

# Acústica Aplicada: Bases teóricas para el diseño de cabinas audiométricas

Juan Pablo Rodríguez-Guevara, MSc<sup>1</sup>, Oscar Alejandro Vásquez-Bernal, PhD<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, [juanp.rodriguez@unad.edu.co](mailto:juanp.rodriguez@unad.edu.co)

<sup>2</sup>Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, [oscar.vasquez@unad.edu.co](mailto:oscar.vasquez@unad.edu.co)

*Resumen– El diseño de estructuras acústicas es un trabajo que implica el manejo de una amplia gama de recursos teóricos, metodológicos y empíricos que deben considerarse para determinar las variables de control de diseño. El presente documento tiene como propósito presentar los fundamentos teóricos necesarios para el diseño de una cabina audiométrica, que es un elemento indispensable para la evaluación y diagnóstico de la capacidad auditiva de las personas. La apropiación de conceptos de audiometría, su relación con la anatomía, la acústica aplicada y la normatividad relevante, con el fin de sustentar las bases teóricas que soporten los aspectos de diseño de cabinas audimétricas.*

*Palabras clave-- Diseño acústico, acústica aplicada, cabina sonoamortiguada, cabina audiométrica, diseño de producto*

## I. INTRODUCCIÓN

La acústica es un campo del conocimiento que tiene un amplio ámbito de influencia sobre diferentes aspectos y escenarios de la sociedad. Su aplicación práctica se extiende de múltiples maneras sobre contextos académicos, comerciales e industriales a través de productos, regulaciones, investigaciones, tecnologías y demás.

Su importancia y utilidad práctica se evidencia en áreas como la salud, donde a través de diferentes tecnologías y dispositivos, la acústica contribuye significativamente al mejoramiento de las prácticas relacionadas con la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades en los seres humanos.

Específicamente se podría encontrar una aplicación práctica en la ciencia de la audiología que estudia el oído humano y los problemas auditivos de las personas, por medio del manejo médico de procedimientos concretos como la audiometría.

Esta técnica que básicamente tiene como finalidad la evaluación de la audición de las personas, requiere para su implementación de elementos especializados como el audiómetro y la cabina audiométrica, que son productos que surgen como resultado del trabajo científico aplicado en el campo de la acústica.

En ese sentido, en el presente documento se plantean los Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.62>  
ISBN: 978-0-9993443-0-9  
ISSN: 2414-6390

fundamentos teóricos de acústica necesarios para el diseño y optimización de una cabina sonoamortiguada para pruebas audiométricas, estudio que se realiza en el marco del desarrollo del proyecto de investigación que tienen como objetivo principal la optimización de la cabina audiométrica fabricada por una empresa en Bogotá – Colombia.

## II. REVISIÓN CONCEPTUAL

### A. El concepto de audiometría

Como punto de partida para la comprensión de la base teórica y conceptual que fundamenta el diseño y construcción de cabinas sonoamortiguadas para pruebas audiométricas, es necesario definir el concepto de audiometría y todo lo que ella implica, resaltando su ámbito de aplicación, su objetivo y los tipos de audiometrías. En ese sentido, se entiende por audiometría el conjunto de técnicas que permiten apreciar la agudeza auditiva y determinar la magnitud de esta en relación con las vibraciones acústicas que llegan al oído, para así poder cuantificar las posibles deficiencias en su funcionamiento.[10]

La audiometría es una parte de la Otología que es la ciencia que estudia el oído y su recuperación en humanos y animales. De la Otología nace la disciplina profesional de la Audiología que es la rama de la ciencia clínica que se encarga de diagnosticar, tratar y prevenir los problemas auditivos en los seres humanos.

El objeto principal de la audiometría es evaluar el estado de la audición y estudiar las alteraciones auditivas de un individuo. No obstante la audiometría también se emplea con otros fines entre los que se destacan:

- Determinar el umbral mínimo de audición.
- Determinar la fatiga acústica.
- Medir los acufenos.
- Para determinar el grado de invalidez auditiva.
- Explorar la posibilidad de una intervención quirúrgica.
- Descubrir hipoacusias subliminales.
- Establecer la prescripción de la prótesis auditiva.

En definitiva la audiometría es un examen que tiene por objeto cifrar las alteraciones de la audición en relación con los estímulos acústicos, resultados que se anotan en un gráfico denominado audiograma. [11]

1) *Métodos de exploración auditiva:* Los métodos de exploración auditiva más comunes son el liminar y supraliminar [12]:

*Liminar:* En este método se emplean tonos puros para determinar el umbral auditivo de la persona dentro del rango de frecuencias que conforman el espectro audible por el ser humano, es decir entre los 20 Hz y 20 kHz. El objetivo de esta técnica es establecer la existencia o no de una posible hipoacusia, es decir, determinar el umbral de audición.

*Supraliminar:* Este método permite estudiar la capacidad del oído para percibir tonos puros de frecuencias que se encuentran en el nivel superior del umbral de audición, es decir por encima de los 20 kHz. Todas las pruebas de audiometría tonal supraliminar tienen como objetivo establecer el diagnóstico topográfico de las hipoacusias perceptivas, es decir, intenta determinar la ubicación de la lesión que está provocando la hipoacusia perceptiva.

2) *Tipos de audiometrías:* Las pruebas de audiometría más comunes son las que se practican por vía aérea y ósea. Enseguida se describe detalladamente en qué consiste cada una de ellas.

*Audiometría por vía aérea:* Se habla de audiometría por vía aérea cuando el estímulo auditivo se aplica a través de auriculares. La finalidad de la audiometría tonal liminar por vía aérea, es obtener los niveles mínimos de intensidad que la persona evaluada es capaz de percibir cuando es expuesta a tonos o estímulos acústicos. Es una exploración de la función auditiva que consiste en determinar los umbrales de audición para las distintas frecuencias, entendiendo como umbral auditivo la intensidad mínima que una persona necesita para detectar la presencia de un sonido aproximadamente el 50% de las veces [10].

*Audiometría por vía ósea:* Cuando el estímulo auditivo se presenta a través de vibradores óseos entonces se habla de audiometría por vía de conducción ósea. Este método se emplea para establecer la capacidad para percibir sonidos mediante vibraciones que se transmiten a través de los huesos de la cabeza. Al igual que en la audiometría por vía aérea, el objetivo de este tipo de prueba es determinar los niveles mínimos de intensidad sonora que una persona puede percibir cuando es expuesta a vibraciones.

### 3) *Exámen audiométrico:*

Para la realización de una prueba audiométrica se debe seguir una serie de pasos y cumplir con algunas condiciones técnicas en cuanto a metodología, equipo e instrumental de medición.

Las pruebas audiométricas se debe realizar en una cabina sonoamortiguada para garantizar que el ruido de fondo o ambiente no interfiera con el desarrollo del examen y por consiguiente con los resultados del mismo. La cabina sonoamortiguada proporciona un ambiente aislado con condiciones acústicas particulares que garantiza la medición en condiciones óptimas del umbral de audición del individuo evaluado.

Adicional a esto también se debe contar con el equipo audiométrico y sus respectivos componentes según el tipo de audiometría que se vaya a practicar, por vía aérea u ósea.

### 4) *Cabina audiométrica:*

La cabina audiométrica es un cubículo sonoamortiguado relativamente silencioso que se trata acústicamente para controlar y atenuar tanto el ruido interno como el ruido externo. La cabina consta de dos partes o secciones, una ubicada en la parte externa donde se encuentra el profesional de la salud, quien a su vez es el examinador y operario del equipo audiométrico, y otra donde se ubica el paciente en la parte interna de la misma.



Fig. 1 Cabina Audiométrica [13]

El ambiente interno de la cabina audiométrica se debe tratar acústicamente para cumplir con los requerimientos técnicos que exige la normativa internacional en relación a parámetros como los niveles de ruido ambiente por banda de octava o el tiempo de reverberación que dichos espacios deben garantizar. Por ello, al momento de diseñar y fabricar una cabina sonoamortiguada es muy importante considerar aspectos teóricos y prácticos en el campo de la acústica, ya que en gran parte estos definen las características constructivas y estructurales del ambiente sonoamortiguado.

### B. *Acústica aplicada*

El campo de la acústica que permite generar ambientes sonoros aislados se denomina aislamiento acústico.

El aislamiento acústico tiene como objeto proveer a los ocupantes de un recinto, la protección necesaria del ambiente sonoro ante los sonidos o ruidos no deseados. Por tanto los mecanismos empujados en el aislamiento acústico serán los que dificulten la propagación del sonido, o en términos energéticos, los que consigan disminuir la energía de las ondas acústicas [1].

El ambiente sonoro interno de una cabina audiométrica debe estar aislado de los sonidos y el ruido ambiente presente en el exterior, puesto que solo así se puede practicar un examen audiométrico confiables que no se vean afectado por fenómenos como el enmascaramiento de las señales que se emiten en el instante en que se realiza la prueba.

En ese sentido el estudio de los diferentes aspectos que se analizan en el aislamiento acústico de un espacio, ofrece las bases teóricas necesarias para ejecutar todas las tareas requeridas para analizar los materiales, diseñar las superficies aislantes y definir las características estructurales de los componentes que la conforman una cabina audiométrica.

De esta manera el diseño de una cabina sonoamortiguada inicia con el análisis de tres aspectos fundamentales que hacen parte del mecanismo de transmisión del sonido, la fuente de ruido, el canal de transmisión y el espacio del receptor.

*Fuente de Ruido:* El análisis de la fuente generadora de ruido es importante porque permite caracterizar la misma en relación de aspectos como su localización, el sonido que produce, su variación temporal, la intensidad, su espectro en frecuencia, etc.

Entretanto [2] realiza la descripción de los tipos de ruido que se pueden encontrar en un ambiente determinado, clasificando los mismos en ruidos continuos, ruidos intermitentes, ruidos impulsivos, ruidos con componentes tonales y ruidos de baja frecuencia.

Así mismo [1] también clasifica el ruido según la forma en que se genera y propaga, definiendo que el ruido puede ser aéreo, de impacto y de vibración.

La importancia del análisis de la fuente de ruido radica en que tras su caracterización se puede identificar variables que van a determinar en gran medida el tipo de aislamiento acústico que se debe diseñar. Son diferentes los elementos que se utilizan en la insonorización de espacios afectados por ruidos aéreos, por lo general cerramientos y superficies aislantes compuestas por varias capas de materiales rígidos y flexibles.

En cambio para aislar espacios que se ven afectados por ruidos de impacto y aquellos generados por vibraciones, es necesario emplear mecanismos de amortiguación que mitiguen el

movimiento y por lo tanto reduzcan la energía de propagación de la onda de sonido.

Para el caso concreto de una cabina audiométrica por lo general el tipo de ruido que se debe aislar es del tipo aéreo y continuo; una conversación o un aparato de audio. Dependiendo del entorno en el que se ubique la misma, podría estar afectada por otro tipo de ruidos como los de impacto o los producidos por las vibraciones.

Como se ve, para el diseño de una cabina audiométrica la caracterización y medición del ruido es indispensable para tomar medidas adecuadas en relación a la contaminación acústica que proviene de fuentes externas [2].

*Canal de Transmisión:* [1] Señala que el canal de transmisión está constituido por todos los elementos a través de los cuales llega el sonido desde la fuente al receptor. Por lo general los medios a través de los cuales se transmite la onda acústica son las paredes, puertas, ventanas, elementos estructurales, forjados y demás.

La transmisión del sonido por lo general no se produce en un solo camino directo, si no que la propagación de la onda acústica puede seguir múltiples vías, teniendo en cuenta que los elementos o materiales constructivos conectados entre sí pueden intercambiar energía vibratoria. Conceptualmente se puede hablar de caminos directos, indirectos o laterales de propagación [3].

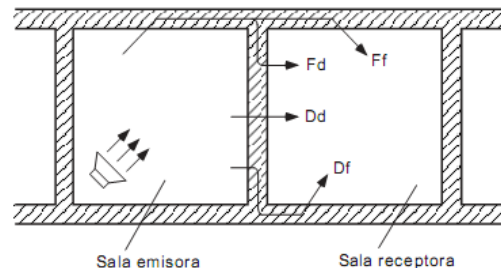


Fig. 2 Caminos de transmisión [3].

Lo anterior es importante teniendo en cuenta que al momento de diseñar las superficies aislantes de una cabina audiométrica, en varias de las caras que conforman el encerramiento existen elementos constructivos diferentes que tienen propiedades aislantes particulares como la ventana, la puerta de acceso a la cabina y el ducto de ventilación que debe ir incorporado a la misma.

El aislamiento entre una habitación y el exterior las ventanas representan un punto crítico y frecuentemente se puede

despreciar la transmisión sonora a través de los otros elementos constructivos [3].

*Espacio Receptor:* Está constituido por el ambiente interno de la cabina sonoamortiguada y los elementos constructivos que delimitan el mismo. Las acciones que se pueden aplicar en este espacio están encaminadas hacia la instalación de paneles acústicos que puedan aislar las ondas sonoras en direcciones y proporciones específicas. También se puede actuar directamente sobre los oyentes mediante la colocación de elementos que mitiguen los niveles de presión sonora que llegan a los oídos como auriculares o protectores auditivos industriales.

De esta manera y teniendo en cuenta el circuito de transmisión, los esfuerzos para controlar el ruido mediante el aislamiento acústico se pueden centrar en actuar sobre la fuente generadora del ruido, las vías de transmisión del ruido, el espacio del receptor o sobre las personas o elementos receptores [1].

### 1) Aislamiento acústico:

A la hora de diseñar superficies aislantes de sonido como las requeridas para la construcción de una cabina audiométrica, es necesario trabajar con materiales constructivos apropiados que respondan a las necesidades estructurales y acústicas requeridas. Por tal motivo es de gran importancia entrar a analizar los materiales que hacen parte de los revestimientos que conforman las paredes de la cabina sonoamortiguada.

[4] Señala que los materiales se pueden clasificar en rígidos y flexibles según su comportamiento ante las ondas sonoras de presión y extensión, siendo los primeros aquellos que tienen densidad superior a la unidad, son impermeables al aire, normalmente homogéneos pero no obligatoriamente isotropos<sup>1</sup>.

En contraste los materiales flexibles se caracterizan por ser porosos, absorbentes y de poca densidad como el corcho, el plástico expandido y la fibra de vidrio.

Así, teniendo en cuenta las características físicas de los materiales se puede establecer y aplicar las teorías básicas que permiten definir las propiedades aislantes de las superficies, analizando en principio los materiales de forma individual y después en conjunto con los demás materiales que hacen parte de la superficie aislante.

Por ejemplo los materiales rígidos siguen un principio teórico en cuanto a su comportamiento aislante ante la incidencia de

<sup>1</sup> **Isótropos:** Sustancia o cuerpo que posee las mismas propiedades físicas en todas las direcciones, en el sentido de que, si se miden magnitudes como la conductibilidad eléctrica, térmica, dilatación, etc, no dependen de la dirección [9].

una onda de sonido. Se conoce como la ley de masas y plantea que la pérdida por transmisión crece a razón de 6 dB cuando se duplica la masa por m<sup>2</sup> y la frecuencia de excitación de la superficie [4]. La expresión matemática que define esta ley es la siguiente:

$$R = 20 \log(Mf) - 47 \text{ dB} \quad (1)$$

Donde;

R = Aislamiento acústico en dB.  
M = Masa del material en kg m<sup>2</sup>.  
F = Frecuencia en Hz.

Ahora, además de definir los materiales con los que se va a trabajar, es importante establecer las características constructivas del panel, pues este podría ser una partición simple o una doble.

Las particiones simples son aquellas que están compuestas por una pared o superficie de un único material que actúa como elemento aislante del sonido. En contraste las particiones dobles están compuestas por dos paredes simples separadas por un espacio relleno o no de un material absorbente [4].

En una cabina audiométrica frecuentemente el aislamiento acústico está conformado por paredes dobles que tienen material absorbente entre las particiones simples que conforman la estructura. Esto en respuesta a las exigencias que plantean las normas internacionales en relación a los niveles de ruido ambiente que el aislamiento acústico de la cabina debe garantizar al interior de la misma.

Antes de entrar en detalle sobre los procedimientos y análisis matemáticos requeridos para el diseño de una pared doble, es necesario hacer claridad sobre los índices y parámetros fundamentales que generalmente se utilizan para medir el aislamiento acústico de un encerramiento.

A continuación [4] presenta los índices de medida TL (*Transmission Loss*) y NR (*Noise Reduction*) como los valores que señalan la capacidad aislante de una pared o encerramiento acústico.

El índice TL de un material se calcula para cada frecuencia y es la expresión logarítmica del cociente entre la energía sonora incidente y la transmitida. Este índice se obtiene de la siguiente expresión:

$$TL = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (2)$$

Donde;

$$\tau = \frac{\text{Energía sonora transmitida (Wt)}}{\text{Energía sonora incidente (Wi)}}$$

El índice también se puede expresar de la siguiente forma:

$$TL = 10 \log \frac{W_i}{W_t} \quad (3)$$

Donde;

TL = Pérdida por transmisión en dB.

Wi = Energía incidente en vatios.

Wt = Energía transmitida en vatios.

El índice NR se define como la capacidad de un elemento constructivo para reducir la intensidad acústica de un ruido que se propaga a través del mismo. El valor del índice se obtiene de la siguiente ecuación:

$$NR = SPL_1 - SPL_2 \quad (4)$$

Donde;

NR = Reducción sonora en dB.

SPL<sub>1</sub> = Nivel de presión sonora de la onda incidente en dB.

SPL<sub>2</sub> = Nivel de presión sonora de la onda transmitida en dB.

Retomando los planteamientos que se venían haciendo en relación a las paredes dobles, el comportamiento de estas superficies al igual que su análisis matemático es distinto al que se hace para calcular el índice TL de una partición simple.

A diferencia de las paredes simples las particiones dobles tienen una componente adicional de análisis que está dada por el espacio vacío que existe entre las dos superficies simples que conforman la estructura general. El espacio vacío comprendido entre las dos paredes asegura una ligazón elástica entre ellas, la cual será tanto más pequeña cuanto mayor es la distancia entre éstas [4].

Por esta razón el sistema de paredes dobles se puede representar con una analogía mecánica que involucra dos masas unidas por un resorte como se ilustra en la siguiente figura:

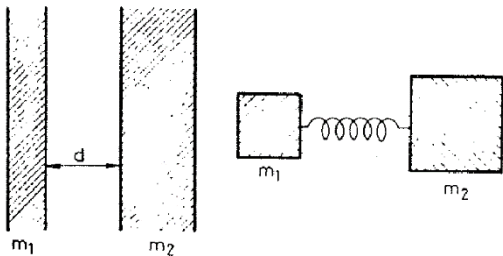


Fig. 3 Analogía mecánica de una pared doble [4].

La cámara de aire que está en medio de las dos paredes simples puede estar llena de algún material absorbente que va a influir en las propiedades elásticas y por lo tanto de la capacidad de amortiguación de la onda acústica incidente.

En el análisis matemático de este tipo de particiones, se deben tener en cuenta variables como la frecuencia de resonancia y límite de la pared doble, la distancia entre las superficies, la densidad y la masa de los materiales, etc.

La frecuencia de resonancia de una pared doble se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \left[ \frac{\rho}{d} \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Donde;

C = velocidad del sonido.

D = distancia.

P = densidad.

M = masas.

Esta fórmula puede variar significativamente según las características constructivas de la pared doble. Por ejemplo si se agrega material absorbente al interior de la cámara o si se trabaja con paredes simples de masas y materiales diferentes. La cuantificación teórica del aislamiento acústico de una pared doble ha sido estudiada por numerosos investigadores, no existiendo en la actualidad un procedimiento de cálculo aceptado por todos los estudiosos del tema, dada la multitud de variables que deben ser consideradas [4].

Una vez calculada la frecuencia límite de la pared acústica, entonces se puede hacer el cálculo del índice TL del panel, empleando la siguiente expresión matemática:

$$TL = 20 \log(M_1 + M_2) * f - 33.5 \quad (6)$$

Donde;

F = frecuencia límite.

M<sub>1</sub> = Masa pared 1.

M<sub>2</sub> = Masa pared 2.

Menciona [4] que la pérdida por transmisión de una partición doble por lo general se calcula para anchos de banda diferentes aplicando modelos matemáticos distintos. Por ejemplo para encontrar el índice TL para la banda de frecuencias comprendidas entre la frecuencia de resonancia y límite de la pared doble, se puede emplear el siguiente juego de ecuaciones:

$$TL = TL_1 + TL_2 + 20 \log f - d - 39 \quad (7)$$

$$TL_1 = 20 \log M_1 * f - 33.5 \quad (8)$$

$$TL_2 = 20 \log M_2 * f - 33.5 \quad (9)$$

A pesar de que no existe un modelo o procedimiento estándar que permita calcular el aislamiento acústico de un encerramiento de paredes dobles como el que se debe implementar en una cabina audiométrica, se pueden seguir lineamientos generales van a facilitar su diseño.

Por ejemplo [4] afirma que para conseguir un buen aislamiento acústico será necesario utilizar siempre dos materiales de masa y de rigidez diferente, de tal forma que los dos paneles tengan distinta frecuencia crítica.

Por su parte [5] señala que un factor importante en la elección de los materiales, desde el punto de vista del aislamiento acústico, es la masa de la pared por metro cuadrado. Si las paredes se hacen de material uniforme, entonces el aislamiento necesario se puede calcular mediante la siguiente expresión empírica:

$$R = 13.5 * \log M + 13 \quad (10)$$

Donde;

R = Aislamiento acústico en dB.

M = Masa de la pared.

### C. Normatividad

Actualmente 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.

Para empezar, 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 sonoamortiguada para aplicar audiometrías tanto por vía aérea como ósea [6].

La norma entrega diferentes valores de presión sonora por tercio de octava según el rango de frecuencias en el cual se emitirán los tonos del test audiométrico. Por ejemplo para el caso de las audiometrías que se practican por vía aérea se plantean tres intervalos de frecuencia; 125 Hz a 8.000 Hz, 250 Hz a 8.000 Hz y 500 Hz a 8.000 Hz. El rango más empleado es el que va desde los 250 Hz hasta los 8.000 Hz, teniendo en cuenta que cubre el espectro de frecuencias de mayor

importancia en función de la percepción sonora del sistema auditivo humano. En este caso el test audiométrico se realiza generando tonos que van desde los 250 Hz hasta los 8.000 Hz [2].

Para las audiometrías que se practican por vía ósea la norma ISO define solo dos rangos de frecuencia 125 Hz a 8.000 Hz y 250 Hz a 8.000 Hz, donde de igual forma que en el caso anterior, el intervalo más empleado es el que va desde los 250 Hz hasta los 8.000 Hz.

De igual forma la norma ANSI S3.1 – 1999 detalla los requerimientos con los que debe cumplir el ambiente sonoro al interior de la cabina sonoamortiguada. La norma define los niveles máximos permisibles de ruido ambiente en una habitación para pruebas audiométricas [7].

A diferencia de la norma ISO la ANSI no diferencia los niveles de presión sonora por el tipo de audiometría; vía aérea u ósea. La norma plantea los mismos niveles máximos de ruido ambiente por bandas de octava y tercio de octava para los dos tipos de 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.

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 mencionadas, está 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 [8].

TABLE I  
NIVELES MÁXIMOS DE PRESIÓN SONORA PERMITIDOS EN UNA CABINA PARA PRUEBAS AUDIOMÉTRICAS [8].

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

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.

## REFERENCIAS

Ahora bien, ninguna de las normas antes referenciadas 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 sonoamortiguada.

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 sonoamortiguada del sonido o ruido ambiente presente al exterior de la misma. El tiempo de reverberación es una variable que está más relacionada con el mejoramiento de la calidad acústica de un ambiente sonoro, siendo este un aspecto que se trabaja en el campo del acondicionamiento acústico de recintos.

### III. CONCLUSIONES

De la revisión del estado de conocimiento en los aspectos conceptuales, fundamentación teórica, principios técnicos de diseño y construcción, se puede concluir lo siguiente:

Establecer las condiciones iniciales de diseño de manera clara y precisa, es fundamental para transformar las necesidades de las partes interesadas en especificaciones de ingeniería, para determinar de manera detallada los aspectos técnicos de diseño y funcionamiento para la optimización de cabinas audiométricas.

Los aspectos reglamentarios y normativos son primordiales para tenerse en cuenta en las especificaciones y hacen parte de las entradas de diseño de producto [14]. Por otra parte, según [14] las salidas de diseño se convierten en entradas de diseño de procesos donde la interacción entre las especificaciones iniciales y los aspectos constructivos generarán mejoras en las operaciones de fabricación. Estos aspectos son relevantes para la optimización en el diseño y construcción de cabinas audiométricas.

- [1] G. J. L. R. A. & S. V. F. J. Llinares, *Acústica arquitectónica y urbanística*, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2011.
- [2] G. A. S. Rueda, *Diseño de una cabina audiométrica montada en una unidad móvil*, propiedad de la empresa eléctrica regional norte S.A., EMELNORTE, Quito: Universidad de las Américas, 2012.
- [3] M. Moser y J. L. Barros, *Ingeniería Acústica*, New York: Springer, 2009.
- [4] P. F. Pereira, *Manual de Acústica, Ruido y Vibraciones*, Barcelona: Creado En Traspaso del HP, 1990.
- [5] A. L. Giani, *Acústica arquitectónica*, Buenos Aires: Nobuko, 2001.
- [6] International Organization for Standardization, «ISO 8253 - 1 (Acoustic - Audiometric Test Methods),» ISO, Switzerland, 1989.
- [7] American National Standards Institute, «Maximum Permissible Ambient Noise Levels for Audiometric test Rooms,» ANSI, New York, 1999.
- [8] Occupational Safety and Health Standards, «Audiometric Measuring Instruments,» OSHAS, New York, 1910.
- [9] Astromía, «Astromía,» 12 12 2016. [En línea]. Available: <http://www.astromia.com/glosario/isotropo.htm>.
- [10] J. M. Palacián, *Acústica y Audiometría*, Alicante, 2010.
- [11] R. Medrano y P. A. Rodríguez, *Manual de Audioprotesismo*, Guadalajara: Arlequín, 2006.
- [12] M. M. Rodríguez y J. M. Algarra, *Audiología*, Madrid: Entinema, 2014.
- [13] ORL, «[www.orl.biofonia.com](http://www.orl.biofonia.com),» 06 06 2016. [En línea]. Available: [http://www.orl.biofonia.com/rce\\_gene/cabina\\_Ok2.jpg](http://www.orl.biofonia.com/rce_gene/cabina_Ok2.jpg). [Último acceso: 13 12 2016].
- [14] O. A. Vásquez-Bernal, «Ergonomics and Sustainable Engineering: Important Features to Develop Human Sensitivity-Based Projects,» de *Ambient Assisted Living*, Boca Raton, Florida: CRC Press. Taylor & Francis Group, 2015, pp. 677-691.