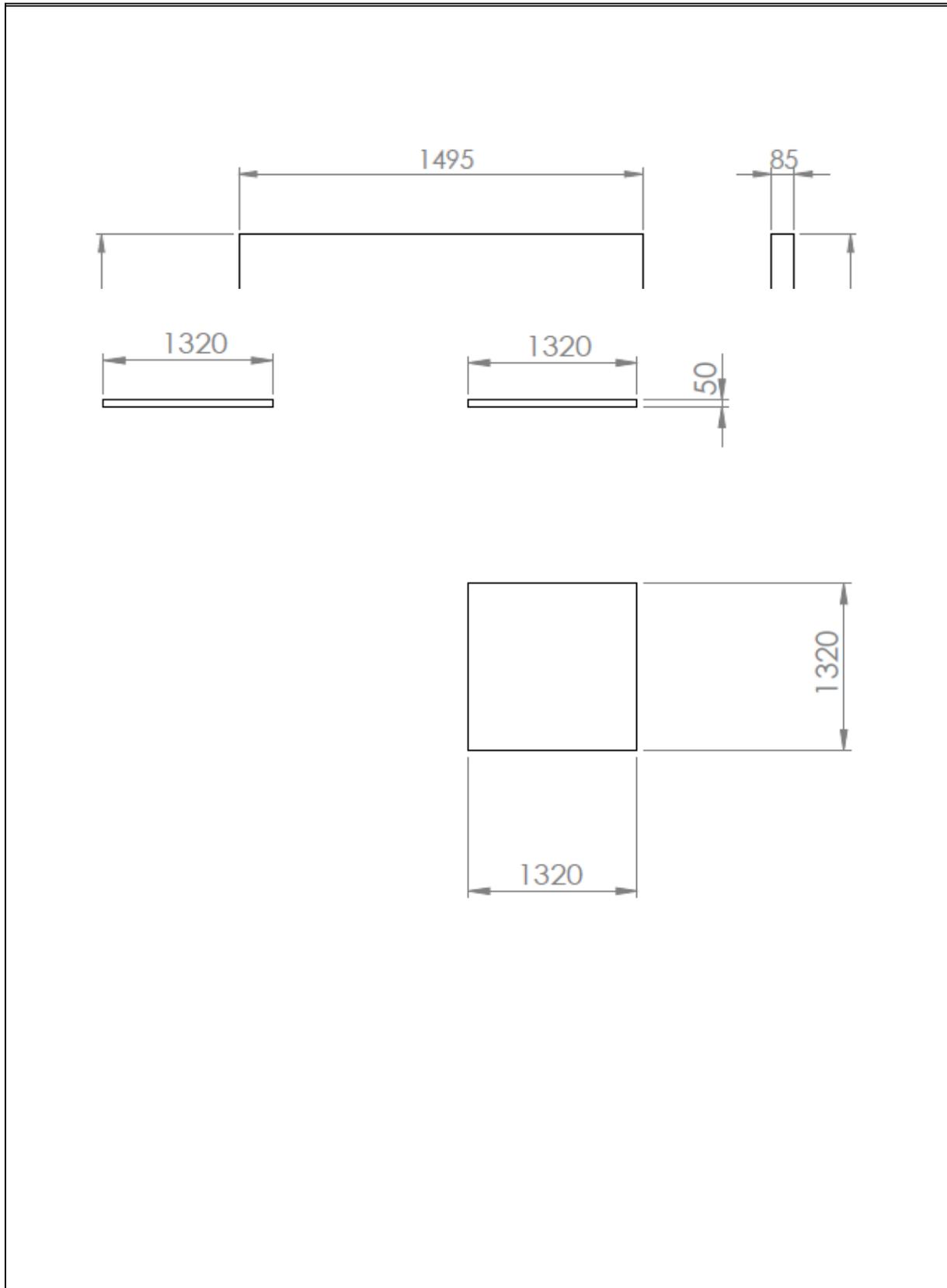


NOMBRE PIEZA:	MARCO VENTANA	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

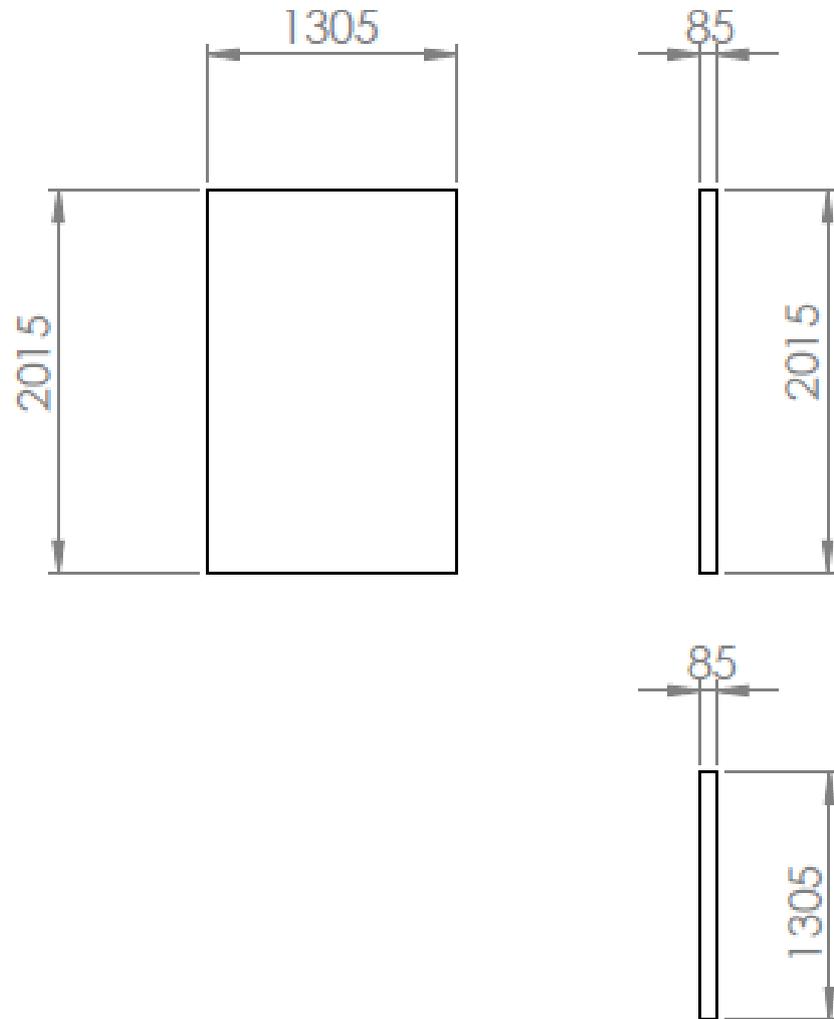


DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



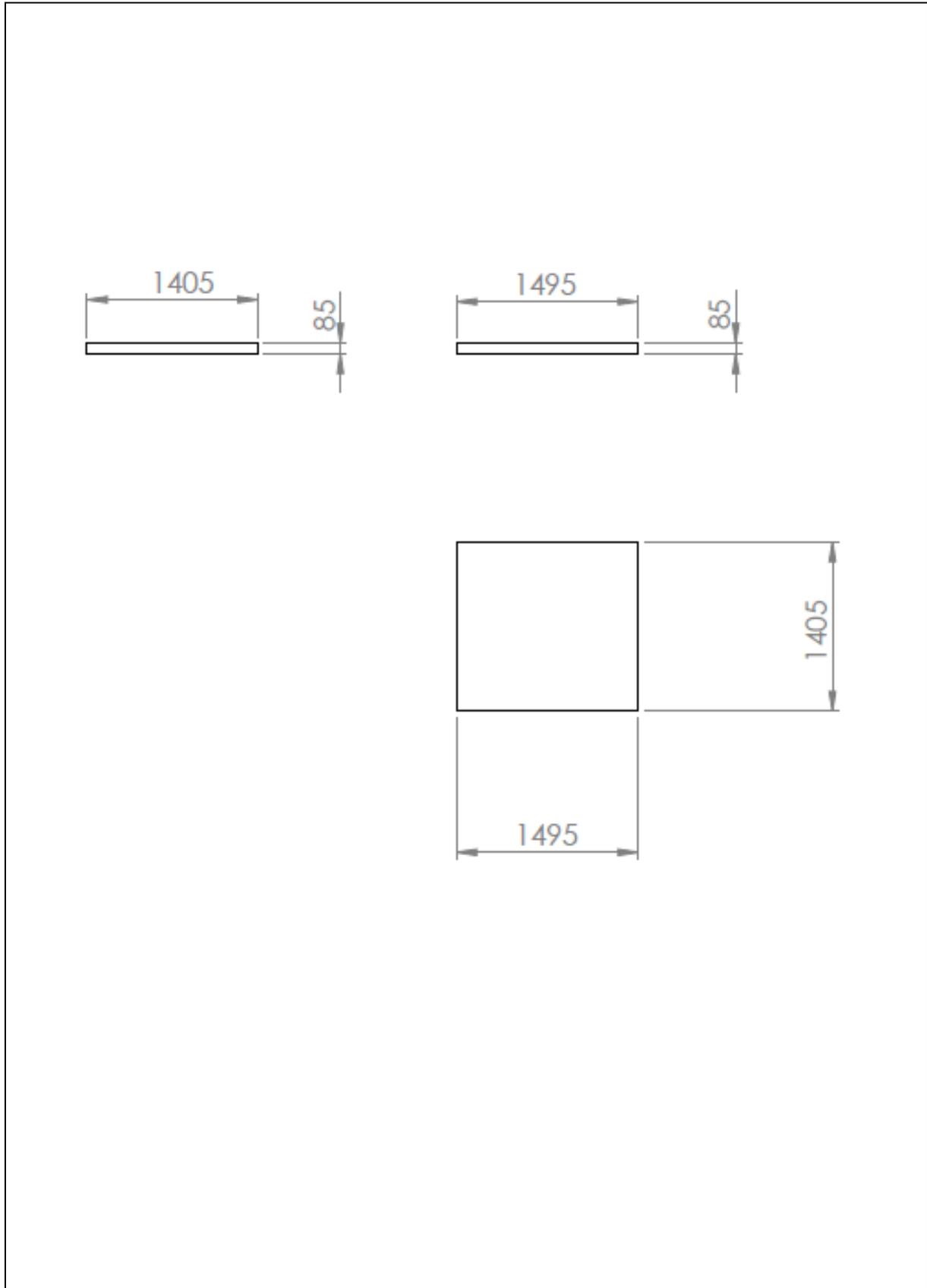
NOMBRE PIEZA:	PANEL POSTERIOR	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



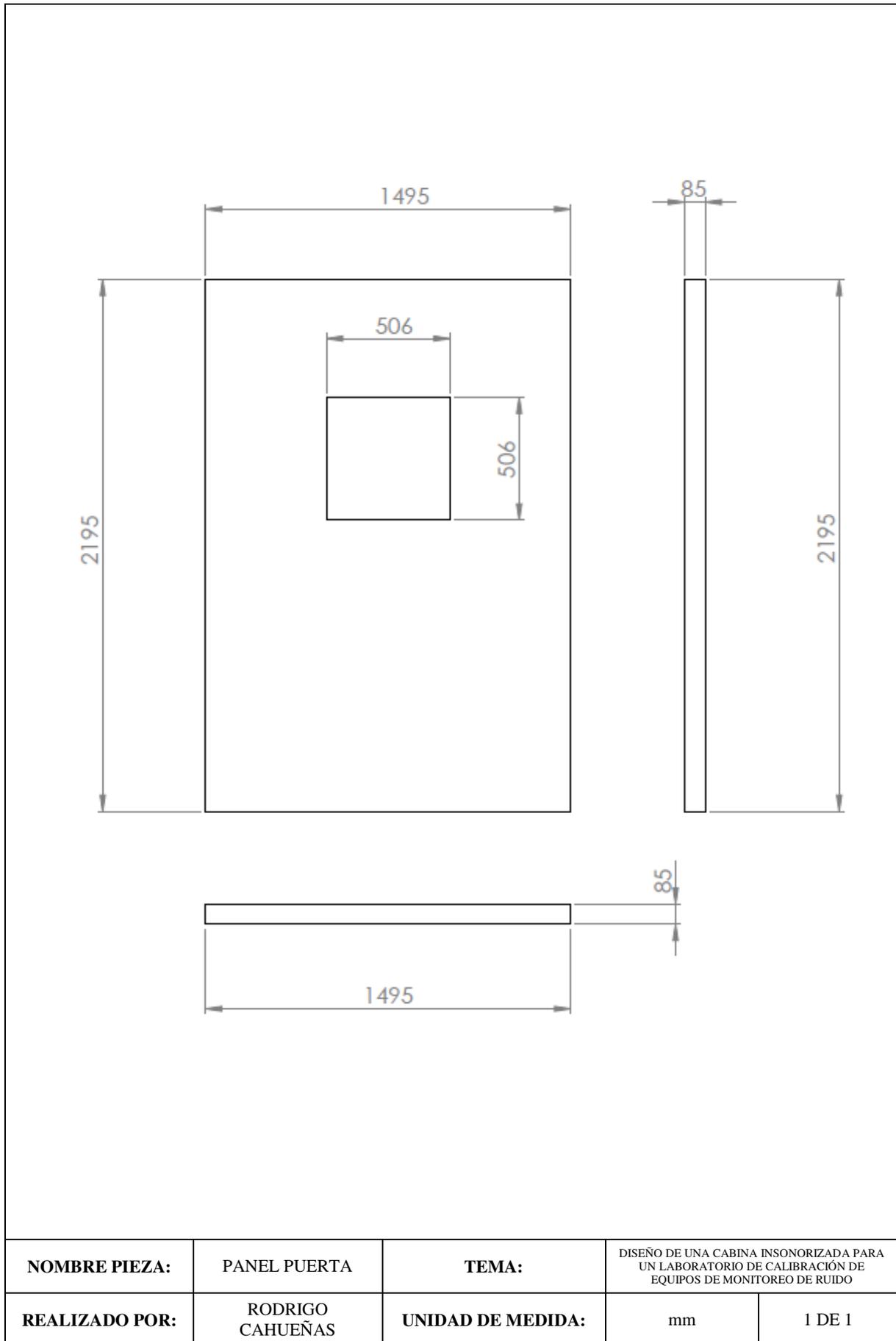
NOMBRE PIEZA:	PANEL LATERAL DERECHO / IZQUIERDO	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

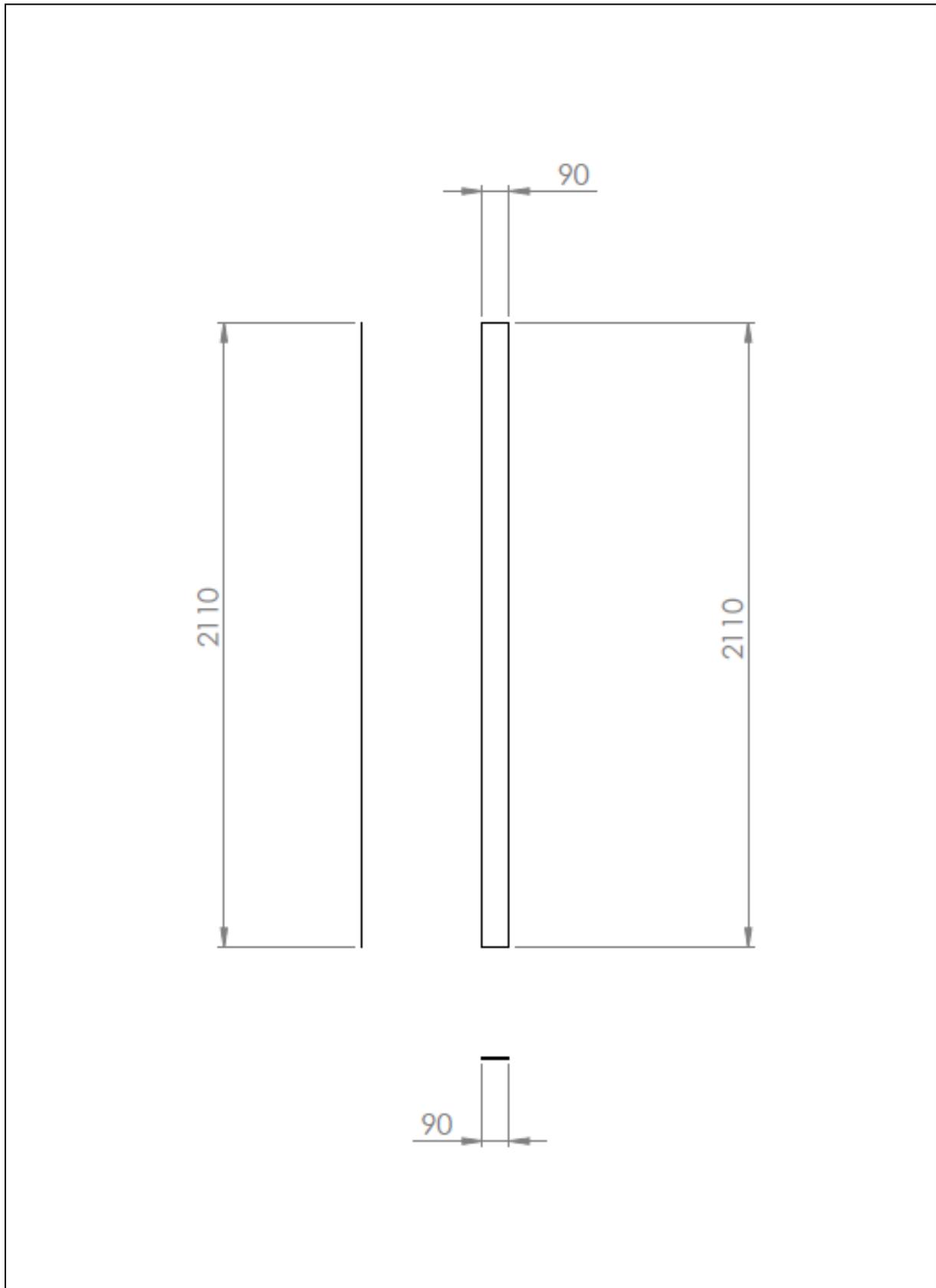


NOMBRE PIEZA:	PANEL SUPERIOR / INFERIOR	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO

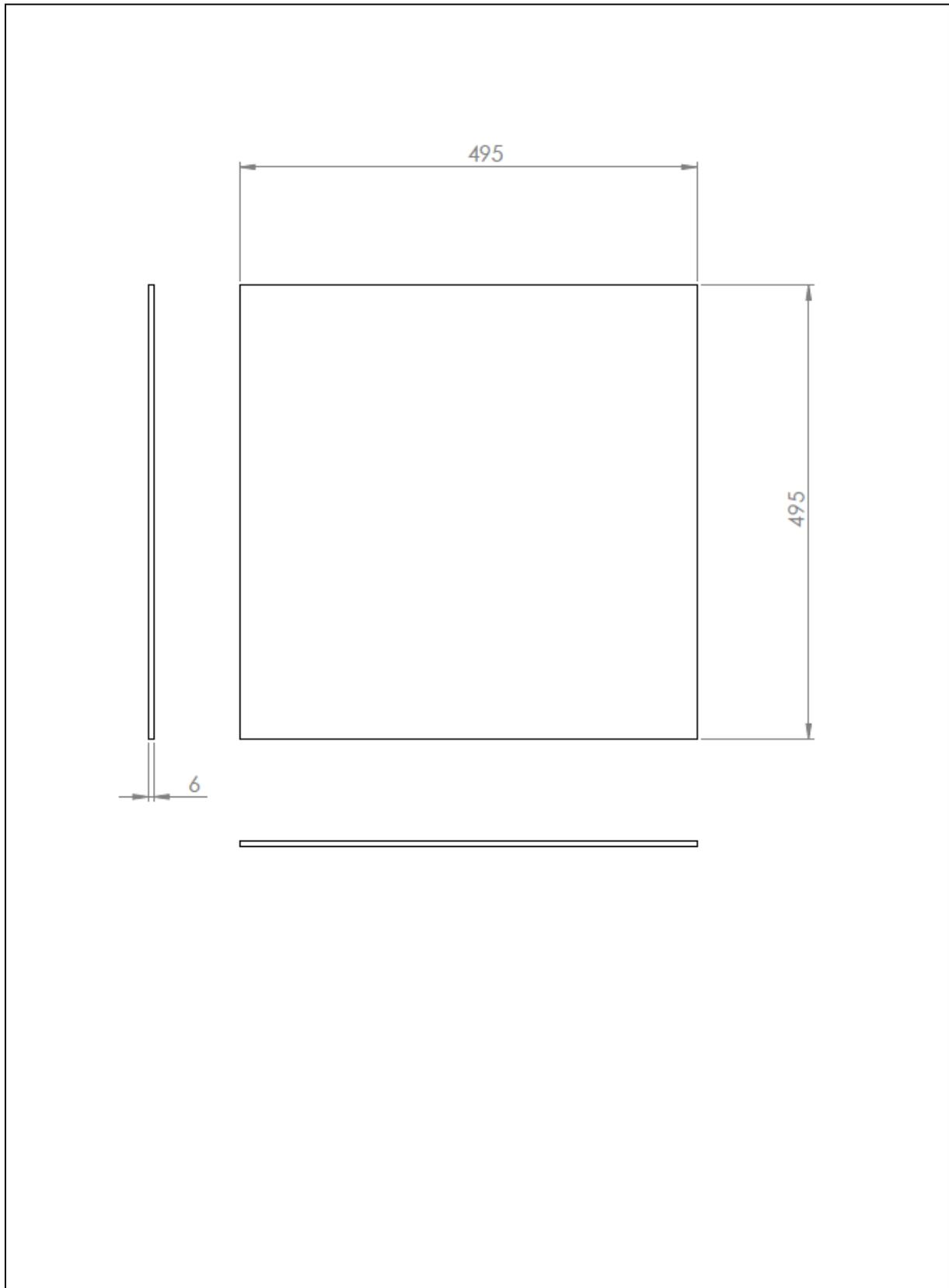


DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



NOMBRE PIEZA:	SOPORTE LATERALES / POSTERIOR	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1

DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO



NOMBRE PIEZA:	VIDRIO VENTANA	TEMA:	DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADA PARA UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO DE RUIDO	
REALIZADO POR:	RODRIGO CAHUEÑAS	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	1 DE 1