



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DISEÑO DE UNA CABINA AUDIOMÉTRICA MONTADA EN UNA UNIDAD
MÓVIL, PROPIEDAD DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE
S.A., EMELNORTE.**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de
INGENIERO EN SONIDO Y ACÚSTICA

Profesor Guía

ING. CHRISTIAM SANTIAGO GARZÓN PICO

Autor

GUILLERMO ANDRÉS SUÁREZ RUEDA

Año

2012

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema y tomando en cuenta la Guía de Trabajos de Titulación correspondiente”.

Christiam Santiago Garzón Pico

Ingeniero Mecánico

1713644621

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE.

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Guillermo Andrés Suárez Rueda

172148931-6

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Padres, que siempre han estado junto a mí, me han brindado su apoyo incondicional, por haberme enseñado a seguir mis sueños y a creer en mí. A mi hermano Javier que ha sido un ejemplo a seguir. A Pablo y Andrés por brindarme su amistad en el camino recorrido

DEDICATORIA

A mis padres por la confianza que me han brindado, y a mi abuelita Michita por sus consejos tan sabios.

RESUMEN

A través del presente trabajo investigativo, se planea hacer el diseño, acondicionamiento e insonorización de una cabina audiométrica la que se encuentra en una camper (móvil) que se desplaza a lo largo de todo el territorio Ecuatoriano, brindando servicios de atención principalmente a los obreros, desarrollando exámenes audiométricos a quienes se encuentran trabajando en las empresas hidroeléctricas y termoeléctricas que son las que tienen problemas de niveles de ruido altos y que están expuestas a más de 85 dBA durante un período de 8 horas o más.

Las condiciones actuales en las que se basa la propuesta del diseño de la cabina serán descritas de manera detallada en el correspondiente capítulo, sin embargo, se informa que su diseño se realizará en un espacio ubicado en la parte posterior de una camper móvil de la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A.– EMELNORTE.

Se propone el diseño de una cabina audiométrica a ser ubicada en una casa rodante tomando en cuenta datos como: ruido de fondo y atenuación de nivel por bandas críticas, entre las más importantes. Para llevar a efecto este trabajo, se harán mediciones sobre las condiciones actuales de la cabina para posteriormente hacer una comparación del nivel de atenuación mediante un software de predicción que será utilizado con el fin de llegar a niveles que se encuentren dentro de la norma ISO 8352-1.

Para la insonorización de la cabina se determinará qué tipo de materiales se deben utilizar, qué costos tendría el aislamiento acústico y su relación costo beneficio; parámetros a través de los cuales se establecerán conclusiones técnicas y económicas.

A través de las cabinas audiométricas móviles, se pretende brindar una posibilidad viable a los Directivos de EMELNORTE y de las Empresas Eléctricas del país, precautelar la salud de sus trabajadores y evitar que aumenten los problemas auditivos ocasionados por la falta de un programa de

control de ruido y salud ocupacional, en las diversas centrales de generación eléctrica; ya que en la actualidad, no se está aplicando la normativa existente que pretende proteger a los trabajadores en general.

ABSTRACT

With the present work of investigation it is a plan to design the conditioning of an audiometric cabin which will be within a camper (mobile), and it will move along the whole Ecuadorian territory, offering services of attention to the workers, developing audiometric examinations of whom are working at the hydroelectric and thermoelectric companies that are those who have problems of high levels of noise.

The present conditions on which we will base for the proposal of the design of the cabin will be described of way detailed in the corresponding chapter, nevertheless, they informs that his design will be realized in a space located in the rear part of the mobile camper of the electrical company EMELNORTE S.A.

The design of an audiometric cabin is my proposal which will be located in a mobile camper taking in account information as noise of fund, level extenuation for critical bands etc. to take to effect this work, measurements will do on the current conditions of the cabin later to do a comparison of the level of extenuation by means of a software of prophecy that will be used in order to come at levels that are inside the norms established at professional level.

For the insulation of the cabin it will decide what type of materials must be used, what cost the acoustic isolation would have and his relation cost benefit; parameters across which a relation will be established it cost very important benefit

Across the mobile audiometric cabins, it tries to offer a viable possibility to the VF Managers of EMELNORTE and of all the Electrical Companies of the country, of taking care of the health of his workpeople and it avoids to increase the additive problems caused by the absence of a program of control of noise and occupational health, in the diverse offices; since at present there is not policies and laws that may be observed by the managers in order to protect the involved ones.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 CAPITULO I: GENERALIDADES.....	2
1.1 OBJETIVOS:	2
1.1.1 <i>Objetivo General.....</i>	2
1.1.2 <i>Objetivos específicos:.....</i>	2
1.2 CONTRIBUCIÓN DE ESTE PROYECTO A LA SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL.....	2
1.3 MARCO LEGAL AMBIENTAL DE REFERENCIA EN EL ECUADOR	4
1.4 IMPACTO EN LA SALUD HUMANA DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS GENERADOS POR LAS CENTRALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA	5
1.4.1 <i>Contaminantes físicos:.....</i>	5
1.4.2 <i>Radiaciones electromagnéticas:.....</i>	8
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 SONIDO	9
2.2 VARIABLES DEL SONIDO	9
2.2.1 <i>Intensidad</i>	9
2.2.2 <i>Tono.....</i>	10
2.2.3 <i>Timbre.....</i>	10
2.2.4 <i>Duración.....</i>	11
2.3 CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	11
2.3.1 <i>GENERALIDADES</i>	11
2.3.2 <i>Conceptualización del Ruido.....</i>	11
2.3.3 <i>Tipos de ruido</i>	12

2.4 SENSIBILIDAD HUMANA	16
2.4.1 <i>La percepción sonora</i>	16
2.4.2 <i>Enmascaramiento Sonoro.....</i>	17
2.5 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA SOBRE EL CUERPO HUMANO.....	18
2.5.1 <i>Efectos Auditivos</i>	18
2.5.2 <i>Efectos no auditivos:.....</i>	19
2.6 EL OÍDO:	21
2.6.1 <i>Aparato de Percepción.....</i>	21
2.6.2 <i>PROTECCIONES DEL OÍDO</i>	22
2.6.3 <i>Umbral de audibilidad</i>	24
2.7 AUDIOMETRÍA.....	25
2.7.1 <i>Procedimiento de la Audiometría</i>	25
2.7.2 <i>Interpretación de la Audiometría</i>	26
2.7.3 <i>Valores de referencia.....</i>	26
2.7.4 <i>Audiómetro.....</i>	26
<i>Audiometría Tonal Umbral</i>	27
2.8 AISLAMIENTO ACÚSTICO	29
2.8.1 <i>PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN</i>	30
3 CAPÍTULO III: CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE UNA CABINA AUDIOMÉTRICA.....	34
3.1 CABINAS AUDIOMÉTRICAS	34
3.2 OBJETIVO DEL DISEÑO DE CABINAS AUDIOMÉTRICAS	37
3.2.1 <i>Ubicación del Recinto</i>	37
3.2.2 <i>Forma de la sala</i>	37
3.2.3 <i>Forma de la cabina</i>	38
4 CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DE LA CABINA AUDIOMÉTRICA.....	42

4.1	SITUACIÓN ACTUAL	42
4.1.1	<i>Diseño Actual de la Camper</i>	44
4.2	ESTUDIO TÉCNICO	46
4.2.1	<i>Medición de Ruido de fondo (metodología)</i>	46
4.3	DISEÑO DE LA CABINA	56
4.4	PROCESO DE INSONORIZACIÓN	59
4.5	SIMULACIÓN EN INSUL (SOFTWARE DE PREDICCIÓN ACÚSTICA).....	60
5	CAPÍTULO V: AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	62
5.1	PROPUESTAS: PARTICIONES, SUELO, TECHO, PUERTA Y VENTANA.....	62
5.2	METODOLOGÍA DE AISLAMIENTO	63
5.2.1	<i>Particiones a ser simuladas en software INSUL:</i>	67
6	CAPÍTULO VI: ESTUDIO ECONÓMICO.....	877
6.1	MATERIALES A UTILIZARSE.....	87
6.1.1	<i>PROPUESTA 1: ALUMINIO + PLACA ACÚSTICA DE CARTÓN YESO + CÁMARA DE AIRE</i>	88
6.1.2	<i>PROPUESTA 2: MADERA + CÁM. DE AIRE RELLENA + MADERA90</i>	
6.1.3	<i>PROPUESTA 3: FIBROCEMENTO + CÁMARA DE AIRE RELLENA + PLACA DE YESO LAMINADO</i>	92
6.1.4	<i>COSTO DE MATERIALES UTILIZADOS EN PARTICIÓN E, PUERTA Y VISOR.....</i>	94
6.1.5	<i>COSTO MATERIALES DE ENSAMBLAJE.....</i>	96
6.2	MANO DE OBRA DIRECTA	96
6.3	COSTOS INDIRECTOS	97
6.4	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPUESTAS 1,2 Y 398	398
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	100

REFERENCIAS..... 103

ANEXOS 106

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas No.		Pág.
TABLA NO. 1	NIVELES DE PRESIÓN SONORA AMBIENTAL MÁXIMOS PERMISIBLES PARA MEDIR LA CONDUCCIÓN DE AIRE EN LA AUDIOMETRÍA	35
TABLA NO. 2	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PRESIÓN SONORA PARA MEDIR CONDUCTOS ÓSEOS EN AUDIOMETRÍA	36
TABLA NO. 3	NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN DB POR BANDA DE TERCIO DE OCTAVA DENTRO DE LA CAMPER	49
TABLA NO. 4	NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN DB POR BANDA DE TERCIO DE OCTAVA FUERA DE LA CAMPER	50
TABLA NO. 5	CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN NPS INTERNOS	52
TABLA NO. 6	CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN NPS EXTERNOS	53
TABLA NO. 7	COMPARACIÓN DE NIVELES DE RUIDO DE FONDO ACTUALES CON LA NORMATIVA	54
TABLA NO. 8	NIVELES DE ATENUACION, ALUMINIO + PLACA ACÚSTICA DE CARTÓN YESO 15 MM + CÁMARA DE AIRE	71
TABLA NO. 9	NIVELES DE ATENUACIÓN MADERA + LANA DE VIDRIO + MADERA	77
TABLA NO. 10	NIVELES DE ATENUACIÓN FIBROCEMENTO + LANA DE VIDRIO + PLACA DE YESO LAMINADO [DB]	82
TABLA NO. 11	COMPARACIÓN DE EFECTIVIDAD DE AISLAMIENTO ENTRE LAS 3 MIXTURAS	85
TABLA NO. 12	COSTOS MATERIALES PROPUESTA 1	89
TABLA NO. 13	COSTOS MATERIALES PROPUESTA 2	91
TABLA NO. 14	COSTOS MATERIALES PROPUESTA 3	93
TABLA NO. 15	COSTO PUERTA	95
TABLA NO. 16	COSTOS VISOR	95
TABLA NO. 17	COSTOS DE MATERIALES ENSAMBLAJE	96
TABLA NO. 18	COSTOS MANO DE OBRA DIRECTA	97
TABLA NO. 19	COSTOS INDIRECTOS	97

TABLA NO. 20	COSTOS TOTALES PROPUESTA 1	98
TABLA NO. 21	COSTOS TOTALES PROPUESTA 2	99
TABLA NO. 22	COSTOS TOTALES PROPUESTA 3	99

INTRODUCCIÓN

El Ecuador a través de organismos especializados como el Ministerio de Ambiente, como la Sociedad Ecuatoriana de Seguridad, Salud Ocupacional y Gestión Ambiental y otras entidades reconocidas por la Organización Mundial de la Salud, han desarrollado Leyes, Normas y Reglamentos que deben ser observados por las empresas ecuatorianas de manera obligatoria, en el ámbito de la seguridad y salud ocupacional.

Los ingentes costos que representan la prevención y detección oportuna de problemas en la salud de los trabajadores son limitantes para su total aplicación constituyen, entre los cuales se encuentran los problemas auditivos, debido a condiciones poco adecuadas en los sistemas de aislamiento acústico utilizados para bajar el impacto de generadores, plantas industriales, turbinas hidráulicas, generadores, etc., los mismos que pueden ocasionar lesiones auditivas permanentes.

Una de las herramientas para poder realizar mediciones auditivas oportunas a los trabajadores, sin lugar a dudas, es una cabina audiométrica, técnicamente diseñada y mejor aún si esta cabina está instalada en una camper que la convierte en una cabina audiométrica móvil que evitará el desplazamiento de los trabajadores hacia centros médicos que significarían altos costos por tiempos ociosos y por uso de instalaciones médicas, facilitando el cumplimiento de la base legal existente para el efecto.

Este estudio se desarrolló en la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A.- EMELNORTE, sin embargo, es importante señalar que la cabina audiométrica móvil, puede ser utilizada en cualquier tipo de empresa que requiera este elemento fundamental para la seguridad y salud ocupacional.

Para llevar a cabo este proyecto se establecen dos posibilidades de aislamiento acústico, utilizando tres tipos de materiales, los mismos que, a través de un análisis comparativo en aspectos técnicos y desde el punto de vista económico, permitirán establecer las mejores condiciones para su diseño.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS:

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una cabina audiométrica montada en una camper móvil de propiedad de la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. - EMELNORTE, utilizando el software INSUL que proporciona la posibilidad de elegir el material óptimo a utilizar, según condiciones técnicas y económicas.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Evaluar la situación actual con mediciones de ruido de fondo dentro y fuera de la camper.
- Análisis de datos para proponer las soluciones y modelarlas.
- Procurar que la cabina tenga un nivel de insonorización óptima basada en normativa y/o criterios internacionales de referencia.
- Proponer tres posibilidades de aislamiento acústico de una Cabina utilizando un software de predicción de condiciones acústicas para poder tener la mejor opción.
- Generar dos opciones en función a la efectividad de los materiales a utilizar para la construcción y acondicionamiento de la cabina.
- Hacer un análisis económico tomando en cuenta los costos y gastos en los que se incurrirá para la construcción de la mencionada cabina objeto del desarrollo de esta tesis.

1.2 CONTRIBUCIÓN DE ESTE PROYECTO A LA SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

Una de las formas más importantes para controlar los Riesgos Ocupacionales en las empresas, es evaluar el cumplimiento de la seguridad y salud ocupacional por parte de los trabajadores, mandos medios y gerentes de las organizaciones, a través de una serie de verificaciones e indicadores de

gestión que ayudan para la verdadera acción en la prevención de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales que siempre una pérdidas para las empresas.

Es por ello que desde Noviembre del 2010 el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social - IESS ha implementado un Reglamento de AUDITORÍAS DE RIESGOS DEL TRABAJO, Resolución C.D. 333, instrumento de carácter obligatorio que se debe aplicar en el entorno laboral de quienes están bajo su responsabilidad.

A partir de este año se inician las auditorías del Sistema de Administración de la Salud en el Trabajo (SASST). Este sistema en caso de incumplimientos por parte de las empresas, establecerá "No Conformidades" debiendo ser solucionadas oportunamente para evitar responsabilidades patronales y las sanciones vigentes.

Entre las obligaciones a ser auditadas en todas las empresas (según su tamaño y nivel de riesgo) se encuentran: Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo, existencia de Unidades de Seguridad y Salud Ocupacional, Servicios Médicos Ocupacionales, Conformación de Comités Paritarios de Seguridad y Salud, entre otras.

Las auditorías se iniciarán con "grandes empresas" (número mayor de 100 trabajadores) y aquellas consideradas de "alto riesgo", entre éstas se podrían considerar: Petroleras, Florícolas, Atuneras, Pesqueras, Constructoras, Manipuladoras de Químicos y Alimentos, Prestadoras de Servicios de Salud, Eléctricas, Cementeras Automotrices, Instituciones Educativas, entre las más importantes.

Es por ello, que es prioritario contar con las herramientas necesarias para examinar y realizar seguimientos de la salud ocupacional de los trabajadores en los diversos sectores y al diseñar cabinas audio métricas móviles se contribuye de manera importante para abaratar los costos y lograr exámenes auditivos eficientes que permitan tomar las medidas precautelares necesarias

de manera oportuna para salvaguardar la salud de los obreros, en este caso del sector eléctrico ecuatoriano.

Por otra parte, al analizar los costos que significan los desplazamientos de los obreros hacia los centros médicos, al llevar a cabo esta propuesta, el médico acude a los trabajadores a fin de realizar los estudios audio métricos, con lo cual disminuyen los tiempos ociosos, se cumple con las disposiciones legales y sobre todo, se precautela la salud de quienes laboran en estos importantes sectores de la economía.

1.3 MARCO LEGAL AMBIENTAL DE REFERENCIA EN EL ECUADOR

Las actividades que conllevan el sistema de generación eléctrica deben regirse a la legislación ambiental vigente en el Ecuador, aplicable al sector eléctrico. Se consideran los principales cuerpos legales en función de su jerarquía, aplicables a este tipo de actividad.

El Marco Legal Referencial incluye las siguientes leyes y normas:

- Constitución de la República del Ecuador
- Ley de Gestión Ambiental (LGA)
- Ley de Régimen de Sector Eléctrico
- Código del Trabajo
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)
- Reglamento del Sistema Único del Manejo Ambiental (SUMA)
- Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación.
- Reglamento de Aplicación de los Mecanismos de Participación Social establecidos en la Ley de Gestión Ambiental D.E. 1040
- Reglamento Sustitutivo del Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico
- Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas (RAAE)

- Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiental de Trabajo (RSST)
- Reglamento de Seguridad del Trabajo contra Riesgos en Instalaciones de Energía Eléctrica.
- Reglamento Sustitutivo al Reglamento Ambiental Para Las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. DE N° 1215
- Normas Técnicas Ambientales para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los sectores de Infraestructura
- Límites Máximos Permisibles para Emisiones a la Atmósfera Provenientes de Fuentes Fijas para Actividades Hidrocarburíferas
- Guía para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental Definitivo (EIAD) para nuevas Centrales Termoeléctricas.
- Manual de Procedimientos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental en el Sector Eléctrico
- Ordenanzas Municipales para el cantón Ibarra.

1.4 IMPACTO EN LA SALUD HUMANA DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS GENERADOS POR LAS CENTRALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Existen dos tipos de contaminantes atmosféricos generados por una central de generación eléctrica: los físicos y los químicos.

1.4.1 CONTAMINANTES FÍSICOS:

Existen dos principales contaminantes físicos atmosféricos generados por las centrales eléctricas: los acústicos y las radiaciones electromagnéticas.

El impacto adverso sobre la salud humana será menor que el originado por los contaminantes químicos por dos motivos: a) afectan únicamente a las personas que viven o trabajan en zonas próximas a las centrales y a las líneas de

distribución eléctrica de alta tensión, y b) la evidencia científica de los efectos potenciales sobre el organismo humano no es tan concluyente.

1.4.1.1 Contaminación acústica

El ruido generado por el funcionamiento de las centrales de generación eléctrica podrá afectar a todas las personas que estén en un radio de unos cuantos kilómetros, dependiendo de la fuerza del viento. La intensidad del ruido podrá alterar el biorritmo natural de sueño-vigilia y producir alteraciones neurológicas (cefaleas, migrañas, mareos, cansancio...) y psicológicas (irritabilidad, cambio de carácter...). También incidirá negativamente al rendimiento físico e intelectual de los obreros como consecuencia directa de no poder laborar ni dormir en condiciones adecuadas.

1.4.1.2 Contaminación acústica en el Ecuador

Nuestro país basado en la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento, la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental establece la norma para preservar la salud y bienestar de las personas y del medio ambiente en general mediante el establecimiento de los niveles máximos permisibles de ruido, estableciendo métodos y procedimientos destinados a la determinación de los niveles de ruido en el ambiente, así como disposiciones generales en lo referente a la preservación y control de ruidos.

La legislación municipal está dada a través de Ordenanzas y Decretos. En el Ecuador los Municipios pueden emitir Ordenanzas enmarcadas en la Ley Orgánica de Régimen Municipal.

Pocas son las ciudades en el Ecuador que disponen ordenanzas municipales que regulen estrictamente el grado permisible de contaminación acústica, sobre todo aquellas con marcado incremento poblacional y vehicular, pero la solución no está solo en emitir Leyes, Ordenanzas o Decretos; debe implementarse acciones de control que comprenden inspección, habilitación y certificación de

la amplitud acústica, así como la vigilancia mediante visitas para verificación periódica.

Más allá de tomar acciones legales enmarcadas en las Leyes establecidas, se debe establecer medidas de prevención. La labor preventiva por excelencia es la educación, que puede realizarse sistemáticamente en escuelas y demás instituciones educativas, así como también la difusión de información a través de los medios de comunicación.

En el Ecuador, el ruido no suele ser producido necesariamente por el desarrollo tecnológico, sino por la falta de conocimiento y de la cultura de sus habitantes. A partir de investigaciones científicas y de reportes médicos, se analiza los efectos nocivos del ruido y de la contaminación ambiental, específicamente en Quito, que debido a la altitud, la contaminación atmosférica se agudiza por la menor cantidad de oxígeno en el aire. Por otra parte, la radiación solar directa desencadena reacciones fotoquímicas complejas con los contaminantes primarios, tales como los óxidos de nitrógeno, lo que produce contaminantes secundarios (como el ozono) que son extremadamente difíciles de reducir. Por esto es imperativo concienciar al público sobre los efectos nocivos de la contaminación ambiental y del desequilibrio de los ecosistemas.

El Código Orgánico de Organización Territorial Autonomías y Descentralización- COOTAD, faculta a cada municipalidad del país prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente en coordinación con las entidades afines. La generación y modificación del ruido ambiental urbano, genera daños a la salud ambiental y alteración de la paz de la ciudadanía.

Con el fin de atender este problema, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito emitió la Ordenanza No. 0213: Las normas de esta Ordenanza “se aplican a las personas naturales y jurídicas, públicas y privadas cuyas actividades producen u originan contaminación acústica (ruido) y vibraciones, provenientes de fuentes móviles (vehículos) y aquellas generadas por el

hombre”. A través de Ordenanza, y de las unidades ambientales zonales, el Municipio realiza estudios e investigaciones para determinar:

1. Los efectos molestos y peligrosos que genera, en las personas, la contaminación por ruido.
2. La planificación, los programas, reglamentos y normas que deben ponerse en práctica para prevenir y controlar sus causas.
3. El nivel de presión sonora, banda de frecuencia, duración y más características, en zonas industriales, comerciales, habitacionales, centros educativos, casas hospitalarias y lugares de descanso.
4. La presencia de ruido específico contaminante en zonas determinadas
5. Las características de las emisiones de ruido de dispositivos de alarmas y sirenas que utilices las fuentes fijas y móviles.

1.4.2 RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS:

La función de las células humanas y de todos los sistemas orgánicos está basada y coordinada por impulsos o radiaciones electromagnéticas. Esta actividad se expresa gráficamente con los electroencefalogramas, electrocardiogramas, electromiogramas, etc. La acción de un exceso de radiaciones externas lógicamente interferirá y distorsionará el funcionamiento del organismo humano.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 SONIDO

Según Federico Miyara, el sonido es una onda mecánica, producida por la vibración de un cuerpo, que se propaga en un medio elástico. Al ser ondas longitudinales su propagación es similar a la de las ondas que se propagan a lo largo de un muelle como consecuencia de la compresión longitudinal del mismo. (Miyara Federico, 2004, p.49).

2.2 VARIABLES DEL SONIDO

El oído humano es capaz de distinguir unos sonidos de otros, porque es sensible a las diferencias que pueden existir entre ellos, las cuatro cualidades que caracterizan a todo sonido son: intensidad, tono, timbre y duración.

2.2.1 INTENSIDAD

La intensidad del sonido es la propiedad que permite diferenciar entre sonidos fuertes y débiles. Esta relaciona a la intensidad acústica de la onda sonora correspondiente, que es la magnitud que da una idea de la cantidad de energía que está fluyendo por el medio. Como consecuencia de la propagación de la onda, también se define como la energía que atraviesa una unidad de superficie dispuesta perpendicularmente a la dirección de propagación por segundo.

La unidad de intensidad sonora es el decibel (dB). Esta magnitud relaciona la percepción humana con la cuantificación física de la presión que producen las vibraciones sonoras del aire al incidir sobre el oído. Es una medida relativa que toma como referencia a la mínima presión sonora que es capaz de percibir el oído humano y compara la presión ejercida por cualquier sonido con esa magnitud.

2.2.2 TONO

El tono es la característica del sonido, mediante la cual el oído asigna un lugar en la escala frecuencial a las distintas componentes sonoras, permitiendo distinguir entre sonidos graves, medios y agudos. La magnitud física asociada al tono es la frecuencia. El oído humano percibe aquellas ondas cuya frecuencia está comprendida entre en el rango de 20Hz y los 20kHz.

El cálculo de la frecuencia se logra contando el número de oscilaciones por segundo, que desarrolla cualquier objeto al estar sometido a una vibración.

2.2.3 TIMBRE

El timbre es la cualidad que permite *distinguir* entre sonidos procedentes de diferentes instrumentos o fuentes generadoras de emisiones sonoras, aun cuando posean la misma intensidad. Por ejemplo, esta cualidad permite reconocer a una persona por su voz ya que las componentes sonoras por lo general difieren entre cada individuo.

Pocas veces las ondas sonoras corresponden a sonidos puros, sólo los diapasones generan este tipo de sonidos, que son debidos a una sola frecuencia y representados por una onda armónica. Por el contrario, los instrumentos musicales dan lugar a un sonido más amplio, de vibraciones complejas, es decir, que está compuesto por una serie de vibraciones armónico simple de una frecuencia y amplitud determinadas, cada una.

Cuando la fuente que produce la perturbación describe un movimiento armónico simple la onda generada se denomina *onda armónica*. Muchos fenómenos físicos pueden ser descritos por estas ondas, además cualquier movimiento ondulatorio puede expresarse como superposición de ondas armónicas (Teorema de Fourier).

2.2.4 DURACIÓN

Es el tiempo durante el cual un sonido se mantiene emitiendo vibraciones sonoras que se desplazan en un medio elástico. Así, se dice que se puede escuchar sonidos "largos o cortos". Se puede medir en segundos (s.), también se la relaciona con la longitud de onda (λ), que indica la distancia entre dos puntos consecutivos que se hallan en el mismo estado de vibración (medido en metros), en el mismo tiempo.

La acústica aporta dos unidades esenciales para poder medir y comparar entre sí los sonidos. Estas unidades son el Hertzio para la frecuencia (Hz) y el decibelio (dB) para la amplitud.

2.3 CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

2.3.1 GENERALIDADES

La legislación nacional e internacional considera que el ruido está formado por todos los sonidos molestos vocales, musicales, o aleatorios que superen los niveles establecidos como límites permisibles para determinadas aplicaciones, que incluyen de manera fundamental a la seguridad.

2.3.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL RUIDO

El ruido se define como aquel sonido no deseado, es aquella emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído y provoca una sensación de molestia. Es un caso particular del sonido: se entiende por ruido aquel **sonido no deseado**.

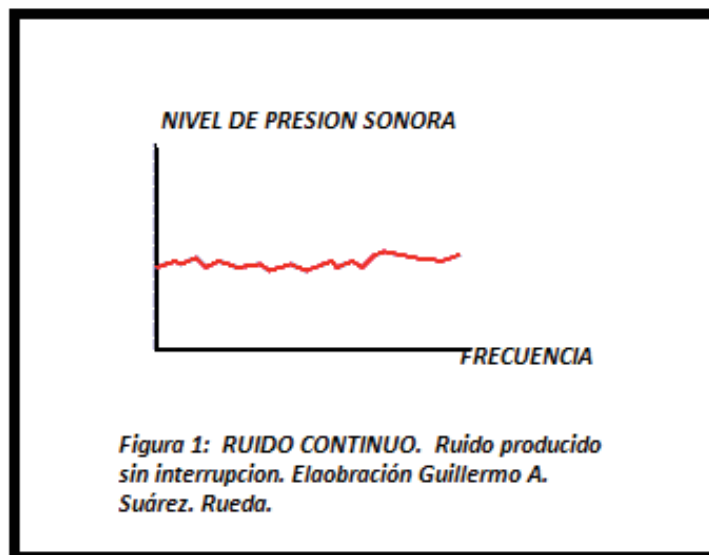
Un ruido es la sensación auditiva no deseada correspondiente generalmente a una variación aleatoria de la presión a lo largo del tiempo. El espectro de frecuencias de un ruido varía aleatoriamente a lo largo del tiempo, a diferencia de otros sonidos complejos, como los acordes musicales, que siguen una ley de variación precisa.

2.3.3 TIPOS DE RUIDO

Ruido Continuo

El ruido continuo se produce por maquinaria que opera del mismo modo sin interrupción, por ejemplo, ventiladores, bombas y equipos de proceso. Para determinar el nivel de ruido es suficiente medir durante unos pocos minutos con un equipo manual. Si se escuchan tonos o bajas frecuencias, puede medirse también el espectro de frecuencias para un posterior análisis y documentación.

RUIDO CONTINUO

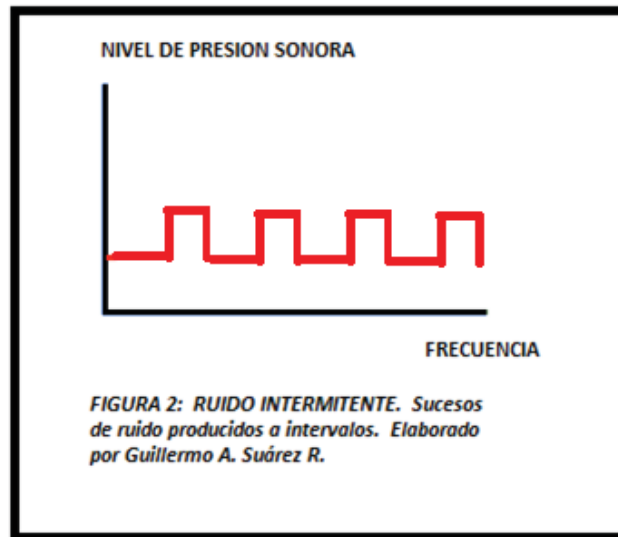


Ruido Intermitente

Cuando la maquinaria opera en ciclos, o cuando pasan vehículos aislados o aviones, el nivel de ruido aumenta y disminuye rápidamente. Para cada ciclo de una fuente de ruido de maquinaria, el nivel de ruido puede medirse simplemente como un ruido continuo. Pero también debe anotarse la duración del ciclo. El paso aislado de un vehículo o aeronave se llama suceso. Para medir el ruido de un suceso, se mide el Nivel de Exposición Sonora, que combina en un único descriptor tanto el nivel como la duración. El nivel de

presión sonora máximo también puede utilizarse. Puede medirse un número similar de sucesos para establecer una media fiable.

RUIDO INTERMITENTE



Ruido Impulsivo

El ruido de impactos o explosiones, por ejemplo de un martinete, troqueladora o pistola, es llamado ruido impulsivo. Es breve y abrupto, y su efecto sorprendente causa mayor molestia que la esperada a partir de una simple medida del nivel de presión sonora. Para cuantificar el impulso del ruido, se puede utilizar la diferencia entre un parámetro con respuesta rápida y uno de respuesta lenta (como se ve en la base del gráfico). También deberá documentarse la tasa de repetición de los impulsos (número de impulsos por segundo, minuto, hora o día).

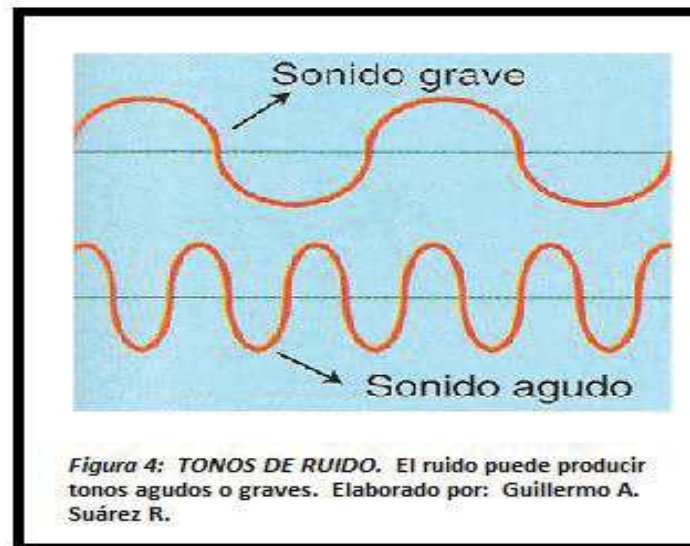
RUIDO IMPULSIVO



Tonos en el Ruido

Los tonos molestos pueden verse generados de dos maneras: Frecuentemente las máquinas con partes rotativas tales como motores, cajas de cambios, ventiladores y bombas, crean tonos. Los desequilibrios o impactos repetidos causan vibraciones que, transmitidas a través de las superficies al aire, pueden ser oídos como tonos. También pueden generar tonos los flujos pulsantes de líquidos o gases que se producen por causa de procesos de combustión o restricciones de flujo. Los tonos pueden ser identificados subjetivamente, escuchándolos, u objetivamente mediante análisis de frecuencias. La audibilidad se calcula entonces comparando el nivel del tono con el nivel de los componentes espectrales circundantes. También deberá documentarse la duración del tono.

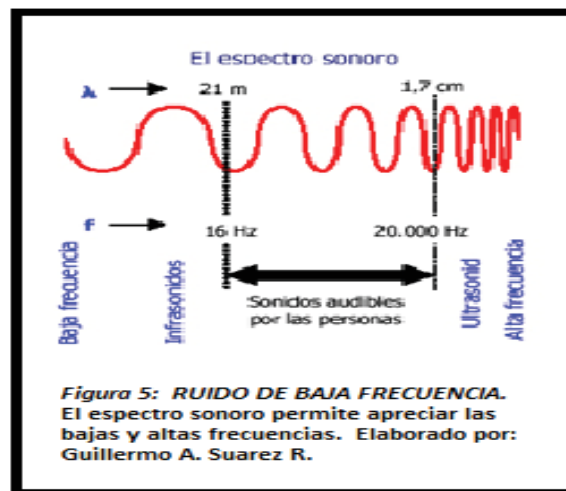
TONOS DE RUIDO



Ruido de Baja Frecuencia

El ruido de baja frecuencia tiene una energía acústica significativa en el margen de frecuencias de 8 a 100 Hz. Este tipo de ruido es típico en grandes motores diesel de trenes, barcos y plantas de energía y, puesto que este ruido es difícil de amortiguar y se extiende fácilmente en todas direcciones, puede ser oído a muchos kilómetros. El ruido de baja frecuencia es más molesto que lo que se cabría esperar con una medida del nivel de presión sonora ponderado A. La diferencia entre el nivel sonoro ponderado A y el ponderado C puede indicar la existencia o no de un problema de ruido de baja frecuencia. Para calcular la audibilidad de componentes de baja frecuencia en el ruido, se mide el espectro y se compara con el umbral auditivo. Los infrasonidos tienen un espectro con componentes significantes por debajo de 20 Hz. Lo percibimos no como un sonido sino más bien como una presión. La evaluación de los infrasonidos es aún experimental y en la actualidad no está reflejado en las normas internacionales.

RUIDO DE BAJA FRECUENCIA



2.4 SENSIBILIDAD HUMANA

El oído humano es un instrumento registrador sensible; capaz de percibir vibraciones del aire del orden de 10-11m, aunque esta relación de sensibilidad varía entre cada individuo. Fletcher y Munson (F&M) fueron los primeros investigadores que en los años 30 establecieron la sensibilidad humana a sonidos de diversa amplitud y frecuencia, demostrando que la sensibilidad del oído es extremadamente dependiente de la frecuencia, registrando una sensibilidad máxima entre (3 y 4) kHz. Por encima y debajo de estas frecuencias los sonidos se perciben más débilmente.

2.4.1 LA PERCEPCIÓN SONORA

Es el resultado de los procesos psicológicos que tienen lugar en el sistema auditivo central y permiten interpretar los sonidos percibidos.

La psicoacústica estudia la percepción del sonido desde la psicología (percepción sonora subjetiva) y describe la manera en que se perciben las cualidades (características) del sonido, la percepción del espacio a través del

sonido escucha binaural y el fenómeno del enmascaramiento, entre otros factores.

2.4.2 ENMASCARAMIENTO SONORO

Cuando el oído está expuesto a dos o más sonidos simultáneos, uno de ellos puede enmascarar al otro dependiendo de sus componentes sonoras. Cabe definirlo como un efecto producido en la percepción sonora cuando se escuchan dos sonidos de diferente intensidad al mismo tiempo. Al suceder esto, el sonido más débil resultará inaudible, ya que el cerebro sólo procesará el sonido enmascarador, en este caso el sonido con mayor presión sonora.

Dentro de las cualidades del oído hay una que tiene consecuencias de gran importancia para la audición, y es el hecho de que los sonidos son capaces de enmascarar a otros sonidos. Enmascarar a un sonido significa ocultarlo o hacerlo imperceptible. El enmascaramiento es un fenómeno bastante familiar para todos. Sucede, por ejemplo, cuando intentamos escuchar a alguien que habla en medio de un ruido muy intenso: no podemos discriminar lo que dice porque su voz es *enmascarada* por el ruido. (Miyara Federico, 1999, p.51).

Es interesante observar que el enmascaramiento *es una propiedad del oído, no del sonido*. En un buen equipo de audio, si mezclamos un sonido muy intenso (por ejemplo **90 dB**) con otro muy débil (por ejemplo **20 dB**), la salida de los parlantes contendrá *ambos* sonidos en sus proporciones originales. Esto puede comprobarse aislando sucesivamente, mediante filtros adecuados, uno y otro sonido. Sin embargo el oído no *percibirá* el de **20 dB**.

Se ha estudiado con gran detalle el efecto enmascarador de los sonidos sobre otros sonidos. Para ello se determinó cómo cambia la curva del umbral de audición ante la presencia de un sonido dado (denominado **sonido máscara**, o **sonido enmascarante**). Esta determinación se repitió para diversos sonidos máscara, de distintas frecuencias y amplitudes. A modo de ejemplo, en la figura 1.29 se muestra el efecto de un tono máscara de **400 Hz** para varios niveles

sonoros (**40 dB, 60 dB y 80 dB**). Se puede apreciar que a medida que aumenta el nivel de presión sonora del tono máscara, mayor resulta el incremento del umbral, lo cual significa que los otros tonos deberán ser cada vez más intensos para no ser enmascarados.

Por otra parte, la región enmascarada se ensancha, vale decir que la zona de influencia de la máscara crece. En otras palabras, al aumentar el nivel del tono máscara, se produce un incremento cuantitativo (mayor nivel) y cualitativo (más frecuencias) del umbral.

2.5 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA SOBRE EL CUERPO HUMANO

2.5.1 EFECTOS AUDITIVOS

Efecto Máscara:

Cuando un sonido impide la percepción total o parcial de otros sonidos presentes, se dice que este sonido *enmascara* a los otros. Esto puede traer consigo graves inconvenientes cuando se trata del enmascaramiento de mensajes o señales de alerta, y de la comunicación hablada. (Miyara, Federico, 1999, p.56)

Acufenos (silbido):

Esto se produce por la alteración del nervio auditivo que, en casos extremos puede causar ansiedad en el afectado y cambios de carácter. Este efecto se le atribuye al ruido urbano. Por ejemplo: tras exponerse durante un tiempo prolongado a una obra ruidosa.

Fatiga Auditiva:

También conocido como TTS (Temporary Threshold Shift) o Cambio Temporal del Umbral Auditivo. Es la pérdida temporal de la sensibilidad auditiva producida

por la exposición a altos niveles de ruido. Al dejar de estar expuesto al ruido, esta fatiga disminuirá gradualmente hasta recuperarse completamente. Sin embargo, si el oído es expuesto nuevamente a altos niveles de ruido antes de producirse esta total recuperación, se producirá un nuevo cambio en el umbral, el cual podría hacerse permanente si estas exposiciones se vuelven habituales.

Pérdida Progresiva de la Audición:

Conocida también como PTS (Permanent Threshold Shift) o Cambio Permanente del Umbral Auditivo. Se produce cuando el oído no ha alcanzado a recuperarse de la fatiga auditiva o TTS, convirtiéndose paulatinamente en un cambio permanente e irreversible. La causa principal de esta pérdida permanente es que los altos niveles de presión sonora afectan a las células auditivas, las cuales no se regeneran. Cada ser humano nace con 10.000 de estas células en cada oído, como muchas células de nuestro organismo, éstas van muriendo en forma natural, lo que explica la sordera en los ancianos.

2.5.2 EFECTOS NO AUDITIVOS:

Efectos psicológicos:

1. Insomnio y dificultad para conciliar el sueño.
2. Fatiga.
3. Estrés (por el aumento de las hormonas relacionadas con el estrés como la adrenalina). Depresión y ansiedad.
4. Irritabilidad y agresividad.
5. Histeria y neurosis.
6. Aislamiento social.
7. Falta de deseo sexual o inhibición sexual.

Efectos sobre el sueño:

El ruido produce dificultades para conciliar el sueño y despierta a quienes están dormidos. El sueño es una actividad que ocupa un tercio de nuestras vidas y nos permite descansar, ordenar y proyectar nuestro consciente.

Efectos sobre la conducta:

El ruido produce alteraciones en la conducta momentáneas, las cuales consisten en agresividad o mostrar un individuo con un mayor grado de desinterés o irritabilidad.

Efectos en la memoria:

En aquellas tareas en donde se utiliza la memoria se ha demostrado que existe un descenso del rendimiento. El ruido hace que la articulación en una tarea de repaso sea más lenta, especialmente cuando se tratan palabras desconocidas o de mayor longitud, es decir, en condiciones de ruido, el individuo se desgasta psicológicamente para mantener su nivel de rendimiento.

Efectos en la atención:

El ruido hace que la atención no se localice en una actividad específica, haciendo que esta se pierda. Esto se traduce en una reducción en el rendimiento.

Efectos en el embarazo:

Se ha observado que las madres embarazadas que han estado desde comienzos de su embarazo en zonas muy ruidosas, tienen niños que no sufren alteraciones, pero si la exposición ocurre después de los 5 meses de gestación, tras el parto los niños no soportan el ruido, lloran cuando lo sienten, y al nacer suelen tener un tamaño inferior al normal.

Efectos sobre los niños:

El ruido repercute negativamente sobre el aprendizaje y la salud de los niños. Cuando los niños son educados en ambientes ruidosos, éstos pierden su capacidad de atender ciertas señales acústicas, sufren perturbaciones en su capacidad de escuchar, así como un retraso en el aprendizaje y el desarrollo de la lectura y la comunicación verbal, pues el ruido impide estas acciones.

Todos estos factores favorecen el aislamiento del niño, haciéndolo poco sociable.

2.6 EL OÍDO:

El oído es un órgano de audición y de equilibrio. Como órgano de audición convierte las vibraciones sonoras en impulsos nerviosos que a su vez son transmitidos al cerebro. Como órgano del equilibrio o aparato vestibular registra la aceleración del cuerpo y el cambio de posición, permitiendo así la orientación espacial. (Miyara, Federico, 1999, p56).

El oído es un órgano conformado de tres partes:

- Oído externo, es la parte del oído que va desde el pabellón auricular (oreja) hasta el tímpano. Tiene un conducto recubierto de cilios y glándulas productoras de cera.
- Oído medio, es la parte del oído que va desde el tímpano hasta el caracol del oído interno. El oído medio es una cavidad en el hueso temporal que contiene tres huesecillos denominados martillo, yunque y estribo, encargados de transmitir las vibraciones sonoras al oído interno.
- Oído interno, parte del oído encargado de traducir las vibraciones sonoras en impulsos nerviosos que se transmiten al cerebro para que a su vez, éste los interprete. Recibe las vibraciones a través del estribo del oído medio. En el oído interno también hay el órgano del equilibrio.

2.6.1 APARATO DE PERCEPCIÓN

Es en la cóclea donde ocurre la transformación de energía mecánica en eléctrica mediante un fenómeno mecánico-químico-eléctrico que tiene lugar en la membrana basilar, al hundirse la platina del estribo dentro del espacio perilinfático produce movimientos en este líquido, el cual se transmite a lo largo del laberinto membranoso formando torbellinos que se extienden hasta el helicotrema. Debido a la resistencia ejercida por las distintas paredes y al

impulso mecánico de progresión, se generan presiones en la endolinfa a través de la membrana de Reissner y en la basilar que está situada debajo de ella.

Esta energía bioeléctrica es conducida por el par craneal a los centros nerviosos y de ahí a las localizaciones acústicas de la corteza cerebral, en la cual se integran los sonidos tomando conciencia de la imagen acústica.

2.6.2 PROTECCIONES DEL OÍDO

El resumen de la estructura anatómica del oído que hemos realizado pone en evidencia no sólo la gran complejidad sino lo delicado de las partes que lo componen. Las células ciliadas, por ejemplo, son sensibles a movimientos más pequeños que las dimensiones atómicas, razón por la cual están fácilmente expuestas a la destrucción por sobrecarga (especialmente las externas). Por ese motivo no es sorprendente que la naturaleza haya desarrollado en el oído algunos recursos de autoprotección que contribuyen a preservarlo.

Dichos recursos están distribuidos en las distintas porciones del aparato auditivo que se han descrito, y protegen contra diversas agresiones, no sólo las acústicas.

2.6.2.1 Protecciones del oído externo

El conducto auditivo externo tiene dos partes diferenciadas. En su tercio exterior posee una cobertura formada por un tejido cutáneo grueso con pilosidades que bloquean el paso de objetos extraños al interior del conducto, que pudieran perjudicar al tímpano. Dicho tercio exterior tiene además unas glándulas que segregan **cerumen**, sustancia cerosa que fija las partículas de polvo y las arrastra hacia el exterior, realizando una labor higiénica. Además, en condiciones ambientales de gran nivel sonoro, la segregación de cerumen es más copiosa, tendiendo a obstruir el canal con el denominado **tapón de cerumen** o **tapón de cera**.

La porción restante, correspondiente a los dos tercios internos de la longitud del canal, no posee más que una piel delgada, pero se encuentra ligeramente curvado, dificultando la penetración de objetos grandes hacia el tímpano.

2.6.2.2 Protecciones del oído medio

Control de Ruido

El oído medio posee dos tipos de protecciones. La primera, constituida por la trompa de Eustaquio, está destinada a proteger al oído contra variaciones de presión estática, o presión atmosférica. Normalmente está cerrada, y se abre al tragar y al bostezar, momento en que el aire puede entrar o salir de la cavidad del oído medio. A causa de determinadas enfermedades otorrinolaringológicas, la trompa de Eustaquio permite también el ingreso de gérmenes capaces de infectar la zona del oído medio, con la posible segregación de mucosidades que al rellenar la caja timpánica, reducen la eficiencia de la transmisión, en especial en alta frecuencia.

El segundo tipo de protección se refiere a la contracción de un músculo denominado **estapedio**, ubicado sobre el estribo, que entorpece sus movimientos. Esto sucede cuando el nivel sonoro excede los **80 dB**, lo cual representa una reducción de unos **10 dB** en la efectividad de la transmisión. Esta protección, sin embargo, funciona bien por debajo de los **500 Hz**, ya que este músculo responde a una acción refleja que demora cerca de **100 ms** en efectivizarse. Este recurso sirve en realidad para proteger al oído de la propia voz del individuo, cuyo nivel sonoro puede ser realmente muy alto (por ejemplo durante un grito). En este caso la protección sí es efectiva dado que el reflejo estapedial se produce *antes* de la emisión vocal. En cambio, la protección del estapedio es totalmente inefectiva para ruidos de crecimiento muy rápido como los ruidos impulsivos, como los impactos intensos o las explosiones, los cuales se propagan fácilmente y sin atenuación al oído interno, dentro del cual pueden causar daño auditivo permanente.

2.6.2.3 Protecciones del oído interno

No se puede hablar de una protección del oído interno propiamente dicha. Sin embargo, ante un sonido de gran nivel sonoro el oído interno genera señales nerviosas que el cerebro interpreta, reenviando señales inhibitorias hacia las células ciliadas externas, lo cual hace que éstas reaccionen con las llamadas contracciones lentas, que tienden a oponerse a la vibración de la membrana basilar. Pero debido a la demora considerable de la respuesta, ello no permite controlar los rápidos ruidos impulsivos.

De modo que el oído interno está esencialmente desprotegido, lo cual se agrava por lo delicado de las células ciliadas, es decir las células sensorias, que por ser de un tamaño muy pequeño ($2 \mu\text{m}$) están fácilmente expuestas a sufrir daños.

2.6.3 Umbral de audibilidad

El umbral de audibilidad está definido por la mínima intensidad o presión necesarias para que un sonido pueda ser percibido.

El umbral de audibilidad no depende sólo de la intensidad o presión, sino que también es dependiente de la frecuencia del sonido senoidal de prueba. El sistema auditivo tiene un área de mayor sensibilidad entre los 500 y los 3000 Hz, producida principalmente por las curvas de respuesta del sistema auditivo periférico (oído externo, medio e interno).

La mínima presión audible (MAP) se mide colocando pequeños micrófonos dentro del canal auditivo. La información (señal de prueba) es enviada, por lo general, por medio de auriculares. En el caso del mínimo campo audible (MAF) la medición se realiza en ausencia del sujeto, en cámaras anecoicas, colocando un micrófono en el centro mismo de donde se encontraba la cabeza del sujeto.

Las diferencias fundamentales entre una curva y otra (la zona entre los 1.5 y los 6 kHz) están dadas principalmente por las resonancias producidas en el pabellón y el canal auditivo externo. El oído externo aumenta la presión sonora en el tímpano en unos 15 Db para frecuencias entre 1.5 – 6 kHz. La transmisión del oído medio es más eficiente para frecuencias medias.

2.7 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. (Schwartzman Jorge, 1986).

Para realizar e interpretar la audiometría es necesario entonces conocer:

- Las vibraciones acústicas.
- La fisiología de la audición.
- La fisiopatología de la audición.

2.7.1 PROCEDIMIENTO DE LA AUDIOMETRÍA

Para realizar de forma correcta una audiometría, la persona cuya audición vayamos a explorar debe ingresar a una cabina perfectamente insonorizada, sentarse cómodamente y colocarse los auriculares que deben estar calibrados técnicamente. A continuación el profesional que realice la audiometría le irá presentando una serie de tonos puros de mayor a menor intensidad, teniendo el paciente que levantar la mano o presionar un botón cada vez que lo oye. La última intensidad reconocida determinará nuestro umbral de audición para esa frecuencia en concreto. Esta misma tarea se repetirá con sonidos de otras frecuencias. Habitualmente se evalúan las frecuencias de 125,250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 [Hz]. De esta manera habremos investigado la vía aérea. La determinación de la ósea se realizará de igual forma, pero en vez de presentar el sonido a través de un auricular lo haremos a través de un vibrador que se colocará detrás de la oreja, en la región conocida con el nombre de mastoides.

2.7.2 INTERPRETACIÓN DE LA AUDIOMETRÍA

Los resultados de la prueba se recogen en dos gráficos, uno por cada oído, denominados audiogramas. Estas gráficas expresan a qué intensidad oye la persona examinada en una determinada frecuencia, la intensidad de sonido se mide en decibelios. Una pérdida de hasta 20 dB por debajo de la línea de referencia cero, puede incluso considerarse normal. Cada vía explorada va a dibujar una línea en el audiograma. Como se exploran la vía aérea y la ósea, obtendremos dos líneas en cada audiograma. Lo habitual es que ambas líneas discurren prácticamente superpuestas la una a la otra, y próximas al cero de referencia. Cuando no es así pueden presentarse distintas situaciones:

2.7.3 VALORES DE REFERENCIA

Pérdida de audición mediana. Umbral entre los 25 y los 45 decibelios. Estas personas tienen cierta dificultad para escuchar o entender lo que se les está hablando a cierta distancia o en ambientes con cierto nivel de ruido de fondo

Pérdida de audición moderada. Umbral entre los 45 y los 65 decibelios. Imposibilidad de seguir una conversación normal si existe ruido de fondo, puede ser manifiesto cierto grado de aislamiento.

Pérdida auditiva severa. Umbral entre 65 y 85 decibelios. Dificultad para escuchar lo que se les está diciendo prácticamente en todas las situaciones.

Pérdida auditiva profunda. Umbral por debajo de los 85 [dB]. No perciben ningún tipo de sonido a su alrededor, aunque se les grite.

2.7.4 AUDIÓMETRO

Es un instrumento de tecnología digital y diseño ultra compacto que permite realizar audiometrías tonales por vía aérea, por vía ósea y logo audiometrías con micrófono o grabador. Se utiliza para realizar test audiométricos completos y específicos. Permite determinar el nivel auditivo de un paciente en cada uno de sus oídos.

Hay varios test que se hacen en este equipo:

- Umbral de vía aérea
- Test de S.I.S.I.
- Test de Fowler
- Test de la palabra
- Deterioro tonal
- Tinitimetría

Audiometría Tonal Umbral

Existen varios tipos de audiometrías, pero la más usada en Medicina y Salud Laboral, es la audiometría tonal o de tonos puros, la cual consiste en la estimulación auditiva por medio de la vía aérea y de la vía ósea. La transmisión sonora por la vía aérea se realiza a través del aire colocando unos auriculares en el pabellón de la oreja, y la estimulación sonora por la vía ósea se realiza colocando un vibrador en la apófisis mastoides. Las frecuencias exploradas por medio de esta técnica son las de 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz y la intensidad del estímulo varía desde -10 a 110 dB.

Audiometría Tonal Supra liminar

Comprende un conjunto de pruebas que se realizan con estímulos sonoros de intensidad superior al umbral.

El reclutamiento, es un fenómeno que se observa en las hipoacusias de percepción ocasionadas por una lesión coclear (cocleopatías). El oído con reclutamiento percibe una mayor sensación sonora que un oído normal para la misma cantidad de estímulo físico. Entre el umbral y el sonido molesto existe una banda o rango dinámico útil mucho menos amplia de lo normal; un normo oyente tiene un rango dinámico variable según la edad, pero que puede llegar a los 95-100 dB H L, mientras que en el ejemplo citado ésta sólo es de 30-35 dB HL.

Las principales pruebas supra liminares encaminadas a detectar el reclutamiento son:

- Prueba de Fowler o de la equiparación de volúmenes.
- Prueba de Jerger (Short Increment Sensivity Index, SISI).
- Prueba de LuscherZwislocki. (Espinoza Pablo, Hipoacusia Laboral y Audiometría médico legal, 2010, p8.)

Estudio de las cortipatías

Si consideramos que por una parte la lesión coclear o del órgano de Corti ha producido una hipoacusia y que, por otro lado, los sonidos le provocan disconformidad a intensidades menores que lo normal, es fácil comprender que el campo auditivo se ha estrechado.

Las pruebas supra liminares que se realizan para detectar el reclutamiento buscan la desproporción entre la intensidad objetiva (dB) y la intensidad subjetiva (sonoridad). Algunas de ellas son el test de Fowler, el test de Sisi, de Reger, LDL.

Audiometría de la palabra

También se considera una prueba Supra liminar. Esta técnica pretende estudiar, a través de la discriminación de la palabra, graves alteraciones que se producen en el oído y vía auditiva. A medida que se incrementa la intensidad de un vocablo, aparecen tres variaciones diferentes:

Umbral de detectabilidad: el sujeto percibe alguna cosa, pero no logra identificarla.

Umbral de audibilidad: el sujeto comienza a reconocer el mensaje (acto neurosensorial puro), pero no comprende la significación en el lenguaje.

Umbral de inteligibilidad: el sujeto escucha y comprende el mensaje sonoro.

La técnica del estudio de la discriminación de la palabra consiste en dictar 25 monosílabos a una intensidad confortable (aproximadamente 30 dB sobre el P.T.P. de 500, 1000 y 2000 Hz) y anotar el porcentaje de palabras correctamente repetidas.

La falla en la discriminación dependerá del umbral auditivo y del tipo de hipoacusia.

Hipoacusias de conducción: 92 - 100%

Cortipatías: 80 - 92%

Hipoacusias neurales: menos del 70%

Trauma Acústico

Es una lesión a los mecanismos auditivos en el oído interno debido a un ruido muy fuerte. (Espinoza Pablo, Hipoacusia Laboral y Audiometría médico legal, 2010, p21.)

El trauma acústico es una causa común de hipoacusia sensorial. El daño de los mecanismos auditivos dentro del oído interno puede ser causado por:

Una explosión cerca del oído

Disparos de armas

Exposición prolongada a ruidos altos (como música a alto volumen o maquinaria ruidosa).

2.8 AISLAMIENTO ACÚSTICO

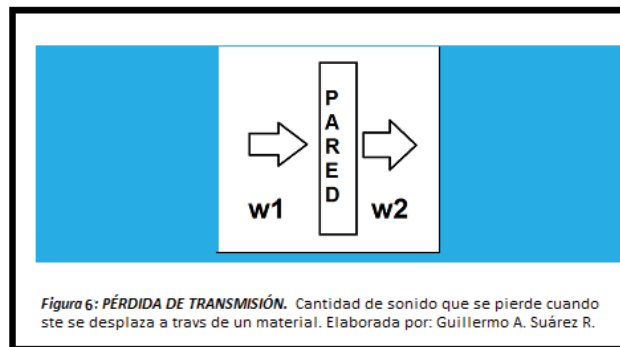
Aislar acústicamente, significa impedir que un sonido penetre en un medio, o que salga de él. Por ello, la función de los materiales aislantes, dependiendo de donde estén, puede ser o bien, reflejar la mayor parte de la energía que incide sobre ellos (en el exterior), o bien, por el contrario, absorberla.

Se entiende como "**aislamiento acústico**" de una partición, la pérdida de energía que experimentan las ondas sonoras al pasar a través de ella.

2.8.1 PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN

TL Transmission Loss

Es la expresión logarítmica del cociente entre la potencia sonora incidente sobre una superficie determinada la cual es transmitida a través de ésta.



Se conoce como perdida por transmisión a la relación entre la energía sonora incidente sobre la pared y la energía sonora transmitida. Se expresa con dB y posee un valor distinto para cada frecuencia de excitación del material:

$$Tl = 10 \log \frac{I}{\tau}$$

Siendo $\tau = \frac{wt}{wi}$

WT = ENERGÍA SONORA TRANSMITIDA

Wi = ENERGIA SONORA INCIDENTE

Índice de aislamiento Acústico

Se define como la capacidad de un elemento constructivo de reducir la intensidad acústica de un ruido que se propaga a través del mismo:

$$R = L1 - L2$$

Siendo L1 y L2 los niveles de presión sonora en el emisor y el receptor respectivamente.

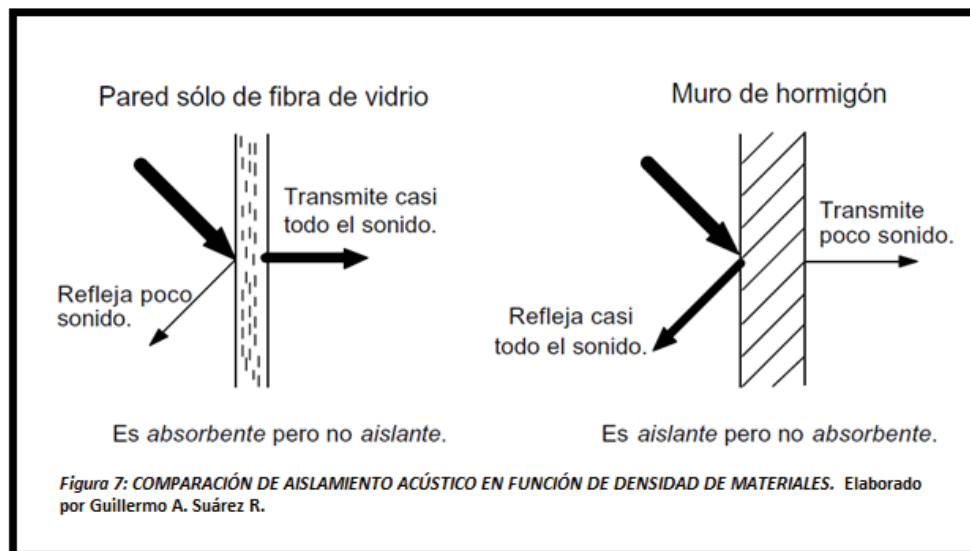
La energía acústica transmitida a través de una pared es la diferencia entre el nivel de presión sonora incidente y el aislamiento acústico del material.

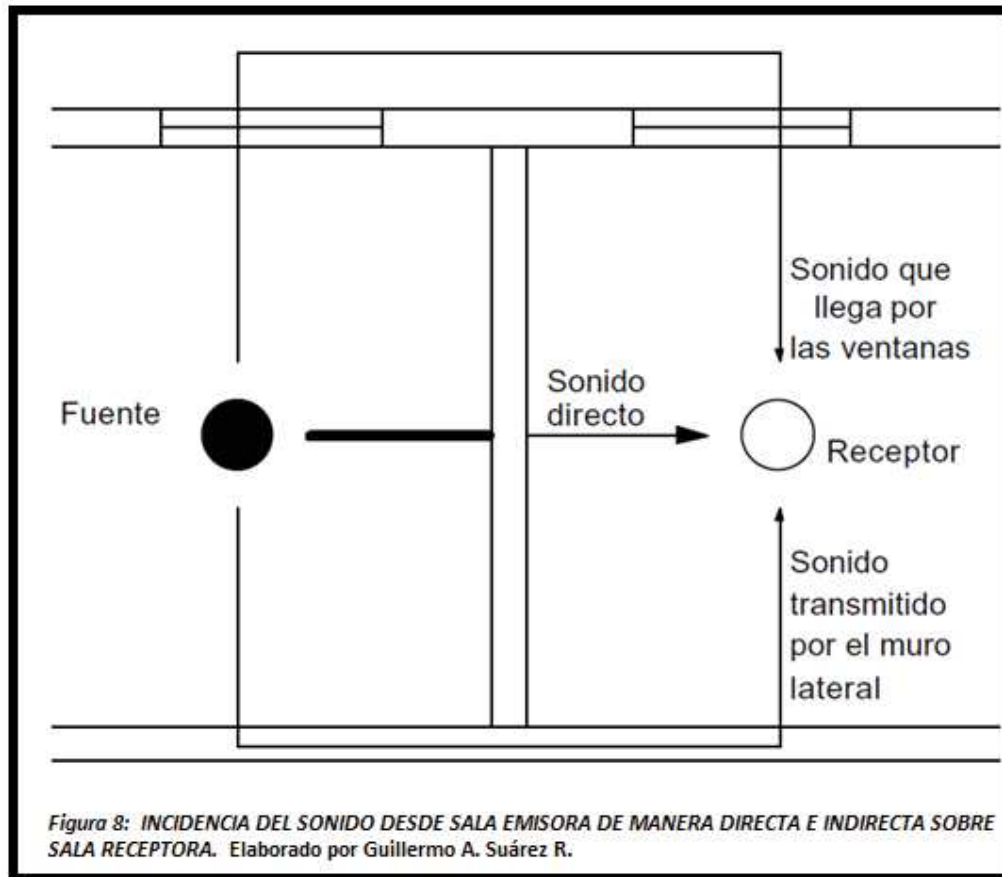
Aislamiento acústico global

La siguiente expresión matemática expresa la atenuación global de todos los elementos que conforman una estructura dada:

$$R = 10 \log \frac{\sum Si}{\frac{\sum Si}{10^{0,1 Ri}}} \text{ dB}$$

Siendo Si el área del elemento constructivo en m² y Ri el aislamiento específico del elemento constructivo del área Si.





Masa.

El sonido procedente de otra habitación llega hasta nuestros oídos a través del aire, excitado por la vibración de las particiones que nos rodean. Cuanto más pesadas son estas particiones, más difícil le resulta al ruido hacerlas vibrar.

Impermeabilidad.

Pequeñas fisuras pueden tener un gran efecto en el aislamiento global. Los marcos de puertas y ventanas deben ser herméticos, y se deben cuidar asimismo los conductos para tubos y cables, los enchufes, incluso las cerraduras. No sirve de nada mejorar el aislamiento de los muros de una fachada si no cuidamos también las ventanas.

Ley de la masa

La pérdida por transmisión crece al aumentar la masa por m² y al aumentar la frecuencia a razón de 6 dB por cada duplicación de la masa o de la frecuencia:

$$R = 20 \log_{10}((FREC * DENSIDAD SUPERFICIAL DEL MATERIAL) - 48) [DB]$$

Pared simple

Las paredes simples son las que están constituidas por una pieza homogénea.

Paredes dobles

Las paredes dobles son las que están constituidas generalmente con una disposición tipo sánduche, la cual consta de dos particiones, las cuales tienen una cámara de aire común entre ellas, esto mejora notablemente las capacidades de aislamiento, también el coeficiente de pérdida por transmisión depende de la densidad de la mixtura de los materiales.

3 CAPÍTULO III: CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE UNA CABINA AUDIOMÉTRICA

3.1 CABINAS AUDIOMÉTRICAS

Existen fábricas que se especializan en la construcción de cabinas audiométricas, en nuestro país aún no se ha desarrollado esta industria, por lo que es de interés del Ingeniero Acústico ecuatoriano incursionar en esta importante actividad técnica y económica.

La cabina audiométrica es un cubículo silencioso (se permite un nivel de ruido interno con límites de bandas de frecuencia específicos) para evitar influencia del ruido externo.

En el caso particular de este estudio, se la diseñará dentro de una camper o casa rodante, es decir un vehículo móvil que deberá observar todas las condiciones técnicas requeridas para el efecto, y considerar que debe haber un adecuado control tanto para el paciente como para el audiólogo.

El ambiente sonoro de la prueba audiométrica debe alcanzar los requerimientos detallados en la normativa de ANSI S3.1-1999, Maximum Permissible Ambient Noise levels for audiometric test rooms, American National Standards Institute, (2003). Una confirmación de la idoneidad del ambiente sonoro de prueba debe realizarse mediante el sonómetro al menos una vez al año. Debe tener un teléfono, sistema de comunicación o alarma de pánico para asistencia de emergencias. Todo dispositivo como teléfonos celulares, localizadores, radios y demás deberán ser apagados durante la evaluación audiométrica. (ASHA, Guidelines for Manual Pure-Tone Threshold Audiometry).

El sujeto examinado debe estar claramente visible para el examinador, el paciente no debe ver los ajustes que haga el examinador o los controles del

equipo, el examinado puede ser observado a través de una ventana o bien por un sistema de circuito cerrado de televisión.

Con el fin de realizar una prueba auditiva precisa tanto para la conducción ósea como aérea, el nivel de ruido no deberá exceder los valores acorde a la norma ISO 8253-1 de la Unión Europea o bien su equivalente en ANSI, conforme se observa en las siguientes tablas:

Tabla 1

Niveles de Presión sonora ambiental máximos permisibles para medir la conducción de aire en la audiometría.

Máximos niveles de presión sonora permisibles, para la medición audiométrica de conducción por aire (supra audífonos) entre las frecuencias 250 y 8000 Hz					
Frecuencias por banda de tercio de octava [Hz]	[dB]	Frecuencias por banda de tercio de octava [Hz]	[dB]	Frecuencias por banda de tercio de octava [Hz]	[dB]
31,5	66	250	19	2000	30
40	62	315	18	2500	32
50	57	400	18	3150	34
63	52	500	18	4000	36
80	48	630	18	5000	35
100	43	800	20	6300	34
125	39	1000	23	8000	33
160	30	1250	25		
200	20	1600	27		

Nota: se observa el nivel de ruido ambiental permisible en [dB] por bandas de tercio de octava, para las frecuencias desde 31,5 [Hz] hasta 8[kHz]. Para la medición vía aérea con auriculares utilizando esta información, se emiten tonos desde 250Hz hasta 8000 Hz, por ser el rango de audición del ser humano más importante en función a la percepción sonora, ya que abarca la mayoría de sonidos producidos en su entorno. Tomado de: Stach, Brad. Comprehensive Dictionary of Audiology. Williams & Wilkins. Baltimore, ISO 8253-1

Los auriculares de inserción no requieren niveles de ruido ambiental tan restringido.

Tabla 2**Niveles máximos permisibles de presión sonora para medir conductos óseos en audiometría.**

Máximos niveles de ruido permisibles para la medición audiométrica por conducción ósea entre las frecuencias de 250 y 8000 Hz					
Frecuencias por banda de tercio de octava [Hz]	[dB]	Frecuencias por banda de tercio de octava [Hz]	[dB]	Frecuencias por banda de tercio de octava [Hz]	[dB]
31,5	63	250	13	2000	8
40	56	315	11	2500	6
50	49	400	9	3150	4
63	44	500	8	4000	2
80	39	630	8	5000	4
100	35	800	7	6300	9
125	28	1000	7	8000	15
160	21	1250	7		
200	15	1600	8		

Nota: Se observa el nivel de presión sonora permisible para poder realizar las mediciones por Conducción ósea entre las frecuencias de 250 Hz a 8000 Hz, rango que igualmente considera los parámetros de percepción sonora del ser humano, prioritariamente. Tomado de: Stach, Brad. Comprehensive Dictionary of Audiology. Williams & Wilkins. Baltimore, ISO 8253-1.

La cabina audiométrica, deberá ejecutar los requerimientos de las normativas ANSI e ISO para cumplir con la legislación en función del nivel de ruido permisible para las pruebas de audiometría para las cuales fue implantada. La variación es muy importante entre las pruebas que se hacen con auriculares y las que se realizan mediante el vibrador óseo o parlantes.

Para realizar la validación de la cabina, se requieren los datos técnicos proporcionados por el fabricante y principalmente la medición del nivel de ruido interno mediante un sonómetro calibrado, que tenga la certificación de la norma ANSI tipo 2 para propósitos generales o equivalente.

3.2 OBJETIVO DEL DISEÑO DE CABINAS AUDIOMÉTRICAS

El objetivo principal al diseñar una cabina audiométrica, es que ésta suministre calidad acústica en función al aislamiento interno del ruido externo para tener una evaluación acertada el momento del examen audiométrico, para lograr esto, una cabina debe cumplir lo dispuesto en la normativa ISO 8253 (Ruido de fondo controlado).

3.2.1 UBICACIÓN DEL RECINTO

El lugar donde se va a construir la cabina, es dentro de una camper móvil propiedad de EMELNORTE, ha sido escogida por cuanto realiza recorridos en las diferentes sub estaciones en el sector de la zona norte del país que tienen exposición al ruido emitido por generadores (fuente fijas).

Para esto, inicialmente se realizó un análisis al espacio disponible dentro de la camper, es decir, decidir la forma que va a tomar la cabina y las medidas que se van a necesitar para llevar a cabo este proyecto. Para ello, se hará una evaluación de las condiciones iniciales, tomando en cuenta parámetros como el ruido de fondo. Uno de los primeros datos que se medirán en el recinto, es el nivel de presión sonora que atenúa la camper estructuralmente, al hacer una evaluación gráfica por bandas de tercio de octava, sobre cuánto nivel de presión sonora hay dentro versus fuera de la camper, se podrá evaluar visual y analíticamente las condiciones de atenuación en las que se encuentra.

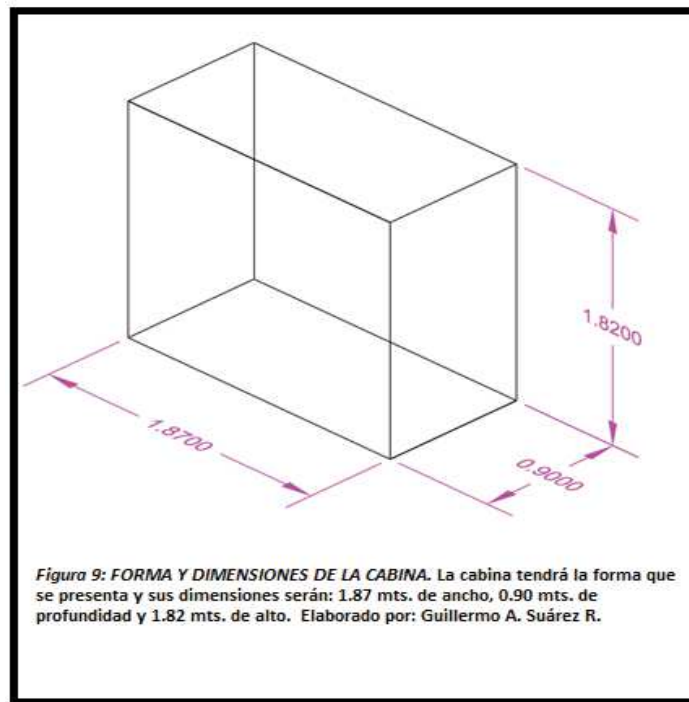
3.2.2 FORMA DE LA SALA

La cabina audiométrica, puede tener varias formas en función a la inclinación de los elementos que la conforman (paredes techos), en este caso no todas las formas van a resultar positivas, ya que por ejemplo no convendrá tener una sala cóncava ya que no ubicaría en un solo punto toda la energía, la propuesta para la forma de la sala es hacerla prisma rectangular, decisión fundamentada en la ubicación de la cabina dentro de la unidad móvil, dado que la camper va a

estar en constante movimiento, para ello, se tomarán en cuenta aspectos como el desgaste de neumáticos ya que el peso deberá ser uniforme y no presentar mayor alteración por el montaje de la cabina, razón por la cual se eligió esta forma que permite tener una proporción adecuada de peso en los 4 soportes.

3.2.3 FORMA DE LA CABINA

FORMA DE LA CABINA (METROS)



Diseño de paredes

Generalmente una camper móvil o casa rodante, debido a la exigencia en el recorrido que hace por el trabajo al que está sometida, las paredes suelen diseñarse muy delgadas para evitar que sea una estructura muy pesada, lo cual es una desventaja, ya que la relación de aislamiento es proporcional a la densidad del material y en este caso, las particiones están hechas de un aluminio o latón delgado de 3 mm de espesor. Para crear un sistema de aislamiento acústico que aumente de una manera óptima la pérdida por transmisión TL respecto a las condiciones iniciales (partición simple), la

elección de los materiales y el espesor de cada partición se seleccionarán de acuerdo a las mediciones de las condiciones actuales.

Se sugiere tomar en cuenta varios aspectos para poder tener un resultado más óptimo.

- El peso de los materiales no debe ser excesivo ya que podría deformar la estructura de la casa rodante.
- No se debe reducir en alto grado el tamaño de la cabina por dentro, ya que podría ser incomodo para las personas al momento de ser evaluadas, ya que restaría volumen interno.
- Evaluar en función al peso extra por las particiones que le dé a la camper para que el desgaste de los neumáticos no sea excesivo.

Para el diseño de las particiones de la cabina audiométrica, se realizó modelamientos con cámara de aire rellena para las particiones tipo sánduche en el software Insul, a las paredes B C D y el techo, los cuales más adelante están claramente rotulados. En el suelo, será atornillada la mixtura de los materiales seleccionado directamente al piso de la camper.

Diseño de la puerta

En forma similar que al diseñar las paredes, el criterio a seguir es armar una sola puerta compacta, no de gran tamaño ya que por esta solo pasarán personas y no equipos de volumen considerable, por lo que se espera que no tenga un peso excesivo, lo cual es favorable en este caso ya que va a estar en constante movimiento. La construcción de una puerta muy pesada necesita soportes con un alto grado de resistencia y costos adicionales.

- **Bisagras**

Se colocarán tres bisagras tipo 8B-120 de la **fábrica EMKA**, la puerta se abrirá únicamente hacia afuera, las bisagras estarán ubicadas en la parte alta, media y baja de la puerta.

La colocación de las bisagras, por el tema del espacio en este caso serán atornillados en la partición frontal que está detallada de manera gráfica más adelante, por lo que la puerta se abrirá de izquierda a derecha.

TIPO DE BISAGRAS A UTILIZAR



- **Empaques**

Con el fin de obtener el máximo hermetismo de la cabina, se colocarán empaques en los bordes de la puerta, al estar montada en la partición E, la cual está claramente rotulada en la ilustración 30 de la página 76, esta siempre deja un pequeño espacio por donde podría ingresar el ruido, razón por la cual debe ser sellada utilizando estos cauchos adaptables.

CAUCHOS A UTILIZAR



Diseño de la ventana

En este caso, solamente se tendrá una ventana doble tipo visor, la misma que estará ubicada en la partición frontal de la cabina, esta ubicación permitirá tener una comunicación visual entre el paciente y el evaluador, las ventanas

por naturaleza son las que menos aportan desde el punto de vista del aislamiento, dado que ésta cubrirá una superficie de dimensión pequeña, no afectará considerablemente en el hermetismo de la sala. El vidrio será cubierto con poliuretano dado que estará en constante movimiento, se elegirá el diseño de ventanas dobles con el propósito de mejorar el aislamiento y llegar a tener una STC mayor en la partición.

Tomando en cuenta que existen diferentes temperaturas dentro y fuera de la cabina, el vidrio va a tender a empañarse, para la corrección de este problema se utilizará un gel humectante llamado sílice que evitará este problema.

4 CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DE LA CABINA AUDIOMÉTRICA

4.1 SITUACIÓN ACTUAL

La Ingeniería Acústica, es la ciencia que se especializa en estudiar los procesos y desarrollar metodologías para el control del ruido (emisión, transmisión y recepción de las ondas sonoras en cualquier medio en el que se propaguen).

Tomando en consideración estas apreciaciones, es importante señalar que el espacio destinado para el diseño de la cabina audiométrica, será una camper móvil propiedad de Emelnorte, la cual realiza giras rutinarias por la parte norte de Ecuador, desde la ciudad de Ibarra hasta la ciudad de Tulcán, esta camper recorre plantas que poseen generadores eléctricos, los cuales emiten niveles de ruido que pueden incidir en la salud de los obreros.

El espacio físico destinado para la construcción de la cabina es la parte posterior de la camper, donde actualmente sólo se tiene un espacio cerrado y sin ventanas, en donde antes se colocaban anaqueles.

A continuación se muestran fotos, en las que se puede visualizar claramente la camper así como sus características estructurales.

CAMPER MÓVIL EMELNORTE, LADO POSTERIOR



Figura 12: LADO POSTERIOR DE LA CAMPER MOVIL. Esta es la cámper en la cual se instalará la cabina audiométrica. Tomada en la Central Termoeléctrica de San Gabriel.

CAMPER MÓVIL EMELNORTE, LADO LATERAL



Figura No. 13: VISTA LATERAL DE LA CÁMPER. Tomada en la Central Termoeléctrica de San Gabriel.

CAMPER MÓVIL EMELNORTE, LADO FRONTAL

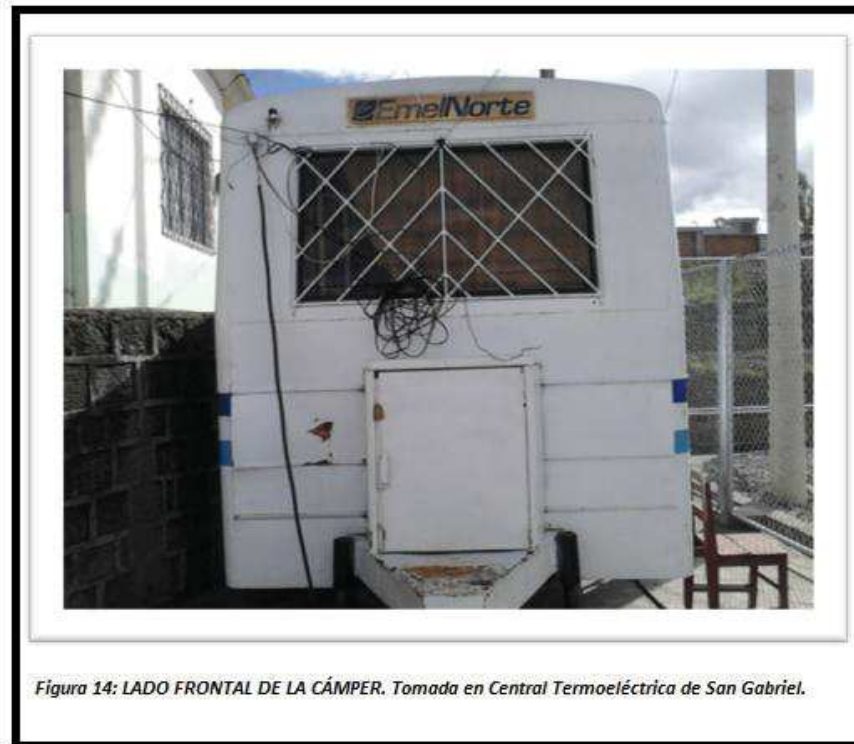
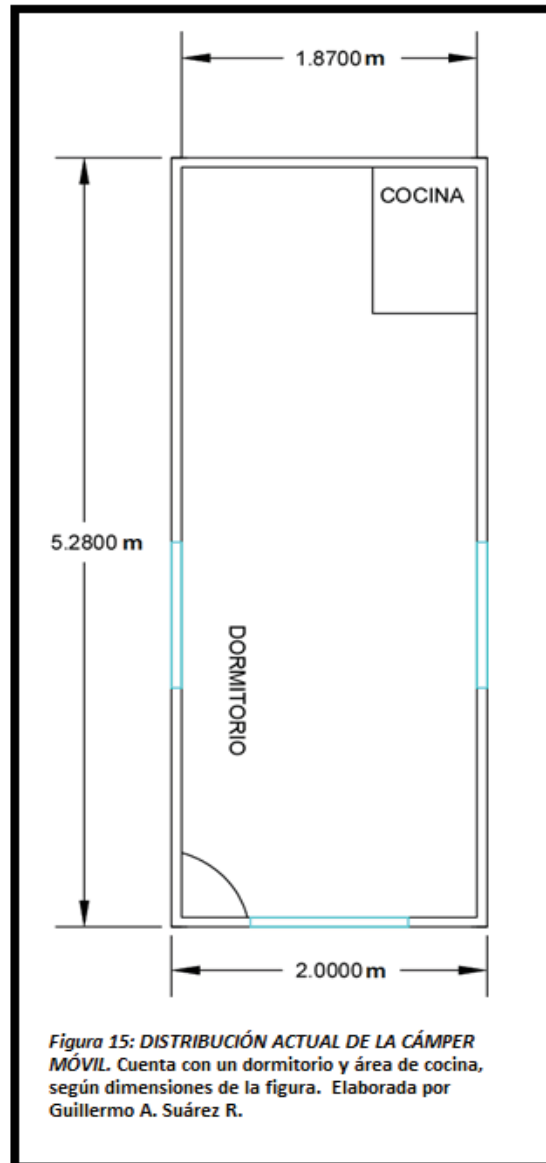


Figura 14: LADO FRONTAL DE LA CÁMPER. Tomada en Central Termoeléctrica de San Gabriel.

4.1.1 DISEÑO ACTUAL DE LA CAMPER

Como se puede observar en el siguiente plano, la distribución interna de la camper actualmente es la siguiente:

DISTRIBUCIÓN INTERNA CAMPER DE EMELNORTE



4.2 ESTUDIO TÉCNICO

4.2.1 MEDICIÓN DE RUIDO DE FONDO (METODOLOGÍA)

La medición de nivel de ruido, es indispensable para poder tomar medidas adecuadas concernientes a la contaminación acústica que proviene de fuentes externas.

La ingeniería acústica utiliza este tipo de medición para elaborar estudios y también para proponer soluciones. Generalmente, es el nivel sonoro la propiedad o el parámetro que es más susceptible al hacer las respectivas evaluaciones ya que va directamente relacionado a la respuesta que va a generar sobre un receptor.

El decibel dB es la unidad de medida que se ha designado para la cuantificación de nivel sonora; existen tres tipos de decibels, en este caso el dB con ponderación (A), toma en cuenta que el oído humano es más sensible a las frecuencias intermedias y es el más apropiado para este estudio.

Las mediciones fueron realizadas el día Miércoles, **24 de Agosto de 2011**, a las **12h00**, en la sub estación **San Gabriel en la ciudad de San Gabriel, Provincia de Carchi**, lugar en el cual se encontraba la camper móvil en ese momento. Las condiciones climáticas fueron las de un día normal de trabajo, razón por la cual se hizo la medición tomando en cuenta el ruido al que están sometidos los obreros por lo general en su ambiente de trabajo.

El equipo utilizado fue un sonómetro marca **Solo 01 dB** propiedad de la Universidad de las Américas, las características técnicas de este equipo se presentan en el Anexo No. 4.

En el proceso de medición, se realizaron 3 tomas por punto para descartar datos atípicos, para realizar este ensayo se utilizó el procedimiento descrito en la norma ISO 140, la cual abarca teórica y prácticamente el tema de aislamiento acústico .

La norma ya mencionada hace referencia de manera intuitiva al cálculo de la magnitud del aislamiento bruto con la siguiente fórmula:

$$D = L1 - L2,$$

Donde:

L1 y L2 son los niveles de presión sonora en los recintos emisor y receptor respectivamente.

El tiempo de promedio para los niveles L_{eq} , debe ser de al menos 6 segundos para las bandas inferiores a 400 Hz y de 4 segundos como mínimo para las bandas de frecuencias superiores.

En este caso particular de medición, no se utilizó una fuente de ruido rosa, dado que el principal efecto sonoro incidente sobre los trabajadores es ruido constante emitido por un generador eléctrico en la sub estación San Gabriel, la distribución del espacio en las sub estaciones que poseen generadores eléctricos esta dispuesta en su generalidad de la misma forma.

Se debe mencionar que la medición se realizó en ponderación A, por lo cual los resultados fueron transformados a [dB], ya que la norma **ISO 8253-1 (Máximos niveles de presión sonora permisibles, para la medición audiométrica)**, indica los límites de nivel de presión sonora por banda de tercio de octava en [dB].

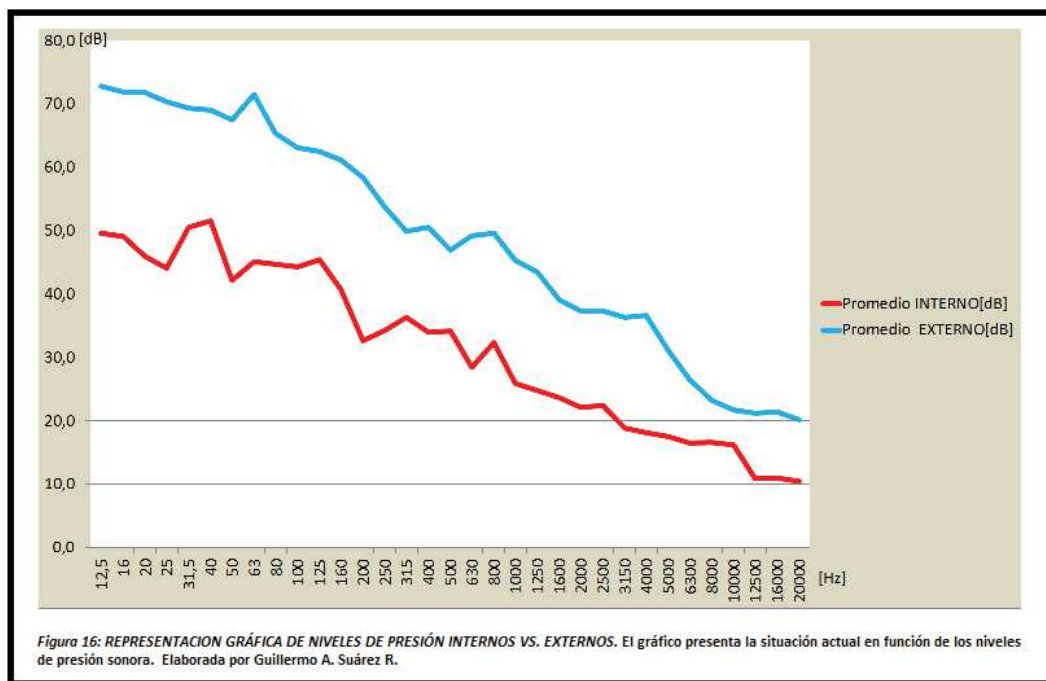
La Norma ISO-140 especifica que se han de recoger al menos 5 medidas en 5 posiciones diferentes, cumpliendo lo siguiente:

- Al menos 0.7 m de separación entre cada posición de micrófono;
- Al menos 0.7 m de separación entre cualquier posición de micrófono y alguna superficie limitadora de la sala;
- Al menos 1 m de separación entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora;
- Al menos 1 m de separación entre cualquier posición de micrófono y la estructura sometida a test.

Dado el espacio disponible para la construcción de la camper, se escogió solo un punto interno y externo de medición para el cálculo de la atenuación de nivel de presión sonora.

Por lo tanto, al iniciar el presente estudio, se realizó la medición de ruido de fondo, obteniéndose los siguientes resultados:

REPRESENTACIÓN GRÁFICA NIVELES DE PRESIÓN INTERNOS VS EXTERNOS



En la imagen No. 16 que antecede, se presenta la información tomada para establecer la situación actual en función a niveles de presión sonora por banda de tercio de octava en **dB**, para el cual se utilizó la Tabla No. 3, que presenta los límites permisibles de nivel por Bandas Críticas.

Para el desarrollo del trabajo, en el eje horizontal se identifican las bandas por tercio de octava en Hz y en el eje vertical, se identifican los niveles de presión sonora por cada banda de tercio de octava, en dB.

TABLA 3

NIVELES DE PRESIÓN SONORA [dB] POR BANDA DE TERCIO DE OCTAVA ACTUALES DENTRO DE CAMPER

<i>Niveles Internos [dB]</i>				
Bandas Críticas (Hz)	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio INTERNO[dB]
31,5	50,3	50,3	51,2	50,6
40	51,2	51	52,4	51,5
50	41,9	42,2	42,3	42,1
63	44,8	45,6	44,9	45,1
80	44,6	44,8	44,9	44,8
100	44,4	44,3	44,3	44,3
125	45,6	45,5	45,1	45,4
160	39,8	41,3	41,2	40,8
200	33,2	31,8	32,9	32,6
250	34,2	34,3	34,5	34,3
315	36,2	37,1	35,7	36,3
400	34,6	33,7	33,6	34,0
500	33,8	34,5	34,3	34,2
630	27,4	29,5	28,4	28,4
800	32,1	31,7	33,2	32,3
1000	25,8	25	26,9	25,9
1250	24,7	24,8	24,8	24,8
1600	23,3	24,1	23,6	23,7
2000	20,9	21,9	23,5	22,1
2500	22,4	21,2	23,7	22,4
3150	18,7	19,2	18,8	18,9
4000	17,3	18,8	18,5	18,2
5000	18,3	17,5	16,9	17,6
6300	16,4	16,2	16,9	16,5
8000	16,9	16,2	16,9	16,7

Nota: Se detallan los niveles de presión sonora en [dB] por banda de tercio de octava medidos dentro de la camper móvil, así como el promedio de cada una de las tres mediciones realizadas.

TABLA 4

NIVELES DE PRESIÓN SONORA [dB] POR BANDA DE TERCIO DE OCTAVA ACTUALES FUERA DE CAMPER

<i>Niveles Externos [dB]</i>			
<i>Medición 1</i>	<i>Medición 2</i>	<i>Medición 3</i>	<i>Promedio EXTERNO[dB]</i>
68,7	69,9	69,5	69,4
68,5	69,3	69,4	69,1
67,6	68	67,1	67,6
70,1	72	72,5	71,5
64,6	65,4	66,2	65,4
63,4	63	62,9	63,1
62,2	62,1	63,2	62,5
61,5	61	61,2	61,2
57,3	59,3	58,6	58,4
54,7	53,9	52,5	53,7
49,8	51	48,9	49,9
50,3	50,9	50,5	50,6
47,5	46,8	46,5	46,9
49,7	49	48,9	49,2
48,7	50	50,3	49,7
45,6	45,5	44,9	45,3
44,1	43,5	42,9	43,5
38,8	39,5	38,9	39,1
36,6	37,6	37,9	37,4
37,2	37,4	37,6	37,4
36,9	36,5	35,8	36,4
36,8	36,7	36,5	36,7
30,1	31	32,3	31,1
27,5	26,3	25,8	26,5
23,1	23,3	23,4	23,3

Nota: Se registran los niveles de presión sonora en [dB] por banda de tercio de octava medidos en los exteriores de la camper móvil, así como el promedio de las tres mediciones realizadas. Elaborado por: Guillermo Suárez Rueda.

4.2.2 Cálculo de la Incertidumbre de la Medida

Dado que el cálculo de una sola medida de una cantidad no nos proporciona suficiente información sobre la flexibilidad de apreciación de un resultado sobre

un análisis o medición realizada, si se toma una medida o varias medidas, error de resultado siempre va a existir, ya que por la propia naturaleza del experimento, del dispositivo de medida, factores climáticos, repetibilidad del ensayo, el resultado puede haberse desviado del valor “real”. En este caso, obtendremos una aproximación real, efectuando una serie de tres medidas sucesivas y elaborando un estudio estadístico, el cual nos dirá como se distribuyen los resultados y que factores incrementan la Incertidumbre en el experimento.

Para calcular los factores de Incertidumbre, se consideraron los siguientes aspectos:

Incertidumbre del equipo:

Es el primer factor tomado en cuenta para el cálculo de incertidumbre, este viene dado por la ficha técnica del equipo de medición con el cual se realizó el ejercicio, en este caso el manual de usuario indica una incertidumbre propia del sound meter level SOLO 01 de $\pm 1,5$ dB.

Factor de repetibilidad:

Este factor conlleva las veces que se toma una medida del experimento, este se calcula aplicando la desviación estándar estadística a los tres valores que en este caso se tiene por cada una de las bandas por tercio de octava.

Para encontrar los valores de u (Incertidumbre), se aplicó la ley de propagación, la cual es la raíz cuadrada de la sumatoria de todos los factores que generan incertidumbre, en este caso con la siguiente fórmula:

$$u = \sqrt{A^2 + B^2}$$

A = Incertidumbre del equipo

B = Factor de repetibilidad

Para el correcto cálculo de la incertidumbre expandida, se multiplica la misma por el factor de cobertura $k=2$, lo cual da una resultante del 95% de confianza.

TABLA 5

CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN NPS INTERNOS

<i>Bandas Críticas (Hz)</i>	<i>Instrumentación[dB]</i>	<i>Repetibilidad [dB]</i>	<i>U Incertidumbre [dB]</i>	<i>U Expandida [dB]</i>
31,5	1,5	0,3	1,5	3,1
40	1,5	0,4	1,6	3,1
50	1,5	0,1	1,5	3,0
63	1,5	0,3	1,5	3,0
80	1,5	0,1	1,5	3,0
100	1,5	0,0	1,5	3,0
125	1,5	0,2	1,5	3,0
160	1,5	0,5	1,6	3,2
200	1,5	0,4	1,6	3,1
250	1,5	0,1	1,5	3,0
315	1,5	0,4	1,6	3,1
400	1,5	0,3	1,5	3,1
500	1,5	0,2	1,5	3,0
630	1,5	0,6	1,6	3,2
800	1,5	0,4	1,6	3,1
1000	1,5	0,6	1,6	3,2
1250	1,5	0,0	1,5	3,0
1600	1,5	0,2	1,5	3,0
2000	1,5	0,8	1,7	3,4
2500	1,5	0,7	1,7	3,3
3150	1,5	0,2	1,5	3,0
4000	1,5	0,5	1,6	3,1
5000	1,5	0,4	1,6	3,1
6300	1,5	0,2	1,5	3,0
8000	1,5	0,2	1,5	3,0
				±3,1

Nota: Se muestra el cálculo de la incertidumbre de la medición de **NPS Internos**, según la metodología detallada anteriormente. Elaborado por: Guillermo Suárez Rueda

TABLA 6

CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN NPS EXTERNOS

<i>Bandas Críticas (Hz)</i>	<i>Instrumentación[dB]</i>	<i>Repetibilidad [dB]</i>	<i>u Incertidumbre[dB]</i>	<i>u Expandida [dB]</i>
31,5	1,5	0,4	1,5	3,1
40	1,5	0,3	1,5	3,1
50	1,5	0,3	1,5	3,0
63	1,5	0,7	1,7	3,3
80	1,5	0,5	1,6	3,1
100	1,5	0,2	1,5	3,0
125	1,5	0,4	1,5	3,1
160	1,5	0,1	1,5	3,0
200	1,5	0,6	1,6	3,2
250	1,5	0,6	1,6	3,3
315	1,5	0,6	1,6	3,2
400	1,5	0,2	1,5	3,0
500	1,5	0,3	1,5	3,1
630	1,5	0,3	1,5	3,0
800	1,5	0,5	1,6	3,2
1000	1,5	0,2	1,5	3,0
1250	1,5	0,3	1,5	3,1
1600	1,5	0,2	1,5	3,0
2000	1,5	0,4	1,6	3,1
2500	1,5	0,1	1,5	3,0
3150	1,5	0,3	1,5	3,1
4000	1,5	0,1	1,5	3,0
5000	1,5	0,6	1,6	3,3
6300	1,5	0,5	1,6	3,2
8000	1,5	0,1	1,5	3,0
				±3,1

Nota: Se muestra el cálculo de la incertidumbre de la medición de **NPS Externos**. Elaborado por: Guillermo Suárez Rueda

Como se puede observar en las tablas anteriores, según los cálculos de Incertidumbres realizados, se tiene para la medición Interna una Incertidumbre de **±3,1 dB** y para la medición Externa a la camper una Incertidumbre de **±3,1 dB**.

TABLA 7

COMPARACIÓN DE NIVELES DE RUIDO DE FONDO ACTUALES FRENTE A LA NORMATIVA 8253-1

Niveles Internos [dB]					Niveles que superan los límites de la Norma 8253-1					
Bandas Críticas	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio INTERNO	Limite(+3,	Limite(-3,	Límites Norma	Promedio INTERNO	Incertidumbre(+3,1)	Incertidumbre(-3,1)
31,5	50,3	50,3	51,2	50,6	53,7	47,5	66	-	-	-
40	51,2	51	52,4	51,5	54,6	48,4	62	-	-	-
50	41,9	42,2	42,3	42,1	45,2	39,0	57	-	-	-
63	44,8	45,6	44,9	45,1	48,2	42,0	52	-	-	-
80	44,6	44,8	44,9	44,8	47,9	41,7	48	-	-	-
100	44,4	44,3	44,3	44,3	47,4	41,2	43	1,3	4,4	-
125	45,6	45,5	45,1	45,4	48,5	42,3	39	6,4	9,5	3,3
160	39,8	41,3	41,2	40,8	43,9	37,7	30	10,8	13,9	7,7
200	33,2	31,8	32,9	32,6	35,7	29,5	20	12,6	15,7	9,5
250	34,2	34,3	34,5	34,3	37,4	31,2	19	15,3	18,4	12,2
315	36,2	37,1	35,7	36,3	39,4	33,2	18	18,3	21,4	15,2
400	34,6	33,7	33,6	34,0	37,1	30,9	18	16,0	19,1	12,9
500	33,8	34,5	34,3	34,2	37,3	31,1	18	16,2	19,3	13,1
630	27,4	29,5	28,4	28,4	31,5	25,3	18	10,4	13,5	7,3
800	32,1	31,7	33,2	32,3	35,4	29,2	20	12,3	15,4	9,2
1000	25,8	25	26,9	25,9	29,0	22,8	23	2,9	6,0	-
1250	24,7	24,8	24,8	24,8	27,9	21,7	25	-	-	-
1600	23,3	24,1	23,6	23,7	26,8	20,6	27	-	-	-
2000	20,9	21,9	23,5	22,1	25,2	19,0	30	-	-	-
2500	22,4	21,2	23,7	22,4	25,5	19,3	32	-	-	-
3150	18,7	19,2	18,8	18,9	22,0	15,8	34	-	-	-
4000	17,3	18,8	18,5	18,2	21,3	15,1	36	-	-	-
5000	18,3	17,5	16,9	17,6	20,7	14,5	35	-	-	-
6300	16,4	16,2	16,9	16,5	19,6	13,4	34	-	-	-
8000	16,9	16,2	16,9	16,7	19,8	13,6	33	-	-	-

Nota: Con la información obtenida previamente se procedió a establecer los niveles a atenuar, según la Norma ISO 8253-1, que en síntesis se presentan en color rojo. Elaborada por: Guillermo Suárez Rueda.

Los resultados que se presentan en la Tabla No. 7 demuestran que existen niveles de presión sonora internos, **desde 100 Hz hasta 1250 Hz** que no cumplen con la norma **ISO 8352-1**, por tanto están sobrepasando los niveles permitidos de ruido de fondo para una correcta evaluación de pérdida auditiva. En función a estos resultados se tendrá que investigar y proponer la utilización de materiales adecuados para atenuar los niveles en las frecuencias que requieran cumplir con los requisitos establecidos.

4.3 DISEÑO DE LA CABINA

En una habitación aparentemente silenciosa se puede detectar un ruido de fondo de 30 a 50 dB por encima del umbral, lo que puede perturbar la respuesta del sujeto. Se calcula que un ruido ambiente de 20 dB puede suponer unas diferencias de 5 a 20 dB en los umbrales detectados en pacientes normoyentes, afectando especialmente a las frecuencias graves. Esto es debido a que esta atmósfera sonora crea un efecto de máscara que varía según su intensidad, frecuencias y el tipo de sordera. Hay una opinión errónea en el sentido de que se puede realizar bien una audiometría en ambiente ruidoso cuando el ruido ambiental sea conocido y constante. Sólo en los grandes sordos, el ruido ambiente es insuficiente para perturbar su umbral.

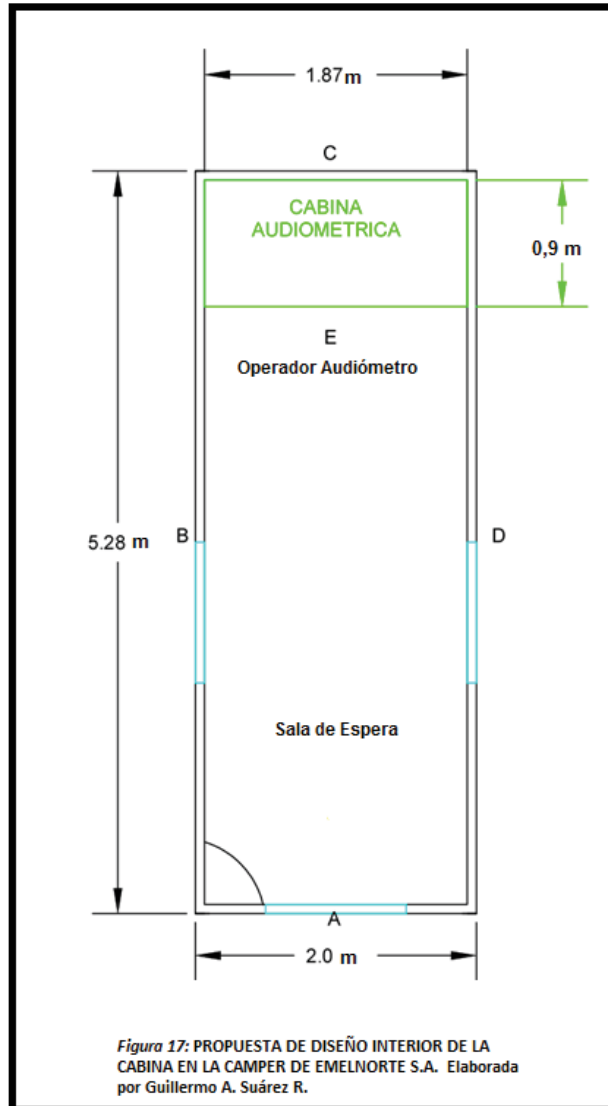
Para solucionar el inconveniente que supone el ruido ambiental, las exploraciones audiométricas han de ser realizadas en cabinas audiométricas insonorizadas que permiten realizar las audiometrías en un ambiente sonoro adecuado.

Las cabinas pueden estar realizadas a medida o prefabricadas, constan de paredes de doble cámara, e interiormente están recubiertas de material absorbente de sonido que impida la reverberación de las ondas sonoras. Su puerta de acceso tiene cierre hermético. Dispondrán de iluminación y ventilación.

La cabina ha de disponer de una ventana mediante la cual el explorador, que se coloca fuera de la cabina, puede observar al sujeto a testar. Igualmente ha de disponer de un sistema microfónico por el que el testador y el testado se puedan comunicar.

Tomando en consideración estos aspectos se propone el siguiente diseño interior de la cabina:

PROPUESTA DE DISEÑO INTERIOR DE LA CABINA EN LA CAMPER DE
EMELNORTE S.A.



**PROPUESTA DE DISEÑO INTERIOR DE LA CABINA EN LA CAMPER DE
EMELNORTE S.A., EN IMAGEN 3D**

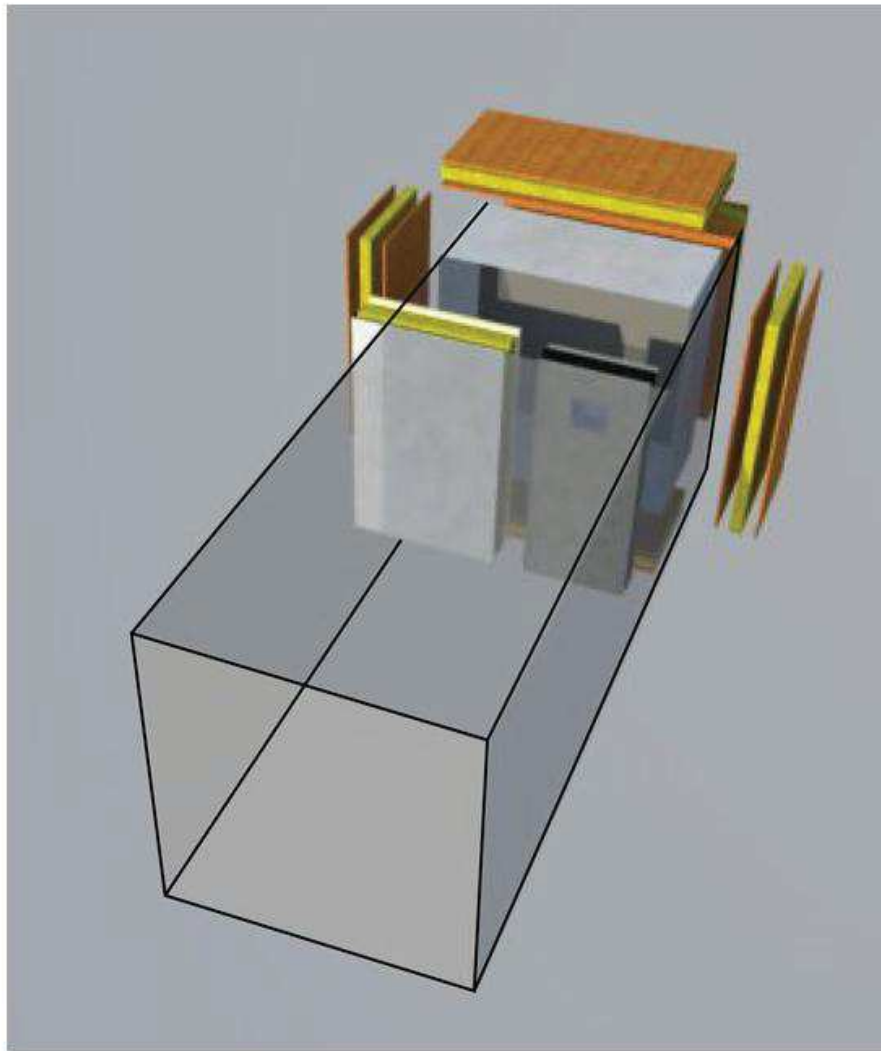


Figura 18: IMAGEN 3D PROPUESTA DE DISEÑO INTERIOR DE LA CABINA EN LA CAMPER DE EMELNORTE S.A.

Elaborada por Guillermo A. Suárez Rueda

4.4 PROCESO DE INSONORIZACIÓN

Cuando se genera una insonorización, teóricamente significa aislar acústicamente del exterior a un determinado recinto o predio. Este proceso, así mismo, pre supone una doble dirección. Por un lado, evita que el sonido que se emite salga hacia el exterior, con lo cual además se estaría evitando la contaminación acústica. Por el otro, se evita que el ruido exterior penetre en una sala, distorsionando de esta manera la acústica de la misma.

Cabe explicar que cuando se reduce el nivel del ruido en el ambiente que se insonoriza al mismo tiempo se reduce el nivel del ruido en los ambientes vecinos, a pesar de que este hecho no implique el aislamiento en sí mismo. En el momento en el que se va a insonorizar es importante establecer las diferencias entre el aislamiento acústico y el acondicionamiento acústico, porque de esto dependen los materiales que se van a seleccionar y las técnicas por las que se va a optar para cada uno de los casos.

El aislamiento acústico permite brindarle al ambiente acústico una determinada protección contra la constante incidencia de nivel de presión sonora en el. Por el otro, el acondicionamiento acústico se relaciona con el hecho de mejorar la calidad acústica que el ambiente tiene de por sí, a partir de ciertos procesos, como el control de los parámetros, tales como la naturaleza y el número de las reflexiones que el sonido produce, el control de las resonancias modales y el tiempo de reverberación. Por todo lo mencionado anteriormente, el concepto de aislamiento acústico es fundamental a la hora de hacer referencia a la insonorización.

Para llevar a cabo este proceso se decidió utilizar una herramienta de predicción acústica; esta es el software de simulación **INSUL de la firma MARSHALL DAY**.

4.5 SIMULACIÓN EN INSUL (SOFTWARE DE PREDICCIÓN ACÚSTICA)

El **software INSUL de la firma MARSHALL DAY**, es un programa de predicción del aislamiento acústico de paredes, ventanas, suelos y techos, además de predecir el ruido de impacto en suelos de hormigón con diferentes acabados.

El **software MARSHALL DAY INSUL** se basa en modelos teóricos que requieren escasa información constructiva. Permite modelar materiales empleando la Ley de la Masa y la frecuencia crítica de los materiales, permitiendo correcciones por efectos de paneles gruesos.

Además, el **software MARSHALL DAY INSUL** realiza estimaciones de las pérdidas de transmisión (TL) en 1/3 de octava, índice de reducción sonora (STC y R_w) y aislamiento a ruido de impactos (L_n, w).

Aplicaciones de INSUL

INSUL permite la evaluación rápida de nuevos materiales y sistemas, así como los efectos de los cambios realizados en diseños existentes. INSUL puede Modelizar particiones aligeradas o de gran masa, Asimismo, tiene en cuenta los efectos de elementos de tamaño finito, muy importantes en la predicción de elementos como ventanas, o del comportamiento de los materiales a baja frecuencia.

Como cualquier otra herramienta de predicción, INSUL no sustituye a las mediciones. Sin embargo, la comparación con medidas reales indica que la fiabilidad de INSUL está en 3 dB para valores de R_w y 5 dB para valores de L_n, w , en la mayoría de los casos.

Características Técnicas

- Base de datos ampliable con los materiales y suelos más comunes
- Parámetros físicos de los materiales definibles por el usuario

- Formato de salida tabular y gráfico para una rápida valoración
- Almacenado de soluciones complejas en disco para una posterior valoración
- Unidades del sistema S.I. o anglosajonas
- Completamente en castellano
- Exportación de soluciones calculadas para su uso en el software BASTIAN
- Posibilidad de licencia en red

5 CAPÍTULO V: AISLAMIENTO ACÚSTICO

El sonido residual o niveles de presión sonora generados por ruido de fondo en una sala de pruebas audiométricas, no podrá exceder ciertos valores límites determinados por norma, para evitar el **enmascaramiento** de los tonos de prueba. Estos valores se especifican, como los niveles máximos permisibles de presión sonora del ambiente en una banda de tercio de octava, según la normativa **ISO 8253-1**:

- a) Dos presentaciones del test audiométrico; a través de auriculares para las mediciones de la conducción del aire y por medio de un vibrador óseo para la medición de los huesos en función a tonos.
- b) Tres pruebas de tonos de rangos frecuencia por conducción de aire desde 125Hz – 8000 Hz, desde 250 Hz – 8000 Hz, desde 500 Hz – 8000 Hz.
- c) Dos pruebas de tonos por rangos de frecuencia de transmisión ósea desde 125Hz – 8000 Hz y desde 250 Hz – 8000 Hz.

El tema que conlleva el aislamiento de la cabina es el más importante ya que como se menciona anteriormente, dentro de la cabina no se toman en cuenta los parámetros de calidad acústica. Para cubrir este tema, se hizo un análisis de las condiciones actuales de la camper móvil en función a cuánto sonido atenuaban los materiales con las que fue fabricada.

5.1 PROPUESTAS: PARTICIONES, SUELO, TECHO, PUERTA Y VENTANA

Tomando en cuenta la situación actual, en el rango de **100Hz a 1250Hz**, se deben atenuar niveles de presión sonora por banda de tercio de octava, con la colocación de los siguientes materiales junto al aluminio, del cual está construida la camper.

5.2 METODOLOGÍA DE AISLAMIENTO

Con el propósito de lograr una mayor comprensión de la propuesta que se plantea, se ha establecido la siguiente metodología:

En primer lugar se realizó la evaluación y análisis de las condiciones iniciales en que se encontraba la camper móvil, en función a las emisiones sonoras a las que era sometida en el momento de la medición, de esta forma a continuación se presentan los resultados iniciales. Luego, se ejecutó el análisis en el software INSUL. Para realizar la simulación según las necesidades, se escogieron los materiales para ser usados en el aislamiento y por último se estableció cuáles van a ser los elementos de insonorización.

A fin de visualizar la metodología planteada, se generó el siguiente Flujo grama que permite ver la metodología para la consecución del objetivo:

METODOLOGÍA DE AISLAMIENTO

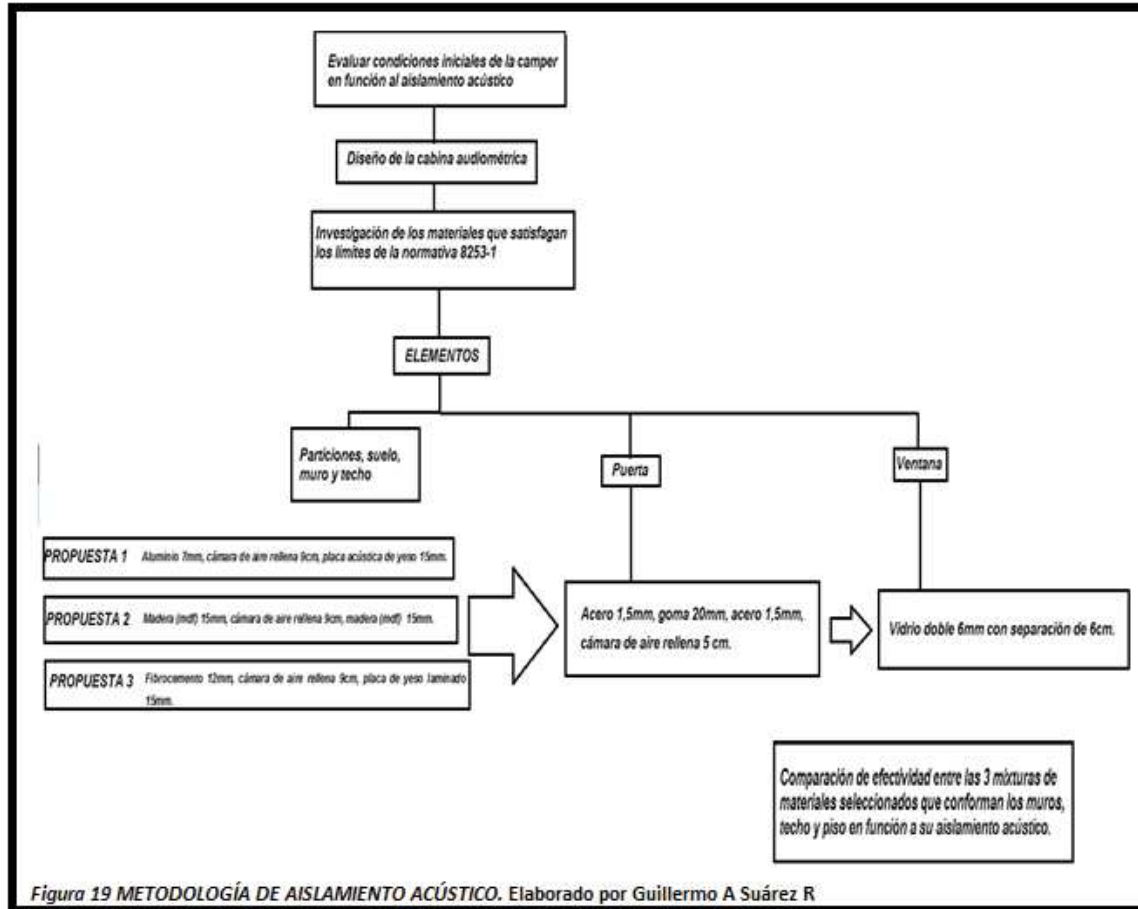


Figura 19 METODOLOGÍA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO. Elaborado por Guillermo A Suárez R

La metodología inicia con el reconocimiento de los materiales con la que se ha construido la unidad móvil, para ver, en función a las necesidades, qué se puede corregir tomando en cuenta resultados posteriores; una vez llevado a cabo el reconocimiento de materiales de construcción de la camper (Aluminio), se utilizó un sonómetro TIPO 2 para realizar las mediciones respectivas, dentro **(lugar tentativo donde se ubicaría la cabina)** y fuera de la camper, para hacer las mediciones de nivel de presión de sonido residual al que va a estar sometida la camper móvil rodante.

Dado que en la normativa antes mencionada **(ISO 8253-1)**, se mencionan valores límites de nivel de ruido de fondo por banda de tercio de octava, se realizó la medición de campo, en un lugar con condiciones **comunes** en el que se deben realizar las audiometrías a los obreros de las empresas eléctricas del país.

Una vez que ya se tiene el espacio destinado para el montaje de la cabina audiométrica, se procede a realizar el modelamiento de predicción de aislamiento acústico mediante el software Insul, en este caso, este procedimiento se va a realizar en 4 partes:

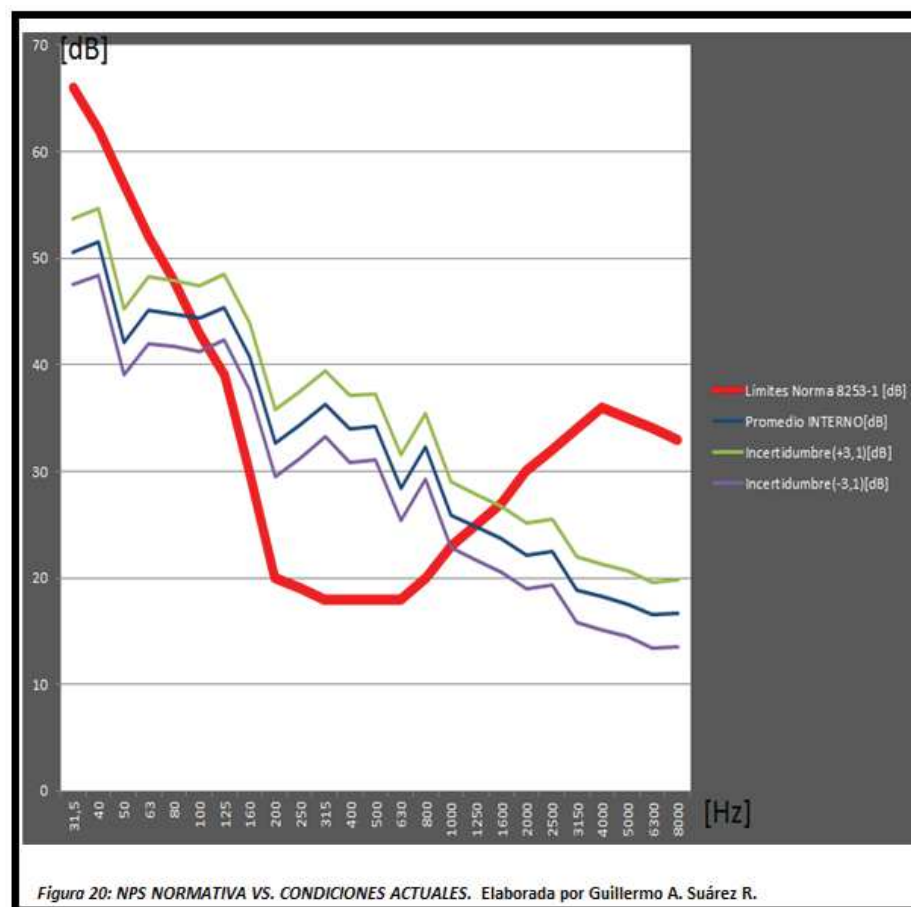
- **Modelamiento de las particiones, suelo y techo.**
- **Modelamiento de la puerta.**
- **Modelamiento de la ventana.**
- **Modelamiento Global de todos los elementos juntos.**

La comparación entre materiales en función de su efectividad, se realizará en las Particiones, por lo cual se utilizará la misma puerta y ventana para los modelamientos de predicción acústica.

Como se indica en la tabla No 7, que se cita en la página 59, se muestran claramente los niveles medidos de la situación actual de la camper en función a sus propiedades de aislamiento acústico.

El gráfico que se presenta a continuación, muestra cuatro curvas de niveles de presión sonora en función de su respectiva frecuencia. La curva trazada con color rojo representa los límites permisibles de ruido de fondo para la evaluación de pérdida auditiva según la **Norma ISO 8253-1**, las tres curvas restantes, representan a los niveles de ruido de fondo promedio y también a las incertidumbres propias de la medida dentro de la camper.

NPS NORMATIVA VS CONDICIONES ACTUALES

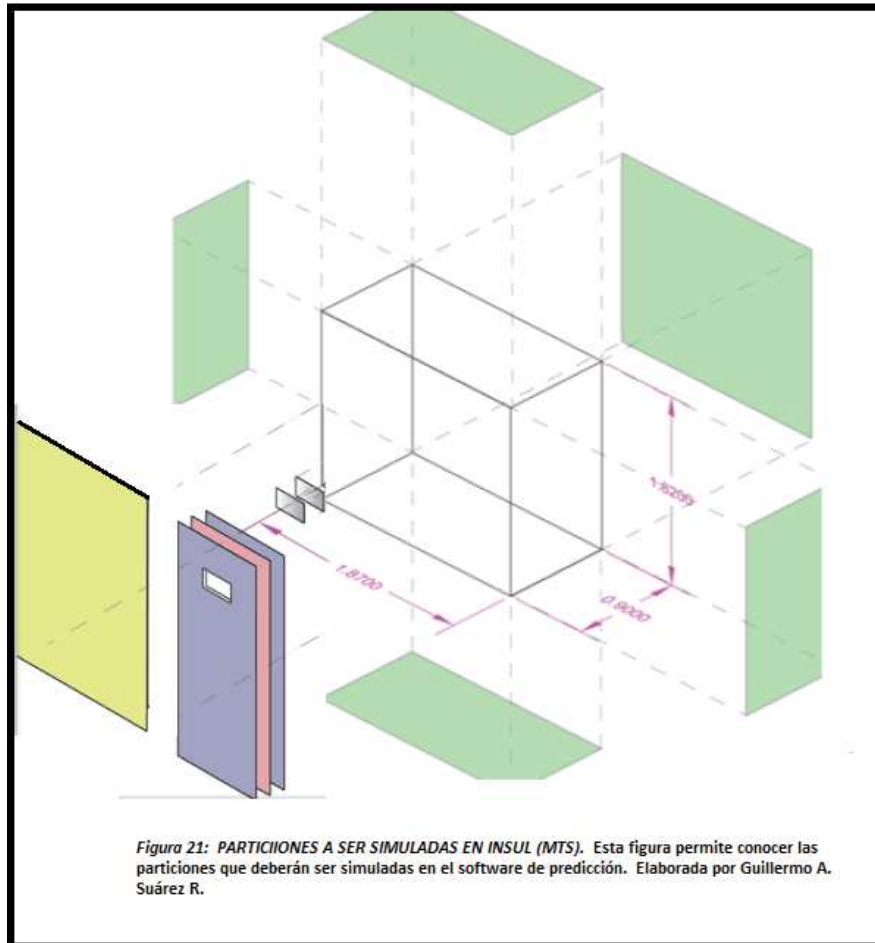


Como se puede apreciar en la ilustración 20, los niveles de presión sonora dentro de la cabina sobre pasan los niveles permisibles de la norma en el rango de **100 Hz hasta 1250 Hz**.

5.2.1 PARTICIONES A SER SIMULADAS EN SOFTWARE INSUL:

Con el propósito de seguir el esquema de procedimientos establecido, es necesario identificar gráficamente a las particiones cuyo aislamiento acústico se va a simular en INSUL.

PARTICIONES A SER SIMULADAS EN SOFTWARE INSUL (METROS)



En la ilustración 21 se puede apreciar las particiones tomadas en cuenta para la simulación por medio del software Insul, para lo cual se han evaluado los datos ya medidos y mediante la predicción acústica, podemos modelar los TL de los materiales que se colocarán en la cabina para el aislamiento y verificar si el diseño se ajusta a los requerimientos de la normativa considerada.

Se debe tomar en cuenta que todas las particiones van a tener una cámara de aire rellena de lana mineral.

Propuesta 1: Aluminio 7mm, cámara de aire rellena 9cm, placa acústica de yeso 15mm.

Propuesta 2: Madera (mdf) 15mm, cámara de aire rellena 9cm, madera (mdf) 15mm.

Propuesta 3: Fibrocemento 12mm, cámara de aire rellena 9cm, placa de yeso laminado 15mm.

Puerta: Acero 1,5mm, goma 20mm, acero 1,5mm, cámara de aire rellena 5 cm.

La puerta fue modelada con una abertura inferior de 0,57m³.

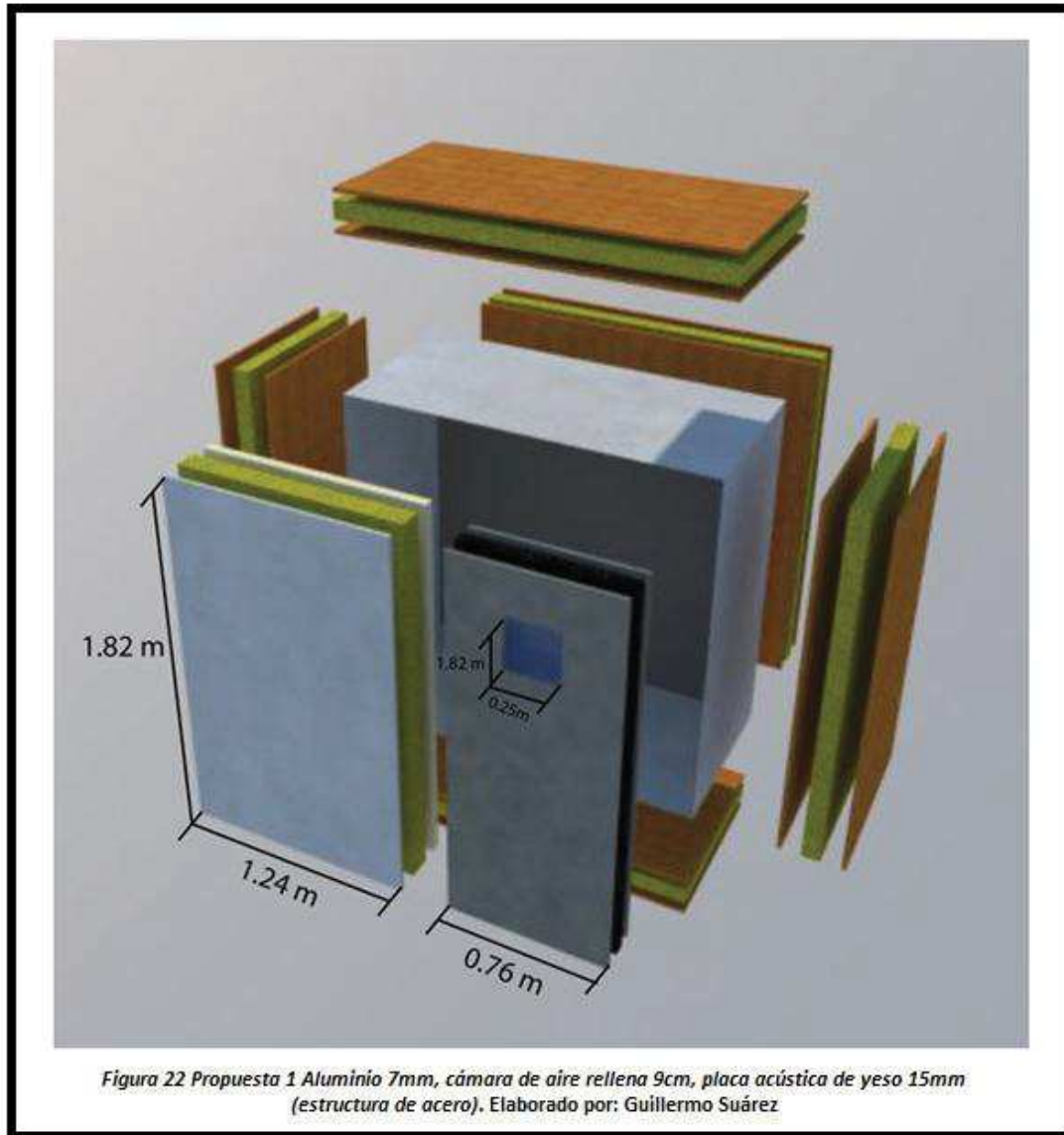
Ventana: Vidrio doble 6mm con separación de 6cm.

Nota: Todas las particiones y puerta están modeladas con estructura de acero.

PROPUESTA 1

PARTICIONES A SER SIMULADAS EN EL SOFTWARE INSUL

Aluminio 7mm, cámara de aire rellena 9cm, placa acústica de yeso 15mm (estructura de acero).



En la tabla que se presenta a continuación, se puede visualizar en la primera columna las bandas de frecuencia, en las siguientes tres columnas se encuentran los promedios de las mediciones realizadas previamente de nivel de NPS dentro de la camper, y luego se observan dos columnas

correspondientes a la incertidumbre propia del ensayo, destacando los niveles a atenuar en dB con color rojo.

Además, en la siguiente columna se muestran los TL de la mixtura de materiales de las particiones, en este caso es **aluminio 7mm, cámara de aire rellena 9cm, placa acústica de yeso 15mm**. En las dos siguientes columnas se muestran los niveles de atenuación de la puerta y ventana respectivamente, posteriormente las 3 columnas siguientes detallan la resta lineal de NPS proporcionada por los TL de muros, puerta y ventada, con lo cual se verifica la efectividad de aislamiento de manera independiente elemento por elemento. También se muestra el TL global, lo que significa la atenuación de toda la cabina audiométrica junta, y se puede visualizar numéricamente su efectividad de manera combinada.

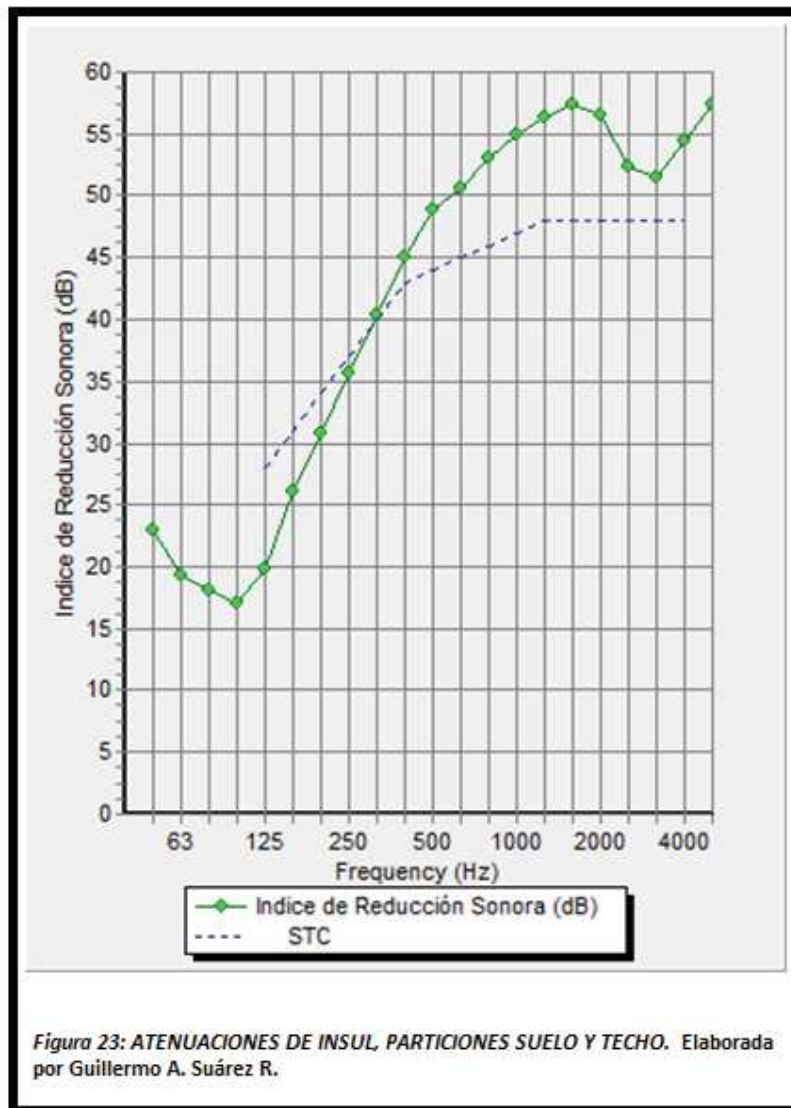
TABLA 8
NIVELES DE ATENUACIÓN ALUMINIO + PLACA ACÚSTICA DE CARTÓN
YESO 15 MM + CÁMARA DE AIRE RELLENA.

Bandas Críticas (Hz)	Promedio INTERNO [dB]	Incertidumbre (+3,1)[dB]	Incertidumbre (-3,1)[dB]	MUROS [dB]	PUERTA [dB]	VENTANA [dB]	RESULTANTE MUROS [dB]	RESULTANTE PUERTA [dB]	RESULTANTE VENTANA [dB]	TL GLOBAL [dB]	RESULTANTE GLOBAL [dB]	Límites Permisibles Norma 8253-1 [dB]
50	42,1	45,2	39,0	23	30,4	19,6	22,2	14,8	25,6	23,4	21,8	57
63	45,1	48,2	42,0	19,3	27,7	19,1	28,9	20,5	29,1	19,8	28,4	52
80	44,8	47,9	41,7	18,1	26,8	17,8	29,8	21,1	30,1	18,6	29,3	48
100	44,3	47,4	41,2	17	25,5	21,5	30,4	21,9	25,9	17,5	29,9	43
125	45,4	48,5	42,3	19,8	22,1	27,9	28,7	26,4	20,6	20	28,5	39
160	40,8	43,9	37,7	26	31	31,6	17,9	12,9	12,3	26,4	17,5	30
200	32,6	35,7	29,5	30,9	36,7	34,3	4,8	-1,0	1,4	31,3	4,4	20
250	34,3	37,4	31,2	35,6	40,2	36,4	1,8	-2,8	1,0	35,9	1,5	19
315	36,3	39,4	33,2	40,4	43	38,3	-1,0	-3,6	1,1	40,6	-1,2	18
400	34,0	37,1	30,9	45,1	45	40	-8,0	-7,9	-2,9	45	-7,9	18
500	34,2	37,3	31,1	48,9	46,3	41,5	-11,6	-9,0	-4,2	48,4	-11,1	18
630	28,4	31,5	25,3	50,6	47,2	43	-19,1	-15,7	-11,5	49,9	-18,4	18
800	32,3	35,4	29,2	53	47,8	44,4	-17,6	-12,4	-9,0	51,9	-16,5	20
1000	25,9	29,0	22,8	54,9	47,9	45,4	-25,9	-18,9	-16,4	53,1	-24,1	23
1250	24,8	27,9	21,7	56,3	47,5	47,4	-28,4	-19,6	-19,5	53,8	-25,9	25
1600	23,7	26,8	20,6	57,4	45,8	48,9	-30,6	-19,0	-22,1	53,3	-26,5	27
2000	22,1	25,2	19,0	56,6	41,8	46,9	-31,4	-16,6	-21,7	50,1	-24,9	30
2500	22,4	25,5	19,3	52,3	30,8	47,2	-26,8	-5,3	-21,7	39,9	-14,4	32
3150	18,9	22,0	15,8	51,5	40	50,2	-29,5	-18,0	-28,2	47,5	-25,5	34
4000	18,2	21,3	15,1	54,5	42	53,3	-33,2	-20,7	-32,0	49,8	-28,5	36
5000	17,6	20,7	14,5	57,4	33,6	56,2	-36,7	-12,9	-35,5	42,8	-22,1	35
			STC	44	35	45				45		
			DITC	30	34	34				34		

Nota: Se establece el resultado de atenuación obtenida en comparación con los límites de la norma 8253-1. Elaborado por: Guillermo Suárez Rueda.

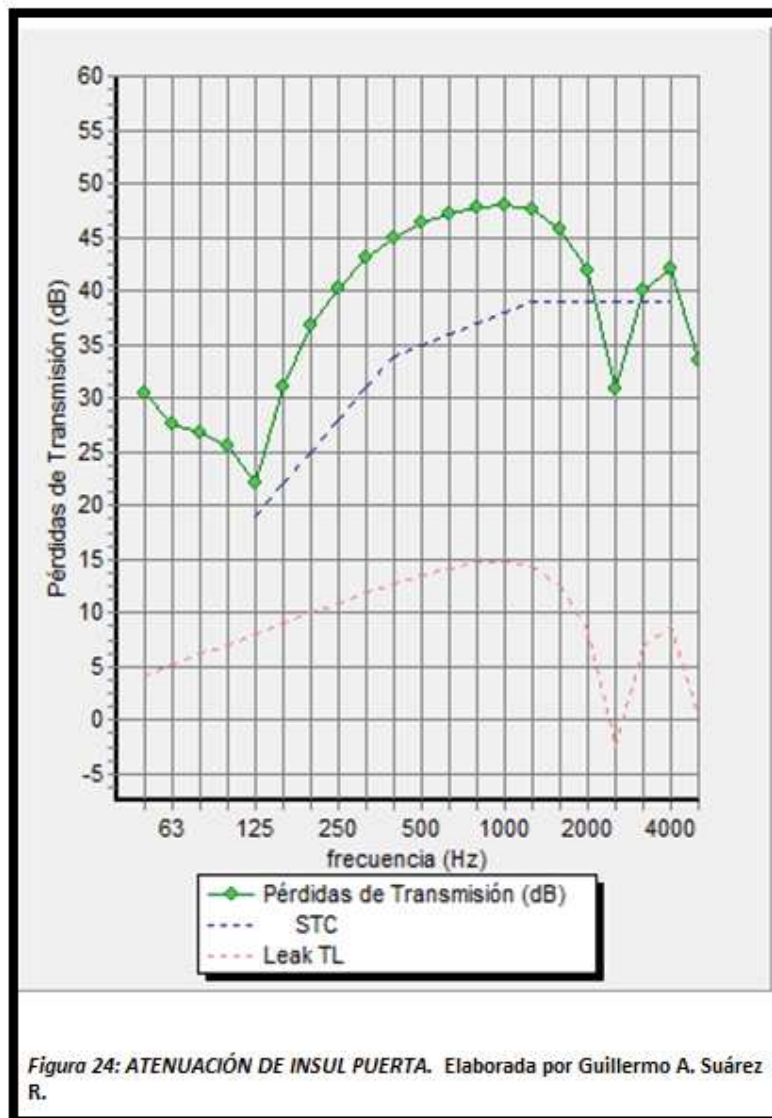
En la Figura No. 23 que se presenta a continuación, se observa gráficamente la curva de niveles de atenuación extraída de Insul para la simulación de las particiones, suelo y techo con el material: **Aluminio 7mm, cámara de aire rellena 9cm, placa acústica de yeso 15mm.**

Atenuación de Insul Particiones, suelo y techo



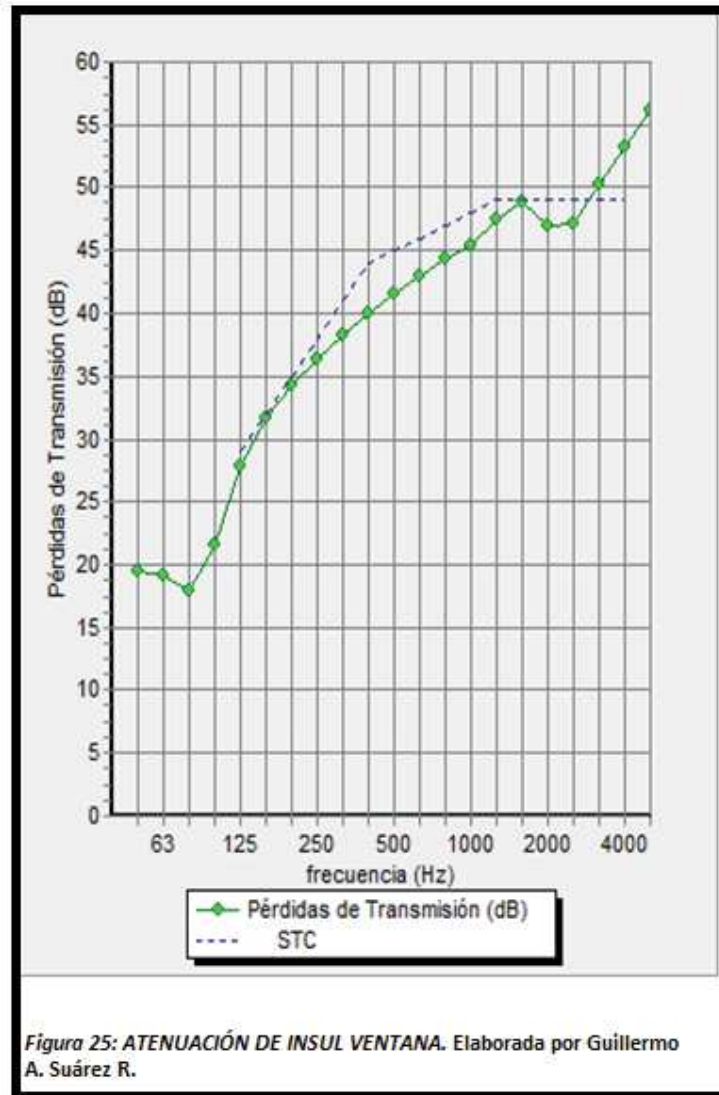
En la Figura No. 24 que se presenta a continuación, se observa gráficamente la curva de Niveles de atenuación extraída de Insul para la simulación de la puerta (**Puerta: Acero 1,5mm, goma 20mm, acero 1,5mm, cámara de aire rellena 5 cm. La puerta fue modelada con una abertura inferior de 0,57m³.**).

Atenuación de Insul Puerta



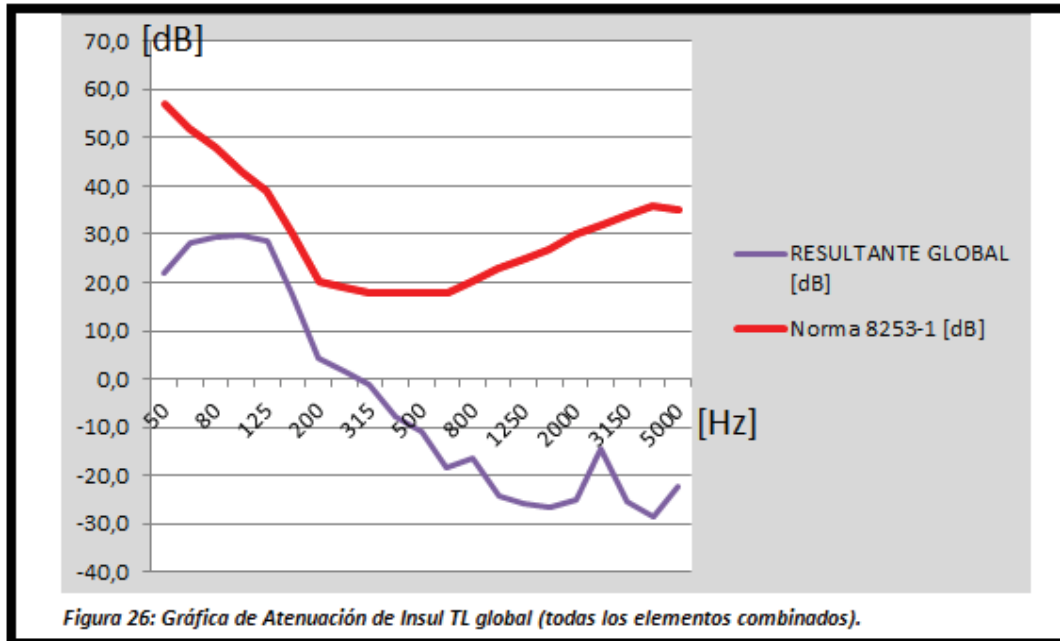
En la Figura No. 25 que se presenta a continuación, se observa gráficamente la curva de Niveles de atenuación extraída de Insul para la simulación de la ventana: **Vidrio doble 6mm con separación de 6cm.**

Gráfica de Atenuación de Insul Ventana



En la Figura No. 26 que se presenta a continuación, se observa gráficamente la curva de Niveles de atenuación para la simulación de todos los elementos de la cabina juntos: (Resultante Global [dB]) particiones, suelo, techo, puerta y ventana, describiendo gráficamente el TL global.

Atenuación de Insul TL global

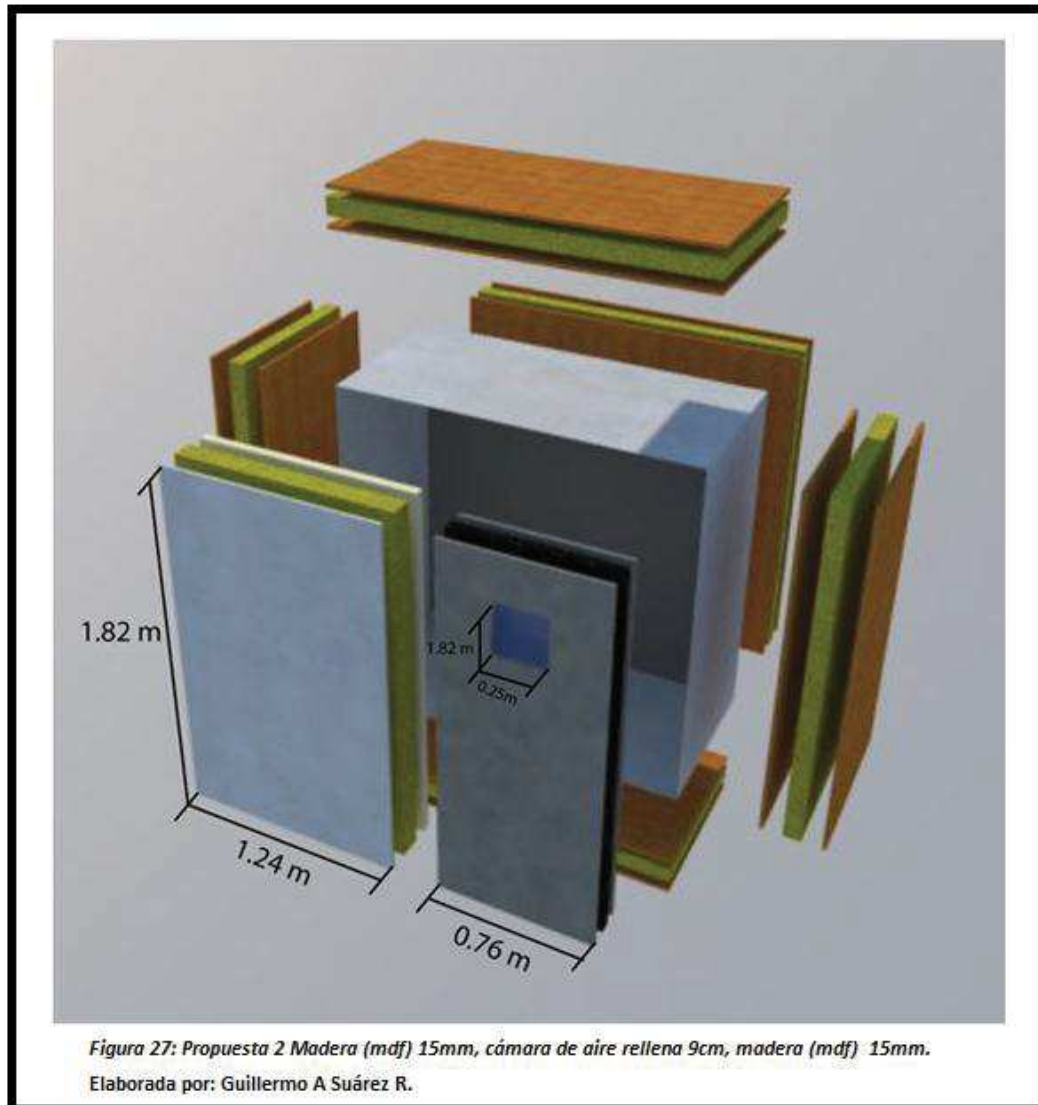


Como se puede apreciar de manera visual en la ilustración 26, la curva de los TL proporcionada por la simulación de la primera propuesta no supera el límite establecido por la Norma 8253-1, por ende es cumplimiento de esta afianza el uso de esta mixtura de materiales.

PROPUESTA 2

PARTICIONES A SER SIMULADAS EN INSUL

Madera (mdf) 15mm, cámara de aire rellena 9cm, madera (mdf) 15mm.



En la tabla que se presenta a continuación, se puede visualizar en la primera columna las bandas de frecuencia, en las siguientes tres columnas se encuentran los promedios de las mediciones realizadas previamente de nivel de NPS dentro de la camper, y luego se observan dos columnas

correspondientes a la incertidumbre propia del ensayo, destacando los niveles a atenuar en dB con color rojo.

Además, en la siguiente columna se muestran los TL de la mixtura de materiales de las particiones, en este caso es **Madera (mdf) 15mm, cámara de aire rellena 9cm, madera (mdf) 15mm**. En las dos siguientes columnas se muestran los niveles de atenuación de la puerta y ventana respectivamente, posteriormente las 3 columnas siguientes detallan la resta lineal de NPS proporcionada por los TL de muros, puerta y ventada, con lo cual se verifica la efectividad de aislamiento de manera independiente elemento por elemento. También se muestra el TL global, lo que significa la atenuación de toda la cabina audiométrica junta, y se puede visualizar numéricamente su efectividad de manera combinada.

TABLA 9

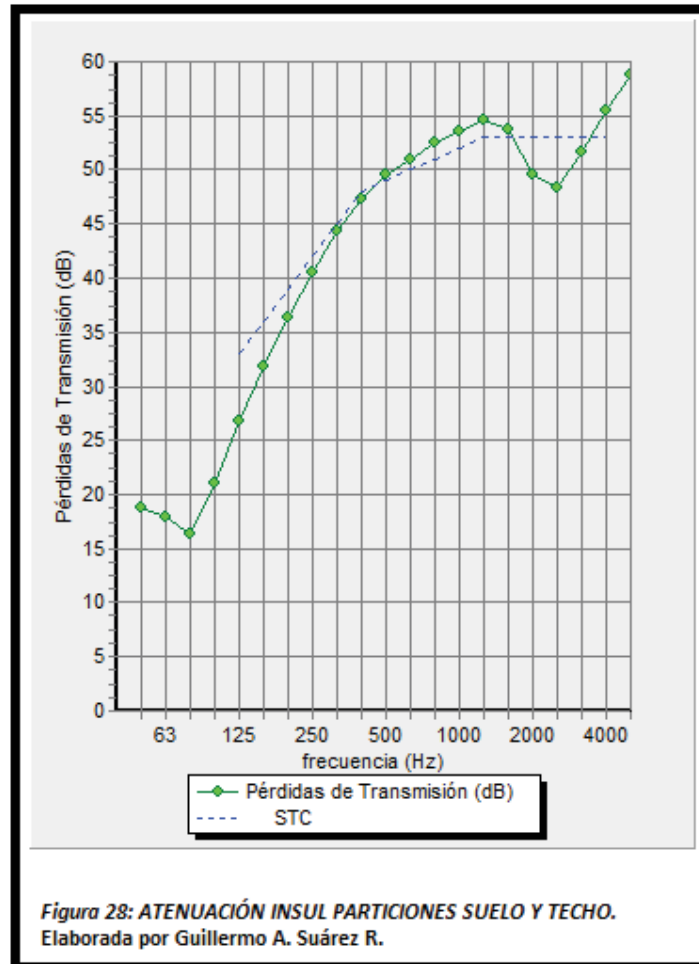
NIVELES DE ATENUACIÓN madera (mdf) 15mm, cámara de aire rellena 9cm, madera (mdf) 15mm

Bandas Críticas (Hz)	Promedio INTERNO [dB]	Incertidumbre (+3,1)[dB]	Incertidumbre (-3,1)[dB]	MUROS [dB]	PUERTA [dB]	VENTANA [dB]	RESULTANTE MUROS [dB]	RESULTANTE PUERTA [dB]	RESULTANTE VENTANA [dB]	TL GLOBAL [dB]	RESULTANTE GLOBAL [dB]	Límites Permisibles Norma 8253-1 [dB]
50	42,1	45,2	39,0	18,8	30,4	19,6	26,4	14,8	25,6	19	26,2	57
63	45,1	48,2	42,0	17,9	27,7	19,1	30,3	20,5	29,1	18	30,1	52
80	44,8	47,9	41,7	16,4	26,8	17,8	31,5	21,1	30,1	17	31,3	48
100	44,3	47,4	41,2	21	25,5	21,5	26,4	21,9	25,9	21	26,3	43
125	45,4	48,5	42,3	26,7	22,1	27,9	21,8	26,4	20,6	26	22,2	39
160	40,8	43,9	37,7	31,8	31	31,6	12,1	12,9	12,3	32	12,2	30
200	32,6	35,7	29,5	36,3	36,7	34,3	-0,6	-1,0	1,4	36	-0,6	20
250	34,3	37,4	31,2	40,6	40,2	36,4	-3,2	-2,8	1,0	41	-3,1	19
315	36,3	39,4	33,2	44,3	43	38,3	-4,9	-3,6	1,1	44	-4,8	18
400	34,0	37,1	30,9	47,4	45	40	-10,3	-7,9	-2,9	47	-10,1	18
500	34,2	37,3	31,1	49,6	46,3	41,5	-12,3	-9,0	-4,2	49	-12,0	18
630	28,4	31,5	25,3	51	47,2	43	-19,5	-15,7	-11,5	51	-19,1	18
800	32,3	35,4	29,2	52,5	47,8	44,4	-17,1	-12,4	-9,0	52	-16,6	20
1000	25,9	29,0	22,8	53,6	47,9	45,4	-24,6	-18,9	-16,4	53	-23,9	23
1250	24,8	27,9	21,7	54,6	47,5	47,4	-26,7	-19,6	-19,5	54	-25,7	25
1600	23,7	26,8	20,6	53,7	45,8	48,9	-26,9	-19,0	-22,1	53	-25,7	27
2000	22,1	25,2	19,0	49,6	41,8	46,9	-24,4	-16,6	-21,7	48	-23,2	30
2500	22,4	25,5	19,3	48,4	30,8	47,2	-22,9	-5,3	-21,7	42	-16,6	32
3150	18,9	22,0	15,8	51,7	40	50,2	-29,7	-18,0	-28,2	49	-27,1	34
4000	18,2	21,3	15,1	55,5	42	53,3	-34,2	-20,7	-32,0	52	-30,7	36
5000	17,6	20,7	14,5	58,8	33,6	56,2	-38,1	-12,9	-35,5	46	-25,0	35
			STC	49	35	45				49		
			OITC	33	34	34				33		

Nota: Se establece el resultado de atenuación obtenida en comparación con los límites de la norma 8253-1. Elaborado por: Guillermo Suárez Rueda

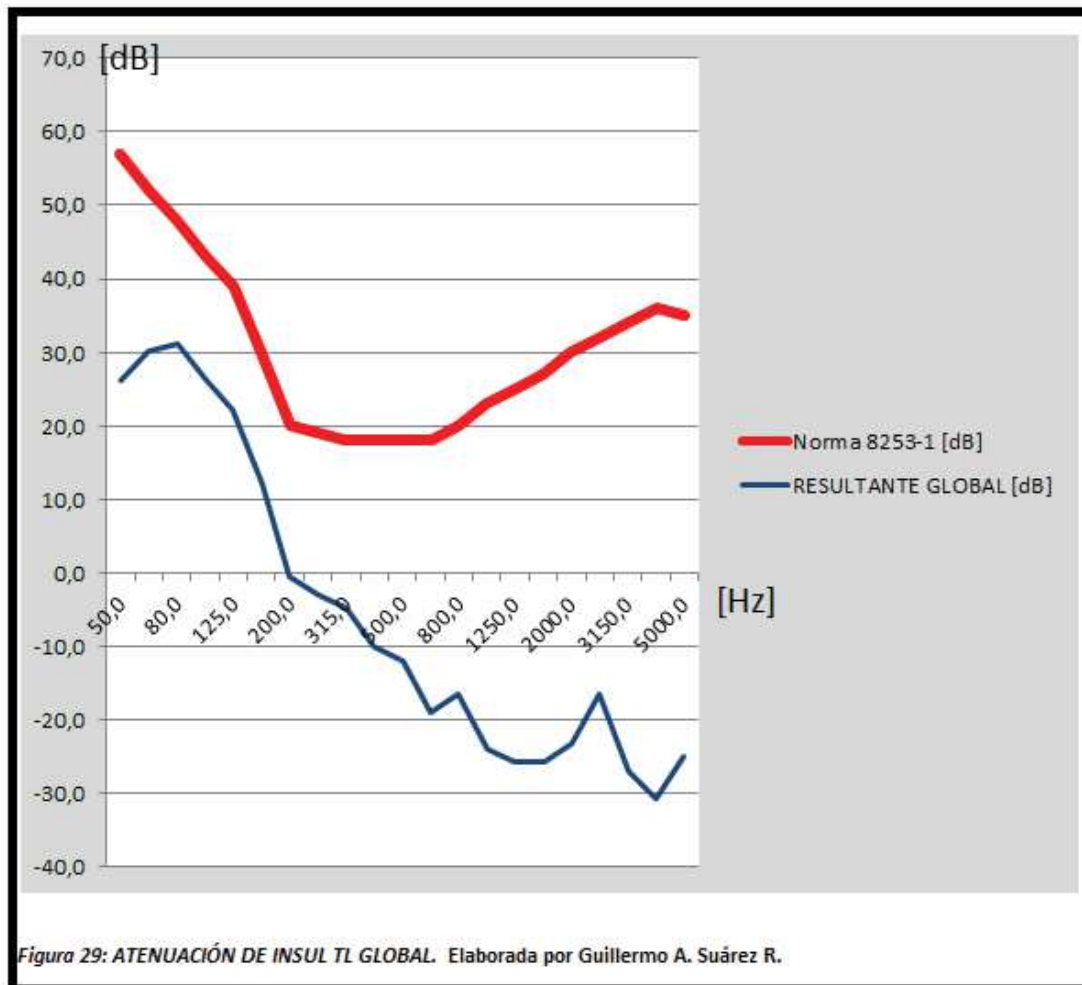
En la Figura No. 28 que se presenta a continuación, se observa gráficamente la curva de Niveles de atenuación extraída de Insul para la simulación de las particiones, suelo y techo con el material: **madera (mdf) 15mm, cámara de aire rellena 9cm, madera (mdf) 15mm.**

.Atenuación de Insul Particiones, suelo y techo



En la Figura No. 29 que se presenta a continuación, se observa gráficamente la curva de Niveles de atenuación de todos los elementos de la cabina juntos: (Resultante Global [dB]) particiones, suelo, techo, puerta y ventana, describiendo gráficamente el TL global.

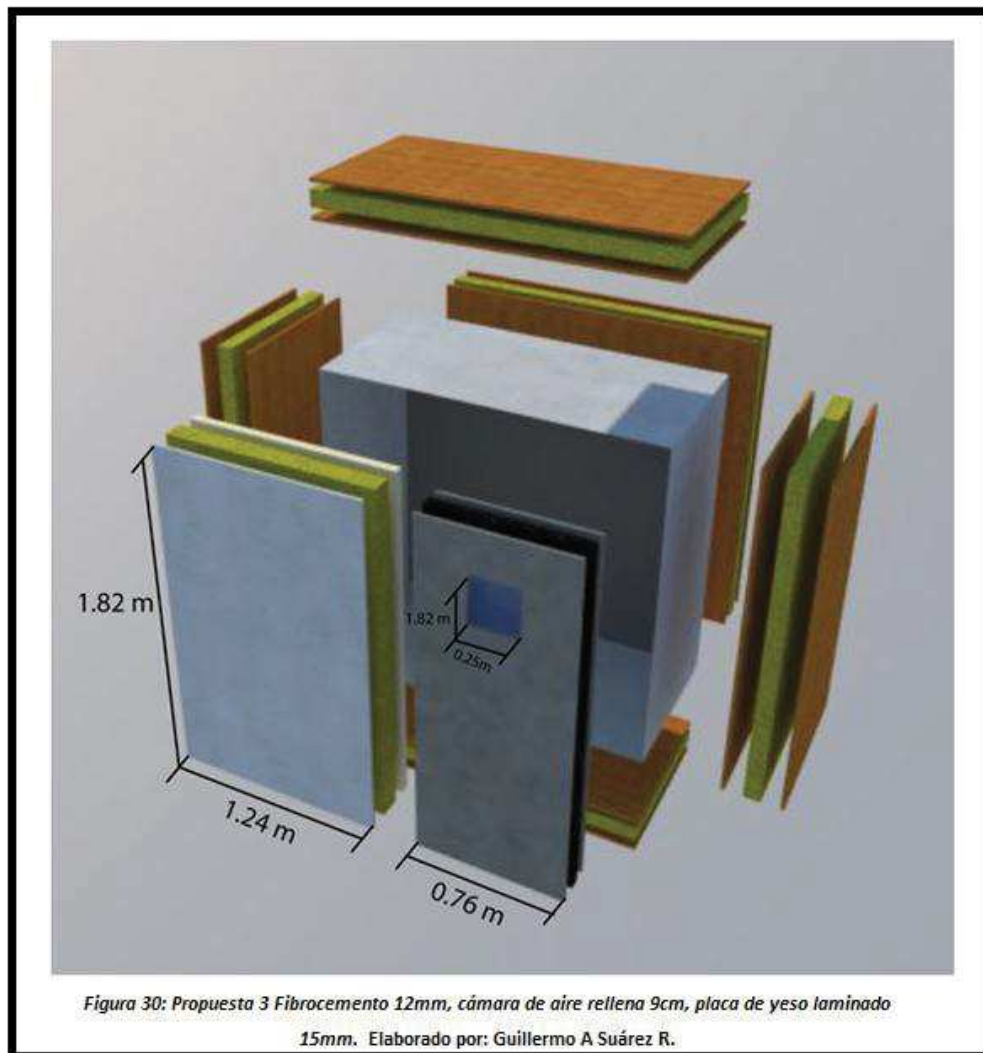
Atenuación de Insul TL global.



Como se puede apreciar de manera visual en la Figura 29, la curva de los TL proporcionada por la simulación de la segunda propuesta no supera el límite establecido por la Norma 8253-1, por ende el cumplimiento de ésta afianza el uso de esta mixtura de materiales.

Propuesta 3
PARTICIONES A SER SIMULADAS EN INSUL

Fibroemento 12mm, cámara de aire rellena 9cm, placa de yeso laminado 15mm.



En la tabla que se presenta a continuación, se puede visualizar en la primera columna las bandas de frecuencia, en las siguientes tres columnas se encuentran los promedios de las mediciones realizadas previamente de nivel de NPS dentro de la camper, y luego se observan dos columnas

correspondientes a la incertidumbre propia del ensayo, destacando los niveles a atenuar en dB con color rojo.

Además, en la siguiente columna se muestran los TL de la mixtura de materiales de las particiones, en este caso es **Fibro cemento 12mm, cámara de aire rellena 9cm, placa de yeso laminado 15mm**. En las dos siguientes columnas se muestran los niveles de atenuación de la puerta y ventana respectivamente, posteriormente las 3 columnas siguientes detallan la resta lineal de NPS proporcionada por los TL de muros, puerta y ventada, con lo cual se verifica la efectividad de aislamiento de manera independiente elemento por elemento. También se muestra el TL global, lo que significa la atenuación de toda la cabina audiométrica junta, y se puede visualizar numéricamente su efectividad de manera combinada.

TABLA 10

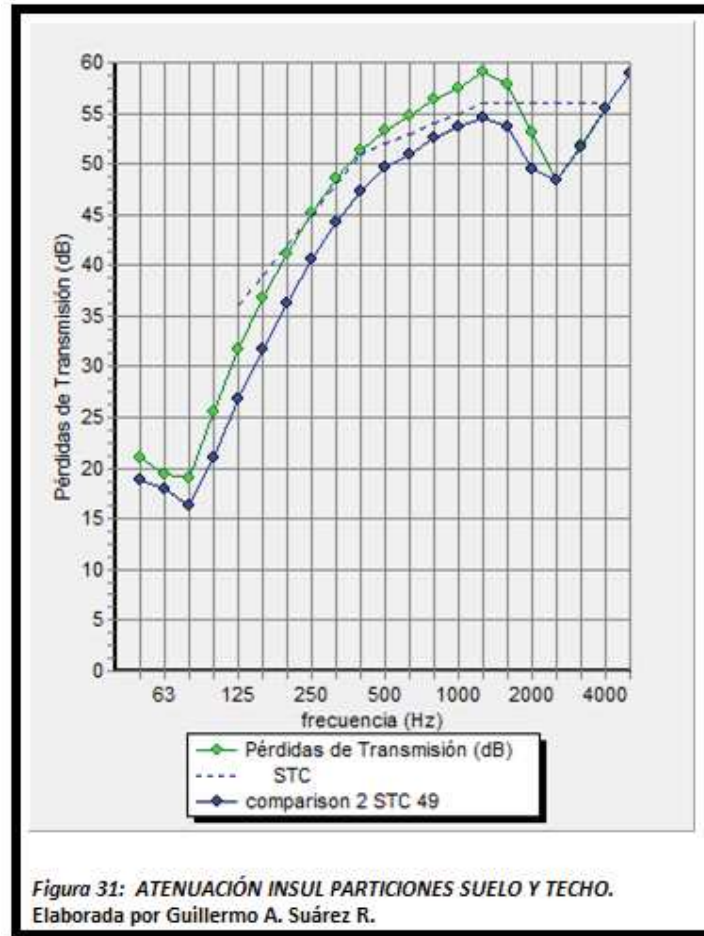
NIVELES DE ATENUACIÓN Fibrocemento 12mm, cámara de aire rellena 9cm, placa de yeso laminado 15mm.

Bandas Críticas (Hz)	Promedio INTERNO [dB]	Incertidumbre (+3,1)[dB]	Incertidumbre (-3,1)[dB]	MUROS [dB]	PUERTA [dB]	VENTANA [dB]	RESULTANTE MUROS [dB]	RESULTANTE PUERTA [dB]	RESULTANTE VENTANA [dB]	TL GLOBAL [dB]	RESULTANTE GLOBAL [dB]	Límites Permisibles Norma 8253-1 [dB]
50	42,1	45,2	39,0	21	30,4	19,6	24,2	14,8	25,6	21,4	23,8	57
63	45,1	48,2	42,0	19,5	27,7	19,1	28,7	20,5	29,1	19,9	28,3	52
80	44,8	47,9	41,7	19	26,8	17,8	28,9	21,1	30,1	19,5	28,4	48
100	44,3	47,4	41,2	25,5	25,5	21,5	21,9	21,9	25,9	25,5	21,9	43
125	45,4	48,5	42,3	31,6	22,1	27,9	16,9	26,4	20,6	28,8	19,7	39
160	40,8	43,9	37,7	36,7	31,0	31,6	7,2	12,9	12,3	35,5	8,4	30
200	32,6	35,7	29,5	41,1	36,7	34,3	-5,4	-1,0	1,4	40,3	-4,6	20
250	34,3	37,4	31,2	45,1	40,2	36,4	-7,7	-2,8	1,0	44,1	-6,7	19
315	36,3	39,4	33,2	48,5	43,0	38,3	-9,1	-3,6	1,1	47,2	-7,8	18
400	34,0	37,1	30,9	51,3	45,0	40,0	-14,2	-7,9	-2,9	49,7	-12,6	18
500	34,2	37,3	31,1	53,3	46,3	41,5	-16,0	-9,0	-4,2	51,4	-14,1	18
630	28,4	31,5	25,3	54,8	47,2	43,0	-23,3	-15,7	-11,5	52,7	-21,2	18
800	32,3	35,4	29,2	56,3	47,8	44,4	-20,9	-12,4	-9,0	53,8	-18,4	20
1000	25,9	29,0	22,8	57,5	47,9	45,4	-28,5	-18,9	-16,4	54,5	-25,5	23
1250	24,8	27,9	21,7	59,1	47,5	47,4	-31,2	-19,6	-19,5	54,9	-27,0	25
1600	23,7	26,8	20,6	57,9	45,8	48,9	-31,1	-19,0	-22,1	53,4	-26,6	27
2000	22,1	25,2	19,0	53	41,8	46,9	-27,8	-16,6	-21,7	49,1	-23,9	30
2500	22,4	25,5	19,3	48,4	30,8	47,2	-22,9	-5,3	-21,7	39,6	-14,1	32
3150	18,9	22,0	15,8	51,8	40,0	50,2	-29,8	-18,0	-28,2	47,6	-25,6	34
4000	18,2	21,3	15,1	55,5	42,0	53,3	-34,2	-20,7	-32,0	50,1	-28,8	36
5000	17,6	20,7	14,5	58,8	33,6	56,2	-38,1	-12,9	-35,5	42,8	-22,1	35
			STC	52	35	45				52		
			OTC	36	34	34				36		

Nota: Se establece el resultado de atenuación obtenida en comparación con los límites de la norma 8253-1. Elaborado por: Guillermo Suárez Rueda

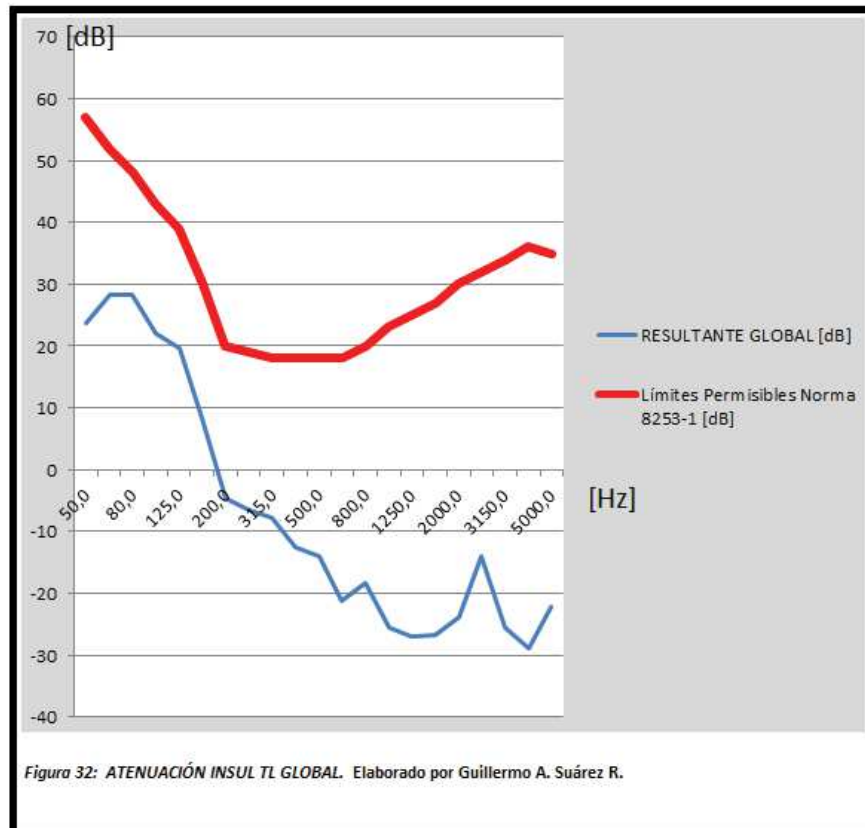
En la Figura No. 31 que se presenta a continuación, se observa gráficamente la curva de Niveles de atenuación extraída de Insul para la simulación de las particiones, suelo y techo con el material: **Fibrocemento 12mm, cámara de aire rellena 9cm, placa de yeso laminado 15mm.**

Atenuación de Insul Particiones, suelo y techo



En la Figura No. 32 que se presenta a continuación, se observa gráficamente la curva de Niveles de atenuación de todos los elementos de la cabina juntos: (Resultante Global [dB]) particiones, suelo, techo, puerta y ventana, describiendo gráficamente el TL global.

Atenuación de Insul TL global



Como se puede apreciar de manera visual en la Figura 32, la curva de los TL proporcionada por la simulación de la tercera propuesta no supera el límite establecido por la Norma 8253-1, por ende el cumplimiento de ésta afianza el uso de esta mixtura de materiales.

En virtud de que se están realizando tres diferentes propuestas de aislamiento, se considera importante realizar una comparación de la efectividad de cada una de ellas a través de la siguiente tabla.

TABLA 11

COMPARACIÓN DE EFECTIVIDAD DE AISLAMIENTO ENTRE LAS TRES PROPUESTAS DE MIXTURAS

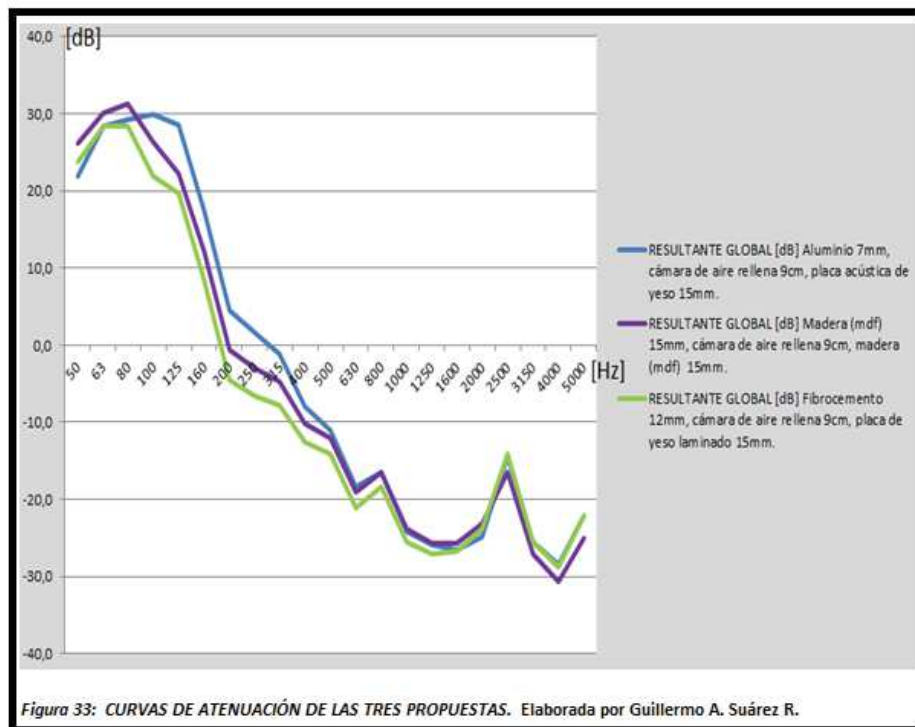
Bandas Críticas (Hz)	RESULTANTE GLOBAL [dB] <i>Aluminio 7mm, cámara de aire rellena 9cm, placa acústica de yeso 15mm.</i>	RESULTANTE GLOBAL [dB] <i>Madera (mdf) 15mm, cámara de aire rellena 9cm, madera (mdf) 15mm.</i>	RESULTANTE GLOBAL [dB] <i>Fibroceso 12mm, cámara de aire rellena 9cm, placa de yeso laminado 15mm.</i>
50	21,8	26,2	24
63	28,4	30,1	28
80	29,3	31,3	28
100	29,9	26,3	22
125	28,5	22,2	20
160	17,5	12,2	8
200	4,4	-0,6	-5
250	1,5	-3,1	-7
315	-1,2	-4,8	-8
400	-7,9	-10,1	-13
500	-11,1	-12,0	-14
630	-18,4	-19,1	-21
800	-16,5	-16,6	-18
1000	-24,1	-23,9	-26
1250	-25,9	-25,7	-27
1600	-26,5	-25,7	-27
2000	-24,9	-23,2	-24
2500	-14,4	-16,6	-14
3150	-25,5	-27,1	-26
4000	-28,5	-30,7	-29
5000	-22,1	-25,0	-22

Nota: Las celdas de color amarillo demuestran la mayor efectividad de aislamiento y la cantidad de energía atenuada en [dB]. La mixtura **de Fibroceso 12mm, cámara de aire rellena 9cm, placa de yeso laminado 15mm** es la propuesta que genera mayor aislamiento en el rango de frecuencias de **63 Hz a 1600 Hz**, mientras que para el rango de frecuencias desde **2500 Hz a 5000 Hz**, la mixtura de **madera (mdf) 15mm, cámara de aire rellena 9cm, madera (mdf) 15mm** proporciona una atenuación de nivel de

presión sonora mayor. En frecuencias puntuales como **50 Hz y 2000 Hz**, la mixtura de **Aluminio 7mm, cámara de aire rellena 9cm, placa acústica de yeso 15mm** atenúa con mayor efectividad.

En la Figura 33, podemos visualizar de manera gráfica las diferentes curvas de atenuación que cada una de las tres propuestas aportan.

CURVAS DE ATENUACIÓN DE LAS TRES PROPUESTAS



6 CAPÍTULO VI: ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se contempla el presupuesto estimado para desarrollar el presente proyecto, referente al aislamiento acústico de una cabina audiométrica en una camper propiedad de EMELNORTE.

Cabe señalar que los costos que se analizan a continuación, son proporcionados por especialistas del diseño acústico arquitectónico e insonorización de cabinas.

Recordando el diseño de distribución de espacios de la cabina audiométrica, que consta en la Ilustración 17, se pueden observar que tendrá varias particiones que serán aisladas acústicamente y para ello es necesario conocer con claridad los materiales a utilizarse, en base a la simulación efectuada en INSUL.

6.1 MATERIALES A UTILIZARSE

Según los resultados obtenidos mediante el software INSUL, se puede establecer que se utilizarán varios materiales, los mismos que han sido cotizados y costeados con el propósito de obtener, resultados que permitan tomar la mejor decisión. Con el fin de tomar la mejor alternativa por costo y tipo de material, se ha elegido costear con 3 mixturas:

OPCIÓN 1: ALUMINIO 7 MILÍMETROS + PLACA ACÚSTICA DE CARTÓN YESO 15 MM + CÁMARA DE AIRE RELLENA 90 MILÍMETROS.

OPCIÓN 2: MADERA 15 MILÍMETROS + CÁMARA DE AIRE RELLENA 90 MILÍMETROS + MADERA 15 MILÍMETROS.

OPCIÓN 3: FIBROCEMENTO 12 MILÍMETROS + CÁMARA DE AIRE RELLENA 90 MILÍMETROS + PLACA DE YESO LAMINADO 15 MILÍMETROS.

Para realizar el estudio económico se han considerado fundamentalmente los principales elementos del costo, estos son: materiales, mano de obra y costos indirectos.

6.1.1 PROPUESTA 1: ALUMINIO + PLACA ACÚSTICA DE CARTÓN YESO + CÁMARA DE AIRE

En la Ilustración No. 22 se presentó gráficamente el aislamiento acústico que se llevaría a cabo con una mixtura de aluminio, placa acústica de cartón yeso y una cámara de aire rellena, por ello se ha procedido a realizar el costeo de esta opción a fin de establecer los costos que generarían estos materiales.

En la tabla que se presenta a continuación, se encuentra un análisis detallado de los costos de materiales de la propuesta.

TABLA 12

COSTO DE MATERIALES PROPUESTA1							
MATERIALES A UTILIZAR	ÁREA A CUBRIR	NO. PANELES UTILIZADOS	ÁREA DESPERDICIO (CM)	COSTO UNITARIO	COSTO MATERIALES	COSTO DESPERDICIO	COSTO TOTAL
ALUMINIO	12,3	5	0,88	\$ 138,72	\$ 571,53	\$ 122,07	\$ 693,60
PLACA ACUSTICA DE CARTON YESO 15 MM	12,3	5	0,88	\$ 17,02	\$ 70,12	\$ 14,98	\$ 85,10
CAMARA DE AIRE (ROLLOS)	12,3	3	0	\$ 25,00	\$ 75,00	\$ -	\$ 75,00
TOTAL MATERIALES					\$ 716,65	\$ 137,05	\$ 853,70

Nota: Se describen los costos individuales de la mixtura de la Propuesta 1 de cada material y los desperdicios ocasionados por el tamaño de las planchas. Elaborado por: Guillermo Suárez Rueda

Como se puede observar, los costos de los materiales en el caso de que se eligiera la Propuesta 1, esto es una mixtura de Aluminio + Placa Acústica de cartón yeso de 15 mm. + Cámara de aire rellena, serían de \$ 853,70, incluidos desperdicios.

6.1.2 PROPUESTA 2: MADERA + CÁMARA DE AIRE RELLENA + MADERA

Una opción interesante en cuanto al uso de materiales, es la utilización de madera que conjuntamente con una cámara de aire rellena, brindaría condiciones favorables de aislamiento que fueran analizadas en el Capítulo V.

Los costos para esta opción son:

TABLA 13

COSTO DE MATERIALES PROPUESTA 2							
MATERIALES A UTILIZAR	AREA A CUBRIR	NO. PANELES UTILIZADOS	AREA DESPERDICIO (CM)	COSTO UNITARIO	COSTO MATERIALES	COSTO DESPERDICIO	COSTO TOTAL
MADERA MDF	12,3	5	0,88	\$ 29,05	\$ 119,69	\$ 25,56	\$ 145,25
MADERA MDF	12,3	5	0,88	\$ 29,05	\$ 119,69	\$ 25,56	\$ 145,25
CAMARA DE AIRE (ROLLOS)	12,3	3	0	\$ 25,00	\$ 75,00	\$ -	\$ 75,00
TOTAL MATERIALES					\$ 314,37	\$ 51,13	\$ 365,50

Nota: Se describen los costos individuales de la mixtura de la Propuesta 2 de cada material y los desperdicios ocasionados por el tamaño de las planchas. Elaborado por: Guillermo Suárez Rueda

La Tabla No. 17 demuestra que los costos por materiales de esta propuesta alcanzan a \$ 365,50, incluido desperdicios.

6.1.3 PROPUESTA 3: FIBROCEMENTO + CÁMARA DE AIRE RELLENA + PLACA DE YESO LAMINADO

La Propuesta No. 3, contempla el uso de una mixtura de Fibrocemento + Cámara de Aire Rellena + Placa de Yeso Laminado, la misma que genera los siguientes costos por materiales:

TABLA 14

COSTO DE MATERIALES PROPUESTA 3							
MATERIALES A UTILIZAR	AREA A CUBRIR	NO. PANELES UTILIZADOS	AREA DESPERDICIO (CM)	COSTO UNITARIO	COSTO MATERIALES	COSTO DESPERDICIO	COSTO TOTAL
FIBROCEMENTO	12,3	5	0,88	\$ 58,49	\$ 240,98	\$ 51,47	\$ 292,45
PLACA DE YESO LAMINADO	12,3	5	0,88	\$ 17,02	\$ 70,12	\$ 14,98	\$ 85,10
CAMARA DE AIRE (ROLLOS)	12,3	3	0	\$ 25,00	\$ 75,00	\$ -	\$ 75,00
TOTAL MATERIALES					\$ 386,10	\$ 66,45	\$ 452,55

Nota: Se describen los costos individuales de la mixtura de la Propuesta 3 de cada material y los desperdicios ocasionados por el tamaño de las planchas. Elaborado por: Guillermo Suárez Rueda

Los costos por materiales al decidir por la propuesta 3 alcanzarían a \$ 452,55, incluido desperdicios.

Al Comparar las opciones 1, 2 y 3, se puede apreciar que la diferencia en costos por materiales es significativamente mayor en la primera opción, debido al alto costo del aluminio utilizado. Las opciones 2 y 3 mantienen una diferencia mínima que debe ser analizada, comparando y estableciendo diferencias técnicas fundamentales.

Inicialmente, la Opción 3, es la alternativa que debe ser tomada en cuenta como la posibilidad más viable; sin embargo, se deben considerar los demás elementos del costo que deberán realizarse, conforme se presenta más adelante.

Como se había explicado en el Capítulo V: Aislamiento Acústico, la cabina requiere de una puerta acústicamente diseñada y de un visor a través del cual se pueda establecer una conexión visual con el examinado, por lo cual es necesario establecer el respectivo costeo de estos elementos.

6.1.4 COSTO DE MATERIALES UTILIZADOS EN PARTICIÓN E, PUERTA Y VISOR

La construcción de la puerta está diseñada con dos láminas de acero y una de caucho entre ellas, por lo cual se ha realizado el siguiente costeo:

TABLA 15

**COSTO MATERIALES PUERTA
OPCIONES 1, 2 Y 3**

MATERIALES A UTILIZAR	ÁREA A CUBRIR m ²	COSTO POR m ²	COSTO TOTAL
ACERO	1,37	\$ 23,07	\$ 31,56
CAUCHO O GOMA	1,37	\$ 200,00	\$ 273,60
ACERO	1,37	\$ 23,07	\$ 31,56
BISAGRAS			\$ 21,00
CERRADURA			\$ 40,00
DESPERDICIOS			\$ 33,57
TOTAL MATERIALES			\$ 370,29

Nota: Se detallan cada uno de los materiales utilizados para la construcción de la puerta de la cabina. Elaborado por: Guillermo A. Suárez R.

El visor, elemento imprescindible en este tipo de cabinas. Debe ser de vidrio o plástico para lograr una efectiva comunicación visual y sus costos son:

TABLA 16

**COSTOS MATERIALES VISOR
OPCIONES 1, 2 Y 3**

MATERIALES A UTILIZAR	ÁREA A CUBRIR m ²	COSTO POR m ²	COSTO TOTAL
VIDRIO	0,06	18	\$1,08
CAVIDAD DE AIRE	0,06	3	\$0,18
VIDRIO	0,06	18	\$1,08
TOTAL MATERIALES			\$2,34

Nota: Se detallan cada uno de los materiales utilizados para la construcción del visor de la cabina. Elaborado por: Guillermo A. Suárez R.

Mediante la información obtenida en las Tablas Nos. 19 y 20 se establece que los costos de materiales para la elaboración de la puerta y del visor de la cabina alcanzan \$ 372,63, que deben ser incluidos en el análisis financiero presentado.

6.1.5 COSTO MATERIALES DE ENSAMBLAJE

A fin de integrar los diversos componentes se requieren perfiles, ángulos, acoples, etc., los mismos que generan costos adicionales que se presentan en la Tabla No. 22:

TABLA 17
MATERIALES DE ENSAMBLAJE

PERFILES	24	\$ 120,00
ÁNGULOS	20	\$ 40,00
CANALETES ALUMINIO	4,4	\$ 44,00
TOTAL MATERIALES ENSAMBLAJE		\$ 204,00

Nota: Se detallan cada uno de los materiales de ensamblaje a utilizarse en la construcción de la cabina. Elaborado por: Guillermo A. Suárez R.

6.2 MANO DE OBRA DIRECTA

Los materiales conforman una de las partes importantes para la construcción de la cabina audiométrica; sin embargo, no generan la solución final, por lo cual es necesario contar con personal técnico y operativo, que realice el trabajo propuesto, los mismos que trabajarán durante una semana para lograr armar la cabina y obtener el resultado de insonorización esperado. Al personal operativo se le considerará mano de obra directa y al personal técnico como costos indirectos.

Con estas consideraciones, en la siguiente tabla se resumen los costos y gastos de mano de obra necesarios para ejecutar el proyecto:

TABLA No. 18**COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA**

CONCEPTO	VALOR
PERFILERO	\$ 500,00
OBRERO	\$ 300,00
TOTAL	\$ 800,00

Nota: Se detalla la mano de obra que se utilizará en la construcción de la cabina. Elaborado por: Guillermo A. Suárez R.

El costo de mano de obra directa, está conformado por un perfilero y un ayudante, a quienes se contrata por un valor fijo de \$ 800,00 por obra, de manera que no genere costos adicionales.

6.3 COSTOS INDIRECTOS

Los honorarios de los profesionales que desarrollan los estudios de diseño, los cálculos técnicos y entregan sus conocimientos científicos, se los ha considerado como costos indirectos, por no intervenir directamente en la ejecución de la obra.

TABLA 19**COSTOS INDIRECTOS**

CONCEPTO	VALOR
ING.ACÚSTICO	\$ 2.000,00
OTROS COSTOS	\$ 200,00
TOTAL	\$ 2.200,00

Nota: Se detalla la mano de obra indirecta y otros costos como energía eléctrica, etc. Elaborado por: Guillermo A. Suárez R.

Como se puede apreciar, para el desarrollo del presente proyecto se requiere de un Ingeniero Acústico y a otros costos que se relacionan \$ 200 que corresponden a la adquisición de materiales menores que serán utilizados en el

ensamblaje así como a desembolsos por transporte de materiales y traslado del personal requerido.

6.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPUESTAS 1,2 Y 3

Como se puede apreciar a continuación, las tablas Nos. 25, 26 y 27 demuestran los costos totales a los que alcanzarían cada una de las opciones propuestas:

TABLA 20

COSTOS TOTALES PROPUESTA 1	
ALUMINIO + PLACA DE CARTON YESO + CAMARA DE AIRE	
CONCEPTO	VALOR
MATERIALES UTILIZADOS	\$ 716,65
DESPERDICIOS	\$ 137,05
PUERTA Y VISOR	\$ 372,63
MATERIALES DE ENSAMBLAJE	\$ 204,00
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 800,00
COSTOS INDIRECTOS	\$ 2.200,00
TOTAL	\$ 4.430,33

Nota: Se integran todos los elementos del costo, unificándose los desembolsos de la Propuesta 1. Elaborado por: Guillermo A. Suárez R.

TABLA No. 21

COSTOS TOTALES PROPUESTA 2	
MADERA + CAMARA DE AIRE + MADERA	
CONCEPTO	VALOR
MATERIALES UTILIZADOS	\$ 314,37
DESPERDICIOS	\$ 51,13
PUERTA Y VISOR	\$ 372,63
MATERIALES DE ENSAMBLAJE	\$ 204,00
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 800,00
COSTOS INDIRECTOS	\$ 2.200,00
TOTAL	\$ 3.942,13

Nota: Se integran todos los elementos del costo, unificándose los desembolsos de la Propuesta 2. Elaborado por: Guillermo A. Suárez R.

TABLA No. 22

COSTOS TOTALES PROPUESTA 3	
FIBROCEMENTO + CAMARA DE AIRE + PLACA DE YESO LAMINADO	
CONCEPTO	VALOR
MATERIALES UTILIZADOS	\$ 386,10
DESPERDICIOS	\$ 66,45
PUERTA Y VISOR	\$ 372,63
MATERIALES DE ENSAMBLAJE	\$ 204,00
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 800,00
COSTOS INDIRECTOS	\$ 2.200,00
TOTAL	\$ 4.029,18

Nota: Se integran todos los elementos del costo, unificándose los desembolsos de la Propuesta 3. Elaborado por: Guillermo A. Suárez R.

Por lo tanto se puede concluir que luego del análisis de costos realizado, se determina que la propuesta 2 que alcanza \$ 3.942,13 es la mejor alternativa en términos económicos, sin embargo, las características técnicas de los materiales para lograr el aislamiento acústico esperado, será el factor determinante para elegir la opción requerida.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

De los análisis efectuados mediante mediciones de ruido dentro y fuera de la camper móvil, ubicada en la sub estación San Gabriel de EMELNORTE, dan como resultado la obtención de datos reales de los niveles de presión sonora promedios que se van a tener en generalidad en las demás sub estaciones, dadas sus características y condiciones técnicas de funcionamiento similares, por lo tanto, los datos recopilados se pueden generalizar a otras sub estaciones por cuanto emiten el mismo tipo de ruido, esto se fundamenta por la disposición similar de elementos en las diferentes sub estaciones.

La cabina audiométrica que se va a montar en la camper móvil propiedad de EMELNORTE, se perfila como una herramienta de grandes prestaciones para la continua y correcta evaluación auditiva de los trabajadores, por lo que se puede concluir que EMELNORTE, al disponer de una cabina con este fin, sería una importante medida de prevención que permitirá evaluar el nivel de pérdida auditiva de los obreros in situ, lo cual puede evitar que en el futuro se presenten diferentes problemas de salud a sus trabajadores.

Al tener una cabina audiométrica móvil, EMELNORTE genera un ahorro importante en el factor tiempo de trabajo por obrero, debido a que el examen de aproximadamente 20 minutos se lo realizaría in situ en su lugar de trabajo, lo cual facilita la evaluación preventiva y por ende el tiempo de labor del obrero no se acorta, si es que el trabajador tuviera que trasladarse a una clínica con este objetivo, la empresa perdería horas de labor.

En el diseño de la cabina audiométrica que se propone, se debe tomar en cuenta ciertos factores externos, como por ejemplo aspectos mecánicos y de fricción, ya que al momento del montaje se debe considerar las propiedades físicas de los materiales de la construcción original, por lo que es necesario prever el peso de la cabina sobre el vehículo y la proporción de ésta no se

debe cargar a un solo lado por el desgaste de los neumáticos y por motivos de la estructura del mismo.

En el diseño de la cabina audiométrica, no se tomó en cuenta el concepto acústico del acondicionamiento, puesto que dentro de ésta no existirá ruido aéreo ni comunicación que dependa de la inteligibilidad de la palabra de acuerdo a la norma 8253-1, la cual únicamente establece niveles límites de presión sonora por banda de tercio de octava.

El visor acústico disminuye el hermetismo de la cabina tomando en cuenta esta consideración para evitar la disminución del aislamiento, se hizo el modelamiento con una superficie lo suficientemente pequeña para que el objetivo cumpla con lo que dispone la normativa ISO 8253- 1.

En la normativa 8253-1 se especifica que la tabla de atenuación proporcionada por los audífonos de tercio de octava no es de alta eficacia, razón por la cual se llega a la conclusión que el tratamiento de las particiones es necesaria para normar la cabina audiométrica en función a su aislamiento acústico.

Otro de los factores importantes que se debe considerar es el tiempo y la disponibilidad de los equipos para desarrollar este trabajo, razón principal por la cual se hizo la medición en una de las sub-estaciones de EMELNORTE y no en todas las sub estaciones disponibles; sin embargo, el ruido se puede considerar como “de similares características” y por lo tanto se puede extrapolar los datos recolectados en este estudio, con error para la medición Interna con una Incertidumbre de **$\pm 3,1$ dB** y para la medición Externa a la camper con una Incertidumbre de **$\pm 3,1$ dB**.

De los análisis efectuados del costo/beneficio, se tendrían resultados favorables como se indicó en el Capítulo Económico, los costos en que se incurriría para realizar el aislamiento acústico de esta cabina que se propone montar en la camper móvil, son relativamente económicos y se podría abaratar aún más si se disminuyeran los costos y los gastos negociando condiciones

económicas con los profesionales que intervienen en la construcción de la mencionada cabina.

Mediante el análisis de costos, en el cual se tomó en cuenta todos los parámetros que intervienen en la construcción de la cabina audiométrica, se logró identificar la propuesta de mixtura de materiales más económica y que cumpla con las características técnicas con lo dispuesto en la norma ISO 8253-1, según el análisis antes mencionado, la **Propuesta 2: Madera 15 mm + Cámara de aire rellena 90 mm+ Madera 15 mm**, es la más adecuada para el montaje de la cabina audiométrica con un costo de **\$ 3.942,13** dólares.

Como conclusión técnica se demostró que la **Propuesta 3 Fibrocemento 12mm, cámara de aire rellena 9cm, placa de yeso laminado 15mm** es la que proporciona mayor aislamiento en el rango de frecuencias de **63 Hz a 1600 Hz**, mientras que para el rango de frecuencias desde **2500 Hz a 5000 Hz**, la mixtura de **madera (mdf) 15mm, cámara de aire rellena 9cm, madera (mdf) 15mm** proporciona una atenuación de nivel de presión sonora mayor, por lo tanto la propuesta 3 es la más conveniente dado que el rango de atenuación es mayor.

REFERENCIAS:

- ARAU, H. (1999). *A, B, C de la acústica*. Ediciones CEAC.
- COWAN, J. P. (1994). *Environmental Acoustics*. Edit. VNR.
- LYBARGER, S.F., *Earmold Acoustics*, Auddecibel, Winter, 1967.
- LABELLA, T. y LOZANO, A., *Manual de Audiometría*, Garsi S.A., Madrid 1988.
- LÓPEZ, M. R. (1991). *Acondicionamiento acústico*. Paraninfo.
- MAYA, j. M. (2004). *Era Acustica:liquid Sounds*. Yoyo Usa. M
- MIYARA, F. (s.f.). *Acústica Y Sistemas de Sonido*. Biblioteca Virtual.
- ORTEGA, M. R., *Lecciones de Física. Mecánica 4*. M.R. Ortega. Córdoba. 1992.
- PALACIOS, J., *Física para Médicos*, 4ª Ed. Editorial Hernando, Madrid 1952.
- PORTMANN Y PORTMANN, *Audiometría Clínica*, Toray-Masson S.A., Barcelona 1979.
- RECUERO LÓPEZ, M., *Acústica*, Ec. Universitaria Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones. Madrid 1983.
- ROEDERE, J. G. (1997). *Acústica y psicoacústica de la música*. Ediciones Ricordi.
- SAVIOLI, C. (2011). *Introducción A La Acústica*. Librería Y Editorial Alsina.
- STROTHER, G.K., *Física aplicada a las ciencias de la salud*, Mcgraw-Hill, Bogotá 1977.
- Varios. (2005). *Enciclopedia del Conocimiento*, . Barcelona: Editorial Espasa.

ANEXOS

ANEXO No. 1

GUÍA PARA EL MONTAJE DE LA CABINA AUDIOMÉTRICA MÓVIL

GUIA PARA EL MONTAJE DE LA CABINA AUDIOMETRICA

PARTICIONES B, C, D, SUELO Y TECHO.

Las simulaciones que se han desarrollado en el capítulo anterior, muestran que los diseños propuestos cumplen con los requerimientos de la norma y por ello, el trabajo apropiado de montaje utilizando los materiales seleccionados con ayuda de INSUL, es el siguiente:

MATERIALES A UTILIZAR

Materiales para el montaje de revestimientos.

- Rocopercutor.
- Atornilladora.
- Metro
- Espátula
- Llana
- Cinta de papel
- Tornillos 8mm
- Tarugos 8 mm
- Bandejaportamasilla
- Masilla de secadorápido
- Tijera de hojalatería
- Perfiles
- Enduido
- Placas del material que vaya a usar para el revestimiento.

Forma de toma de medidas



El primer paso es trazar sobre el piso las líneas de desplante en la que se va a construir la partición con la ayuda de la escuadra, cinta y tira líneas, una vez trazada la partición sobre el piso, se utiliza la plumada para verificar el lugar de colocación del canal superior, los canales superiores e inferiores pueden ser cortados previamente a la medida del proyecto con la ayuda de las tijeras, se recomienda la utilización del silicón antes de la colocación del canal, esto con la finalidad de conseguir un buen aislamiento acústico.

Colocación de estructura metálica



En anclaje de los canales deberá ser con tornillos, los cuales tendrán que ser atornillados en forma de zigzag, en los extremos se deberá colocar doble tornillo a una distancia no mayor a 3cm, con la ayuda de la cinta métrica, marcar la posición de postes superiores.

Ubicación de postes o ángulos



En este caso los postes será ubicado a una medida de 1,82 m de altura por las necesidades del proyecto, al momento de colocar todo los postes de debe revisar que todo haya quedado en línea recta y con nivel correcto.

Medición Ubicación de postes o ángulos



Se recomienda la utilización de doble poste con refuerzo de madera en las limitantes de las puertas con la finalidad de alcanzar una mayor rigidez del muro.

Ubicación de canales metálicos



Se atornilla los postes a los canales metálicos con tornillo freimer por ambos lados el canal inferior y superior.

Ubicación de postes o ángulos



Colocamos el panel de aluminio de 3 mm en la cara expuesta de la partición y atornillamos dejando un espacio de 20 cm entre cada tornillos de abajo hacia arriba, se debe cuidar que los paneles queden perfectamente unidos para evitar que el sonido se filtre con los espacios entre estas.

Ubicación de plancha



Fijación de plancha pared



Por dentro se coloca el panel de placa acústica de yeso cartón de 15 mm, el cual estará atornillado exactamente igual que el panel frontal en la estructura metálica.

Para lograr un mejor desempeño y mejorar las cualidades acústicas del muro se podrá fibra de virio cuidando cubrir todos los huecos y cavidades entre postes.

Utilización de cámara de aire rellena



ANEXO No. 2

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SONÓMETRO

- **Sonómetro SOLO SLM**, tipo 2 (IEC 61.672), integrador (memoria 128 KB), rango dinámico 30-137 dB, medidor de bandas de octava, memoria para 99 resultados- Data logging (128 Kb) y software “dB Trait Viewer” para la descarga y visualización de los datos. Se entrega en una maleta plástica con la batería recargable, protector de viento, manual del usuario en CD, certificado de conformidad y de verificación. Cable para salida analógica C/DC output adapter Lemo 10/2 BNC.
- **NORMAS**
 CEI 61672-1 (2002) / NF EN 60651 (2000) / NF EN 60804
 CEI 1260 (1995) / ANSI 1.11 / ANSI 1.4
 CEM / EMC EN 50081-1 Y 2 / EN 50082-1 Y 2 / CEI / IEC 61000
- **METROLOGÍA**
 Escala dinámica única: 30-140 dB(A) tipo 1 y 2
 Ponderación: A, B, C y Z (lineal)
 Leq/Lp, Lpmin, Lpmax (S, F, I) / Lpk (C, Z)
 Leq con tiempo de integración variable de 1 a 60 s
 LAE, Leq start/stop hasta 24 horas
 Filtro pasa alto seleccionable de 0.3/10 Hz
 Modo BackErase: posibilidad de borrar los últimos 10 s de señal
 Indicadores de subcarga y sobrecarga
- **ENTRADAS / SALIDAS**
 Salidas AC/DC
 Salida RS232 para impresora serial tipo Kyoline
- **ANÁLISIS EN TIEMPO REAL (OPCIONAL)**
 1 s media de 1/1 o 1/3 octava (de 12.5 Hz. a 20 kHz.)
 Media de 1/1 o 1/3 de octava en Lp (F, S)
- **DESEMPEÑOS**
 Medición paralela de Leq, Lp y Lpk (mismo tiempo de integración, con la posibilidad de seleccionar 2 ponderaciones en frecuencia.
 Almacenamiento de 99 grupos de resultados

Pantalla y teclado iluminados

Batería de 24 horas de duración

Batería recargable, memoria no volátil

Visualización ergonómica de la pantalla

Idiomas: Francés, Inglés, Español, Alemán, Italiano y Portugués

- **ACCESORIOS INCLUIDOS**

Preamplificador PRE21S

Micrófono: 1/2", 50 mV/Pa, clase 1 o 20 mV/Pa, clase 2

Protección anti viento integrada

Batería y cargador

Maleta de transporte

- **ACCESORIOS OPCIONALES**

Bolso de transporte

Cargador externo de batería y batería (s) adicional (es)

Calibrador CAL21 (tipo 1) o CAL02 (tipo 2)

Impresora serial

Extensión de cable de micrófono